

N° d'ordre :

République Algérienne Démocratique & Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE D'ORAN 2
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Mr. BELAIDI ISMAIL

Filière : Géologie

Parcours : Master de HYDROGEOLOGIE

Intitulé

**Réutilisation des eaux usées épurées pour
L'irrigation « Cas de la STEP de AINHOUTZ »
(Wilaya de TELMCEN)**

« »

Soutenu le //

: Devant le jury composé de

Président:	Mr. BAICHE Abdelkader	M.A.A	Université d'ORAN
Examineur:	Mme. ABLAOUI Halima	M.A.A	Université d'ORAN
Encadreur :	Mr. SAFA AISSA	Professeur	Université d'ORAN

Année universitaire : 2019– 2020

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah pour sa grâce et sa bonté.

*Au terme de ce travail, nous tenons à présenter nos vifs remerciements à notre
Encadreur **Mr. SAFA AISSA** de nous avoir orienté et pour ses
Conseils judicieux et ses riches enseignements et sa constante disponibilité dans
le but de mener à bien ce mémoire de Master.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants du
Département de Géologie, qui a contribué à notre formation, sans oublier
Tout le personnel administratif.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

*Nos respects aux Membres du Jury, qui nous ont fait l'honneur d'évaluer
Notre travail.*

Dédicace

Tout d'abord, je voudrais remercier les généreux parents du temps qu'ils nous ont accordé pour nous donner l'espoir de ces recherches.

Je vous remercie en particulier pour la National Géophysiques Corporation, qui m'a offert une occasion exceptionnelle de travailler sur le terrain.

Je voudrais remercier Ma vié ma mère

Et Je voudrais remercier mon père

Et toute ma famille et toutes les personnes qui ont contribué au succès de ma formation.

Et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ces mémos.

Je voudrais également remercier les personnels enseignant responsables pour en avoir présenté la partie théorique.

Liste de Figure

Figure 1:Le dégrillageur	25
Figure 2: le dessablage	26
Figure 3: décanteur primaire.....	27
Figure 4: Schéma d'une station d'épuration à boues activées.....	33
Figure 5: Photo Satellite descriptive du voisinage de la STEP de Tlemcen.....	38
Figure 6 : Déversoir d'orage.....	469
Figure 7: Dégrillage figure 479	
Figure 8: Déshuileur	48
Figure 9: Bassin biologique.....	48
Figure 10: Filtre à bande.....	49
Figure 11: Lit de séchage	52
Figure 12: logicielle de contrôle	44
Figure 13: Echantillonneur	45
Figure 14: deux échantillon dans laboratoire avant et après le traitement 456	
Figure 15: Evolution des MES de l'eau épurée pendant l'année 2017 576	
Figure 16: Variations moyennes mensuelles de DBO5 à la sortie de la STEP pendant 577	
Figure 17: carte du périmètre de Hennaya.....	48
Figure 18: Schéma de détritition des eaux vers le périmètre de Hennaya 578	
Figure 19: Périmètre d'irrigation de Hennaya (Tlemcen) 579	
Figure 20: Localisation du point d'observation	52
Figure 21: classe de profondeurs des sols du périmètre Hennaya.....	53
Figure 22: réservoir de stockage.....	55
Figure 23: brise charge.....	56
Figure 24: Réparation des supervise irriguées selon les cultures	57
Figure 25: Répartition des volumes distribués pendant les années 2011 jusqu'à 2017.....	57
Figure 26: Répartition des supervise irrigues pendant les années 2011 jusqu'à 2017.....	58

Liste des Tableaux

Tableau 1: Valeurs moyennes mensuelles de MES ; DCO et la DBO5 dans les eaux.....	46
Tableau 2: Paramètres caractéristiques de la réutilisation en irrigation	49
Tableau 3: Dosage des éléments solubles et ETM	50
Tableau 4: les valeurs limites des ETM pour l'eau d'irrigation [42]	50
Tableau 5: Analyses échantillons de Sol.	51
Tableau 6: (suite). Analyses échantillons de Sol	52
Tableau 7: Classe de salinité des sols et effet sur la croissance des plantes.....	54
Tableau 8: Evolution des superficies & des volumes des eaux usées réutilisée à l'irrigation	56
Tableau 9: Evolution de rendement.....	58

Sommaire

<i>Remerciements</i>	II
<i>Dédicace</i>	III
<i>Liste de Figure</i>	IV
<i>Liste des Tableaux</i>	V
Introduction Générale	2
I.1. Introduction	4
I. 2. Définition des eaux usées	4
I.3 Types des eaux usées :	4
I. 3.1. Les rejets domestiques	4
I. 3.2. Les rejets industriels.....	5
I. 3.3. Eaux de ruissellement.....	5
I. 3.4. Les eaux usées urbaines	5
I. 3.5. Les eaux agricoles	5
I. 4. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées :	6
I. 4.1. La température.....	6
I. 4.2. Le potentiel Hydrogène (pH) :	6
I. 4.3. L'Oxygène Dissous.....	6
I. 4.4. La Conductivité.....	6
I. 4.5. La matière en suspension(MES)	7
I. 4.6. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :	7
I. 4.7. La Demande Biochimique en Oxygène(DBO) :	7
I. 4.8. Le Phosphore :.....	8
I. 4.9. L'azote ammoniacal :.....	8
I. 4.10. Les nitrates :	8
I. 4.11. L'azote :.....	8
I. 4.12. Le sulfate :.....	9
I. 4.13. La Turbidité :.....	9
I. 4.14. La couleur :.....	9
II.1. Introduction.....	12
II.2. Notions générales sur les risques :.....	13
II. 2.1. Risques sanitaires :.....	14

II.2.2. Risques agronomiques :	16
II.2.3. Risques environnementaux :	17
II.2.3.1. Effets sur le sol	17
II.2.3.2. Effets sur les eaux souterraines.....	18
II.2.3.3. Effets sur les eaux de surface :.....	18
II.3. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées :.....	19
II.3.1. Avantages sociaux	19
II.3.2. Avantages environnementaux	20
II.3.3. Avantages économiques	21
II.4. Conclusion :	22
III.1. Introduction :	24
III.2. Les étapes des eaux usées :.....	25
III.3. Le déshuilage dégraissage :	26
III.4. Procédés de décantation physique	27
III.5. Procédés de décantation chimique.....	28
III.6. Le traitement tertiaire :	28
III.7. La stabilisation.....	30
III.7. Principe de l'épuration biologique	32
III.8. Les techniques extensives :	34
IV .1. Introduction	37
IV. 2. Description du procédé d'épuration à la STEP de Ain El-Houtz.....	37
IV. 2.2. Les avantages de STEP d'Ain EL-Houtz :.....	47
IV. 3. Utilisation des eaux usées épurées de la STEP de Ain El Houtz pour irriguer le	47
IV.4. Paramètres caractéristiques de la réutilisation en irrigation :.....	49
IV.4.1. Paramètre caractéristiques physico chimique de l'eau :	49
IV.4.2. Paramètres caractéristiques des éléments traces métalliques	50
IV 4.3. Analyse de sol de périmètre de Hennaya :	51
IV. 5. Les aménagements pour la réutilisation des eaux usées en irrigation :.....	55
IV .6. Conclusion.....	59
Conclusion générale	61
Références Bibliographique	63

Liste des abréviations :

- AFD** : Agence française de développement
- BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- Cd** : Cadmium
- Co** : cobalt
- CE** : Conductivité Electrique.
- CEC** : Capacité d'échange cationique
- Cm** : La charge massique exprime en kg DBO5 / kg MVS.j.
- CNRS** : Centre national de la recherche scientifique (France)
- CO2** : gaz de carbone.
- COT** : Carbone total organique.
- Cr** : Chrome
- Cu** : Cuivre
- CV** : La charge volumique exprimé en kg O2 .m-3.j-1.
- DBO5** : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.
- DC** : Direction du Commerce
- DE** : Direction de l'Environnement
- DH** : Direction de l'Hydraulique
- DS** : Direction de la Santé
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène.
- DNF** : Déplacement Nutritif
- ENV** : Environnement
- ETM** : éléments métalliques
- FTU**: Formalin Turbidity Unit
- IRR**: Irrigation
- JTU**: Jackson Turbidity Unit
- GWI** : Global Water Intelligence
- GWR** : Recharge de la nappe phréatique
- H2O** : eau.

