

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et
de l'Univers
Département d'Agronomie



MÉMOIRE

Présenté par

Benzaghou Yasmine

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En protection végétale

Thème

Effets de l'utilisation des eaux usées épurées et des sous-produits
de la STEP d'Ain El Houtz sur la qualité des cultures du périmètre
irriguée de Hennaya

Soutenu le 07/07/2021 devant le jury composé de :

Président	Mr MANAA A.	MCA	Université de Tlemcen
Encadrant	Mme BAGHLI N.	MCA	Université d'Ain
Témouchent			
Examineur	Mme LAKHAL S.	MCB	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Louange à Dieu le tout puissant qui nous a donné la foi, la santé et le courage pour pouvoir réaliser ce mémoire

A mon encadrante Madame **BAGHLI Naoual**, ma gratitude et ma reconnaissance pour avoir guidé mon travail avec patience et assiduité, gentillesse et disponibilité tout le long de la préparation de ce mémoire.

Veillez bien madame recevoir mes remerciements pour le grand honneur que vous m'avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail.

Aux membres du jury

Président du jury : **Mr MANAA A.**

Examinatrice : **Mme LEKHAL S.**

J'exprime aussi ma reconnaissance à tous les enseignants et enseignantes qui ont assuré nos cours et qui nous ont enrichis avec un précieux savoir qui est le meilleur héritage pour l'avenir

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de de loin à l'aboutissement de ce modeste travail.

Dédicaces

A dieu tout puissant, qui m'a donné force et courage pour ce travail

J'ai le plaisir de dédier ce travail :

A ceux qui sont mon exemple de la réussite, qui m'ont donnés de l'amour, de la tendresse, du soutien et de la force, symbole de courage et de la volonté, mes très chers parents que j'ai tant aimés, eux qui ont guidé mes pas, et la aujourd'hui je leur doit d'être la personne que je suis devenu, que dieu vous garde pour nous.

A mon grand frère Chemdeddine et sa femme Amel

A ma grande sœur Salima et son mari Ali

A ma sœur Asma et son mari Ibrahim

A mon petit frère Youcef

A mes nièces et mes neveux ; Mayar, Ghizlene, Mouhamed, Abdellhak et Imran vos sourires apportés beaucoup de bonheurs à notre famille, que dieu vous garde pour nous.

A toute personne qui m'a aidé d'un mot, d'une idée ou d'un encouragement

Yasmine

Table des matières

Introduction	10
Chapitre I Généralités sur les eaux usées	13
I.1 Introduction.....	13
I.2 Composition des eaux usées	13
I.2.1 Microorganismes.....	13
I.2.1.1 Les bactéries.....	14
I.2.1.2 Les virus.....	14
I.2.1.3 Les protozoaires	14
I.2.1.4 Les helminthes	15
I.2.2 Eléments traces et métaux lourds.....	15
I.2.3 Substances nutritives.....	17
I.2.4 Autres paramètres caractéristiques.....	18
I.2.4.1 Matière en suspension et matière organique	18
I.2.4.2 Eléments toxiques organiques.....	19
I.2.4.3 Salinité	19
I.3 Traitement des eaux usées	20
I.3.1 Prétraitement	21
Dégrillage	21
Dessablage.....	21
Dégraissage-déshuilage	21
I.3.2 Traitement primaire	21
I.3.3 Traitement biologique.....	22
Les boues activées	22
Les lits bactériens	23
Le lagunage	23
I.3.4 Le traitement anaérobie de l'eau.....	24
I.3.5 Les traitements physico-chimiques.....	24
Chapitre II Critères de Qualité des Eaux Usées pour L'irrigation	28
II.1 Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées.....	28
II.1.1 Salinité	28
II.1.2 Salinisation	28
II.1.3 Alcalinité.....	29
II.1.4 Sodisation	29
II.2 Critères de qualité biologique	29
II.3 Les fertilisants dans les eaux usées traitées.....	31
II.3.1 L'azote	31
II.3.2 Le phosphore.....	31
II.3.3 Le potassium	32
II.3.4 Le bore.....	32

II.4 Irrigation avec l'eau usée traitée.....	34
II.4.1 Méthodes d'irrigation.....	34
II.4.2 Quantités d'eau et programmation des irrigations.....	36
II.5 La Réutilisation des Eaux Usées en Agriculture en Algérie	39
Chapitre III Les boues résiduaires	41
Définition.....	41
III.1 Composition des boues.....	41
III.2 Traitement des boues.....	43
III.2.1 Epaissement	43
III.2.2 Stabilisation	44
III.2.3 Le conditionnement.....	44
III.2.4 Déshydratation	44
III.3 Valeur agronomique des boues d'épuration.....	44
III.3.1 Fertiliser la steppe avec les boues des stations d'épuration	45
III.3.2 Boues, pour produire du grain de maïs également des fourrages.....	45
III.4 Contraintes d'utilisation	45
III.4.1 Microorganismes pathogènes.....	45
III.4.2 Métaux lourds.	46
III.4.3 Les boues, potentiellement dangereuses pour la Santé?	47
III.4.4 Etat sanitaire	48
Chapitre IV Maladies associées à l'utilisation des eaux usées sans traitement en agriculture	50
IV.1 Introduction	50
IV.2 Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées.....	51
IV.2.1 Risque sanitaire	51
IV.2.2 Risques pour la santé.....	52
IV.2.3 Le Risque Microbiologique	52
IV.2.4 Risques chimiques.....	52
IV.2.4.1 Les Eléments en Trace	53
IV.2.4.2 Le sodium.....	53
IV.2.4.3 Le chlore	53
IV.2.4.4 Le bore	53
IV.2.5 Risques environnementaux	54
IV.2.5.1 Sol	54
IV.2.5.2 Eaux souterraines	55
IV.3 Aspect politique	56
IV.4 Aspect réglementaires	56
IV.4.1 Les différentes réglementations dans le monde	56
IV.4.2 Les recommandations de l'OMS.....	57
IV.4.3 Les recommandations USEPA.....	57
IV.4.4 Les recommandations de l'Union Européenne	58
IV.4.5 Cadre juridique Algérien.....	60
IV.5 Aspects législatifs en Algérie	62

<i>Partie pratique</i>	64
Chapitre V	65
V.1 Présentation et description de la station d'épuration (STEP) D'Ain el Houtz	65
v. 1.1 Situation géographique	65
V.1.2 Présentation de la STEP	66
V.1.3 Principe de fonctionnement de la STEP	67
V.1.4 Volume de modulation	69
VI Présentation et Description du périmètre Hennaya	71
VI.1 Localisation	71
VI.2. Superficie	71
VI.3 Contexte climatique	72
VI.3.1 Précipitation	72
VI.3.2 Température	72
VI.3.3 Les vents	72
VI.3.4 Le sirocco	72
VI.3.5 L'insolation	72
VI.3.6 La gelée	72
VI.4 Cadre pédologique	73
VI.4.1 Les sols	73
VI.5 Occupation du sol et pratiques culturales	73
2.6 Calcul des besoins en eau des différentes cultures	76
3 Questionnaire	77
3.1 Questionnaire et leur interprétation	77
Conclusion générale	85

Liste des tableaux

Tableau 1: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation.....	20
Tableau .2 Quelques types de systèmes de traitement des eaux usées, leurs avantages et leurs inconvénients	25
Tableau .3. Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989).	30
Tableau 4 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée.	33
Tableau 5 Évaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre.	38
Tableau 6: Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS.....	39
Tableau 7 : Composition des boues d'aération prolongée.	42
Tableau 8 : Caractéristiques principales des boues de diverses stations d'épurations	42
Tableau 9 Apports cumulatifs maximum recommandés en métaux lourds en provenance des boues et du compost de boues sur les terres agricoles.....	43
Tableau 10 : Les opérations de traitement des boues.	47
Tableau 11 : Principaux germes susceptibles d'être présents dans les boues et Principales maladies dont ils sont responsables.	49
Tableau 12 Mortalité mondiale et découlant de certaines maladies en lien avec l'utilisation des eaux usées en agriculture.....	51
Tableau 13: teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le sol irrigué par EU comparées à un témoin et aux normes anglaises pour les sols agricoles.....	55
Tableau 14 : Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations.....	60
Tableau 15 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.....	62
Tableau 16 : Récapitulatif des Bilans Annuels	69
Tableau 17 : analyses physico-chimiques du mois de janvier 2021 par rapport en norme	69
Tableau 18 : évaluations des superficies irriguer a Hennaya.....	73

Liste des figures

Figure 1: Cycle géochimique simplifié des métaux	<u>16</u>
Figure 2 : installations courantes avec traitement par boues activées	<u>22</u>
Figure 3 : Configuration de base d'une station à boues activées	<u>23</u>
Figure 4 : Les acteurs de la filière de réutilisation des eaux usées en Algérie	<u>62</u>
Figure 5 : localisation de la step d'Ain El-Hout.....	<u>61</u>
Figure 6 : Localisation du périmètre irrigué par les eaux usées traitées	<u>71</u>
Figure 7 : classe de profondeurs des sols du périmètre.....	<u>73</u>

Liste des abréviations

AT : Azote Total

CE : Conductivité Electrique

CEC : Capacité d'échange Cationique

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EM : Element Metalique

EUT: Eau Usée Traitée

FAO: Food and Agriculture Organization

MBR: Membrane Biological Reactor

MBBR: Moving Bed Biofilm Reactor

MES: Matière En Suspension

OMS : Organisation Mondial de la Santé

ONU : Organisation des Nations Unies

ONA : Office National d'Assainissement

ONID : Office National d'Irrigation et de Drainage

PT : Phosphore Total

RS : Résidu Sec

SAR: Sodium Adsorption Ratio

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket

USEPA: United States Environmental Protection Agen

Introduction

Dans le monde, une augmentation de la demande en eau est prévue dans les prochaines décennies. Sans compter le secteur agricole, qui est responsable de 70 % des prélèvements d'eau de la planète.

La réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles n'a pas commencé hier, À l'époque, certains pays d'Asie utilisaient le fumier et l'urine comme amendement aux sols agricoles. aussi, entre les 17^e et 19^e siècles, quelque pays de l'Europe ont commencé à réutiliser les eaux usées dans l'irrigation des cultures, le gouvernement de Londres était l'un des premiers à obliger le rejet des eaux usées dans des canaux construits à cette fin (**Chevalier, 2005**). Or, l'exploitation des eaux usées dans l'agriculture est devenue une pratique fréquente dans certains pays, comme l'Australie, l'Amérique du Nord et le Mexique, vers la fin du XIX^e ème siècle, et jusqu'à notre époque (**Khoury and al., 1994**) auparavant, cette réutilisation des eaux usées n'a pas été sans impact. L'effet négatif sur la santé humaine a conduit, au début du XX^e ème siècle, la construction des premières stations de traitement des eaux usées pour réduire l'impact des eaux rejetées dans le milieu naturel, surtout dans les pays industrialisés (**Chevalier, 2005**). Toutefois, en 1950, dans les pays au climat aride, où les ressources en eau sont limité, la réutilisation des eaux usées a trouvé un milieu favorable pour compenser le manque de précipitations (**Khoury and al., 1994**).

l'eau joue un rôle très important dans le développement économique de plusieurs pays, où l'agriculture est considérée comme une activité prédominante et primordiale. de nos jours, certains pays vivent un état économique critique, car les ressources en eau sont de plus en plus rares. Cette délicate situation est due principalement à une mauvaise gestion intégrée des ressources en eau (**Fernandez et al., 2004**). En revanche, il n'y a pas que la mauvaise gestion de l'eau qui est responsable de cette situation, mais aussi d'autres facteurs comme: l'intensité de l'irrigation agricole, la croissance démographique et les changements climatiques qui exercent également une grande pression sur les ressources en eau.

L'Algérie se situe, à l'instar des pays touchés par le de stress hydrique, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. En 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, ce qui a mis le pays dans une situation confortable, cette ressource a réduit jusqu'à « 720 m³ en 1990, 680

Introduction

m³ en 1995, 630 m³ en 1998 ». Elle est estimée à environ « 500 m³ en 1999 » (**CNES, 2000**). Si nous comparons notre situation avec les 3.600 m³ du Français, les 950 m³ du Marocain, les 925 m³ de l’Egyptien et les 490 m³ du Tunisien. La disponibilité d’eau ne sera plus que de 430 m³ en 2020 et 300 m³ en 2050. De ce fait, le pays est entré dans le troisième millénaire avec une situation critique au regard des normes internationalement retenues (**norme OMS**).

Les volumes d'eaux usées rejetées en Algérie, à travers les réseaux d'assainissement ont été évalués à 350 millions de m³ en 1979, 660 millions de m³ en 1985 et 730 millions de m³ en 2009. Le rejet d'eaux usées des zones urbaines sont évaluées à peu près de 1300 millions de m³ en 2020. La capacité d'épuration des eaux usées est de 365 millions de m³/an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation. Le recours croissant à cette ressource d'eau non conventionnelle constitue une incitation pour améliorer son utilisation en agriculture, sachant que, dans les années 2000, seulement 40 % des besoins en eau agricole étaient satisfaits.

Dans le contexte de valoriser les eaux usées épurées en Algérie, ce mémoire a été élaboré. Le travail consiste à l'étude de l'impact de la réutilisation des eaux usées sur la qualité des végétaux. Pour ce faire, dans la partie bibliographique et dans le premier **chapitre I** est consacré aux généralités sur les eaux usées et leurs traitements, dans le **chapitre II** sont données les critères de Qualité des Eaux Usées pour L'irrigation, au **chapitre III**, les boues résiduelles sont à leurs tours décrites pour qu'en **chapitre IV**, les Maladies associées à l'utilisation des eaux usées sans traitement en agriculture seront expliquées. Dans la partie 2 l'étude sur le terrain pratiquée est exposée commençant par la description de la STEP d'Ain El Houtz, suivie de celle du périmètre irrigué de Hennaya et enfin le retour du questionnaire retraçant l'enquête sur le terrain faite auprès des agriculteurs.

Partie bibliographique

Chapitre I Généralités sur les eaux usées

I.1 Introduction

Les eaux usées urbaines proviennent généralement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations. Les eaux domestiques proviennent des activités humaines quotidiennes, alors que les eaux usées industrielles sont très divers en termes de quantité et de qualité. Leurs caractéristiques dépendent du type d'industrie et du niveau de traitement que les eaux usées subissent avant leurs évacuations.

La composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend, en d'autres termes:

- essentiellement des activités humaines
- la composition des eaux d'alimentation en eau potable, accessoirement de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau pour quelques constituants chimiques,
- la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées comportent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principaux obstacles imposés à la réutilisation des eaux usées. En fait, la réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés essentiellement par les taux de concentration en microorganismes. Donc Il est indispensable de connaître la composition des eaux usées afin de définir les domaines de réutilisation possibles et le niveau de restriction. (**Belaid 2010**)

I.2 Composition des eaux usées

I.2.1 Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les protozoaires, bactéries, virus, et les helminthes.

I.2.1.1 Les bactéries

Les bactéries sont les microorganismes les plus rencontrés communément dans les eaux usées (Toze, 1999). Parmi les plus détectées sont retrouvées : les salmonellas, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux ; Les coliformes thermotolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

I.2.1.2 Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées est difficile, ce qui conduit à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux il faut citer les entérovirus (exemple: polio), les rotavirus, les retrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Les virus sont plus résistants dans l'environnement que les bactéries, Aulicino et al. (1996) ont constaté qu'au cours de processus de traitement des eaux usées les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiquement utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux. De plus les auteurs ont détecté plusieurs virus dans les milieux récepteurs recevant des effluents traités tels que les rivières et les étangs. D'autre part, Blanc et Nasser (1996), ont constaté que les virus sont plus persistants, à température ambiante, dans un sol irrigué par des EUT que certains autres bactériophages.

I.2.1.3 Les protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voire même plusieurs années (Campos, 2008). Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées (Gennaccaro et al., 2003). Parmi les plus importants du point de vue sanitaire. On cite *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* (Toze 1997, in Toze, 2006). 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (Campos, 2008).

I.2.1.4 Les helminthes

Les helminthes sont des parasites intestinaux rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'oeufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 103 germes L-1. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire (**Toze, 2006**). Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs.

Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. La persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales et leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (**Campos, 2008**).

Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*. L'analyse des risques sanitaires liés aux agents pathogènes susceptibles d'être transportés par les eaux usées est le fondement des recommandations proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989 (**OMS, 1989**).

I.2.2 Eléments traces et métaux lourds

On différencie principalement les sources d'origine naturelle et anthropique. En effet, les métaux sont présents naturellement dans les sols. Certains en sont des constituants majeurs (Al) ou importants pour la structure des minéraux (Fe, Mn) (**Baize and Sterckeman, 2001; Hamon et al., 2004; Horckmans et al., 2005**).

Les principaux phénomènes naturels conduisant à la dissémination des métaux dans les compartiments environnementaux sont l'érosion des roches et l'activité volcanique (**Doelsch et al., 2006**). Dans le cas de l'activité volcanique, bien que la majeure partie de ces métaux retombe dans un rayon de 100 km, une partie significative atteint la stratosphère et se disperse sur l'ensemble du globe terrestre (**Garrett, 2000**). D'autre part, l'altération chimique des roches permet une mise en circulation naturelle des métaux sous forme dissoute. La figure 1 montre le cycle des métaux dans l'environnement.

Cycle géochimique simplifié des métaux lourds

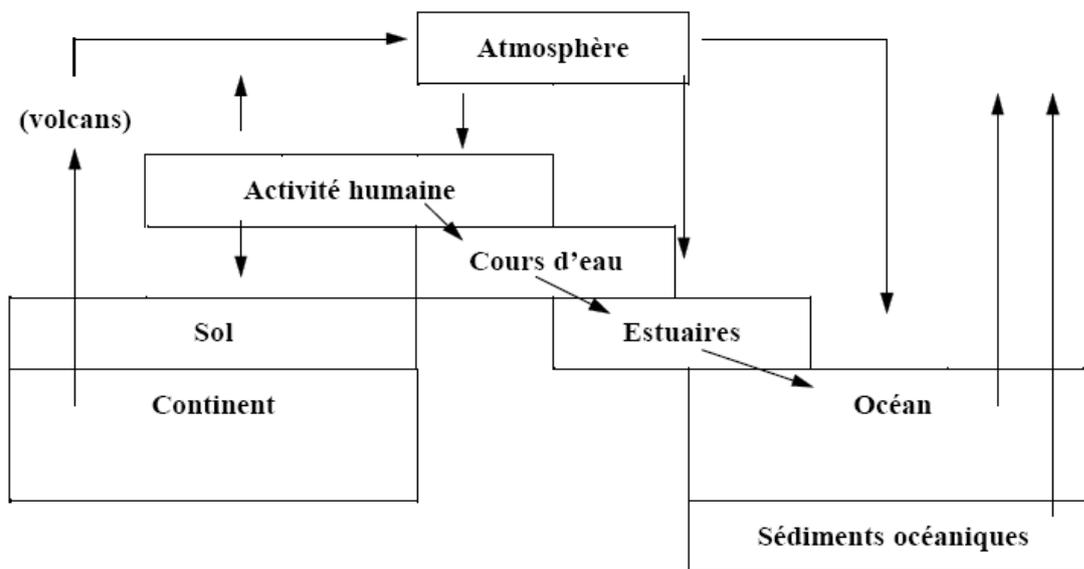


Figure 1: Cycle géochimique simplifié des métaux (Miquel, 2001)

En plus du fond géochimique, les milieux aquatiques sont riches en métaux par les activités humaines. Les métaux sont utilisés par l'homme comme matériaux mais aussi comme réactifs dans l'industrie (traitement de surface, intermédiaire réactionnel...) et l'agriculture (phytosanitaires). Les activités industrielles, ainsi que le trafic automobile émettent de fines particules métalliques dans l'atmosphère, principalement dans les zones urbaines (Azimi et al., 2005). Les métaux disséminés se déposent dans les divers compartiments environnementaux tels que les plans d'eau et les sols. Les métaux déposés sur les sols peuvent atteindre les cours d'eau par ruissellement au cours des événements pluvieux.

Dans le cas du réseau unitaire de collecte des eaux usées, les EU urbaines sont composées d'un mélange, d'eaux usées domestiques, industrielles et d'eaux de ruissellement. Les métaux contenus dans les eaux de ruissellement proviennent des dépôts atmosphériques et aussi de la corrosion des surfaces de ruissellement (ex : toitures, gouttières) (Ribeiro Gromaire et al., 2001). la plupart des métaux dans les eaux de ruissellement sont associés aux matières en suspension ou aux colloïdes (Makepeace et al., 1995). Dans les eaux industrielles, les métaux découlent directement de leur utilisation dans les procédés industriels. Ces eaux usées se caractérisent par une variabilité importante de leur charge polluante

Dans certaines régions, les rejets miniers constituent, également, une source ponctuelle importante de métaux lourds (**Braungardt et al., 2003 ; Figueira, 2005**). A l'entrée des stations de traitement, une large partie des métaux contenue dans les eaux usées se trouve complexée avec la matière organique dissoute (**Kunz et Jardin 2000, Giokas et al. 2002**). Les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires, cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn), peuvent constituer des risques sanitaires significatif pour les humains et les animaux et peuvent affecter, à long terme, les cultures irriguées par suite d'accumulation dans le sol (**FAO, 2003**).

I.2.3 Substances nutritives

Une grande quantité de nutriment se trouvent dans les eaux usées, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture (**Hamoda, 2004**). Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes. D'après **Faby et Brissaud (1997)**, une lame d'eau résiduaire traitée de 100 mm peut apporter à l'hectare de terre agricole environ :

- 16 à 62 kg d'azote,
- 2 à 69 kg de potassium,
- 4 à 24 kg de phosphore,
- 18 à 208 kg de calcium,
- 9 à 100 kg de magnésium,
- 27 à 182 kg de sodium

Des macro- et micronutriments peuvent également être présents dans les eaux usées. En outre, la présence de matière organique sous différentes formes dans l'eau usée (solides en suspension, éléments colloïdaux et matières dissoutes) peut, par son effet à long terme sur la fertilité du sol, participe également à la stabilité structurale du sol (**FAO, 2003**).

Cette matière organique dans l'eau usée influe sur la biodisponibilité des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes (**Toze, 2006**), y-compris sur ceux se trouvant originellement dans le sol. Cependant, la valeur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constituer alors une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut poser aussi des problèmes de développement végétatif excessif, en retardant la

maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, en usage agricole, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale (FAO, 2003).

Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un gain pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Dans ce cadre, la FAO (2003) a promulgué de nouvelles mesures : Il est recommandé de surveiller NO₃-N, NH₄-N, P et K, pour trois raisons principales :

- l'estimation des engrais additionnels à fournir
- le choix du système agricole approprié pour la meilleure efficacité d'utilisation des nutriments et de l'eau.
- la protection des eaux de surface et souterraine de la pollution par NO₃-N.

I.2.4 Autres paramètres caractéristiques

I.2.4.1 Matière en suspension et matière organique

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES (FAO, 2003). Les particules en suspension peuvent être éliminées par décantation. C'est une étape efficace et simple pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas un obstacle à la réutilisation de ces eaux. En revanche, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes (FAO, 2003). De plus, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent en surface. Enfin, une excessive présence de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation. (Belaid, 2010).

I.2.4.2 Eléments toxiques organiques

Les eaux usées contiennent des composés toxiques très persistants et qui ont une grande lipophilicité. On peut citer les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkylphénols (**Belgiorno et al., 2007**). Il s'est avéré que les stations d'épuration sont des sources potentielles de ces produits toxiques (**Belgioro et al., 2007; Andreozzi et al., 2003**). En revanche, les faibles concentrations en ces composés dans les eaux usées limitent le risque d'exposition lors de leur réutilisation pour l'irrigation (**Toze, 2006**). En plus, En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues plutôt que dans les eaux résiduaires (**FAO, 2003**).

I.2.4.3 Salinité

La salinité d'eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Elle est exprimée soit par la valeur de la conductivité électrique (CE) ou par le résidu sec (RS).

La CE de l'eau, peut être estimée à partir de la concentration en RS exprimé en g/l, en utilisant à titre indicatif les relations approximatives suivantes :

- $RS (g/l) = 0,64 \times CE (dS/m)$ lorsque $CE < 5 dS/m$.
- $RS (g/l) = 0,80 \times CE (dS/m)$ lorsque $CE > 5 dS/m$.

la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable (**Faby et al, 1997**). Lorsque les eaux usées sont valorisées en irrigation, d'autres paramètres entrent en considération notamment le SAR (ratio du Sodium Absorbable) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium échangeables. le SAR et la CE de l'eau destinée pour l'irrigation, sont utilisés en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de salinisation des sols (Tableau 1). (**Belaid, 2010**).

Tableau 1: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (Ayers et Westcot, 1985)

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
CE	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>0,30
TDS	mg/L	<450	450-2000	>2000
Infiltration				
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
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
Irrigation par aspersion	méq/L	<3	>3	
Chlorure (Cl)				
Irrigation de surface	méq/L	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	méq/L	<3	>3	
Bore (B)	méq/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	méq/L	<5	5-30	>30
Bicarbonates (HCO ₃)	méq/L	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH		Gamme normale 6,5 - 8,4		
CE: conductivité électrique; TDS: total dissolved solids; SAR: rapport d'absorption du sodium				

I.3 Traitement des eaux usées

Les eaux usées soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel. En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur.

De l'entrée de l'usine jusqu'au rejet dans le milieu naturel, les différentes étapes du traitement des eaux usées et les tâches effectuées sont schématiquement les suivantes :

I.3.1 Prétraitement

Dégrillage

Éliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques, etc.) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station. (BRAME, 1986).

Dessablage

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments solides qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille relativement importante, supérieure à 0.2mm de diamètre, pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement les pompes, on élimine ces matériaux facilement décantables dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires, les sables ainsi séparés, peuvent être mélangés aux autres boues sans problèmes majeurs si ce n'est qu'ils sont fermentescibles, il existe des dessableurs aérés pour pallier cet inconvénient. (Ramdani.2007)

Dégraissage-déshuilage

Les eaux usées urbaines contiennent souvent des matières flottantes qui passent à travers les grilles (huiles, hydrocarbures, débris de graisse, fragments de matières plastiques, etc.). Les huiles et hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération, dans le cas des boues activées, quant aux matières flottantes solides elles risquent de former des bouchons qui pourraient bloquer des canaux ou des orifices dans la station, il est donc nécessaire de piéger ces substances au niveau du prétraitement par un dispositif d'écumage, comme pour les refus de grilles, les résidus de déshuilage ne doivent être mélangés aux boues que s'il est prévu une incinération. (DUCHENE,1990).

I.3.2 Traitement primaire

La décantation «primaire» s'effectue dans des bassins, le plus souvent de forme cyclonique, mais il existe bien d'autres types de décanteurs. Elle permet d'éliminer 70 % environ des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues dites «primaires». Celles-ci sont récupérées par raclage au fond du bassin et envoyées dans des épaisseurs pour y être traitées. Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'incorporation de produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, agents de coagulation...). Cette technique qu'on appelle «floculation» permet de capter 90 % des matières en suspension.

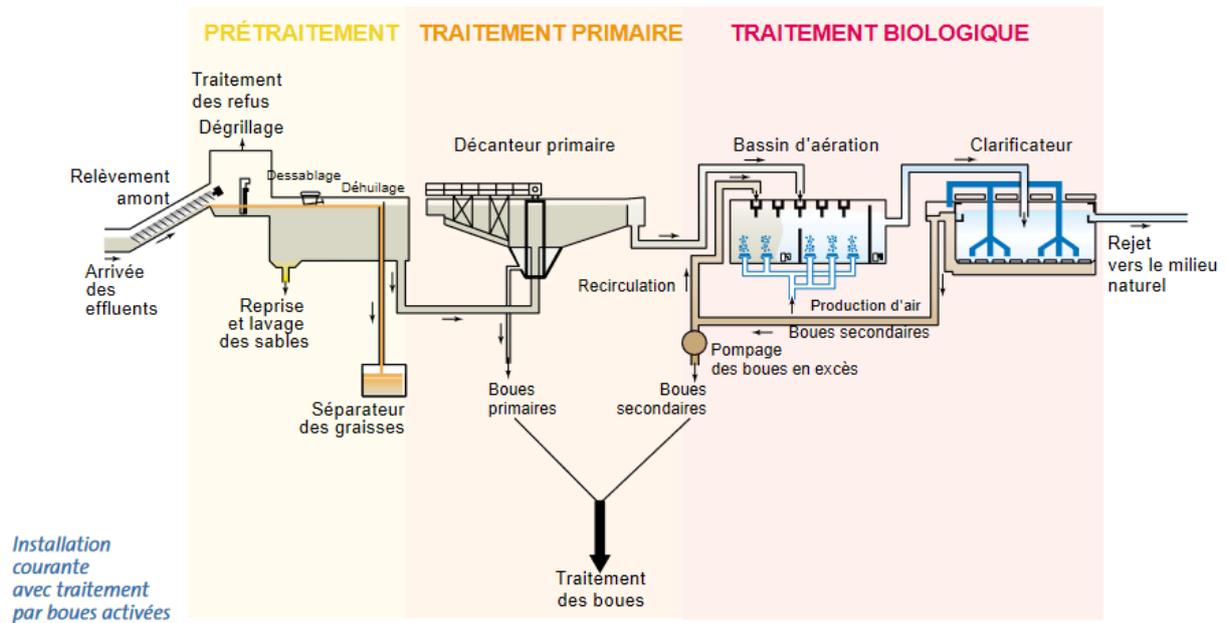


Figure 2 : installations courantes avec traitement par boues activées (Aussel et al , 2004)

I.3.3 Traitement biologique

Les traitements biologique consistent en une consommation de la matière organique contenue dans les eaux usées et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) par des microorganismes déjà présents dans ces eaux, et ce généralement en présence d'air ou d'oxygène, la croissance de la faune et de la flore donne lieu à des flocons plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (VEDRY, 1975)

Les boues activées

Les eaux usées décantées sont aérées avec des turbines agissant à la surface de l'eau ou par des rampes d'air comprimé ou d'oxygène ou d'air enrichi en oxygène au fond d'un bassin, après ce traitement les eaux sont à nouveau décantées. Une partie des boues sont envoyées dans les bassins d'activation pour maintenir la population des microorganismes intervenant dans l'épuration, le reste des boues, appelé boues en excès, est soutiré pour subir un traitement, on peut prolonger le temps d'aération de façon à obtenir une minéralisation plus forte des boues, c'est le procédé couramment employé de l'aération prolongée. La quantité des boues produites et d'autant plus importante que la charge organique (DBO en kg / m³) est plus grande, mais le

rendement se trouve alors diminué. La charge organique des eaux usées urbaines varie entre 0.15 et 0.35 kg DBO /m³ (Verdy, 1975).

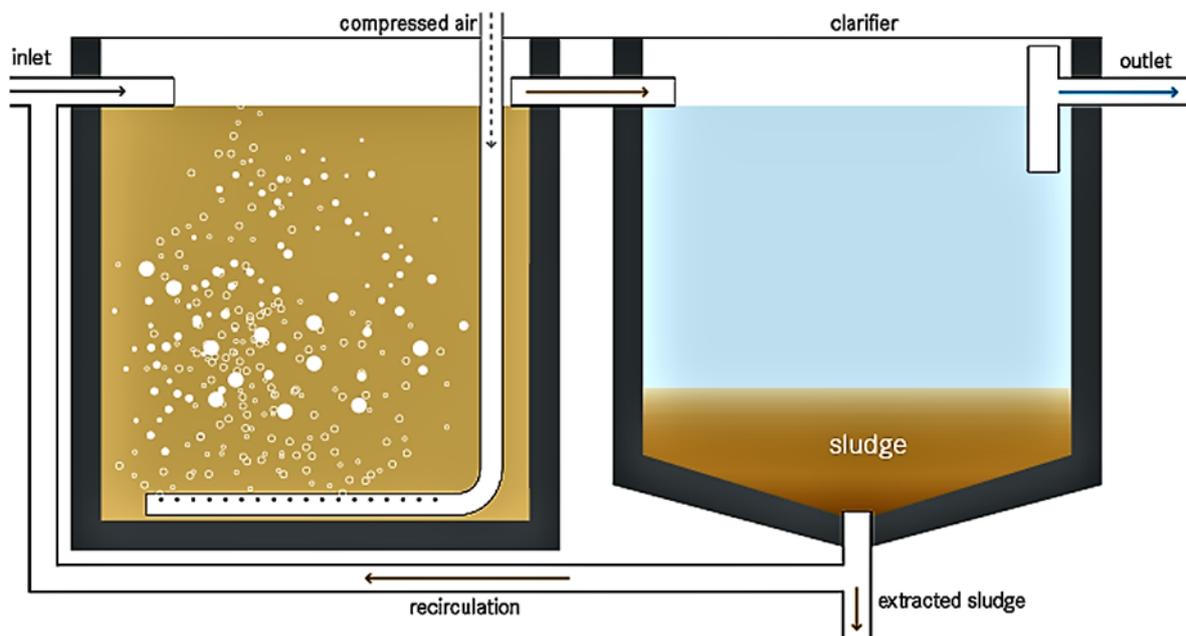


Figure 3 : Configuration de base d'une station à boues activées

Les lits bactériens

Les lits bactériens consiste à faire ruisseler les eaux usées décantées à travers une masse de pierres ou de matières plastiques présentant une grande surface et sur laquelle un film bactérien (zooglé) se développe et qui consomme les matières organiques contenues dans l'eau en présence d'oxygène, d'air, le film croit au fur et à mesure de la consommation des matières organiques et se détache sous l'influence des gouttes d'eaux qui tombent sur le garnissage. L'eau épurée et décantée et une partie des boues sont recyclées comme pour les boues activées (Brame, 1986).

Le lagunage

Si le prix du terrain n'est pas prohibitif et la topographie des lieux le permet, on envoie l'eau usée prétraitée ou non dans un étang peu profond où la matière organique et les substances nutritifs sont consommées par des algues grâce au processus de photosynthèse. Ce traitement extensif produit peu de boues car la charge est faible et la surface est si importante que la collecte des boues peut n'avoir lieu que tous les cinq ans (Jarosz, 1985).

I.3.4 Le traitement anaérobie de l'eau

Dans le cas des eaux usées urbaines, on utilise essentiellement la fosse imhoff ou la fosse à double étage, qui consiste en une consommation des matières organiques par les microorganismes présents dans l'eau en absence d'air. Une fermentation méthanique se produit dans une première fosse et on recueille ainsi les eaux épurées dans une seconde fosse placée sous la première pour qu'elles puissent décanter, ce traitement est de mois en mois utilisé car il est difficile à conduire et son mauvais fonctionnement peut avoir de graves inconvénients (odeurs nauséabondes, risques d'explosion, formation d'une croûte en surface etc.) en outre les quantités de gaz produites sont trop faibles pour qu'on puisse penser à les récupérer, on recueille les boues par soutirage et écrémage. (**Jarosz, 1985**).