MEDDE Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (France)

MES : Matière En Suspension.

MMS : matière minérales sèche (mg/l).

NTU : Néphélogétrie Turbidité Unit

MO : matière organique

MP : matière phosphorées.

MVS : matière volatile en suspension (mg/l).

Ni : Nickel

Norg : Azote organique.

NH₄: l'azote ammoniac.

NH₃: ammoniac.

NO₂ : nitrites.

NO₃ : nitrates.

O₂ : oxygène dissouts.

OMS Organisation mondiale de la santé

ONA : Office National d'Assainissement.

ONID : Office Nationale de l'Irrigation et de Drainage

Pb : Plomb

PH : potentiel Hydrogène.

PMH : Petites et Moyennes Hydrauliques

POT : production d'eau potable

PO₄-3 : ortho phosphates.

PMH : petites et moyennes hydrauliques

SAR : Sodium Adsorption Ratio

SAU : Surface Agricole Utile

STEP : Station d'Épuration.

SYNTEAU : Syndicat national des entreprises du traitement de l'eau (France)

T : Température.

URB/DOM : Réutilisation Urbaine Domestique

US EPA United States Environmental Protection Agency

UV : Ultra Vue

V : volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation.

Zn : Zinc

Introduction Générale

Introduction Générale

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs, notamment ceux des régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées.

La croissance démographique, l'urbanisation, la pollution des ressources en eau, les impacts du changement climatique sont en train d'augmenter la pression sur les ressources en eau, en particulier dans les zones arides ou semi-arides ; L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones précédentes, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables.

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer. C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux.

Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques.

Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie, qui dispose d'un volume d'eau traité de 560 000 mètres cubes, consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture.

La réutilisation des eaux usées apparaît comme une solution alternative pour limiter la pénurie, préserver la ressource naturelle et contribuer à la gestion intégrée de l'eau.

CHAPITRE I

Généralités Sur L'épuration Et caractéristiques Des Eaux Usées

I.1. Introduction

Les normes nationales et internationales fixent des indicateurs de pollution biologique et physico-chimique de l'eau usée. Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. Généralement exprimés en mg/l, Il existe une grande variété de paramètres indicateurs de pollution de l'eau. Il faut noter que ces paramètres peuvent être physiques, chimiques ou biologiques. Au cours de ce chapitre, nous allons donner une idée sur les eaux usées aussi que son épuration.

I. 2. Définition des eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est défini comme :« Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physicochimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ».

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (Industrielle, domestique, ...). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes :

Les microorganismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives ; [1].

I.3 Types des eaux usées :

Les eaux usées telles que définies dans l'introduction, ont trois origines possibles :

- Les eaux domestiques.
- Les eaux industrielles.
- Les eaux de ruissellement.

I. 3.1. Les rejets domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de Lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout- à-l 'égout. Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières Organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières Organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de Carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels Que soufre, phosphore, fer, etc.) ; [2].

I. 3.2. Les rejets industriels

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micros polluants organiques, des hydrocarbures, ...etc. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution ; [3].

I. 3.3. Eaux de ruissellement

Comprennent les eaux de pluies, eaux de lavages et eaux de drainage. Ces eaux sont polluées par les matières qu'elles entraînent en provenance des trottoirs et des chaussées (huiles, mazoutes, graisse, sables...etc.). Elles contiennent également de zinc, plomb, et cuivre. Les eaux de drainage peuvent provenir de la montée d'une nappe phréatique dans le sol. Elles sont généralement peu polluées ; [4].

I. 3.4. Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voie publiques et les marchés entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques : de la terre , des limons , des boues , des silts , des sables , des déchets végétaux (herbes , pailles ,feuilles, graines, etc.) et toute sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules . Plomb venant du plomb tétra éthyle contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines ; [5].

I. 3.5. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues

de terre cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues ; [6].

I. 4. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées :

I. 4.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels...etc. ; [7].

I. 4.2. Le potentiel Hydrogène (pH) :

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H_3O^+ (noté H^+ pour simplifier). De manière à faciliter cette expression ; on utilise le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion H^+ : c'est le pH.

$$PH = \log 1/ [H^+]$$

I. 4.3. L'Oxygène Dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes sa aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu, la concentration en oxygène dissous est exprimée en $mg\ O_2\ l^{-1}$ [8].

I. 4.4. La Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de $1\ cm^2$ [8].

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m).

$$1\ S/m = 104\mu S/cm = 103mS/m. [7].$$

I. 4.5. La matière en suspension(MES)

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à $10\mu\text{m}$, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension(MES). En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyenne d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décan tables (diamètre supérieur à $100\mu\text{m}$) et les matières en suspension. On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constituent la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et $10^{-2}\mu\text{m}$) [8].

I. 4.6. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quel que soit leur origines organique ou minérale.

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation. [7].

La DCO est la concentration, exprimée en mg. L⁻¹, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme [8].

I. 4.7. La Demande Biochimique en Oxygène(DBO) :

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épuration et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration. [7].

Selon REJSEK (2002), la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO₅) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

I. 4.8. Le Phosphore :

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectraux photométrique sont considérés comme étant des ortho phosphates.

L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparé analytiquement en ortho phosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique.

Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO₄ ou de P₂O₅

$$1\text{mg/L PO}_4 = 0,747 \text{ mg/L P}_2\text{O}_5 = 0,326 \text{ mg/L P [7].}$$

I. 4.9. L'azote ammoniacal :

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH⁺₄) et non ionisées (NH₃) de cette forme d'azote.

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH₃) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH⁺₄). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :

**I. 4.10. Les nitrates :**

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/an, voire 2 mg/l/an dans certaines régions. Cette augmentation a plusieurs origines :

Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage. Cette source représente les 2/3 de l'apport en nitrates dans le milieu naturel ;

I. 4.11. L'azote :

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles

concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. [7].

I. 4.12. Le sulfate :

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation. Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de décoloration. Sont utilisées, par ailleurs, les propriétés réductrices des sulfites dans les eaux de chaudières pour éviter la corrosion liée à la présence d'oxygène dissous ; l'injection dans le circuit se fait habituellement en continu alla concentration de 20 mg/L. Cependant un excès d'ions sulfites dans les eaux de chaudières peut avoir des effets néfastes car il abaisse le pH et peut alors développer la corrosion. En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates [7].

I. 4.13. La Turbidité :

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Matériel) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidité Unit) = unité FTU (Formalise Turbidité Unit) = unité NTU (Néphélométrie Turbidité Unit).

I. 4.14. La couleur :

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement ; [7].

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration ; [8].

Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas total et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel.

Cette source représente les 2/9 des apports. Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés.

Cette source représente 1/9 des apports ; [7].

CHAPITRE II

Impacts et Avantages des Réutilisation des eaux usées épurées

II.1. Introduction

Les eaux usées représentent un important véhicule d'agents biologiques (parasites, bactéries et virus) et chimiques (métaux lourds surtout) issus de l'activité humaine et/ou industrielle. Dans les zones d'épandage, le rejet de ces eaux usées est intense. Les agents pathogènes peuvent être transmis à l'Homme lors du contact direct avec les eaux usées, ou indirectement par la consommation de cultures irriguées avec ces eaux usées, ou encore par des produits d'origine animale.

Les principaux risques liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peuvent être classés en trois catégories :

- Risques sanitaires,
- Risques agronomiques et environnementaux,
- Risques opérationnels de dégradation de la qualité de l'eau recyclée dans les
- Systèmes de distribution et de colmatage des équipements d'irrigation.

Par principe, la majorité des normes plus récentes exigent au minimum un traitement biologique des eaux usées destinées à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation. Dans certains cas, comme au Mexique par exemple, la priorité peut être donnée à la préservation de la valeur fertilisante des eaux usées par un traitement primaire avancé (ex : coagulation, floculation et décantation lamellaire), suivi de filtration ou/et de désinfection pour l'élimination prioritaire de la pollution microbiologique, tout en préservant le carbone et les nutriments pour les cultures irriguées.