I.3.5 Les traitements physico-chimiques

Les eaux usées domestiques contiennent des matières en suspension de dimension très petite et des matières colloïdales pour lesquelles la décantation et la filtration posent des problèmes techniques difficile à Certains produits minéraux ou organiques ont la propriété d'agglomérer ces fines particules en flocons plus facilement décantables, on utilise de plus en plus ce procédé dans les stations dont la charge varie au cours du temps, pour faire face au périodes de pointes (stations de sport d'hiver ou au bord de la mer). Les sels de fer ou d'aluminium et la chaux sont couramment utilisés pour les eaux usées urbaines à des concentrations de l'ordre du décigramme par litre alors que les polyélectrolytes naturels (alginates) ou de synthèse donnent de bons résultats pour des teneurs de l'ordre du milligramme par litre, le coût élevé de ces derniers conduit généralement à l'utilisation simultanée des agents de floculation organiques et minéraux. Le sel minéral présent dans les boues augmente le volume et le poids, ceci aura évidemment une influence sur les traitements ultérieurs des boues (**Mathian, 1986**).

Tableau 2 Quelques types de systèmes de traitement des eaux usées, leurs avantages et leurs inconvénients

Source: compilé par Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUE) et Angela Ortigara Renata Cordeiro (WWAP), sur la base des données de l'OMS (2006) et d'ONU-Eau (2015a).

Type	Type d'eaux usées	avantages	inconvénients	composant éliminées
Systèmes septiques	Eaux usées domestiques	Simple, robuste, entretien facile, économie d'espace	Faible efficacité de traitement, nécessité d'un traitement secondaire, effluent pas inodore. Le contenu doit être retiré à intervalles réguliers	DCO, DBO, matières en suspension totales, graisse
Toilettes à compostage	Excréments humains, papier toilette, additifs de carbone, déchets alimentaires)	Réduire la consommation de déchets et favoriser le recyclage des nutriments (par exemple l'utilisation des boues qui en résultent dans l'agriculture	Besoin d'une conception et d'une maintenance appropriée afin de protéger l'environnement et la santé humaine	Volume réduit de 10 à 30 % ; pathogènes
Filtre anaérobie	Eaux usées domestiques et industrielles stabilisées de faible rapport DCO/DBO	Simple et assez durable ; s'il est bien construit et que les eaux usées sont convenablement prétraitées, il offre une efficacité de traitement élevée ; occupe peu d'espace	Le matériau du filtre peut être onéreux, le filtre peut s'encrasser, les effluents ne sont pas inodores	DBO, matières dissoutes totales, matières en suspension totales

Traitement anaérobie (par exemple biodigesteur, UASB, etc.)	Excréments humains, déchets animaux et agricoles	Recyclage de la ressource: le gaz produit peut être utilisé pour la production d'électricité, la cuisine et l'éclairage	Exploitation et entretien complexes; fuite potentielle de CH ₄ ; risque de blocage du réservoir du digesteur par des solides (réduisant son efficacité); potentiel limité pour l'élimination des nutriments	DCO, DBO, matières en suspension totales, graisse
Étangs de stabilisation	Eaux usées domestiques, industrielles et agricoles, système approprié pour les petites ou moyennes villes	Les étangs de maturation peuvent assurer une bonne élimination des bactéries. La boue doit être éliminée à intervalles réguliers, faute de quoi il peut y avoir de graves conséquences. Le biogaz peut être récupéré en tant que source d'énergie	Nécessite de vastes étendues de terres; parfois une forte DBO et un volume élevé de matières en suspension sont présents dans les effluents à cause des algues, mais cela est relativement inoffensif. Le processus est parfois considéré comme adapté seulement aux climats chauds, mais il peut être utilisé dans des climats tempérés également.	DBO, matières en suspension, AT, PT
Étangs de stabilisation des eaux usées à base de lentilles d'eau	Eaux usées domestiques et agricoles	Pas de risque d'encrassement, taux élevés d'élimination de nutriments	Nécessite de vastes étendues de terres, nécessite des récoltes constantes; inadapté aux régions très venteuses.	DBO, matières en suspension, AT, PT, métaux

Zones humides artificielles	Eaux usées domestiques et agricoles, petites communautés, traitement tertiaire pour les industries	Demande en énergie faible ou nulle, coûts de maintenance faibles, esthétique, valeur commerciale et pour l'habitat	Nécessite de vastes étendues de terres, possibilité d'encrassement du système	Matières en suspension totales; DCO; AT, PT
Traitement biologique aérobie (par exemple les boues activées)	Eaux usées domestiques et agricoles.	Bon niveau d'élimination de DBO, et l'usine peut être exploitée pour faciliter l'élimination de l'azote et du phosphore).	Exigences de maintenance élevées, inefficacité en eau profonde (par conséquent, les bassins sont généralement peu profonds) et par temps de gel. Élimination limitée des charges bactériennes et forte production de boues.	DBO, matières en suspension, AT, PT,
Système de membranes Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse	Eaux usées stabilisées, peuvent être utilisées en combinaison avec les processus biologiques (par exemple BRM et MBBR)	Processus qui ferment le cycle de l'eau et produisent une eau de haute pureté pour réutilisation	Coûts élevés et besoins élevés en termes d'exploitation, d'entretien et de consommation d'énergie	..La microfiltration et l'ultrafiltration éliminent tous les agents biologiques et les macromolécules. La nanofiltration élimine les molécules organiques simples. L'osmose inverse élimine les ions inorganiques.

Chapitre II Critères de Qualité des Eaux Usées pour L'irrigation

II.1 Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées

L'eau usée est unique du point de vue composition. Les constituants physiques, chimiques et biologiques qui s'y trouvent doivent être pris en considération. (FAO 2003)

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. A ce propos, les directives générales peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins agricoles, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques. (FAO 2003)

II.1.1 Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles.

On estime que la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques 200 mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement ou lors de collecte d'eaux industrielles. Cette augmentation n'est pas important, en elle-même, de compromettre une irrigation.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation:

- Les dommages causés aux sols et donc indirectement, les rendements culturaux.
- Les dommages causés aux cultures.

Cependant, s'il y a pénurie en 'eau, la salinité peut être un problème. La quantité et le type de sels présents sont importants pour savoir si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments.

II.1.2 Salinisation

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage; ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol.

La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol, l'eau qui lui est nécessaire.

II.1.3 Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation.

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu.

Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue suivant le niveau de salinité.

II.1.4 Sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader leurs propriétés physiques, leur capacité de drainage. Donc leur perméabilité conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration 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 du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. D'autre part, à proportions égales de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée. (Moussaoui, 2017)

II.2 Critères de qualité biologique

Les critères de qualité de l'eau usée traitée et les directives de son utilisation sont les bases essentielles d'une installation réussie de tout projet de recyclage d'eau usée traitée. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Une réutilisation restrictive ou non restrictive peut être adoptée en fonction de la qualité microbiologique. Chaque pays possède des directives et/ou règlements auxquels les agriculteurs doivent obligatoirement se conformer. Les directives de l'OMS sont portées sur le (tableau 3)

Tableau 3. Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989)

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

a Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes.

b Pendant la période d'irrigation.

c Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec les quelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

d Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.

e Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion

II.3 Les fertilisants dans les eaux usées traitées

La concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur agronomique des eaux usées. Mais ces éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant en cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée ou à un apport d'eau usée important.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn...), qui sont essentiels à la nutrition des plantes.

Par contre, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constituer ainsi une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif, qui retarde la maturité ou réduit la qualité des cultures irriguées. Donc il est nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. (**Boutin 2009**)

II.3.1 L'azote

L'azote (N) joue un rôle important dans le métabolisme des plantes. En effet, c'est le constituant numéro un des protéines qui sont les composés fondamentaux de la matière vivante. L'excès de N, avec le temps couvert et froid, entraîne l'accumulation des nitrates dans la plante. L'excès des nitrates dans le tissu végétal est néfaste pour la santé du consommateur. (**Boutin,2009**)

La teneur en azote dans les eaux usées peut varier de 20 à plus de 100 mg/l, selon les usages et le traitement de l'effluent de ces eaux (**FAO, 1992**).

L'usage des eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés, qui se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée et d'autre part aux risques de pollution des nappes phréatiques. L'azote en quantité excessive peut dans certaines mesures perturber des productions, retarder la maturation des cultures, abricots, agrumes, avocats, altérer leur qualité, et réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves,...etc. (**Faby, 1997**).

II.3.2 Le phosphore

Le phosphore joue les rôles suivants: transfert d'énergie (ATP), transmission des caractères héréditaires (acides nucléiques), photosynthèse et dégradation des glucides. C'est un élément essentiel pour la floraison, la nouaison, la précocité de la production et la maturation des graines.

Dans l'eau usée après traitement secondaire, le phosphore varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure (**FAO, 2003**). Selon (**FAO, 1992**), l'effluent des eaux usées peut contenir 5 à 50 mg/l du phosphore, selon

l'alimentation et l'usage de l'eau de la population. Pendant le prétraitement des eaux usées, et par infiltration à travers le sol, le phosphore organique est converti biologiquement en phosphate.

Dans les sols calcaires à pH alcalin, le phosphate se précipite avec le calcium pour former le phosphate du calcium.

Dans les sols acides, le phosphate réagit avec le fer et les oxydes d'aluminium dans le sol pour former des composés insolubles.

Quelquefois, le phosphate est immobilisé initialement par adsorption au sol et revient lentement en formes insolubles, autorisant plus d'adsorption de phosphate mobile, etc. Dans les sables propres avec pH neutre, le phosphate peut être relativement mobile.

II.3.3 Le potassium

Cet élément est très mobile dans la plante et est circule rapidement dans les différents organes du végétal. Le potassium joue un rôle fondamental dans l'absorption des cations, dans l'accumulation des hydrates des protéines, l'organisation de la cellule, le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation des stomates.

Le potassium est un élément de résistance des plantes au gel et à la sécheresse ; c'est un activateur du système enzymatique.

Il est essentiel pour le transfert des assimilats vers les organes de réserve (bulbes et tubercules). Dans toutes les conditions de stress, l'apport de K permet de corriger les perturbations éventuelles.

II.3.4 Le bore

Cet élément joue un des rôles majeur pour les plantes puisqu' il intervient au niveau du métabolisme et du transport des glucides, il joue un rôle important au niveau de la formation et de la fertilité du pollen. Il participe à la synthèse des protéines, il a un rôle fondamental dans la résistance des parois cellulaires et favorise la fixation de N₂ atmosphérique chez les légumineuses.

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. À très faibles concentrations, indispensable à la croissance des végétaux, Ces besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées mais lorsque sa concentration excède 1 mg/l, il peut être toxique pour les plantes sensibles.

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

rendement et de bonne qualité. Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.

Les quantités en N, P et K appliquées par hectare avec une irrigation de 1000 mm d'eau usée ayant une concentration telle que montrée sur le (tableau 4).

L'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée.

Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins des cultures en eau.

Tableau 4 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée

	N	P	K
Concentration en nutriments (mg/l)	40	10	30
Nutriments apportés annuellement par l'application de 10000 m ³ d'eau/ha (1000 mm)	400	100	300

Dans l'hypothèse d'un taux d'application moyen annuel d'eaux usées épurées de 8 000 m³/ha, l'apport total en azote (N) est de 160 kg/ha/an et en phosphore (P) de 56 kg/ha/an. Une jeune plantation qui se développe rapidement peut exporter jusqu'à 120 à 150 kg de N/ha/an et environ 12 kg de P/ha/an. En termes de gestion des éléments nutritifs, l'irrigation avec des eaux usées épurées peut apporter en moyenne par mois en éléments fertilisants :

- azote : 55 kg par hectare,
- phosphore : 12 kg par hectare,
- potasse : 45 kg par hectare,
- magnésium : 60 kg par hectare.

De telles quantités d'engrais fournissent la totalité ou plus de N normalement requise pour certaines cultures ainsi qu'une grande partie du P et du K. A cet égard, chaque culture doit être considérée séparément pour estimer les besoins en éléments fertilisants supplémentaires.

Dans certains cas, les nutriments dans l'eau usée peuvent être en quantité supérieure à ceux nécessaires à la croissance équilibrée des cultures et peuvent potentiellement stimuler une excessive croissance des parties végétatives des cultures plutôt que les fleurs et les graines.

Cela peut être un problème pour des cultures comme le tournesol, le coton et quelques fruits. En cas d'excès de nutriments, un système de culture et/ou un mélange approprié d'eau usée traitée et de l'eau douce, pour réduire l'application de fertilisants, sont des méthodes conseillées (FAO, 2003).

La plupart des eaux usées traitées contiennent habituellement des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Ces éléments jouent un rôle déterminant dans le métabolisme de la plante, essentiellement dans les réactions enzymatiques. Leurs rôles spécifiques se présentent comme suit :

Le cuivre : Stimule la germination et la croissance, renforce les parois cellulaires, catalyse la formation d'hormones de croissance, il joue un rôle essentiel dans la nitrification.

Le fer : Élément essentiel dans la formation de la chlorophylle, il a un rôle dans le transport d'oxygène (respiration), c'est un catalyseur de plusieurs enzymes, Le manque de fer disponible dans la plante entraîne un symptôme bien connu et fréquent : la chlorose des feuilles, qui prennent alors une teinte jaune plus ou moins prononcée. La chlorose affecte la capacité photosynthétique de la feuille, ce qui freine la croissance et le développement de la plante entière.

Le manganèse : il permet de résister au gel, c'est un activateur du nitrate réductase. Il est considéré comme oligo-élément. Sa carence a des effets néfastes sur les plantes. Parmi les cultures sensibles aux carences de Mn, on trouve les céréales (blé, avoine), les cultures maraîchères et les légumineuses.

Le Zinc : A un rôle important dans la formation de plusieurs hormones de croissance et du développement des fruits. (Moussaoui, 2017).

II.4 Irrigation avec l'eau usée traitée

L'irrigation joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle pour une agriculture économiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie. (FAO, 2003).

II.4.1 Méthodes d'irrigation

II.4.1.1 Méthodes (traditionnelles) de surface

- irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface du terrain
- Irrigation par tuyaux.

- Irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain est humectée.

Ces méthodes sont utilisées sur presque 95% des superficies irriguées à travers le monde. Elles sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Elles conviennent à beaucoup de pays en voie de développement, en particulier si l'eau n'est pas le facteur limitant pour la production agricole. (FAO, 2003).

II.3.1.2 Méthodes d'irrigation sous pression

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

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

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

II.3.1.3 Choix du système d'irrigation

Le choix du système d'irrigation dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public. (Le tableau 5) qui évalue la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, la raie (ou sillon), l'aspersion, le goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est également valable pour l'eau usée traitée, en particulier en ce qui concerne la salinité.

Les problèmes de colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs et des systèmes d'irrigation souterrains peuvent être sérieux. Son développement (dépôts biologiques, bactéries, etc.) dans les asperseurs, les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation, produit le colmatage. Les sels et les solides en suspension peuvent également produire le colmatage. Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme

le système idéal en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension (MES). (Fao,2003)

Recommandations

Les agriculteurs doivent savoir que pour une eau usée traitée répondant à la directive de l'OMS, toutes les méthodes d'irrigation sont appropriées du point de vue du contrôle de la transmission de maladies, à condition que les critères agricoles soient également rencontrés.

Si l'eau usée ne répond pas aux critères de santé alors:

- l'irrigation par aspersion (mini asperseurs, asperseurs, 'cracheurs', etc.) est seulement limitée aux fourrages, fibre, et production de graines.
- l'irrigation par pulvérisation d'eau sur les pelouses ou les domaines à accès illimité, peut être pratiquée pendant la nuit.
- l'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en conditions venteuses. Les microbes pathogènes peuvent être emportés par le bouillard ou l'aérosol formé par la dérive du vent ce qui peut engendrer un risque sanitaire pour les ouvriers, les habitants de la ferme et des zones résidentielles voisines.
- si l'eau usée traitée n'a pas la qualité sanitaire et/ou environnementale acceptable, il faut mélanger l'eau usée traitée avec l'eau d'irrigation conventionnelle, si elle est disponible, pour permettre d'atteindre les prescriptions pour un certain usage.

Les méthodes d'irrigation doivent également être examinées par rapport à l'ampleur de leur pratique dans une zone ou un pays, l'expérience des agriculteurs avec certaines méthodes et l'ampleur de la contamination qu'elles peuvent induire sur les cultures, en particulier sur les parties comestibles. (FAO,2003).

II.4.2 Quantités d'eau et programmation des irrigations

A toutes fins pratiques, le besoin en eau des cultures est égal à leur évapotranspiration. Cette quantité pourrait être dépassée à cause des besoins en eau de lessivage. Une étude approfondie de ce sujet et des directives est donnée dans le bulletin numéro 24 de la série 'Irrigation et Drainage' de la FAO (1984). Le logiciel, appelé CROPWAT est disponible à la FAO, Il permet de déterminer des besoins en eau des cultures à partir de données climatiques. On peut

également employer la méthode simple, basée sur l'évaporation d'un bac d'évaporation.(FAO,2003)

Tableau 5 : Évaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990).

Paramètres d'évaluation	Irrigation à la raie	Irrigation à la planche	Irrigation par aspersion	Irrigation localisée
Le mouillage foliaire et endommagement des feuilles ayant pour résultat un rendement faible	Aucun dommage foliaire si la culture est plantée sur la crête du billon	Quelques feuilles inférieures peuvent être affectées, mais les dommages ne sont pas suffisamment sérieux pour réduire le rendement	Les feuilles peuvent être sévèrement endommagées ayant pour résultat une perte significative de rendement	Aucun dommage foliaire ne se produit avec cette méthode d'irrigation
Accumulation de sels dans la zone des racines avec les applications répétées	Les sels tendent à s'accumuler sur la crête du sillon, ce qui peut nuire à la culture	Les sels se déplacent vers le bas et ne sont pas susceptibles de s'accumuler dans la zone des racines	Les sels se déplacent verticalement et la zone racinaire n'est pas susceptible d'accumuler des sels	Les mouvements de sel sont radiaux le long de la direction du mouvement de l'eau. Une zone salée est formée entre les points de goutte à goutte
Capacité de maintenir un potentiel élevé de l'eau dans le sol	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Il n'est pas possible de maintenir un potentiel en eau du sol élevé tout au long de la saison de croissance	Possibilité de maintenir un potentiel élevé en eau du sol tout au long de la saison de croissance et de réduire au minimum l'effet de la salinité
Convenance pour manipuler l'eau saumâtre sans perte significative de rendement	Faible à moyenne. Avec une bonne gestion et un bon drainage, il est possible d'obtenir des rendements acceptables	Faible à moyenne. Les bonnes pratiques en matière d'irrigation et de drainage peuvent produire un niveau de rendement acceptable	Très faible à faible. La plupart des récoltes souffrent de dommages sur des feuilles et d'un faible rendement.	Excellent à bon. Presque toutes les cultures peuvent se développer avec une réduction de rendement faible.

Tableau 6 : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989).

Méthode d'irrigation	Facteurs affectant le choix	Mesures spéciales pour les eaux usées
Irrigation à la planche	Plus faible coût, planage précis non nécessaire	Protection complète pour les ouvriers agricoles, les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage précis peut être nécessaire	Protection pour les ouvriers agricoles, éventuellement pour les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation par aspersion	Efficacité moyenne d'utilisation de l'eau, nivellement non requis	Quelques cultures de la catégorie B*, principalement les arbres fruitiers, ne devraient pas être irrigués. Distance minimum de 50 – 100 m des maisons et des routes. Des eaux ayant été traitées par voie anaérobie ne devraient pas être employées, en raison des nuisances olfactives.
Irrigation souterraine et localisée	Coût élevé, efficacité d'utilisation de l'eau élevée, rendements plus élevés	Filtration pour prévenir le colmatage des distributeurs

* Les catégories de cultures sont présentées aux chapitres suivants

Acti

II.5 La Réutilisation des Eaux Usées en Agriculture en Algérie

Le secteur agricole, a subi plusieurs réformes et restructurations qui ne lui ont pas permis d'exprimer les marges de productivité qu'il recèle en raison de multiples contraintes auxquelles il se heurte.-

L'agriculture Algérienne se heurte à trois problèmes majeurs :

- ❖ **Un problème naturel** : tenant compte des spécificités climatiques et géographiques qui limitent territoires et productions agricoles. Les écosystèmes (Tell, Steppe et Oasis du sud) sont fragiles et des contraintes bioclimatiques s'organisent pour différencier fortement l'espace, dont la plus grande partie est marquée par l'influence d'un climat sec où l'aridité domine.
- ❖ **Un problème social** : lié aux conditions d'émergence d'une paysannerie, le statut du foncier agricole...
- ❖ **Un problème technique** : absence d'un modèle technique de référence pour les cultures adaptées aux contraintes de sol, de relief ou de climat. Les ressources en eau en Algérie sont limitées, elles sont de 550 m³/an par habitant. Cette moyenne est considéré très

faible comparée à la moyenne mondiale qui est de 7,500 m³. Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare.

Le nombre des stations de traitement et d'épuration des eaux usées (STEP) exploitées dans l'irrigation agricole, devrait augmenter à 29 cette année, contre 21 stations actuellement.

L'ONA exploite actuellement 160 stations d'épuration à travers 44 wilayas du pays, dont 21 stations utilisées à des fins agricoles. Ces derniers seront renforcés par huit autres stations en 2021. (ONA, 2021)

La réutilisation des eaux usées brutes en agriculture, quoiqu' interdite par la loi est devenue une réalité. Selon Hartani (1998), 8% des terres irriguées, notamment en petite et moyenne hydraulique, reçoivent des eaux usées non traitées. De ce fait de gros efforts sont à déployer à tous les niveaux aussi bien techniques, institutionnels, que règlementaires, pour améliorer le niveau d'utilisation avec le minimum de risques. L'affrontement besoins des ressources en eau fait apparaître un déficit important qui sera comblé par l'introduction des eaux usées traitées des périmètres agricole. Il s'agit de 2 projets totalisant une superficie 14 000 ha:

- 1.- Du périmètre d'Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha (représente notre périmètre d'étude et mise en service le 05 Novembre 2005).
- 2. Le périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie de 1214 ha.
- 3. Le périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Arreridj sur une superficie 350 ha.
- 4. et le périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha.
- le périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8 100 ha,
- la STEP de la ville de Médéa sur une superficie de 255 ha
- et le périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'Oued Saida sur une superficie de 330 ha. (Moussaoui, 2017).

Chapitre III Les boues résiduaires

Définition

Les efforts pour réduire la pollution des fleuves, des lacs et des océans par le traitement des eaux usées, produisent une quantité croissante de boues résiduaires; matières solides, qui sont enlevées de l'eau usée pour produire une eau usée épurée.(FAO,2003)

Le recyclage en agriculture des boues résiduaires produites par des stations d'épuration des eaux usées a fait l'objet de nombreuses investigations parmi lesquelles nous citerons; (Chaussod et al ,1977), (Morel ,1978).

Cette technique constitue le moyen le plus rationnel d'éliminer ces déchets en valorisant leur matière organique, l'azote et le phosphore qu'ils contiennent (Chaussod et al, 1981) surtout dans les régions où les conditions climatiques (température et pluviométrie) font que le turnover de la matière organique est rapide. L'incorporation de ces produits aux sols et leurs aptitudes à libérer certains éléments minéraux indispensables aux végétaux fait l'objet de plusieurs travaux (Chaussod et al. 1981, Pommeel, 1981, Bahri, et Houmane , 1987 , SBIH (1990) et Sebaa (1995).

Les boues exercent aussi un effet favorable sur les propriétés physiques de sol, ceci a été montré par Paglia, et al (1981) en soulignant que les boues exercent une action favorable sur les propriétés semblables à celle provoquée par les autres sources de matière organique (fumier de ferme, déjection animales etc.(Ramdani ,2007)

Depuis plusieurs années des chercheurs Algériens se penchent sur le moyen d'utiliser les boues résiduelles des stations d'épuration pour fertiliser les champs.

Il apparaît que ces boues constituent un moyen puissant d'augmenter les rendements. Mieux, de nouveaux travaux montrent qu'elles pourraient permettre de revitaliser des sols en zone aride. L'ONA produit des quantités croissantes de boues. Seulement 25% des boues sont utilisées en agriculture ; 60% sont mises en décharge (Belaid .2015)

III.1 Composition des boues

La composition des boues résiduaires est en fonction de nombreux paramètres notamment la composition des eaux usées, caractère du réseau d'assainissement, type de traitement des eaux et des boues .Après épaissement, une boue liquide d'aération prolongée à la composition pondérale moyenne suivante (tableau7).

Tableau 7: Composition des boues d'aération prolongée (Documentation technique FNDAE, n° 09)

Boues résiduaires	
Phase liquide: 95 % à 98 % Eau: 950 g / l Sels dissous: 1à2 g / l	- Phase solide: 2 à 5 % -Matières minérales: 30 à 40 % poids sec - Matières organiques: 60 à 70 % poids sec
Matières grasses:	4 à 8 % de la matière sèche
Azote (N):	4 à 7 % de la matière sèche
Phosphore (P):	2 % de la matière sèche
Potassium (K):	0,25 % de la matière sèche
Métaux lourds:	0,15 % de la matière sèche

En fonction du procédé d'épuration, les variations de concentrations des boues liquides peuvent être résumées comme suit (tableau 8).

Tableau 8: Caractéristiques principales des boues de diverses stations d'épurations (Documentation technique FNDEA, 1990)

Procède	Matière sèche (g/l)	Matière organique %
Boues activées en aération prolongée	20 à 50	60 à 70
Lit bactérien	40 à 70	50 à 60
Lagunage aéré	40 à 60	60 à 70
Lagunage naturel	50 à 100	30 à 60
Décanteur digesteur	70	40 à 60

Les principaux facteurs de variations Pour chacun des procédés sont:

- Réseau unitaire: augmente la teneur en matière minérale de phase solide de 5 à 10% par rapport à un réseau séparatif.

- Déphosphoration: augmente la teneur en phosphore de la phase solide jusqu'à 8-10 % (mais que l'on retrouvera en grande partie redissoute dans la phase liquide des boues)(**Duchene, 1990**).

III.2 Traitement des boues

Les boues résiduelles en excès sont, au moment de leur extraction du système d'épuration des eaux, un produit :

- Peu concentré donc occupant un grand volume.
- Fermentescible du fait de la forte teneur en matières organiques.
- il est nécessaire d'extraire régulièrement de la plupart des types de stations d'épuration.

Les objectifs et opérations du traitement sont portés sur le (tableau 9)

Tableau 9 : Les opérations de traitement des boues (Duchêne, 1990).

Opération	But
Stabilisation	Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisances
Concentration	Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

III.2.1 Epaissement

L'épaississement, se situant à plusieurs niveaux, peut constituer la première étape de la plupart des filières de traitement des boues, le premier stade est la technique la plus simple de la

réduction du volume des boues. Deux techniques sont le plus souvent utilisées pour l'épaississement:

- La décantation ou épaississement gravitaire.
- La flottation (épaississement mécanique).

III.2.2 Stabilisation

La stabilisation des boues vise à réduire le taux de matières organiques de manière à empêcher ou au moins à limiter les fermentations. Les matières organiques sont transformées en matières minérales grâce à l'action des bactéries.

Sur des boues secondaires ou mixtes, on vise en général une réduction des matières organiques au niveau de 60% des matières sèches totales, la stabilisation des boues peut se faire de deux manières: soit aérobie, soit anaérobie.

III.2.3 Le conditionnement

Le but du conditionnement est de modifier les forces de cohésion internes de la boue afin de libérer l'eau liée aux particules et donc augmenter leur aptitude à la déshydratation. Le conditionnement des boues peut être obtenu par l'application de plusieurs procédés de nature physique, chimique ou thermique ou de la combinaison de ces procédés.

III.2.4 Déshydratation

Après l'étape de digestion et de post épaississement, les boues produites sur les stations d'épuration reste toujours liquide. La réduction du coût de leur évacuation passe alors par une réduction de cette humidité, c'est à dire obtenir les taux de siccité les plus élevées afin de rendre le produit solide ou pâteux, cette réduction est réalisé à l'aide de procédés de déshydratation qui différent selon les principes de fonctionnement:(**Duchene, et al, 1990 ; Passavant, 1994 ; (Ramdani , 2007)**)

III.3 Valeur agronomique des boues d'épuration

Les boues sont plus intéressantes par les matières humiques qu'elles apportent et par l'amélioration du pouvoir de rétention de l'eau dans le sol que par le seul apport de matières nutritives (riche en éléments fertilisants, P, K, Mg). Elles peuvent être réutilisées en agriculture en remplacement ou en complément d'autres produits d'amendements ou de fertilisation: épandage de gadoues, de lisiers, de fumiers ou d'engrais minéraux par exemple. L'épandage peut se faire: soit sous forme liquide, soit sous forme peltable ou encore sous forme pulvérulentes (**Bechaux, 1978 ; Vademecum, 1990**).

Mais la valorisation agricole de ces boues comporte des limites liées à la concentration en éléments toxiques et/ou en germes pathogènes. Une bonne étude agronomique permet dans chaque cas de déterminer les quantités optimales des boues à épandre.

III.3.1 Fertiliser la steppe avec les boues des stations d'épuration

En Algérie, L'Office National de l'Assainissement (ONA) cède gratuitement des boues possédant plus de 50% de matière sèche. C'est notamment le cas à Tizi-ouzou, Tlemcen et Tipaza. L'emploi avec succès de boues résiduelles a été testé par des universitaires à Laghouat. L'utilisation de ce type de produit dans une région sèche telle Laghouat est nouveau. Jusque-là les essais n'avaient concerné que des zones plus arrosées.

Selon les auteurs de l'étude, l'essai a été réalisé au niveau du périmètre de Mokrane. « Il se trouve dans une zone à niveau moins élevé que les montagnes qui l'entourent, cette zone est nommée «Theniete Er'ml» qui signifie la zone de passage et d'accumulation de sable, la pluviométrie moyenne de la région est de 162 mm/an ». **(Belaid 2015)**

III.3.2 Boues, pour produire du grain maïs également des fourrages

Jusqu'à présent les études concernant l'utilisation des boues ont surtout concerné la production de grains. Des résultats d'essais ont montré qu'elles pourraient également être utilisées comme moyen de produire des fourrages. Durant les 3 années d'expérimentation (2009 2010 et 2011) les auteurs de l'étude ont mesuré la hauteur des plants ainsi que la biomasse produite. **(Belaid,2015).**

III.4 Contraintes d'utilisation

III.4.1 Microorganismes pathogènes.

En raison de son origine, la boue d'épuration peut ne pas être acceptée par les agriculteurs et le public du point de vue des aspects esthétique ou sanitaire.

Les réserves sont généralement les odeurs répugnantes et l'apparence des boues. C'est une des raisons pour laquelle le compostage des boues est encouragé. En outre, si le compostage est correctement réalisé, il détruit ou ramène tous les microbes pathogènes primaires présents dans la boue d'épuration à un niveau insignifiant. Une fois détruits, les virus, les helminthes, les protozoaires et la plupart des bactéries ne peuvent pas repeupler le compost, puisqu'ils ne peuvent pas se développer à l'extérieur de leur hôte. Les salmonelles, un des organismes les plus communs à l'origine d'intoxications alimentaires, peuvent recroître jusqu'à un degré limité

dans le compost mûr, mais elles sont concurrencées par d'autres micro-organismes présents. (FAO,2003)

III.4.2 Métaux lourds.

La boue d'épuration peut contenir, selon l'origine, de grandes quantités de métaux lourds, qui peuvent réduire la valeur des boues comme engrais pour application directe sur les terres agricoles ou pour le compostage. Des quantités excessives de ces métaux sont souvent trouvées dans les boues lorsque des effluents industriels sont déchargés dans les égouts sans traitement primaire. L'application de boues riches en métaux lourds sur les terres agricoles a comme conséquence l'enrichissement du sol en métaux lourds. L'enrichissement du sol en zinc, cuivre et nickel peut causer des effets phytotoxiques directs qui se manifestent par la décroissance du rendement, particulièrement lorsque le pH est faible (pH 5,5) et les taux d'application sont élevés. Les métaux lourds peuvent également s'accumuler dans les tissus végétaux et entrer dans la chaîne alimentaire par l'ingestion directe par des humains ou indirecte par des animaux. (FAO,2003).

L'élément inquiétant pour la santé humaine, lorsque l'application des boues d'épuration et le compost de boues sur le sol, est le cadmium (Cd), puisqu'il est aisément absorbé par la plupart des cultures et n'est généralement pas phytotoxique aux concentrations normalement rencontrées. Par conséquent, le Cd peut s'accumuler dans les plantes et entrer dans la chaîne alimentaire plus aisément que d'autres métaux tels que le plomb (Pb) ou le mercure (Hg), qui ne sont pas aisément absorbés et ne sont pas transférés à la partie comestible de la plante.

Des espèces ainsi que des variétés se sont avérées différentes dans leur capacité d'absorber et de transférer les métaux lourds, pour les accumuler dans les organes comestibles de la plante et pour résister à leurs effets phytotoxiques.

À cet égard, les agriculteurs doivent se rappeler ce qui suit:

- les légumes feuilles sont habituellement sensibles aux effets toxiques des métaux lourds et les accumulent, la plupart du temps, dans la partie feuillue;
- les céréales grain, le maïs, et le soja sont moins sensibles;
- les herbes sont relativement tolérantes.

Les études d'assimilation sur maïs, soja et céréale grain ont prouvé que les métaux lourds s'accumulent moins dans le grain comestible que dans les feuilles; des résultats semblables ont été trouvés pour les racines comestibles comme radis, navet, carotte, et pomme de terre, et les fruits, comme la tomate, la courge etc...

La disponibilité des métaux lourds dans les sols, pour l'assimilation par des plantes, est influencée par certaines propriétés chimiques et physiques du sol, particulièrement le pH, la teneur en matière organique, la capacité d'échange cationique (CEC) et la texture (c.-à-d., les proportions de sable, limon et argile). La phytotoxicité des métaux lourds dans les boues est plus élevée dans les sols acides que dans les sols neutres ou alcalins. Le maintien du pH dans la gamme de 6,5 ou plus élevé par le chaulage, réduit la disponibilité des métaux lourds. Évidemment, dans les sols calcaires, les métaux lourds sont rendus indisponibles et le problème devient insignifiant. L'application d'amendements organiques tels que le fumier ou les résidus de récolte peut également diminuer la disponibilité en métaux lourds. La CEC est une mesure de la capacité du sol de maintenir les cations; une valeur élevée de CEC est habituellement associée à une teneur plus élevée en argile et en matière organique. (Tableau 10) (FAO,2003).

Tableau 10 : Apports cumulatifs maximum recommandés en métaux lourds en provenance des boues et du compost de boues sur les terres agricoles

Capacité d'Echange Cationique du sol (meq/100g)*			
Métal	0 – 5	5 – 15	> 15
(Apport Maximum en métaux, kg/ha)			
Pb	500	1000	2000
Zn	250	500	1000
Cu	125	250	500
Ni	50	100	200
Cd	5	10	20

* CEC déterminée avant l'application des boues, en utilisant l'acétate neutre d'ammonium (1 N) et est exprimée ici comme une moyenne pondérée sur une profondeur de 50cm

III.4.3 Les boues, potentiellement dangereuses pour la Santé?