Un traitement tertiaire complémentaire est souvent indispensable pour les usages à haut risque sanitaire, comme par exemple l'irrigation de cultures maraîchères consommées crues et l'irrigation d'espaces verts. Une filtration complémentaire est également nécessaire pour éviter les dépôts dans le système de distribution et/ou de réduire le risque de colmatage des dispositifs d'irrigation, notamment les buses d'aspersion et les systèmes goutte-à-goutte.

Le développement et la mise en place de nouvelles filières de traitement des eaux usées pour l'irrigation a contribué également à l'amélioration de la qualité esthétique de l'eau recyclée - avec l'élimination des problèmes d'odeurs et de coloration des eaux recyclées - qui a freiné plusieurs projets en raison d'une perception négative de la part des usagers.

II.2. Notions générales sur les risques :

Trop souvent, l'isolement des agents pathogènes à partir des cultures, du sol ou de l'eau d'irrigation est considéré comme indicateur d'un risque potentiel pour la santé de ceux qui entreraient en contact avec l'élément contaminé. Parfois, l'isolement même d'un germe non (ou exceptionnellement) pathogène, mais utilisé comme marqueur usuel de contamination (par exemple : *Escherichia coli*), suffit pour considérer que le risque est réel [9]. Selon Prost et Boutin (1989), on distingue trois niveaux de risque :

Le risque théorique ou potentiel : découle de la présence ou de l'absence d'un microorganisme dans le milieu étudié. Celui-ci peut être un sol, une culture, une eau d'irrigation ou un effluent brut ou épuré. Cette évaluation purement qualitative, de présence ou d'absence de microorganismes pathogènes, est une indication microbiologique qui constitue une étape de l'identification du risque, mais qui ne pourrait être assimilée au risque pour l'Homme de contracter une infection. En effet, l'Homme pourrait être en contact permanent avec une variété de microorganismes pathogènes sans en être nécessairement affecté. Leur présence est une condition nécessaire mais non suffisante pour déclencher l'apparition d'une pathogénie.

Le risque expérimental : les agents pathogènes en question doivent survivre en quantité suffisante et être présents dans le milieu à une concentration compatible avec la dose infectante. Celle-ci se définit en tant que quantité de microorganismes nécessaire pour provoquer l'infection d'un individu sensible. Elle est faible pour les parasites (un seul œuf d'*ascaris* est suffisant pour engendrer une infection) mais souvent grande pour certaines bactéries telles que *Salmonella* [10].

Le risque réel est le risque de contracter la maladie, observé par l'épidémiologiste dans une population exposée. Il est différent du risque expérimental en ce sens qu'il introduit dans la chaîne épidémiologique les déterminants de l'environnement physique et social susceptibles de modifier l'exposition des individus au risque. Il tient compte aussi de la notion d'immunité individuelle acquise par les membres de la communauté, et de celle du ratio « population réceptive/population immune » dans cette communauté. L'immunité ainsi que d'autres facteurs de susceptibilité ou de résistance appelés « facteur d'hôte », modifient l'expression du risque expérimental dans une communauté. Le risque réel intègre en fait le langage épidémiologique appelé risque attribuable [10]. Celui-ci est représenté par le nombre de cas d'infections supplémentaires enregistrés dans une communauté utilisant les eaux usées par rapport à l'époque où elle n'y recourait pas. C'est aussi, le nombre de cas supplémentaires observés dans une communauté utilisant des eaux usées par rapport à une autre qui n'en est différente que par cette seule pratique. Par exemple, si l'agent pathogène dont on veut évaluer

le risque est présent dans l'environnement comme polluant habituel, le risque lié aux eaux usées ne sera qu'un facteur secondaire d'exposition. La réutilisation même à l'état brut des eaux usées, jouerait un rôle mineur de contamination de l'environnement, comparé aux autres modes de propagation. Le risque attribuable serait donc faible [11].

II. 2.1. Risques sanitaires :

Le danger infectieux peut être estimé par la prévalence. Il s'agit du pourcentage des individus infectés dans une population pendant un certain temps donné. Elle donne la fréquence de la maladie au sein de la population. La détermination de la prévalence donne une information importante sur les mesures préventives à entreprendre. Le danger micro biologique est dû aux agents pathogènes véhiculés par les eaux usées (parasites, bactéries et virus).

Le risque majeur pour la santé publique associé à l'irrigation avec de l'eau recyclée est la contamination par des microorganismes pathogènes, notamment des virus, des bactéries, des helminthes et des protozoaires. Comme a été souligné par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans ses lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture de 2006, un risque de transmission d'infections existe lorsque les conditions suivantes sont remplies la population, les ouvriers agricoles ou les animaux sont exposés à des agents pathogènes dans l'eau recyclée par contact direct ou indirect dans les zones irriguées ou en consommant des cultures contaminées ;

- Le nombre d'agents pathogènes ingéré est plus élevée que la dose infectieuse ;
- L'hôte devient infecté ;
- L'infection résulte dans un déclenchement de maladie et / ou d'une transmission de pathogènes à d'autres personnes ou des animaux.

Par conséquent, le principal objectif des mesures de protection de la santé publique dans les projets de réutilisation de l'eau est d'empêcher les deux premières conditions de se produire. Cela signifie que des pratiques appropriées doivent être appliquées pour réduire le nombre de pathogènes dans l'eau recyclée, ainsi que de mettre en œuvre plusieurs barrières et d'autres mesures visant à réduire la probabilité de contact avec les micro-organismes qui sont potentiellement infectieux. Le choix de ces bonnes pratiques pour la protection de la santé humaine et animale dépend des conditions locales et des préoccupations économiques.

Les mesures principales de contrôle des risques sanitaires pour l'irrigation avec de l'eau recyclée comprennent les quatre groupes suivants de bonnes pratiques :

- Traitement des eaux usées et contrôle de la qualité lors de la distribution ;
- Contrôle de l'application des eaux usées par le choix de méthodes d'irrigation appropriées et des pratiques culturales ;

- La restriction du type de cultures irriguées et restriction de l'accès publique, notamment pour l'irrigation d'espaces verts ;
- D'autres mesures, y compris le contrôle de l'exposition humaine (ex. mesures de protection des ouvriers agricoles comme gants, masques, etc.), des mesures de récolte, l'éducation du public concerné et la promotion de bonnes pratiques d'hygiène.

Le traitement des eaux usées est unanimement reconnu comme la mesure la plus efficace pour réduire les risques sanitaires associés à l'utilisation d'eau recyclée pour l'irrigation. Pour cette raison, toutes les réglementations nationales ou internationales fixent ou recommandent un niveau de qualité que le traitement des eaux usées doit assurer en fonction de l'usage prévu et du degré de risque. Le degré de risque dépend de plusieurs facteurs, y compris l'état sanitaire endémique local, les méthodes culturales, les conditions climatiques, le risque de contact direct, la faisabilité économique, etc.

Durant les dernières années, plusieurs pays et états fédéraux ont inclus le recyclage de l'eau dans leur politique nationale de gestion des ressources en eau avec des règles, des obligations et des incitations financières. En plus d'un niveau de qualité par rapport aux indicateurs microbiologiques et physico-chimiques, certaines normes préconisent également des filières de traitement et des barrières complémentaires pour réduire les risques sanitaires.

En 2006, OMS a révisé d'une manière intégrale ses recommandations de 1989 pour l'irrigation agricole avec des eaux usées traitées en s'inspirant de l'approche des normes australiennes de risque sanitaire contrôlé. Les valeurs guides ont été maintenues au même niveau, permettant ainsi de limiter les risques sanitaires à un niveau acceptable pour la protection de la santé publique, mais avec des nouvelles notions des barrières complémentaires ce qui assure la viabilité économique des projets de réutilisation.

Les Etats-Unis sont considérés comme le leader mondial dans la réutilisation des eaux usées, avec la première réglementation adoptée en 1918 en Californie, suivi de plusieurs révisions dont la dernière datant de décembre 2000. Au niveau fédéral, l'Agence de l'Environnement des Etats-Unis (USEPA) a révisé en 2012 ses recommandations de 2004, en conservant principalement deux niveaux guides de qualité des eaux recyclées et les recommandations d'un meilleur suivi des filières de traitement.