Les boues des stations d'épurations constituent cependant un produit particulier. Ces boues peuvent comporter des bactéries et autres germes pathogènes ou des métaux lourds toxiques. En ce qui concerne ces métaux lourds, plusieurs dispositions peuvent réduire les risques de nocivité. Comme cela existe déjà pour certaines sorties d'égouts d'usines, il peut y avoir un prétraitement permettant d'éliminer les métaux lourds rejetés. L'adjonction d'argiles à ces boues peut permettre de complexer et donc de bloquer les métaux lourds. Par ailleurs, ces boues étant épandues sur de grandes surfaces, il s'opère une forte dilution des métaux lourds éventuellement

présents. En la matière, en Algérie, l'ONA équipe les stations des moyens modernes afin d'analyser la qualité des boues résiduelles produites. D'autre part l'office s'est prononcé pour « la constitution d'une banque de données qui dresse un an des boues en quantité et qualité et une cartographie des cultures des zones concernées par l'épandage ».

Pour cet office «la clé de la problématique reste bien entendu l'instauration d'un cadre réglementaire, juridique qui définit: les modalités de mise en œuvre de l'opération d'épandage, les normes de valorisation et les responsabilités, prérogatives des différents acteurs concernés par l'opération».

L'ONA indique également sur son site qu'une réflexion est menée au niveau de l'Institut Algérien de Normalisation (I A N O R) concernant le volet valorisation agricole des boues issues des stations d'épuration.(Belaid,2015)

III.4.4 Etat sanitaire

Les boues peuvent contenir des micro-organismes et des germes pathogènes et des œufs de parasites apportés par les eaux d'égout et provenant pour l'essentiel des excréments humaines (matières fécales et urinaires) et des déjections animales. Ces agents pathogènes appartiennent à trois grands groupes: bactéries, virus et les parasites. (Tableau 11)

Tableau 11: Principaux germes susceptibles d'être présents dans les boues et Principales maladies dont ils sont responsables (VADE MECUM, 1990)

Groupe	Genre	Maladie causée
Bactérie	Salmonella	Typhoïde– paratyphoïde– entérite
	Shigella	Dysenterie
	Escherichia	Entérite (souche pathogène)
	Vibrio	Choléra
	Clostridium	Gangrène– tétanos– botulisme
	Leptospira	Leptospirose
	Mycobacterium	Tuberculose– tuberculose atypique– Granulome de la peau.
Virus	Poliovirus	Polyomélite– entérite
	Coxsackie virusA	Maux tête– douleurs musculaires
	Coxsackie virusB	Nausées– méningites
	Echovirus	Fièvres– infections respiratoires
	Rotavirus	Entérites– conjonctivites
	Reovirus	Affections nerveuses
	Hepatitis virus A	Gastroentérite infantile– Grippe– DiarrhéesHépatites– Hépatites aiguës.
Trematodes	Schistosoma	Schistosomiase (bilharziose).
Cestodes	Tænia	Tænia– infection de l'homme et des animaux
		Cysticercus bovis
Nématodes	Ascaris	Ascarirose
	Anchylostomum	Anchylostomiose.

Chapitre IV Maladies associées à l'utilisation des eaux usées sans traitement en agriculture

IV.1 Introduction

Chacun des risques n'entraînera pas nécessairement une maladie. Les risques les voies d'expositions variées causeront différents fardeaux de maladies. Les dangers sanitaires causent des maladies dépend d'un certain nombre de facteurs. Les agents infectieux on causer des maladies se rapporte à leur persistance dans le milieu, à la dose infectieuse minimale, à l'aptitude de produire l'immunité des humains, aux périodes de virulence et de latence (**Shuval et al., 1986**). Les pathogènes qui jouissent d'une longue persistance dans le milieu et de doses infectieuses minimales faibles, qui suscitent peu ou pas d'immunité chez les humains et qui ont de longues périodes de latence (par exemple les helminthes), présentent une plus grande possibilité de causer des infections que les autres. Compte tenu de cela, les infections aux helminthes elles sont contagieuses, constituent les risques les plus importants associés à l'irrigation avec des eaux usées. Les risques posés par les produits chimiques sont considérés comme faibles, sauf dans les zones localisées où on produit de grandes quantités d'eaux usées industrielles. Les maladies associées à l'exposition à des produits chimiques (à l'exclusion des symptômes aigus comme les éruptions cutanées, etc.), tel le cancer, sont plus difficiles à attribuer à l'utilisation des eaux usées en agriculture. Cela est dû au fait que les travailleurs peuvent être exposés à des combinaisons complexes de produits chimiques dans les eaux usées et à de longues périodes de latence avant que les symptômes de la maladie apparaissent, ce qui complique l'attribution de la maladie à un chemin d'exposition ou à un facteur causal précis. Le (Tableau 12) nous montre Mortalité mondiale et découlant de certaines maladies en lien avec l'utilisation des eaux usées en agriculture (**Drechsel et al..2010**)

Tableau 12 : Mortalité mondiale et découlant de certaines maladies en lien avec l'utilisation des eaux usées en agriculture

Maladie	Mortalité	Fardeau de la	Commentaires
Diarrhée	1 682 000	57 966 000	99,7 % des décès ont lieu dans les pays en développement; 90 % des décès touchent les enfants; 94 % peuvent être attribués aux facteurs environnementaux.
Typhoïde	600 000	N/D	On évalue qu'il y a 16 000 000 de cas par année.
Ascarirose	3 000	1 817 000	On évalue qu'il y a 1,45 milliard d'infections, dont 350 millions comportent des effets nocifs.
Ankylostomiase	3 000	59 000	On évalue qu'il y a 1,3 milliard d'infections, dont 150 millions comportent des effets nocifs.
Filariose lymphatique	0	3 791 000	Les moustiques vecteurs de la filariose (<i>Culex</i> spp.) se reproduisent dans l'eau contaminée. Cela n'entraîne pas la mort, mais des incapacités graves.
Hépatite A	N/D	N/D	On évalue qu'il y a 1,4 million de cas par année dans le monde. Des signes sérologiques d'infections antérieures varient de 15 % à près de 100 %

N/D = non disponible.

IV.2 Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

Le lien entre eaux usées épurées et risque sanitaire est essentiel, il porte sur les contaminations que peuvent engendrer soit le contact direct avec des eaux usées purées, soit l'ingestion de produits alimentaires ayant été en contact avec des EUT. Ces risques de contamination sont d'ordre bactériologique ou chimique. (Moussaoui, 2017)

IV.2.1 Risque sanitaire

Les eaux usées contiennent divers agents pathogènes, dont un grand nombre sont capables de survivre dans l'environnement suffisamment longtemps pour être transmissibles aux hommes. (Dans les eaux usées, sur les cultures ou dans les sols)

Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998). Le mode d'irrigation a un impact direct sur le risque : aussi, l'irrigation ou souterraine peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances. Alors que l'irrigation gravitaire à la raie et par inondation exposent les travailleurs à des hauts risques sanitaires, notamment lorsque le travail de la terre se fait sans protection (Peasey et al. 2000). Les recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures (OMS, 2006).

IV.2.2 Risques pour la santé

L'utilisation des eaux usées constitue un risque pour la santé des agriculteurs, des travailleurs et des consommateurs de la chaîne alimentaire, en raison de la possibilité de contamination microbienne et chimique. L'utilisation de main-d'œuvre bon marché est une pratique courante chez les agriculteurs qui utilisent des eaux usées, et l'essentiel de ce travail est effectué par des femmes. En conséquence, ils sont confrontés à des risques accrus pour la santé, dont l'exposition aux agents pathogènes, ainsi que le risque de transmission aux membres de la famille (Moriarty et al. 2004).

Différentes approches ont été proposées pour l'atténuation des risques pour la santé. Beaucoup d'entre elles ont porté sur la qualité de l'eau et des règlements stricts au point d'utilisation, ce qui fait du traitement des eaux usées un élément central en matière de réutilisation de l'eau (Asano et al, 1998 ; Mara et al, 1989).

IV.2.3 Le Risque Microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes.

Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes.(Tamrabet,2011)

IV.2.4 Risques chimiques

de l'autre côté l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds (FAO, 2003).

IV.2.4.1 Les Eléments en Trace

Ils ne sont pas tous toxiques, beaucoup sont essentiels en petites quantités pour la croissance des plantes (Fe, Mn, Mo, Zn). Cependant, en quantités excessives ils peuvent causer des accumulations indésirables dans les tissus des plantes et une réduction de leur croissance.

Enfin, remarquons que le risque posé par les métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée), Par ailleurs, certains sont bons pour la croissance des végétaux, ils s'éliminent facilement par des traitements physiques (décantation) et se retrouvent généralement dans les boues.

IV.2.4.2 Le sodium

La plupart des cultures arboricoles et autres plantes pérennes de type ligneux sont particulièrement sensibles à de faibles concentrations de sodium. Les cultures annuelles sont relativement moins sensibles mais peuvent être affectées si la concentration est plus élevée.

Les plantes absorbent le sodium en même temps que l'eau et celui-ci se concentre dans les feuilles, pouvant entraîner des dégâts (toxicité) si son accumulation dépasse la tolérance de la culture. Les symptômes paraissent en premier lieu sur les plus vieilles feuilles, en commençant par les bords externes.

Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers, l'avocatier et le haricot, les fraisiers et, d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na. (Bouaroudj ; 2012)

IV.2.4.3 Le chlore

La plupart des cultures d'arbres et autres plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faibles doses alors que la plupart des cultures annuelles ne le sont pas. Le chlorure (Cl) et le sodium (Na) sont moins toxiques que le bore. Dans les régions arides et semi-arides l'eau usée traitée peut avoir une concentration élevée en Cl et Na à cause du contenu relativement élevé de ces éléments dans les eaux domestiques.

IV.2.4.4 Le bore

Le bore est un des éléments essentiels à la croissance végétale, mais il n'est nécessaire qu'à des doses relativement faibles. En quantité excessive il devient toxique.

Enfin, on peut dire que, le risque posé par les métaux lourds dépend, donc, de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition. Par ailleurs, certains métaux sont indispensables pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par les traitements physiques (décantation) et sont récupérés dans les boues.

IV.2.5 Risques environnementaux

L'utilisation des eaux usées traitées peuvent certes avoir plusieurs avantages environnementaux, mais il existe certains risques environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées non traitées ou partiellement traitées pour l'irrigation. Ces risques comprennent la contamination des sols, la pollution des eaux souterraines et la dégradation des eaux surface. La commercialisation d'eaux usées urbaines partiellement traitées (pour l'irrigation) en échange de l'accès à des sources d'eau douce (pour d'autres usages dans les zones urbaines et périurbaines) constitue une approche qui peut contribuer à une meilleure gestion globale des ressources en eau et à la réduction des effets néfastes sur la santé et l'environnement (**Hanjra et al., 2012**).

La mobilité des contaminants et leur capacité à s'accumuler elle pose une grave menace pour l'environnement et pour la société.

IV.2.5.1 Sol

L'utilisation des eaux usées pour l'irrigation ajoute des nutriments, des matières solides dissoutes, des sels et des métaux lourds au sol. Avec le temps, des quantités excessives de ces éléments peuvent s'accumuler dans la zone racinaire avec des effets probablement nocifs sur le sol. L'utilisation à long terme des eaux usées pourrait provoquer une salinité des sols, leur étranglement, l'effondrement de leur structure, la réduction globale de leur capacité productive et une baisse des rendements agricoles. Les répercussions sont fonction de facteurs tels que la source, l'intensité d'utilisation et la composition des eaux usées, ainsi que les propriétés du sol et les caractéristiques biophysiques propres aux cultures.

La salinisation du sol

La salinisation du sol par une eau d'irrigation résulte des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations...etc.). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol.

Accumulation de métaux dans le sol

Même si la concentration en métaux dans les eaux usées surtout traitées soit faible, l'irrigation peut, à terme, entraîner l'accumulation de ces éléments dans le sol (**Rattan et al., 2005**). En effet, la rétention, par le sol, des éléments métalliques est gouvernée par divers phénomènes d'ordre mécanique, physico-chimique et même biologique (**Mantinelli, 1999**).

Les métaux transférés vers le sol par les eaux usées, ne sont pas tous sous une forme assimilable. En réalité la forme chimique des métaux va dépendre des conditions intrinsèques du sol tels que, la matière organique le Eh le pH, le taux d'argile, la CEC... (Mapanda et al. 2005).

L'accumulation d'éléments métalliques (EM) suite à l'irrigation avec des eaux usées brutes est souvent observée. (Mapanda et al. 2005) ont constaté une augmentation des teneurs en EM dans les horizons de surface des sols irrigués par des eaux usées brutes durant une période de temps plus ou moins important. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface sont largement supérieures à celles trouvées dans les horizons de subsurface et dans le sol témoin (tableau 13). Les auteurs ont signalé qu'au bout de 5 à 60 ans, les teneurs des EM dans les sols de toutes les parcelles irriguées vont dépasser les limites exigées par les normes anglaises de teneur en métaux lourds dans les sols agricoles.

Tableau 13: teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le sol irrigué par EU comparées à un témoin et aux normes anglaises pour les sols agricoles (Mapanda et al., 2005)

Eléments Sol	irrigué par EU (Horizon de surface)	Sol irrigué par EU (Horizon de subsurface)	Sol témoin	Normes anglaises (mg/kg)
Cu	7 – 145	3 – 40	10	50(pH< 5,5); 100 (5,5<pH<6,5)
Zn	14 – 228	9 – 72	14	200; pH< 5,5
Cd	0,5 - 3,4	0,5 - 2,9	0,5 – 2	3
Ni	<0,01 – 21	0 – 17	1 - 3,2	50; pH< 5,5
Cr	33- 225	8 – 47	54	400
Pb	4 – 59	3 – 38	1,2 – 18	300

IV.2.5.2 Eaux souterraines

L'utilisation des eaux usées a la capacité aussi bien de recharger les nappes d'eau souterraines (externalité positive) que de polluer les ressources en eaux souterraines (externalités négatives). L'infiltration de l'excès de nutriments, des sels et des pathogènes présents dans le sol peut entraîner la dégradation des eaux souterraines. Toutefois, l'impact réel dépendra d'un ensemble de facteurs, et notamment l'ampleur de l'utilisation des eaux usées, la qualité des eaux souterraines, la profondeur de la nappe phréatique, le drainage du sol et les caractéristiques du

sol (par exemple poreux, sablonneux, limoneux). les zones irriguées par des nappes d'eaux souterraines peu profondes, l'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées de façon inadéquate sur la qualité des eaux souterraines est susceptible d'être considérable. Eaux de surface : quand les eaux de ruissellement provenant de systèmes d'irrigation des eaux usées s'écoulent dans les eaux de surface, en particulier les petits lacs et autres plans d'eaux confinés, les restes de nutriments peuvent provoquer une eutrophisation, particulièrement en cas de présence de phosphates sous forme d'ortho phosphate. Les atteintes dans les communautés végétales et microbiologiques des plans d'eau peuvent à leur tour affecter d'autres formes supérieures de vie aquatique et réduire la biodiversité. Si ces plans d'eau desservent les collectivités locales, les impacts écologiques peuvent entraîner des impacts économiques.

IV.3 Aspect politique

Dans le développement d'un cadre politique national pour faciliter une utilisation sans risque des eaux usées en agriculture, il importe de définir les objectifs, d'évaluer l'environnement politique actuel et de développer une approche nationale. Les approches nationales des pratiques d'utilisation sans risque des eaux usées inspirées des Directives de l'OMS protègent le mieux la santé des populations lorsqu'elles sont intégrées à des programmes complets de santé publique incluant d'autres mesures sanitaires, telles que la promotion de la santé et de l'hygiène et l'amélioration de l'accès à une eau de boisson saine et à un assainissement convenable. D'autres programmes complémentaires, comme les campagnes de chimiothérapie, doivent s'accompagner d'une promotion de la santé et d'une éducation sanitaire pour modifier des comportements qui conduiraient autrement à des réinfections (par des helminthes intestinaux ou d'autres agents pathogènes, par exemple). Les approches nationales doivent être adaptées aux circonstances socioculturelles, environnementales et économiques, mais doivent aussi viser à améliorer progressivement la santé publique. La priorité doit être donnée aux interventions qui répondent aux plus graves menaces sur le plan local. À mesure que des ressources et des données nouvelles deviennent disponibles, des mesures de protection sanitaire supplémentaires pourront être introduites. (OMS, 2012)

IV.4 Aspect réglementaires

IV.4.1 Les différentes réglementations dans le monde

A l'échelle mondiale, il n'existe pas une réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie et de la géographie, du type

de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays. Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel l'état de Californie, l'OMS, la FAO, etc... La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités.

IV.4.2 Les recommandations de l'OMS

Les recommandations de l'OMS (Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture) ou « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seules à l'échelle internationale (Tableau). Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées sur des paramètres exclusivement microbiologiques. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde. En 2000, elles ont été révisées, en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques (**Blumenthal et al.**, 2000). Les modifications ont essentiellement porté sur la norme « œufs d'helminthes » qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 oeuf L-1. Ces recommandations sont destinées à une utilisation internationale et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée.

L'OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées (WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater), qui tiennent compte des situations locales et privilégient les moyens à prendre pour réduire au minimum les risques sanitaires posés par ces eaux. L'approche innove surtout parce qu'elle encourage l'adoption de mesures relativement simples pour protéger la santé à tous les maillons de la chaîne alimentaire. Il s'agit d'une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs avant que les aliments irrigués au moyen d'eaux usées n'atteignent leur assiette. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants: le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d'irrigation, le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et la cuisson des produits (**OMS, 2006**).

IV.4.3 Les recommandations USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l'USAID (United States Agency of International Development), ses propres recommandations sur la réutilisation des EUT, intitulées «Guidelinesr Water Reuse». Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études

épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes.

Les recommandations de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant. Précisons que chaque état américain peut lui-même fixer ses propres recommandations, en s'inspirant plus ou moins de celles de l'USEPA. Ainsi, les normes californiennes "Title 22" sont extrêmement sévères, et ont inspiré de nombreuses réglementations dans le monde. Dans les recommandations de l'USEPA plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la Demande Biologique en Oxygène (DBO5), la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux.