Dans la majorité des normes et réglementations, le principe de précaution est appliqué pour les usages à haut risque, comme par exemple l'irrigation de cultures consommées crues et l'irrigation sans restrictions des espaces verts en milieu urbain.

II.2.2. Risques agronomiques :

En règle générale, les risques environnementaux sont surtout des risques chimiques agronomiques liés à la présence potentielle dans l'eau recyclée des éléments traces, de métaux lourds et des micropolluants organiques. Les mesures préventives pour la protection des risques sanitaires sont plus que suffisants pour protéger les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les risques environnementaux pour la pollution des ressources en eau sont, par principe, prises en compte dans les réglementations sur la protection des zones de captage pour la production d'eau potable et pour la protection des zones sensibles. Par conséquent, et comme démontré par l'état de l'art, les risques agronomiques majeurs sont comme suivis :

- Salinité excessive du sol qui affecte la transpiration et la croissance des cultures sensibles. Le risque de salinisation des sols est important dans les zones arides et peut être évalué par le suivi de la concentration des matières dissoutes, de la conductivité électrique et des chlorures.
- Excès de sodium qui dégrade la structure des sols argileux et qui peut provoquer une diminution de sa perméabilité. En plus d'une quantité excessive de sodium échangeable, cet effet nocif est favorisé aussi par un pH élevé et une faible conductivité électrique.
- Toxicité pour les cultures liée surtout aux concentrations élevées de bore, de sodium et des chlorures, ainsi que parfois de certains éléments traces (y compris des métaux lourds) apportés le plus souvent par des effluents industriels. La toxicité affecte la croissance des plantes, comme en témoigne l'apparition de brûlures et/ou la perte des feuilles.
- Excès d'azote qui peut affecter l'équilibre de nutriments des cultures et la qualité des eaux de surface ou souterraines.

Du fait que le traitement des eaux usées n'a pas d'effet sur ces composés chimiques, la meilleure solution consiste dans le contrôle à la source des rejets d'effluents salins, de l'intrusion d'eau de mer dans les réseaux d'assainissement, de l'usage de détergents contenant du bore et des rejets industriels.

Les bonnes pratiques d'irrigation avec de l'eau recyclée pour le contrôle des risques agronomiques consiste dans la combinaison de plusieurs mesures préventives ou correctives, y compris :

- Sélection d'une méthode d'irrigation adéquate Choix approprié des cultures irriguées qui ont une tolérance adéquate du sel, du bore, du sodium et des chlorures,
- Pratiques de gestion des sols appropriées (préparation, amendements, etc.),

- Lessivage et drainage suffisant du sol pour drainer l'eau et évacuer les sels en excès,
- Calendrier adéquat pour faire à la fois l'irrigation et le lessivage,
- Bonne utilisation des engrais.
- Contrôle de la qualité de l'eau recyclée dans les systèmes de distribution et d'irrigation

Le principal problème lié à la distribution des eaux usées épurée est la dégradation potentielle de la qualité microbiologique, en particulier dans les climats chauds et les réseaux de distribution à longueur importante. Pour cette raison et pour les usages à haut risque sanitaire, il est recommandé de maintenir un résiduel de chlore pour empêcher la croissance bactérienne. Par contre, la concentration de chlore résiduel ne doit pas dépasser 0, 5-1 mg/L pour éviter les effets toxiques sur des plantes sensibles.

La présence de matières en suspension dans l'eau recyclée induit des risques de dépôts dans les réseaux, de dégradation organoleptique de la qualité de l'eau et de colmatage des systèmes d'irrigation localisée. Pour pallier à ces inconvénients, les bonnes pratiques d'entretien des réseaux de distribution incluent des purges hydrauliques périodiques, voire un nettoyage mécanique en cas de dépôts important.

Il faut noter que les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte nécessitent souvent une filtration complémentaire après stockage et des protocoles de nettoyage spécifiques avec des produits chimiques.

II.2.3. Risques environnementaux :

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés l'eau usée sont :

- L'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- La propagation des micro-organismes pathogènes.

II.2.3.1. Effets sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les 65 problèmes prévus au niveau du sol sont :

- La salinisation,
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,

- L'accumulation de nutriments.

II.2.3.2. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. Pour réduire et/ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés :

- Irrigation (quantité d'eau) basée sur les besoins en eau des cultures avec lessivage minimum si nécessaire,
- Établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée,
- Sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux présents dans l'eau usée,
- En cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale, de plantes consommant les sels,
- Limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exacte en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par NO₃-N. Si N excède les besoins des cultures on doit alors :
 - Sélectionner des cultures à besoins élevés en N,
 - Choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible,
 - Mélanger l'eau usée avec de l'eau claire,
 - Maintenir la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

II.2.3.3. Effets sur les eaux de surface :

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs.

Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P

sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation.

II.3. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées :

La principale motivation ayant conduit plusieurs pays à se lancer dans des projets de réutilisation des eaux usées traitées est le recyclage dans un but quantitatif, particulièrement dans les régions arides et semi-arides. Le recyclage dans un but qualitatif a aussi conduit à de tels projets. Cependant, c'est le premier objectif qui justifie le plus la mise en place de projets de réutilisation des eaux usées traitées. Il existe aussi bien d'autres avantages que les sous-sections suivantes décriront brièvement [12].

II.3.1. Avantages sociaux

Les eaux usées traitées sont utilisables en tout temps, et donc, toujours disponibles pour irriguer les cultures, même en cas de sécheresses [13]. De plus, ce type de réutilisation donne des rendements plus élevés que l'irrigation conventionnelle avec de l'eau douce, même en utilisant des engrais artificiels. Ainsi, la hausse des rendements des cultures destinées à la consommation humaine entraîne une plus grande disponibilité des biens alimentaires [14]. L'utilisation d'eaux usées traitées permet donc d'enrayer les limites de la production de denrées alimentaires liées au manque d'eau, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire mondiale [15].

De plus, la réutilisation d'une partie des eaux usées permet d'augmenter la quantité d'eau disponible pour les usages non domestiques. De ce fait, elle permet de préserver les ressources en eau de qualité supérieure pour les usages plus restrictifs. Elle limite les pénuries en améliorant la disponibilité des ressources, notamment en cas de sécheresse [13]. La réutilisation permet donc une disponibilité accrue de l'eau potable pour les populations, contribuant à leur santé et à leur bien-être.

Par ailleurs, trois principaux domaines se séparent l'utilisation des eaux douces de la Terre : l'agriculture avec 70 %, l'industrie avec 20 % et les usages domestiques avec 10 % [16].

Lorsque les ressources en eau douce ne peuvent pas satisfaire toutes les demandes, la réutilisation des eaux usées permet de réduire les conflits associés au partage entre les divers utilisateurs, favorisant à la fois le développement industriel, agricole, urbain et touristique [13].

Comme l'usage de l'eau par une communauté en amont influence potentiellement la disponibilité de l'eau en quantité et en qualité pour les populations en aval, la réutilisation des

eaux usées peut aussi limiter les conflits d'usage de la ressource entre les différentes régions [16].

Enfin, la réutilisation des eaux usées réduit la quantité et le volume des rejets d'eaux usées pouvant dégrader le milieu naturel. Les milieux récepteurs sont donc en meilleur état et ne limitent plus les usages que l'on peut en faire. L'amélioration des milieux aquatiques, des zones de baignade, des parcs et des zones de culture conchylicoles se traduit par une amélioration du cadre de vie et de l'environnement où vivent les populations [17].

II.3.2. Avantages environnementaux

Dans un premier temps, la réutilisation permet de mobiliser une ressource en eau additionnelle. On devrait donc voir diminuer les prélèvements. En effet, cette pratique permet de diminuer l'usage des ressources que sont les eaux de surface et les eaux souterraines, et ainsi éviter leur sur exploitation. La baisse des prélèvements aura aussi pour effet de maintenir le débit écologique des rivières, des lacs et des zones humides [18].

Ensuite, comme mentionné précédemment, la réutilisation permet d'éviter, ou du moins, de diminuer la quantité de rejets directs d'eaux usées dans les milieux récepteurs. Cette pratique s'accompagne généralement aussi d'une meilleure maîtrise de l'assainissement, et donc, de rejets moins polluants. Cette baisse quantitative et qualitative des rejets se traduit alors par une diminution de la dégradation de l'environnement, notamment de l'eutrophisation des cours d'eau.