Les deux recommandations (OMS et USEPA) s'opposent à plusieurs points de vue. Une des différences concerne le niveau de traitement recommandé. Il est dit dans le document de l'OMS qu'un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation, alors que l'USEPA n'évoque que des traitements de désinfection tertiaire type chloration, ozonation, etc. Les modes de contrôle varient aussi : alors que l'OMS préconise de contrôler le nombre de nématodes, l'USEPA recommande le comptage des coliformes totaux comme unique contrôle de la qualité microbiologique. En général, l'OMS est taxée d'être trop laxiste, et l'USEPA de préconiser des traitements trop chers et trop technologiques, inaccessibles aux pays en voie de développement. (Belaid 2010)

IV.4.4 Les recommandations de l'Union Européenne

L'Union Européenne accuse un retard en termes de législation sur la réutilisation des eaux usées épurées, puisqu'elle se limite à cette phrase de l'article 12 de la directive CEE numéro 91/271 de 1991 sur les eaux usées, qui établit que "des eaux usées traitées devront être réutilisées quand ce sera approprié" (Bontoux, 1997). Cette lacune n'a pas empêché les pays membres d'adopter leur propre réglementation, sans homogénéisation à l'échelle européenne. Aujourd'hui, certains pays comme l'Italie s'inspirent des normes américaines, et d'autres, comme la France, des normes de l'OMS.

Les pays d'Europe qui ont une réglementation sont l'Italie, l'Espagne et la France (Junger, 2000). Certains pays tels que l'Espagne, Chypres ou l'Italie (Andreadakis et al., 2003) ont tendance à adopter des normes plus strictes que celle de l'OMS. L'Italie est le premier à avoir adopté une réglementation en 1977 qui suit dans les grandes lignes l'approche californienne. Cependant, en Sicile, une réglementation régionale, plus proche de celle de l'OMS, a été mise en place (Andreadakis et al., 2003).

Le tableau 14 montre les normes bactériologiques adoptées dans certains pays et organismes. Les conditions climatiques ; géographiques, niveau de développement et les moyens financiers sont les principaux facteurs influençant le choix des normes de réutilisation. Ainsi, des pays comme la Tunisie et l’Afrique de sud ont opté pour les recommandations de l’OMS qui sont destinées essentiellement aux pays en développement. Alors que des pays développés tel que le Japon et d’autres pays riches comme le Koweït et l’Arabie Saoudite, ont choisi des normes plus sévères, généralement inspirées de celles de la Californie (Title 22). Par contre, les normes établies dans certains pays développés comme la France, sont basées sur les recommandations de l’OMS.

D’autres organismes ont établi des recommandations complémentaires pour quelques paramètres chimiques. Ainsi, la FAO (2003) a fixé, selon la durée de réutilisation, des limites concernant les éléments traces dans les eaux usées traitées destinées à l’irrigation (Tableau 15).

Tableau 14: Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations (Lavison et Moulin, 2007)

Pays/Organisation	Recommandations
OMS (niveau A)	1000 coliformes thermotolérants/100mL + 1 œuf d'helminthe/L
USEPA	< 1 ou 200 coliformes thermotolérants/100mL selon culture
Title 22 (Californie)	2,2 ou 2,3 coliformes totaux/100mL selon cultures + filière de traitement agréée
France (CSHPF, niveau A)	1000 coliformes thermotolérants/100mL + 1 oeuf d'helminthe/L + contrainte techniques particulières
Afrique de Sud	1 ou 1000 coliformes thermotolérants/100mL selon culture + filière imposés
Japon	1 E. coli/100mL + résiduel de chlore total > 0,4 mg/L
Koweït	100 ou 10000 coliformes totaux/100mL selon culture + effluent oxydé + filtré et désinfecté
Arabie Saoudite	2,2 coliformes totaux/100mL (culture à accès restreint)
Tunisie	< 1 nématode intestinal/L

IV.4.5 Cadre juridique Algérien

Entre 1995 et 2005, une série de réformes a repensé la mobilisation, La gestion et l'utilisation des ressources en eau en prenant en compte trois points clés:

- Les principes (gestion intégrée, cadre réglementaire, efficience de l'eau agricole, politique tarifaire).
- Les institutions (création du ministère des Ressources en eau, des agences de bassins hydrographiques et restructuration des agences nationales et régionales).

- Les priorités (transferts d'eau, alimentation en eau potable, etc.) qui définissent la nouvelle politique nationale de l'eau.
- La Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement (Ali BENFLIS, 2002) a été établie dans plusieurs chapitres, ou on met en exergue « L'eau », son importance et sa pertinence.
- Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux, les eaux usées ont beaucoup d'importance (Art. 89). Et cela prouve que l'Algérie depuis longtemps cherche à préserver l'eau douce, en adoptant une nouvelle alternative et éviter le stress hydrique.

Le passage en revue des cadres juridique et institutionnel fournit une vision synthétique du secteur de l'eau en Algérie et permet d'apprécier les intervenus pour répondre aux dysfonctionnements constatés.

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des

Le cadre d'usage des eaux usées épurées est bien précis à travers ses décrets

- 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 (JO n°60- année 2005).
- 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 (JO n°35 année 2007)

Une autre réglementation a été mise en œuvre, le 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées. Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée (tableau 15).**(Moussaoui,2017)**

Tableau 15: Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*) Cultures céréalières Blé, orge, triticales et avoine. Cultures de production de semences Pomme de terre, haricot et petit pois. Arbustes fourragers Acacia et atriplex. Plantes florales à sécher ou à usage industriel Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive. Agrumes Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne. Culture industrielles Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine

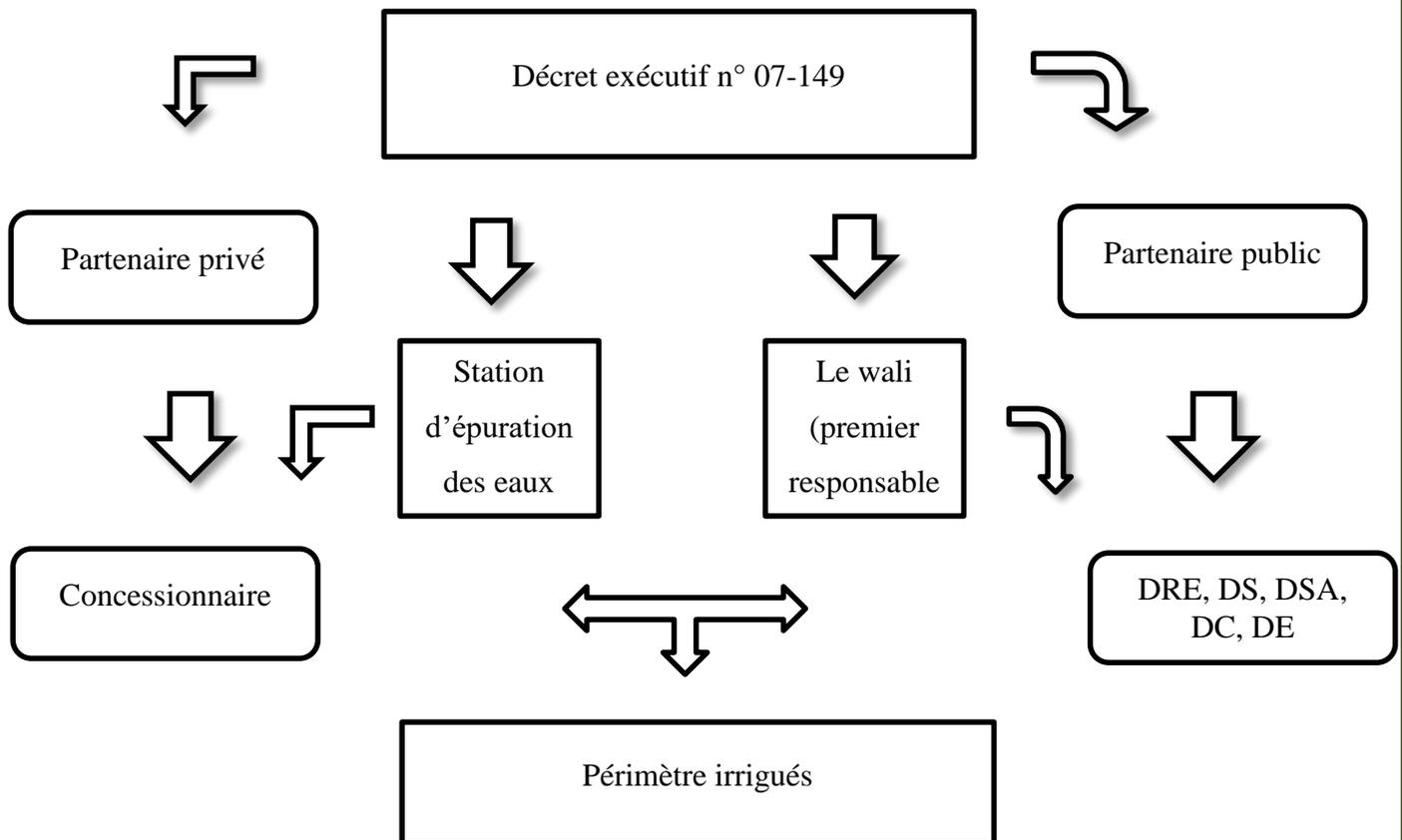
(*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombent au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire. (**) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

IV.5 Aspects législatifs en Algérie

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent [JO, 2007]. Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région,

cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées.

Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce.



DRE : direction des ressources en eau
 DS : direction de la sante
 DSA : direction des services agricoles
 DC : direction du commerce
 DE : direction de l'environnement

Figure n°4 : Les acteurs de la filière de réutilisation des eaux usées en Algérie

Source : (Hannachi A, Gharzouli R., Djellouli Tabet Y., 2014)

Partie pratique

Chapitre V

En Algérie, l'agriculture connaît de plus en plus de sérieuses difficultés en matière d'irrigation. La réutilisation des eaux usées traitées peut constituer une alternative importante à l'usage des eaux potables dans le secteur agricole, notamment dans un pays comme l'Algérie, où l'irrigation utilise un pourcentage important des eaux consommées. On va essayer d'évaluer l'impact de cette réutilisation. Le périmètre choisi pour cette étude est celui de Hennaya irrigué par les eaux usées épurées de la station d'épuration D'Ain el Houtz Tlemcen.

V.1 Présentation et description de la station d'épuration (STEP)

D'Ain el Houtz

v. 1.1 Situation géographique

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au nord du chef-lieu de wilaya, à l'ouest de la commune de Chetouane sur la Route menant vers le village d'Ain El Houtz. Conçue pour une population de 150 000 Eq/hab et d'une capacité de 30 000 m³/j, elle a été réalisée par l'Entreprise nationale Hydrotraitement et mise en service le 05 novembre 2005. Elle est gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement (ONA).

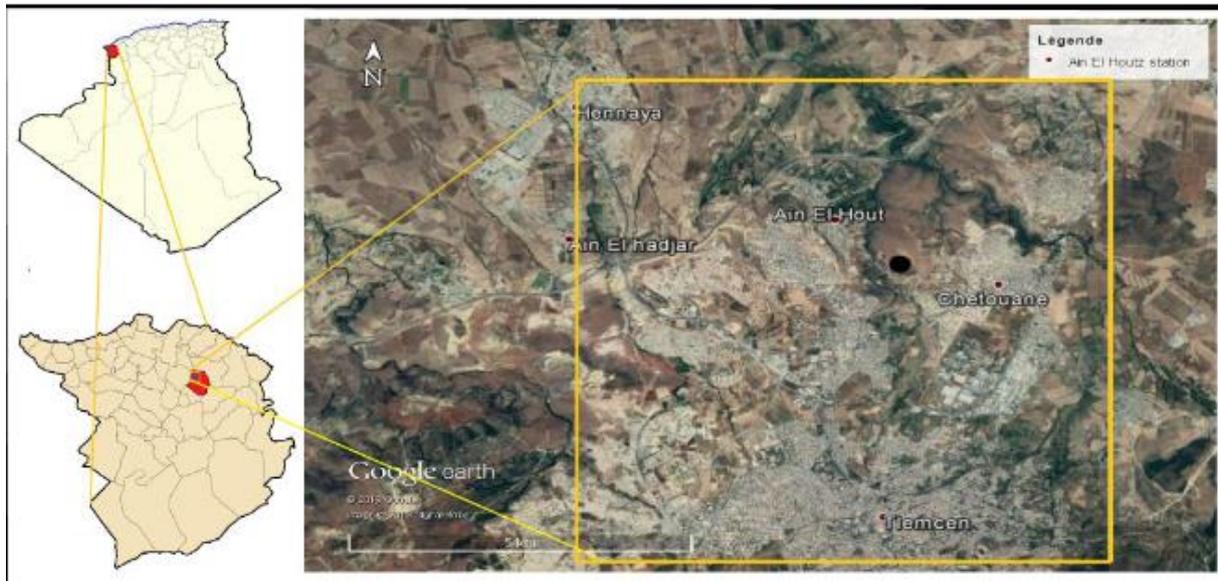


Figure 5 : localisation de la step d'Ain El-Hout (otiginale)



Photo 1 : Panoramique de la Station

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type Boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

V.1.2 Présentation de la STEP

Les objectifs de la station d'épuration :

- Lutter contre les maladies à transmission hydrique
- Protection de l'environnement

- Préservation de la qualité des eaux de barrage
- Réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation du périmètre de Hennaya

La station d'épuration de la ville de Tlemcen a été dimensionnée sur la base des données suivante :

1. mise en service	→	2005
2. type de réseau	→	unitaire
3. nature des eaux brutes	→	domestiques
4. population	→	150 000 EQ/HAB
5. débit journalier	→	30 000 m ³ /j
6. débit de pointe horaire admis au traitement	→	3 800 m ³ /h
7. DBO5 journalière	→	9 300 kg/j
8. matière en suspension	→	13 950 kg/j
9. azote à nitrifier	→	1 980 kg
10. l'équivalence calculée sur la DBO	→	172 000 EQ/HAB

V.1.3 Principe de fonctionnement de la STEP

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type Boues activées à faible charge elle est composé d' :

- Un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mis en contact avec la masse bactérienne épuratrice.



Photo 2 : Basins d'aérations

- Un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne :



Photo 3 : Clarificateurs

- Un dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupérées dans le clarificateur. Cela permet de maintenir dans ce bassin la quantité (ou concentration) de micro-organismes nécessaire pour assurer le niveau d'épuration recherché :



Photo 4 : Vis de recirculation

- Un dispositif d'extraction et d'évacuation des boues en excès, c'est-à-dire du surplus de culture bactérienne synthétisée en permanence à partir du substrat :
- Un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération,
- Un dispositif de brassage de ce même bassin, afin d'assurer au mieux le contact entre les cellules bactériennes et la nourriture, d'éviter les dépôts, de favoriser la diffusion de l'oxygène partout où on a besoin de le faire
- Un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération.
- Un dispositif de brassage de ce même bassin, afin d'assurer au mieux le contact entre les cellules bactériennes et la nourriture, d'éviter les dépôts, de favoriser la diffusion de l'oxygène partout où on a besoin de le faire.

V.1.4 Volume de modulation

Tableau 16 : Récapitulatif des Bilans Annuels

Année	Volume lâché (m ³)	Volume MTR (m ³)	Volume distribué (m ³)	Superficie irriguée (ha)	Nombre d'irrigants
2011	1 904 660	1 904 660	1 904 660	350	150
2012	791 470	791 470	791 470	350	150
2013	988 695	988 695	988 695	350	150
2014	1 527 520	1 527 520	1 527 520	350	150
2015	2 953 600	2 953 600	2 953 600	665	170
2016	2 853 000	2 853 000	2 853 000	665	170
2017	2 176 000	2 176 000	1958400	735	170
2018	2 727 000	2 727 000	2454300	735	170
2020	2 218 000	2 218 000	1 951 840	760	170

Volume MTR (m³): volume mise en tête du réseau, c'est-à-dire, à la sortie du bassin de compensation

Commentaire

Depuis la mise en marche de la STEP en 2014 et jusqu'en 2020, le volume des eaux de la STEP a augmenté de 1 904 660 m³ à 2 218 000 m³ et dans le même temps les superficies irriguées ont aussi augmenté de 350 (ha) à 760 (ha).

Tableau 17 : analyses physico-chimiques du mois de janvier 2021 par rapport aux normes

Nature des Eaux	MES (mg/l)		DBO ₅ (mg/l)		DCO (mg/l)		PH	
	Analyse actuelle	Norme	Analyse actuelle	Norme	Analyse actuelle	Norme	Analyse actuelle	Norme
Eau brute	220	30	284	30	491	90	7,8	8,5 ≤ Ph ≤ 6,5
Eau épurée	25,5		26		49		7,5	

Commentaire

Les normes des eaux usées épurées provenant de la STEP d'Ain El Houtz répondent aux normes fixées par la réglementation algérienne dans le cas de leur réutilisation en irrigation de l'arboriculture.

VI Présentation et Description du périmètre Hennaya

VI.1 Localisation

Le périmètre d'irrigation d'Hennaya est situé dans la partie nord du chef-lieu de la commune. Il est situé à 11km en aval de la station d'épuration d'Ain El Houtz.