Les habitats aquatiques et riverains près des points de rejets seront donc de meilleure qualité la pression exercée sur la ressource sera aussi moindre [13].

De plus, dans le cas du soutien à l'étiage et du maintien des débits écologiques à l'aide d'eaux usées traitées, on s'attend à ce que les impacts environnementaux n'excèdent pas ceux observés lors du rejet normal d'eaux usées par les stations d'épuration [19]. La présence de contaminants peut même être moindre si des traitements plus poussés sont utilisés.

Cette pratique permet, dans les cas où les ponctions sont très grandes, d'augmenter le débit en aval et de diminuer la détérioration de la qualité de l'eau, résultant ainsi en une amélioration des habitats et une plus grande valeur esthétique [20].

D'autre part, en milieu aride ou semi-aride, l'exploitation de volumes plus grands que les taux de recharge cause une diminution de la ressource se traduisant par une baisse du niveau de la nappe phréatique [16]. La recharge artificielle des aquifères à l'aide d'eaux usées traitées permet à la fois de prévenir les dommages aux écosystèmes aquatiques, l'affaissement graduel du sol pouvant diminuer la capacité hydrique de la nappe et l'infiltration saline dans les villages côtiers [21].

Finally, the reuse of treated wastewater for irrigation allows benefiting from their organic and inorganic nutrients to meet the needs of crops. Wastewater treatment plants contain a large quantity of nutrients usable by plants, thus reducing the use of chemical fertilizers and their production [21].

II.3.3. Avantages économiques

One of the major advantages that the reuse of treated wastewater brings is a stable and reliable supply of the water resource. In fact, the relatively constant volume of treated wastewater is independent of climatic variations [17].

Moreover, this resource is available near municipalities, areas where demand is the highest. Also, the volume of wastewater produced tends to increase parallel to population growth [13].

Thus, the spatial and temporal realities of this resource allow adjusting the supply according to the demand of various users, and not according to its availability, since the latter is constant.

Moreover, reuse has limited costs compared to other developed techniques for obtaining drinking water. The production of treated wastewater is cheaper than groundwater supply, water importation and desalination, so the needs of various users can be satisfied at a lower cost [17].

The cost aspect of reuse will be treated more in depth in section 2.5). During the summer season, reuse allows responding to the high demand for water made by the agricultural sector, even in the case of drought and without harming other uses [20], irrigation with treated wastewater also allows reducing the need for drinking water, as well as direct discharges into the natural environment [16]. It is therefore an economy of water resource and a reduction in water pollution downstream. This results in a decrease in pumping, treatment and transport costs of drinking water [22]. Moreover, as wastewater treatment plants contain nutrients that can be beneficial for crops, it would also be normal to observe a decrease or even elimination of costs related to the use of chemical fertilizers [21].

Finally, as mentioned in the social advantages, irrigation with treated wastewater yields higher yields than conventional irrigation, which translates into a greater availability of food products. According to the principle of supply and demand, this increased availability will reduce the price of these products, making them more accessible, particularly for poor families [14].

II.4. Conclusion :

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau. En revanche l'irrigation continue et incontrôlée par des eaux d'égouts pose de sérieux risques pour la santé, du fait que les eaux d'égouts contiennent une charge polluante chimique toxique, et sont porteuses d'excrétas pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, œufs d'helminthe, vers...etc.) responsables des infections gastro-intestinale chez les humains, aussi cette irrigation peut causer des problèmes sur l'environnement.

D'autre part, l'impact, surtout sanitaire, de cette réutilisation passe via les mécanismes de formation des eaux usées (domestique, industrielle ...) ce qui nous permet de savoir la composition biologique, chimique et physique de cette eau. L'étude des formes de réutilisation, nous permettent de détecter les différentes formes de danger (microbiologique, chimique...etc.) menaçant la santé humaine.

Par ailleurs, des problèmes sérieux sont imposés, on doit donc agir et trouver des solutions immédiates et efficaces pour éviter toute menace. Il est donc indispensable de respecter les normes de rejet (réutilisations O.M.S. 1989), et opter pour des procédés de traitement efficaces des eaux usées, avant leur réutilisation.

CHAPITRE III

Les procédés d'épuration des eaux usées

III.1. Introduction :

Avant d'entamer l'étude générale du traitement des eaux usées, nous tenterons d'éclaircir quelques points sur la terminologie liée à ce domaine.

En effet, en général, le traitement des eaux usées a pour fonction de les transformer en eau potable. Alors que l'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux polluées avant leur rejet. Toutefois, le terme « traitement » est généralement employé pour désigner l'opération d'assainissement [23]

Par ailleurs, épurer signifie « rendre pur » tandis que la définition de purifier est « débarrasser des impuretés ». Quand on parle d'épuration des eaux résiduaires, il n'est pourtant pas question de les rendre pures, mais plutôt d'en retirer le plus de déchets possible avant de les évacuer [23].

L'épuration des eaux usées est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour réutiliser ou recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable ; [24].

Les eaux usées brutes ne doivent pas être directement réutilisées. Un traitement est toujours nécessaire, différent selon le type de culture et le mode d'irrigation choisis.

Les objectifs principaux sont :

- Permettre l'irrigation par les eaux usées, en réduisant les risques de colmatage,
- Eviter les mauvaises odeurs,
- Eliminer les microorganismes pathogènes chaque fois que la réglementation l'exige,
- Réduire la teneur en azote.

Le choix des filières de traitement des eaux usées réutilisées à des fins agricoles est une procédure délicate qui doit prendre en compte des aspects techniques (choix des procédés, des infrastructures et des équipements existants), réglementaires locaux (normes), sociaux (spécificités culturelles, acceptabilité) et économiques (sources de financement des équipements et de l'exploitation). Aussi, le type de système d'irrigation, les caractéristiques du sol et le type de culture à irriguer, en vue de garantir une ressource alternative, à un coût économiquement acceptable et sans risques pour la santé publique et l'environnement [25].

Une station d'épuration des eaux d'une agglomération urbaine importante comporte une chaîne de traitement dont la complexité dépend des degrés d'épuration jugée nécessaire, cette chaîne comprend :

- Traitement préliminaire (prétraitement).
- Traitement primaire
- Traitement secondaire.

III.2. Les étapes des eaux usées :

- Le dégrillage :

Le dégrillage est une opération indispensable pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval. Il permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses, amenées par l'effluent à traiter. L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de trois types :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm) ;
- Dégrillage moyenne (écartement 10 à 25 mm) ;
- Dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm) [26].

Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus gros tel que chiffons étoupes, fragments de bois, etc...susceptibles de provoquer, lors de la séparation de l'évacuation et du traitement des boues, ou dans le fonctionnement des pompes dans les tuyauteries et les vannes, des difficultés d'exploitations [27].



Figure 1:Le dégrillage

- Le dessablage

Le dessablage consiste en l'élimination des sables présents dans l'effluent brute pour éviter leur dépôt dans les canalisations induisant leur bouchage et permet de réduire la production

des boues et d'éviter de perturber les autres étapes de traitement, en particulier, le réacteur biologique [28].