Exploité depuis 2012, il est limité :

- Au Nord par la route départementale qui mène au village d'Ain Youcef
- Au Sud par la ville de Hennaya
- A l'Est par la route départemental No38 reliant Hennaya à Bensekrane
- A l'Ouest par la route national No22 reliant la ville de Tlemcen à la ville d'Oran

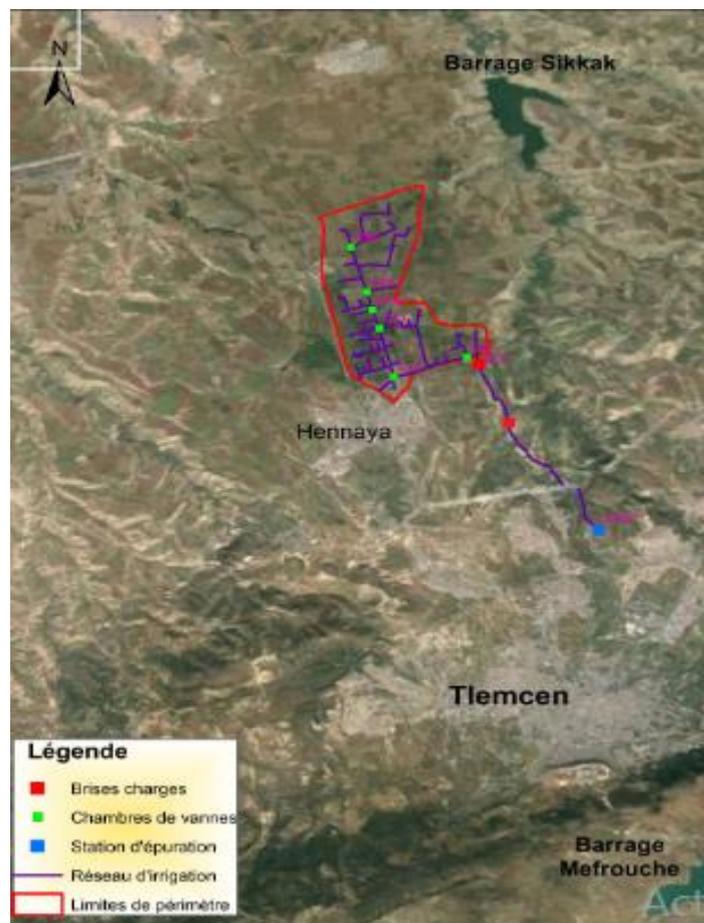


Figure 6 : Localisation du périmètre irrigué par les eaux usées traitées

(Google earth)

VI.2. Superficie

Le périmètre de Hennaya (Figure 6), qui s'étend sur plus de 912 hectares (en réalité, la structure des bornes d'irrigation couvre près de 1500ha). Les eaux usées épurées proviennent de la station d'épuration(STEP) d'Ain Houtz, Chétouane (Tlemcen).

VI.3 Contexte climatique

VI.3.1 Précipitation

Les précipitations moyennes annuelles sont de 525 mm pour la station de M'lila Hennaya. La saison humide qui dure huit (08) mois (d'Octobre à Mai) où la pluviométrie atteint 93% des précipitations totales annuelles avec des maximums répartis entre Février et Mars qui dépassent les 15% et des minimums qui ne descendent pas au-dessous de 6% en Octobre. Une saison sèche de quatre mois (Juin – Septembre) avec des minimums en Juillet et Août généralement 1% des pluies annuelles.

VI.3.2 Température

L'analyse des températures dans la zone d'étude met en évidence que le mois de Janvier est le plus froid avec une température de 8°C à 11,5°C et que le mois d'Août est le plus chaud avec une température qui fluctue entre 24.2°C et 26.5°C.

La température minimale moyenne interannuelle de l'air varie dans les limites de 15.4°C jusqu'à 18°C.

Les valeurs minimales d'humidité relative mensuelles se produisent en Juillet-Août et les maximums généralement en Décembre et Janvier.

VI.3.3 Les vents

La vitesse du vent est stable tout au long de l'année.

VI.3.4 Le sirocco

Pendant les mois froids Aucune sirocco n'a été observée, et que le maximum de nombre de jours de sirocco est atteint en période (Juillet-Août)

VI.3.5 L'insolation

L'insolation dans cette zone est d'environ 3000 heures/an en moyenne de 8,2 heures/jours.

VI.3.6 La gelée

Le phénomène de la gelée n'est pas fréquent, il apparaît uniquement en janvier avec une moyenne d'une journée par an. Pour Tlemcen et Zenata, ce phénomène est fréquent en hivers (novembre + avril) avec un maximum qui varie de 5 à 8 jours au mois de Janvier.

COMM

Le climat de la région est semi-aride et en conséquence un déficit en eau est observé

VI.4 Cadre pédologique

VI.4.1 Les sols

CLASSE DE PROFONDEURS DES SOLS DU PERIMETRE

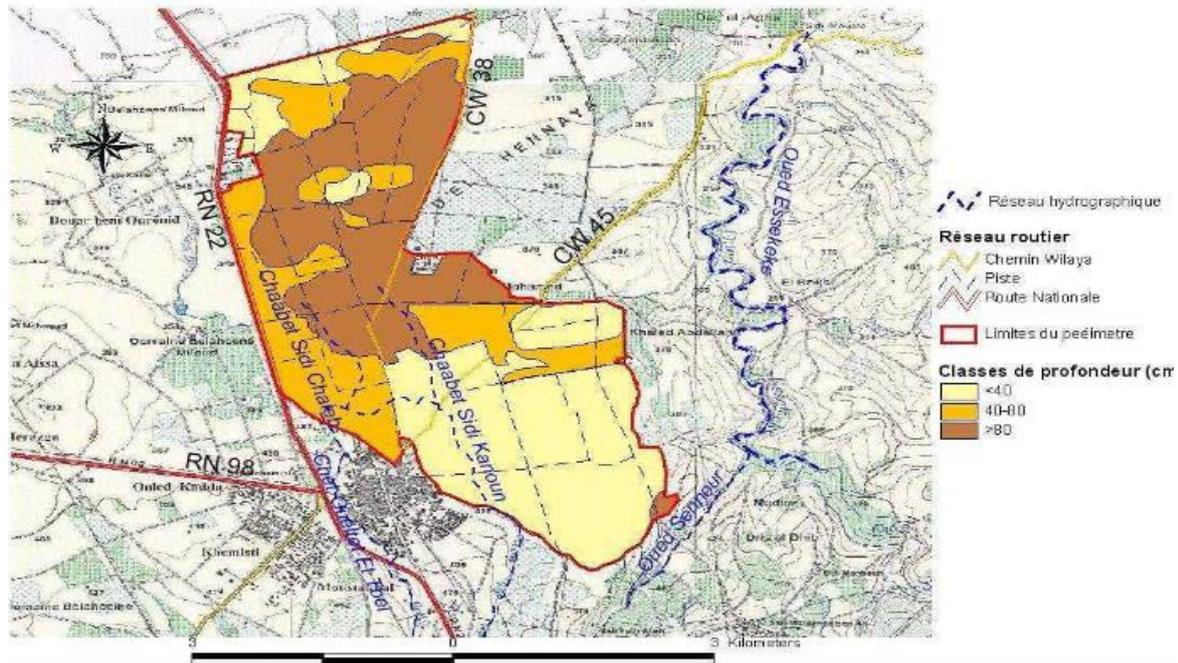


Figure 7 : classe de profondeurs des sols du périmètre

Dans la région de hennaya on distingue Quatre type de sol :

1. Sols a sesquioxides de fer : sols rouges formés sous un climat de type méditerranéen, sols à réserve calcique et plus souvent peu lessivés, recalifiées, profonds, type limono argileux, les travaux d'aménagement recommandés et l'irrigation par aspersion.
2. Sols iso-humiques: marron encroûté et des sols calcimagnésiques carbonates bruns calcaires modaux, les travaux d'aménagement recommandés, irrigation par aspersion, amendements en matière organiques et minérales.
3. Sols iso-humiques : marron encroûté ce sont des sols à complexe saturé type limono argileux, les travaux d'aménagement recommandés sont lessivage.
4. Des sols inaptes à l'irrigation : La présence de la croûte calcaire à la profondeur >40 cm.

VI.5 Occupation du sol et pratiques culturales

Les sols du périmètre hennaya est occupé à plus de 30% par des arboricultures (10% oliviers, 20% arbres fruitiers divers), 70% des agrumes et plus de 5% des céréalicultures (tableau 18). Les photos ci-après ont été prises sur le terrain témoignant des cultures pratiquées dans le périmètre d'hennaya

Tableau 18 : occupation des superficies irriguées à Hennaya

Année	Unité	Spéculation	Agrumes	Oliviers	Arbres fruitiers divers	Jeunes plantations Agrumes	Céréales cultures	Total
2011	Hennaya	Superficie irriguée	330	10	5	0	5	350
2012			330	10	5	0	5	350
2013			330	10	5	0	5	350
2014			330	10	5	0	5	350
2015			375	40	150	60	40	665
2016			375	40	150	60	40	665
2017			375	70	150	100	40	735
2018			375	70	150	100	40	735
2020			395	70	155	140	40	800

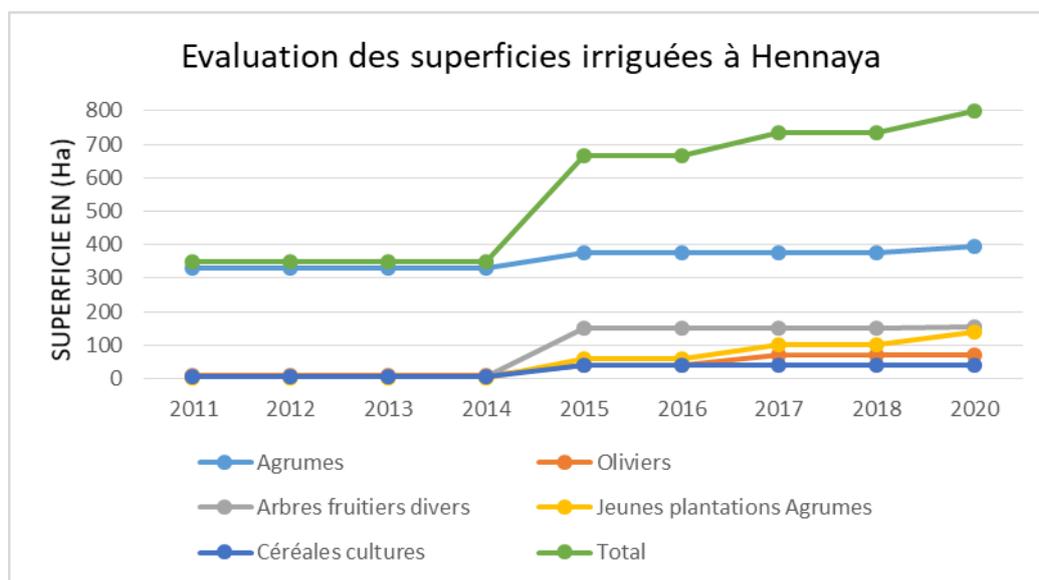


Figure 8 : représentation graphique des superficies irriguées dans le périmètre d'Hennaya



Photo 5 : Des jeunes plantations de avec système d'irrigation goutte à goutte



Photo 6 : les arbres oliviers dans un Sol iso-humiques calcimagnésiques



Photo 7 : des arbres de grenadier avec irrigation goutte à goutte



Photo 8: les agrumes

2.6 Calcul des besoins en eau des différentes cultures

Méthode de calcul

Les résultats des calculs sont portés sur le tableau 19 ci-dessous

Tableau 19 : calcul des besoins en eau des cultures

3 Questionnaire

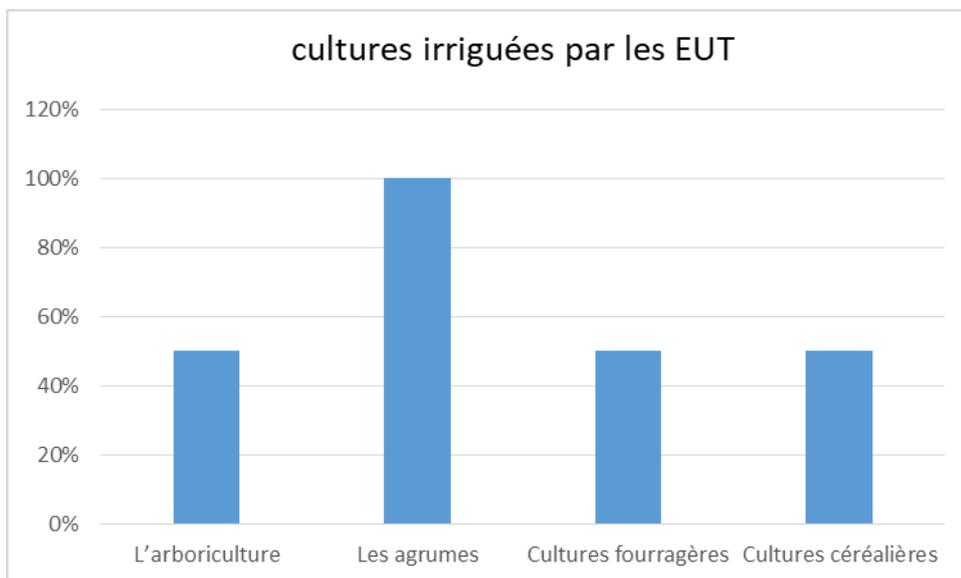
Nous avons proposé cette enquête dans le but de mieux connaître le sujet et les caractéristiques concernant, l'agriculteur, les eaux usées traitées utilisées, les récoltes réalisées, les risques attendus, l'impact sur l'agriculture et sur l'environnement.

3.1 Questionnaire et leur interprétation

Les réponses aux questions posées aux agriculteurs utilisant les eaux usées épurées sont les suivantes :

-Question 1 les cultures irriguées par les eaux usées traitées

Cultures	L'arboriculture	Les agrumes	Cultures fourragères	Cultures céréalières
%	50%	100%	50%	50%



Dans cette question nous avons remarqué que 100% des agriculteurs qui exploitent les agrumes irriguent avec les eaux usées épurées dans le périmètre. Selon L'ONID (Office National de L'irrigation et du Drainage), les récoltes des agrumes augmentent chaque année. Pour cela, les investissements des agriculteurs, sont surtout basés sur les Agrumes.

	Mois	JAN	FEV	MAR	AVRI	MAI	JUIN	juillet	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC	TOTA
				S	L				T					L
	P	47	46	43	43	29	8	2	2	12	31	45	62	370
	Pu (0.8*P)	37.60	36.80	34.40	34.40	23.20	6.40	1.60	1.60	9.60	24.80	36.00	49.60	296
	ETP	117.27	76.14	48.00	33.96	28.26	25.59	42.89	48.59	60.99	91.28	128.14	141.40	842.50
Olives	coefficient cultural [Kc]				0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
	ETM=kc*ETP				16.98	14.13	12.79	21.44	24.29	30.49	45.64	64.07		
	besoins en eau d'irrigation (mm) : R=0 M=ETM-Pu-R				-17.42	-9.07	6.39	19.84	22.69	20.89	20.84	28.07		118.73
Fruits	coefficient cultural [Kc]			0.56	0.71	0.85	0.89	0.89	0.89	0.8	0.65	0.55		
	ETM=kc*ETP			26.88	24.11	24.02	22.77	38.17	43.24	48.79	59.33	70.48		
	besoins en eau d'irrigation : R=0 M=ETM-Pu-R			-7.52	-10.29	0.82	16.37	36.57	41.64	39.19	34.53	34.48		203.60
Agrumes	coefficient cultural [Kc]	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
	ETM=kc*ETP	87.95	57.11	36.00	25.47	21.19	19.19	32.16	36.44	45.74	68.46	96.11	106.05	
	besoins en eau d'irrigation : R=0 M=ETM-Pu-R	50.35	20.31	1.60	-8.93	-2.01	12.79	30.56	34.84	36.14	43.66	60.11	56.45	290.36
Blé	coefficient cultural [Kc]	0.78	1.15	1.15	1.15	0.3						0.4	0.78	
	ETM=kc*ETP	91.47	87.56	55.20	39.06	8.48						51.26	110.29	

	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	53.87	50.76	20.80	4.66	-14.72						15.26	60.69	206.04
Orge	coefficient cultural [Kc]		0.73	1.15	1.15	1.15	0.25						0.3	0.73	
	ETM=kc*ETP		85.61	87.56	55.20	39.06	7.06						38.44	103.22	
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	48.01	50.76	20.80	4.66	-16.14						2.44	53.62	180.30
Autres céréales	coefficient cultural [Kc]		1	1	1	1	1						1	1	
	ETM=kc*ETP		117.27	76.14	48.00	33.96	28.26						128.14	141.40	
	besoins en eau d'irrigation : M=ETM-Pu-R	R=0	79.67	39.34	13.60	-0.44	5.06						92.14	91.80	321.61

Kc : coefficient culturale [0,1] dépend de la nature de la culture, de la phase de végétation, des conditions climatiques

$$Pu = 0.8 * p$$

$$ETM = kc * ETP$$

$$\text{besoins en eau d'irrigation (mm)} : M = ETM - Pu - R$$

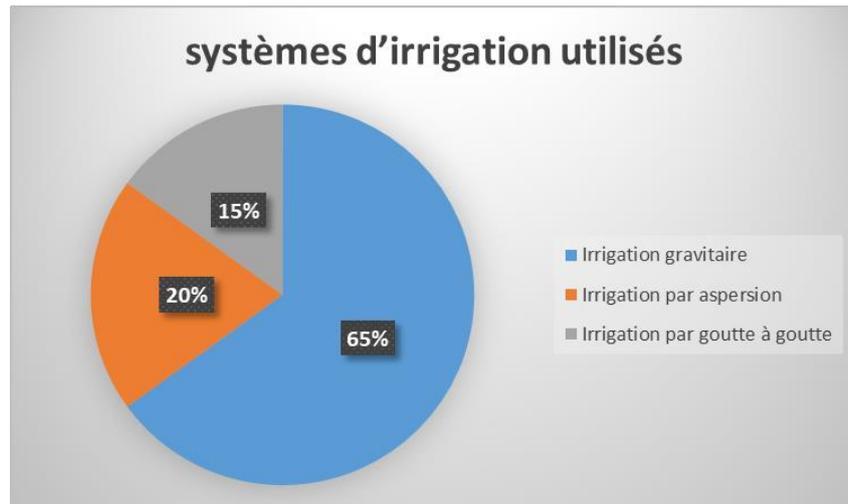
$$ETP = 0,40(Ig + 50) * \frac{T}{T + 15} \quad \text{en (mm / mois)}$$

T : Température moyenne mensuelle en °c

Ig : Radiation globale du mois considéré en (cal / cm² / j)

-Question 2 Les systèmes d'irrigation utilisés

Le système d'irrigation	%
Irrigation gravitaire	65%
Irrigation par aspersion	20%
Irrigation par goutte à goutte	15%



Dans cette question nous avons remarqué que le système d'irrigation le plus adopté par les agriculteurs est l'irrigation gravitaires avec 65%, vient ensuite l'irrigation par aspersion 20%. Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie. et enfin le goutte à goutte à 15% cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.