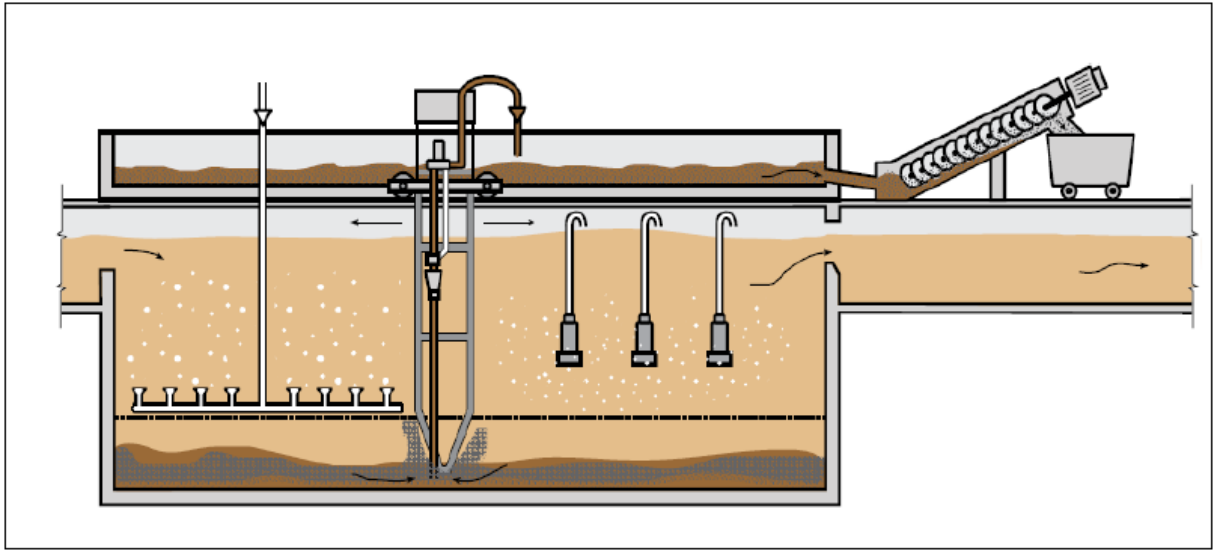


Figure 2: le dessablage

III.3. Le déshuilage dégraissage :

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre de figer les graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient par la suite [29]. La rétention environ 80% de la matière grasse lorsque la température est inférieure à 30°C [30].

- **Traitement primaire :**

Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par graviter. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules. [31].

III.4. Procédés de décantation physique**- Décantation**

La décantation a pour principe d'éliminer les particules en suspension par gravité, les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage [32]. L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation, ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées. Ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70 % des matières en suspension. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable [33].



Figure 3: décanteur primaire

- Flottation

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient [32]. Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau [28].

Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30% de la DBO5 et de la DCO [34].

III.5. Procédés de décantation chimique

La coagulation concerne des colloïdes et des particules très petites. Par contre, au niveau des particules plus grosses, nous parlerons de floculation. Ces processus sont considérés comme des traitements préparatoires. De nombreuses séparations solide-liquide, la décantation et la flottation permettent d'éliminer 75% de la DBO5 et jusqu'à 90 % des matières en suspension [35].

Un traitement biologique :

Le traitement biologique se déroule au niveau de bassin d'aération et comporte :

Elimination de Carbone :

Pour l'élimination du carbone dans les effluents la voie aérobie est utilisée car l'oxygène est associé aux réactions de dégradation et elles s'instaurent spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO₂ et de biomasse.

Après la dégradation des matières organique la cellule passe par différentes phases de croissance et décroissance. Mais la croissance bactérienne nécessite la présence d'autres éléments nutritifs en particuliers l'azote et le phosphore contenus dans les effluents et dont l'élimination est également nécessaire. [36]. Etapes de l'épuration biologique de l'eau

Une décantation secondaire : Clarification

Une décantation permet de recueillir sous forme de boues les matières agglomérées par les bactéries. (Les boues, plus denses que l'eau, tombent au fond du bassin où elles sont raclées).

Un clarificateur permet de séparer par décantation l'eau épurée et les boues obtenues lors des traitements de dépollution (boue secondaire). L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite dirigée vers un filtre...

Etapes de l'épuration biologique de l'eau [36].

III.6. Le traitement tertiaire :

On fait appel aux traitements tertiaires lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire du milieu récepteur (rejet à proximité d'une prise d'eau potable) ou en raison d'une réutilisation de l'eau en industrie ou en agriculture.

Les traitements tertiaires qui s'ajoutent aux traitements primaires et secondaires sont très nombreux et dépendent de l'usage qu'on fera de l'eau traitée [37].

-Elimination de l'azote :

Les eaux résiduaires contiennent différents composés azotés : protéines, urée et produits de décomposition ainsi que de l'azote sous forme minérale. Son élimination biologique se réalise

en deux étapes qui sont chronologiquement la nitrification et la dénitrification. Parallèlement une partie de l'azote est utilisée pour la synthèse bactérienne par assimilation.

La nitrification consiste en l'oxydation de l'azote organique sous forme d'un ammoniac (NH_4) en nitrite (NO_2) puis en nitrate (NO_3) par l'intermédiaire de micro - organismes autotrophes :



Ces bactéries autotrophes utilisent le carbone minéral pour constituer leurs cellules, elles peuvent effectuer une synthèse. Mais leur taux de croissance est moins rapide que celui des bactéries dégradant la pollution carbonée [31]

Pour la dénitrification les bactéries ont besoin d'un environnement très pauvre en oxygène. L'arrêt des aérateurs ne permet pas à lui seul d'atteindre cet objectif, c'est en fait la surconsommation d'oxygène par les bactéries présentes dans le milieu qui engendre un environnement presque totalement anoxie.

Il s'agit donc d'une dénitrification combinée, qui utilise simplement comme substrat exogène l'eau d'égout elle-même. La cinétique est lente et la dénitrification n'est pas complète. Ce système profite de la recirculation des boues activées pour maintenir une teneur en substrat suffisante [31].

- **Élimination de phosphore :**

Le principe de la déphosphoration biologique consiste en une suraccumulation de phosphore dans la biomasse. Si des teneurs de 2 à 3 % en phosphore dans les boues sont obtenues sous des conditions normales et correspondent aux besoins des bactéries, le mécanisme de suraccumulation nécessite de placer la biomasse alternativement en phase anaérobie et aérobie.

En phase anaérobie des bactéries céto-gènes anaérobies facultatives utilisent le carbone organique pour produire de l'acétate. Celui-ci est réutilisé par d'autres bactéries aérobies qui ne peuvent utiliser qu'une gamme de substrats plutôt limitées. Elles stockent celui-ci et l'énergie utilisée pour ce stockage provient de l'hydrolyse du poly phosphate ce qui explique la phase de relargage de phosphate dans le milieu.

La succession de phases anaérobies - aérobies, on peut obtenir une accumulation progressive du phosphore dans ces micro - organismes jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10 % de leur poids sec. [31].

- **Traitement des boues :**

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance [31].

La boue qui résulte de la station d'épuration est composée essentiellement de bactéries mortes, de matières organique, des matières minérales et d'eau. Elles ont pour caractère commun d'être liquide, fermentescibles et contiennent des microorganismes qui peuvent être pathogènes. On distingue différents types de boues selon le traitement appliqué pour épurer l'eau (les boues primaires et les boues biologiques appelées boues secondaires).

Avant d'être acheminées pour être éliminées, les boues vont subir différents traitements en vue de réduire leur pouvoir fermentescibles ainsi que leur volume [38].

Épaississement. C'est une étape de réduction du volume des boues, elle est réalisée soit par décantation où les boues sont introduites dans un épaississeur dans le temps de séjour est élevé. Soit par flottation où les microbulles d'air injectées se fixent aux particules de boues et remontent en surface puis elles sont raclées.

III.7. La stabilisation.

- La stabilisation aérobie : la stabilisation aérobie consiste à mettre les boues dans des bassins d'aération dits bassins de stabilisation aérobie.

- La stabilisation anaérobie. La digestion anaérobie est une fermentation en l'absence d'oxygène qui permet de stabiliser les matières en transformant le plus complètement possible en gaz méthane (CH₄) et gaz carbonique [39].

- **La stabilisation chimique.** Elle a pour but de réduire le pouvoir fermentescible par l'adjonction d'agents chimiques. Cet apport de réactifs ne modifie pas la quantité de matières organiques biodégradables, mais agit essentiellement par action bactéricide.

-**La déshydratation** constitue la seconde étape de réduction du volume des boues sur les boues épaissies, afin d'obtenir une siccité plus poussée (en moyenne comprise entre 20 et 30% selon la nature des boues) ; elle conditionne le choix de la filière de valorisation ou d'élimination finale.

-Le séchage

Le séchage consiste à évacuer par évaporation l'eau interstitielle présente dans les Boues. Dans le cas d'un séchage total, le produit final se réduit pratiquement en matière sèche.

Il se réalise avec l'utilisation du lit de séchage qui est constitué par une couche de 30 à 40 cm De sable, reposant sur une couche de gravier. Les boues sont déposées à la surface du sable

Dans un premier temps, l'eau interstitielle percole rapidement à travers le sable. Un système de drainage permet de la récupérer et de la renvoyer dans le bassin d'aération. Les boues restent à la surface du lit de sable et sèche au cours de temps. Ces boues sèches peuvent être enlevées soit manuellement soit mécaniquement [40].

Présentation et importance du procédé

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'autoépuration que l'on rencontre dans les milieux naturels [41].

Procédés extensifs d'épuration des eaux usées.

-Office des publications des communautés européennes, Luxembourg. Il a été développé à l'origine par Arden et Lockett en 1914 au Royaume Uni [42].

Les boues activées constituent la référence des traitements biologiques aérobies en cultures libres. On y maintient une concentration déterminée de bactéries (on fixe donc l'âge de la boue) grâce à la recirculation des boues.

Elles sont séparées de l'eau traitée par décantation dans le clarificateur, puis réintroduites dans les bassins de traitement c'est-à-dire, dans le cas le plus simple, le bassin d'aération.

L'aération est assurée mécaniquement, soit par des aérateurs de surface, soit par insufflation d'air. Les deux principes connaissent de nombreuses variantes [43].

. Dans des conditions adéquates d'aération les micro-organismes présents naturellement dans l'effluent à épurer se multiplient et s'agglomèrent en petits flocons qui se déposent lorsqu'on arrête l'aération. Cette masse est appelée "floc bactérien". Si, après vidange de l'eau épurée, on recommence l'opération avec une nouvelle charge d'eau usée, en conservant la boue formée précédemment, l'épuration se révèle plus rapide, d'où l'idée de recycler les boues au cours d'un traitement en continu. Du fait de leurs propriétés particulières ces boues sont appelées boues activées [42].

Commencé depuis une quarantaine d'années, le développement des installations

D'épuration dans les petites collectivités n'a réellement débuté que depuis 1970[43].

Les avantages de ces techniques font qu'elles rencontrent un grand succès auprès de l'ensemble des agglomérations. Autre atout, en particulier pour les boues activées, elles font l'objet de recherches assez poussées de la part des grands groupes de l'eau et l'on peut trouver facilement des publications détaillées relatives à leur dimensionnement et aux innovations permettant d'améliorer les rendements sur tel ou tel paramètre [44].

Les avantages pour les petites communes sont multiples [42] exploitation simplifiée de l'installation et bonne résistance aux à-coups de pollution grâce à l'importance des volumes mis en jeu,

- Obtention de boues stables non fermentescibles en quantité minimale,
- Faible emprise au sol par rapport au système extensif,
- Performances épuratoires très élevées avec nitrification des effluents.

Qui ont réalisé une très bonne comparaison des principaux systèmes de traitement utilisés dans le monde, cite les inconvénients suivants :

- Coûts d'investissement assez importants,
- Consommation énergétique élevée,
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière,
- Sensibilité aux surcharges hydrauliques,
- Niveau de mécanisation élevé,
- Besoin d'une filière d'élimination des boues.

III.7. Principe de l'épuration biologique

Le principe du procédé consiste donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'activation) en brassant suffisamment le milieu pour éviter la décantation des floes et en fournissant l'oxygène nécessaire à la prolifération des micro-organismes [42]. Le bassin d'aération peut être précédé d'un décanteur primaire, dans le but d'éliminer les matières en suspension décan tables, et sera toujours suivi d'un clarificateur qui assurera la séparation de l'effluent épuré et des boues. Celles-ci seront recyclées dans le bassin d'aération pour en assurer la concentration permanente et la masse produite en excès sera dirigée vers le traitement des boues (figure).

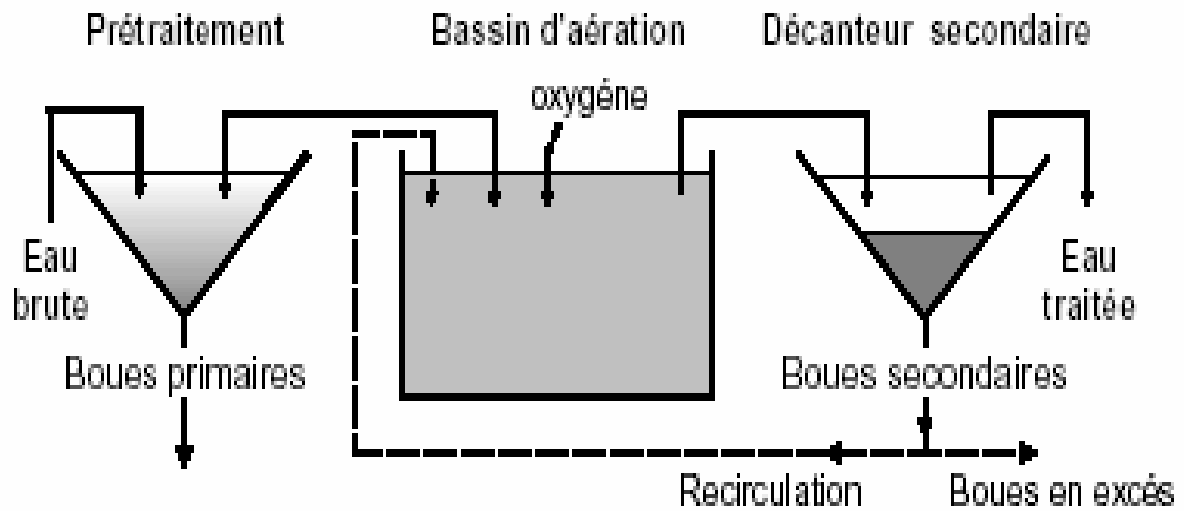


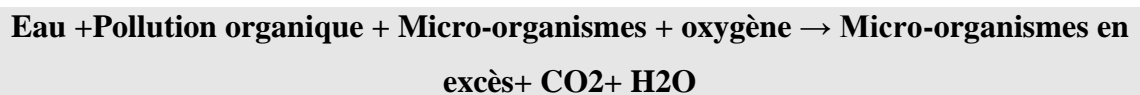
Figure 4: Schéma d'une station d'épuration à boues activées

Principaux paramètres de fonctionnement :

Les micro-organismes sont nourris par les matières organiques et éliminent les polluants par différents processus (Dauphin, S., 1998) :

- ✚ Par absorption des matières polluantes sur le floc bactérien,
- ✚ Par conversion en matière cellulaire : croissance de la culture bactérienne et des micro-animaux associés,
- ✚ Par oxydation en CO₂ et H₂O qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la production de nouveaux matériaux cellulaires.

La métabolisation de la matière organique peut s'écrire :



Les grandeurs caractéristiques de traitement biologique sont fonction des proportions relatives des réactifs. La charge organique est la notion fondamentale, elle définit l'intensité de traitement et conditionne la production de boues et la consommation spécifique d'oxygène

- La charge organique exprime le rapport :

$$\frac{\text{Quantité de biomasse}}{\text{Quantité de pollution apportée par unité de temps}}$$

Pour les cultures libres, on parle de charge massique (C_m). Le terme de numérateur est exprimé en DB05 ou DCO (Kg/j). Le dénominateur est exprimé en matières volatiles (MV en Kg), paramètre représentatif de la masse de biomasse viable du réacteur.

- La production spécifique de boue est exprimée en $5 \text{ KgMS} / \text{KgDBO}$ éliminée, c'est le résultat de la transformation de la pollution brute par les micro-organismes.
- L'âge de boue représente le temps de rétention moyen des bactéries dans le réacteur biologique ; c'est le rapport :

En jour :

Quantité de boues extraite par jour

Quantité de boues en aération

- La consommation spécifique d'oxygène est due à l'oxydation des matières organiques (environ $2,5 \text{ KgO} / \text{KgDBO}$).

III.8. Les techniques extensives :

Lagunage naturel :

Le lagunage naturel est une technique d'assainissement des eaux usées par un système ouvert de bassins successifs (marais reconstitués) qui permet d'épurer complètement les matières organiques.

Les micro-organismes qui sont à la base de la dépollution se développent en suspension dans des bassins dont la profondeur n'excède pas 1,2 m. Il convient de prévoir trois bassins en série. La production de l'oxygène est assurée par des algues qui se développent naturellement dans les bassins et à partir du phénomène de la photosynthèse. Le procédé permet d'obtenir des rendements d'élimination de la pollution de l'ordre de 70 à 80% et un très bon abattement de la pollution bactériologique [45].