-Question 3 la réutilisation des EUT peut présenter un avantage pour votre exploitation agricole ?

A travers les réponses, les agriculteurs montrent leurs satisfactions de l'irrigation par les eaux usées épurées non seulement parce qu'elles sont gratuites mais aussi parce qu'elles sont très riches en fertilisants. Elles apportent beaucoup d'avantages à leurs cultures.

Les avantages peuvent être brièvement récapitulés comme suit :

- économie d'eau claire,
- économie de fertilisants,
- accroissement de rendement,

- Question 4 améliorations des cultures en utilisant les boues (comme engrais)

D'après les réponses des agriculteurs et L'ONID (Office National de L'irrigation et du Drainage), l'irrigation par les eaux usées épurées présente beaucoup d'avantages d'une part par leurs compositions très riches en nutriments et d'autre part par l'utilisation des boues qui à leurs tours sont composées de fertilisant en micro et macro nutriments (N, P, K, Fe, Ca, Mg) avec une utilisation raisonnable.

Les boues, appliquées de façon à apporter les besoins en azote de la culture, fournira la plupart des nutriments à la plante, excepté le potassium. Cependant, il est peu probable que la boue d'épuration soit employée pour fournir tous les besoins nutritifs de la culture en raison des grandes quantités qui devraient être appliqués. D'autres facteurs peuvent limiter la quantité de boue appliquée annuellement.

- Le contrôle des doses

Nous avons remarqué que la majorité des réponses affirmaient que les doses sont contrôlées parce que ça peut se répercuter inversement. L'excès des fertilisant peut perturber la plante.

- Question 5 des difficultés pour vendre les produits irrigués par les eaux traitées

La majorité des agriculteurs ont répondu par non et que le plus important pour le client est la qualité du fruit.

- Question 6 la satisfaction de l'agriculteur du rendement réalisé (quantitatif et qualitatif)

Tout le monde cherche à réaliser du profit, l'agriculteur à travers la récolte réalisée avant et après l'utilisation des eaux épurées, il est sûr que le rendement est meilleur parce qu'il a constaté un résultat à travers l'expérience tout en respectant la réglementation.

- Question 7 Organismes responsables de la gestion de l'eau et du secteur agricole qui doivent maintenir des rencontres continues avec les agriculteurs.

Il y'a pas des organismes responsables privée mais il y a une commission qui suit avec les agriculteurs. Ce contact permet de connaître leurs besoins, soit en matière d'irrigation, soit les types d'aides que les organismes devront leur fournir pour en faciliter la tâche.

- Question 8 la réalisation des économies importantes en remplaçant l'achat d'engrais par la réutilisation des boues des EUT.

les eaux usées épurées pourraient avoir un impact économique positif sur les agriculteurs. l'agriculture est un secteur connu aussi par sa forte consommation d'engrais chimiques et minéraux dont le but principal est d'augmenter la récolte. Actuellement, le marché des engrais connaît une hausse des prix qui a commencé en 2007 le remplacement des engrais par une source de nutriments moins coûteuse, comme les eaux usées traitées, est vu comme une solution prometteuse. Cette source, riche en phosphore, en azote, en potassium et en macronutriments essentiels à la croissance des plantes.

- Question 9 programme de formation et de sensibilisation pour les agricultures ainsi les consommateurs.

Dans cette questions nous avons des différents réponses Le programme de formation et de sensibilisation est essentiel pour ne pas dire obligatoire, et cela pour minimiser les risques sur la santé humaine. Ceux-ci procurent aux agriculteurs toutes les techniques et les aident à prendre la décision adéquate en respectant toujours la réglementation indiquée.

Les agriculteurs devraient être formés sur ces aspects avant l'attribution de l'eau usée pour l'irrigation. En outre, il est nécessaire d'accorder aux agriculteurs le libre accès à l'information relative à la qualité de l'eau et au type d'eau avec laquelle ils sont approvisionnés.

- Question 10 l'usage des EUT comporte de sérieux dangers pour la santé humaine et l'environnement

Les aliments consommés

	%
Mauvaise gestion	0%
Règlements non respectés	80%
Autres	20%

La totalité des réponses se focalise selon les agriculteurs sur 80% « la réglementation n'est pas respectée ». On peut dire que c'est vrai, ne pas respecter la réglementation et la mauvaise gestion, mènent à de sérieux dangers qu'on ne peut pas éviter.

L'utilisation de ces eaux usées épurées pour l'irrigation est conditionnée par :

Traitements spécifiques des eaux répondant aux normes algériennes en la matière

Application stricte des dispositions des cahiers des charges fixant :

Le choix des équipements d'irrigation à installer

Le respect du plan de culture prédéfini

La méthode d'irrigation à entreprendre

L'affichage obligatoire sur la non-potabilité de cette eau.

-11 l'irrigation avec des EUT engendre-t-elle des risques pour les agriculteurs

Un code de bonnes pratiques est bien plus important pour les agriculteurs que les directives de qualité de réutilisation des eaux usées des suggestions et des recommandations, complétant les directives ou les normes, en vue d'aider les agriculteurs à contrôler l'utilisation de l'eau usée dans les meilleures conditions.

La probabilité pour eux de se mouiller les mains, les vêtements, ou d'autres parties de leur corps à partir de fuites ou autrement, est certainement le plus gros risque d'exposition. Par conséquent, les agriculteurs devraient être avertis du risque et manipuler l'eau usée avec précaution.

- Question 12 l'utilisation des EUT pour irriguer est plus rentable

La réutilisation des eaux usées traitées pourrait limiter et même éliminer l'utilisation des engrais chimiques dans l'irrigation en réduisant toutes les dépenses impliquées par cet usage l'avantage principal des agriculteurs résulte du fait que l'eau usée est une source d'eau fiable, même en années très sèches, et que sa valeur nutritive peut donner un rendement élevé, de bonne qualité sans ou avec une quantité limitée d'engrais , Donc elle est plus rentable.

- Question 13 l'utilisation des EUT pour irriguer est plus pratique

100% des agriculteurs ont répondu par oui. Les agriculteurs sont convaincus que cette nouvelle méthode qui est l'utilisation des eaux usées traitées pour la production agricole constitue à priori une démarche avantageuse à plusieurs titres. Elle permet en effet, de valoriser l'eau et les matières fertilisantes.

Conclusion générale

REUE est une démarche longue et délicate. Les eaux usées brutes sont très concentrées en polluants et leur utilisation présente un risque sanitaire potentiel élevé. Mais il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants, et donc le risque sanitaire, à un niveau acceptable. La qualité obtenue est même parfois meilleure que celle d'approvisionnements plus conventionnels (rivières, sources, etc.). Les eaux usées épurées permettraient de couvrir toute une gamme de besoins agriculture, usages industriels, domestiques, etc. Chaque besoin a des exigences différentes en termes de qualité. Il existe dans plusieurs pays, ainsi qu'au niveau international, différentes réglementations qui déterminent ces niveaux de qualité en fonction des risques sanitaires inhérents à ces usages. Une opération de REUE peut être une réponse à deux types de situations critiques la rareté des ressources en eau et la mauvaise qualité des masses d'eau naturelles.

La réutilisation des eaux usées est l'une de ces alternatives qui pourrait être fiable et très bénéfique pour l'irrigation et en même temps, pour l'agriculture. En fait, les eaux usées peuvent être une alternative à l'utilisation des eaux propres dans l'agriculture, en laissant l'eau fraîche servir à d'autres utilisations, dont l'alimentation en eau potable (OMS, 1989). Dans ce contexte, par ce travail nous avons montré que dans le cas de l'irrigation du périmètre de Hennaya, la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration d'Ain El Houtz, est importante et bénéfique.

En effet, l'enquête auprès des agriculteurs utilisant cette pratique a révélé les avantages quant à, d'une part, ce type d'irrigation où les eaux sont chargées en matières fertilisantes et d'autre part, l'utilisation des boues d'épuration en engrais.

L'impact est observé directement sur les végétaux à travers l'augmentation de leur production, l'amélioration de leur qualité et de celle de leur sa biomasse, la multiplication des types de culture..

L'impact est aussi d'ordre socio-économique suite aux substitutions des ressources en eau naturelles par les eaux usées épurées. Le volume destiné à l'irrigation est détourné au profit de l'alimentation en eau potable. Les engrais chimiques sont à leurs tours remplacées par les boues séchées considérées comme engrais naturels. Par ces substitutions, les surfaces des

Conclusion

terres irriguées et le rendement ont augmenté suscitant ainsi une motivation chez les agriculteurs à plus de pratique en agriculture.

Enfin, dans un climat semi-aride où les ressources en eau se font de plus en plus rares et étant sans danger pour la santé humaine et environnementale et pratiquée sous une réglementation algérienne, la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation présente une alternative prometteuse qui mériterait d'être généralisée sur tout le territoire Algérien.

Références

-A-

-AROUZ J., (1985)- LE TRAITEMENT DES BOUES DES STATIONS D'EPURATION, CENTRE DE FORMATION ET DE DOCUMENTATION SUR L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL, PARIS 06- FRANCE.

-B-

-BECHAUX J., (1978)-MEMENTO TECHNIQUE. DE L'EAU.- DEGREMONT, 1100 P

-BELAID NEBIL (2010), EVALUATION DES IMPACTS DE L'IRRIGATION PAR LES EAUX USEES TRAITEES SUR LES PLANTES ET LES SOLS DU PERIMETRE IRRIGUE D'EL HAJEB-SFAX: SALINISATION, ACCUMULATION ET PHYTOABSORPTION DES ELEMENTS METALLIQUES, THESE DE DOCTORAT, .P 8

-BELAID NEBIL (2010), EVALUATION DES IMPACTS DE L'IRRIGATION PAR LES EAUX USEES TRAITEES SUR LES PLANTES ET LES SOLS DU PERIMETRE IRRIGUE D'EL HAJEB-SFAX: SALINISATION, ACCUMULATION ET PHYTOABSORPTION DES ELEMENTS METALLIQUES, THESE DE DOCTORAT, P.P. 10.12.

-BOUAROU DJ SARA(2012), EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION, THESE DE MAGISTERE EN ÉCOLOGIE, SOUTENUE EN 2012, p.18

-BOUTIN CATHERINE, HEDUIT ALAIN, HELMER JEAN-MICHEL, (2009), TECHNOLOGIES D'EPURATION EN VUE D'UNE REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES (REUT) RAPPORT FINAL, (CONVENTION DE PARTENARIAT ONEMA-CEMAGREF 2008), p.24.

-BENFLIS ALI (17 AOUT 2002), PRINCIPAUX TEXTES LEGISLATIFS ET REGLEMENTAIRES RELATIFS A LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT, p.46.

-BRAME V., (1986)- LES PROCEDES PHYSICO-CHIMIQUES D'EPURATION DES EAUX USEES URBAINES. SERIE DOCUMENTS TECHNIQUES A.F.E.E FRANCE.

-D-

-DADI EL MEHDI (2010), L'EVALUATION DE LA POSSIBILITE DE REUTILISER EN AGRICULTURES L'EFFLUENT TRAITEES DE LA COMMUNE DE DRAGA, P.5.

-DRECHSEL, PAY (2011), IRRIGATION PAR LES EAUX ET LA SANTE ; EVALUER ET ATTENUER LES RISQUES DANS LES PAYS A FAIBLE REVENU, 2011, P .35.

-DUCHENE P., (1990)- LES SYSTEMES DE TRAITEMENT DES BOUES DES STATIONS D'EPURATION DES PETITES COLLECTIVITES. DOCUMENTATION TECHNIQUE DU FNDAE. N° 09, P 8-9.

-F-

FAO (SEPTEMBRE 2003), ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, L'IRRIGATION AVEC LES EAUX USEES TRAITES P.P. 24.26.

-H-

-HANNACHI A, GHARZOULI R., DJELLOULI TABET Y. (2014), GESTION ET VALORISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE, LARHYSS JOURNAL, ISSN 1112-3680, N°19, P.5.

-J-

JARDE EMILIE (2002), COMPOSITION ORGANIQUE DES BOUES RESIDUAIRES DE STATION D'EPURATION LORRAINES; CARACTERISATIONS MOLECULAIRES ET EFFET DES BIODEGRADATIONS, THESE DE DOCTORAT P.P11.15.

-M-

-MATHIAN R.,(1986)- LES PROCEDES PHYSICO-CHIMIQUES D'EPURATION DES EAUX USEES URBAINES. I.R.C.H.A, DOCUMENTS TECHNIQUES.

-MORGAN MOZAS & ALEXIS GHOSN , CHEFS DE PROJET D'IPEMED, ÉTAT DES LIEUX DU SECTEUR DE L'EAU EN ALGERIE, P .5, OCTOBRE 2013.

-MORGAN MOZAS & ALEXIS GHOSN(2013) , CHEFS DE PROJET D'IPEMED, ÉTAT DES LIEUX DU SECTEUR DE L'EAU EN ALGERIE, P .11

-MOUSSAWI RAFIKA (2017), L'IMPACT DE L'EAU RECYCLEE SUR LA PERFORMANCE DE L'AGRICULTURE CAS PRATIQUE : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DANS LE PERIMETRE D'HENNAYA, THESE DE DOCTORAT, P.76.

-O-

-OMS (2012), UTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE, DIRECTIVES OMS POUR L'UTILISATION SANS RISQUE DES EAUX USEES, DES EXCRETAS ET DES EAUX MANAGERS, P 24.

-P-

-PROBLEMATIQUE DU SECTEUR DE L'EAU ET IMPACTS LIES AU CLIMAT EN ALGERIE, 07 MARS 2009.

-R-

-REMINI.,(JUIN 2010), « LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE DU NORD », DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT, FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR, UNIVERSITE BLIDA, P 41.

-T-

-TAMRABET LAHBIB (2011), CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA VALORISATION DES EAUX USEES EN MARAICHAGE, THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES P14

-TAMRABET LAHBIB (2011), CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA VALORISATION DES EAUX USEES EN MARAICHAGE, THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES, P.72.

-TOUATI BOUZID (2010), LES BARRAGES ET LA POLITIQUE HYDRAULIQUE EN ALGERIE : ETAT, DIAGNOSTIC ET PERSPECTIVES D'UN AMENAGEMENT DURABLE, THESE DE DOCTORAT D'ETAT EN AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, P.17.

-V-

-VADE MICUM., 1990– REFERENCES A L'USAGE DES INSPECTEURS CHARGES DE LA PROTECTION DU L'ENVIRONNEMENT .EDITION MINISTERE DE L'INTERIEUR.

-Y-

-YELI MARIAM SOU(2009), RECYCLAGE DES EAUX USEES EN IRRIGATION : POTENTIEL FERTILISANT, RISQUES SANITAIRES ET IMPACTS SUR LA QUALITE DES SOLS, THESE DE DOCTORAT, SOUTENUE A LAUSANNE, P.17.

يمكن أن يكون الري بمياه الصرف الصحي المعالجة بديلاً مهماً في القطاع الزراعي حيث يستخدم الري ما يصل إلى 80% من المياه المستهلكة، ويحدد التقييم الآثار الإيجابية والسلبية لإعادة الاستخدام على المجتمع، الصحة، الاقتصاد والبيئة. في الواقع، من أجل ضمان التأثيرات الإيجابية والقضاء على الآثار السلبية، تم تطوير سلسلة من التوصيات والحسابات؛ يعد رفع مستوى الوعي بين المزارعين أمراً مهماً للغاية لإرسال رسالة حول موثوقية هذه المياه النقية في الزراعة وكذلك امتثال المزارع للقوانين.

كلمات البحث: مياه الصرف الصحي، الري بمياه الصرف الصحي، الجانب الصحي، الصحة العامة

Résumé

L'irrigation avec les eaux usées traitées peut constituer une alternative importante dans le secteur agricole où l'irrigation utilise jusqu'à 80 % des eaux consommées. L'évaluation identifie les impacts positifs et négatifs de la réutilisation sur la société, santé, l'économie et l'environnement. En effet, en vue d'assurer les impacts positifs et éliminer ceux qui sont négatifs, une série de recommandations et de calculs a été élaborée ; la sensibilisation des agriculteurs est très importante pour faire passer le message de la fiabilité de ces eaux épurées dans l'agriculture ainsi que le respect réel de l'agriculteur de la réglementation

Mots clés ; Eaux usées, Irrigation par eaux usées, Aspect sanitaire, Santé publique

Abstract :

Irrigation with treated wastewater can be an important alternative in the agricultural sector where irrigation uses up to 80% of the water consumed. The assessment identifies the positive and negative impacts of reuse on society, health, the economy and the environment. Indeed, in order to ensure the positive impacts and eliminate the negative ones, a series of recommendations and calculations have been elaborated; the awareness of the farmers is very important to pass the message of the reliability of these purified waters in agriculture as well as and the real respect of the farmer of the regulation

Key Word; Wastewater, Wastewater irrigation, Sanitary aspect, Public health