Lagunage aéré :

C'est une technique d'épuration biologique des eaux usées par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. Dans l'étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation. L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou insufflation d'air, la consommation électrique de chacun de ces deux procédés est similaire à celle d'une boue activée.

La décantation est assurée principalement par une ou deux simples lagunes, les matières en suspension s'agglomèrent lentement sous forme de boue, ces dernières doivent être régulièrement extraites

CHAPITRE IV

La réutilisation des eaux usées de la step d'ain el-houtz pour l'irrigation

IV .1. Introduction

Dans le cadre de notre travail, on a choisi une station d'épuration pilote dans la réutilisation des eaux usées, il s'agit de la station d'épuration de Ain-El-Houtz (Tlemcen) destinée à l'irrigation du périmètre de Hennaya de 912 ha.

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au nord du chef-lieu « Tlemcen Ville», à l'ouest de Chetouane sur la Route de Ain El Houtz conçue pour une population de 150 000 Eq/hab. d'une capacité de 30 000 m³/j, elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement mise en service le 05 novembre 2005 gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement.

La station d'Ain El Houtz qui a été dimensionnée pour épurer les eaux usées d'origines domestique et pluviales par le procédé d'épuration boues activées à faible charge a été retenue pour traiter la charge carbonée, azotée et phosphorée. 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 [40].

IV. 2. Description du procédé d'épuration à la STEP de Ain El-Houtz

Le projet de la STEP de Tlemcen a été lancé le 16.02.1989. Elle est entrée en activité le 29/10/2005 et gérée, depuis cette date, par l'Office Nationale de l'Assainissement/ Unité de Tlemcen qui assure son exploitation optimale pour le compte de la DHW de Tlemcen.

La STEP de Tlemcen est située en dehors des zones urbaines entre les agglomérations d'Ain-el houtz à 600 m au nord-ouest, Oudjlida à 530 m au sud-ouest et Chetouane à 500 m au sud-est ; voir (figure. 01) suivant



Figure 5 : Photo Satellite descriptive du voisinage de la STEP de Tlemcen

IV.3. Description des installations

La station comprend les dispositifs suivants :

IV.3.1. Déversoir d'orage

Le déversoir d'orage de la station est installé à l'amont de celle –ci qui déverse le surplus du débit admissible dans le by-pass général de la station. La hauteur de la lame de débordement sera adaptée pour accepter une charge de 3300 m³/h. L'eau usée à traiter arrive gravitèment a la tête de la première filière du traitement à l'aide d'une conduite de 800 m de diamètre qui s'appelle liaison entre ouvrage.



Figure 6 : Déversoir d'orage

IV.3.2. Dégrilleurs

La station d'Ain El Houtz compte deux types des grilles : une grille grossière manuelle d'une largeur de 1.8 m, son inclinaison est de 70 %. L'écartement entre les barreaux est de 50 mm et une grille mécanisée il en existe 2 unités dont la largeur est de 1.0 m, la profondeur de chenal est de 1.5 m, l'écartement entre les barreaux est 20 MM.



Figure 7 : Dégrillage figure

IV.3.3. Dés sableur-déshuileur

Cet ouvrage est de type longitudinal à deux compartiments, il est constitué d'un canal en béton armé de forme trapézoïdale. L'air est insufflé par des suppresseurs pour provoquer une émulsion afin de pouvoir améliorer la séparation de sable et des graisses.

Il existe des lames de séparation qui permettent la séparation des huiles et des graisses vers la zone de raclage. L'eau prétraitée est déversée et évacuée gravitaire ment à travers un canal à

ciel ouvert pour subir les traitements ultérieurs, les deux des sableurs déshuileurs ont les dimensions suivantes :

Sa longueur est de 26m, sa largeur est de 4m et une hauteur de 9 m.



Figure 8 : Déshuileur

IV.3.4. Bassin d'aération

Le bassin a une forme rectangulaire, est alimenté en eau dénitrifié l'aération dans le bassin est réalisée à l'aide d'aérateur de surface à vitesse lente, chaque bassin est équipé de trois aérateurs. Ce milieu favorable provoque le développement des bactéries qui par action physicochimique retiennent la pollution organique et s'en nourrissent, au niveau de chaque bassin il existe une sonde de mesure d'oxygène dissous pour assurer le déclenchement automatique de l'aération en cas de défaillance de la concentration de cette dernière. Chaque bassin de forme rectangulaire d'une longueur de 55.5m, largeur de 18.5m, profondeur d'eau de 4.6m et hauteur de 5.6m. Le volume d'un bassin de 4723m³.



Figure 09 : Bassin biologique

✓ **Bassin de nitrification dénitrification**

L'eau prétraitée arrive premièrement dans ce bassin pour faire l'élimination de la pollution azotique à partir des bactéries spécifiques (Nitrosomonas, Nitrobacter). Le bassin à une forme rectangulaire est équipé d'un mélangeur de fond pour assurer l'agitation du milieu, et après l'eau nitrifiée dénitrifiée est déversée vers les bassins d'aération. Chaque bassin a les dimensions suivantes :

Volume 725 m³, Longueur 187,56 m, Largeur 8,5 m, Hauteur du béton 5,6 m, Hauteur d'eau 4,9m

IV.3.5. Décanteurs secondaires

Station d'Ain El Houtz contient deux décanteurs secondaires sont équipés chacun d'un pont racleur à vitesse de rotation de 0.04m/s. Ils sont de forme circulaire, d'un diamètre de 46m et une surface de 1661m². La profondeur d'eau est de 4m en périphérie.

Les eaux clarifiées sont ensuite recyclées vers la dernière étape de traitement et qui est la désinfection et le traitement des boues décantées, elles sont envoyées vers le tour de recyclage ou vers l'épaisseur.

IV.3.6. Bassin de chloration

Il est en béton armé et d'un volume de l'ordre de 700m³.

IV.3.7. Le poste de pompage des boues

Le poste de pompage des boues est doté d'une vis sans fin de recirculation.

IV.3.8. Épaississeur des boues

Il est en béton armé. Il comprend un pont support tournant avec un moteur et réducteur. Le diamètre de l'épaississeur est de 14m et la hauteur utile est de 4m, le fond du bassin à une pente de 1/10.

Les lits de séchages sont alimentés directement depuis le clarificateur de la station évitant ainsi l'utilisation de polymères et le passage sur table d'égouttage. La siccité des boues en entrée doit se situer autour de 2% à 5% de MS (20 à 50 g/litre). Il s'agit de boues liquides qui n'ont reçu aucun traitement particulier. L'eau interstitielle des boues s'écoule le long des tiges et rejoint le réseau de racines pour atteindre, durant ce périple épurateur, la couche de matériau qui permettra son évacuation par des drains. Cette eau est reconduite à la station en amont. Les études montrent que ce retour est généralement moins chargé que ceux provenant des autres procédés de densification comme les filtres à bandes ou les tables d'égouttages.



Figure 10 : Filtre à bande

IV.3.9. Lits de séchage

La boue épaissie sont prise par pompage et évacuées vers les lits de séchages. Le séchage de boues s'effectue à l'air libre dans des surfaces d'étendues de 30 m de longueur et 15 m de largeur.

Il existe 14 lits de séchage conçus d'un béton équipé d'une conduite de drainage perforée, pour permettre l'évacuation de l'eau filtrée vers l'entrée de la station.



Figure 11 : Lit de séchage

IV.3.10. Aire de stockage des boues séchées

- Un bâtiment d'exploitation ;
- Un bâtiment de chloration.

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

Nature des eaux brutes domestiques.

✓ Les valeurs de bases des données de la STEP de Tlemcen :

Paramètres	Unité	Valeurs
Population	Eq/hab.	150000
Débit journalier	m ³ /j	30000
Débit de point horaire admis au traitement	m ³ /h	3800
DBO5 journalière	kg/j	9300
Matière en suspension	kg/j	13950
Azote a nitrifié	kg	1980
L'équivalence calculée sur la DBO	Eq/hab.	172000

✓ **Autre system et équipements dans la station :**

1. Système de désodorisation :

Ce système est purement biologique utilise les bactéries pour élimine les odeurs si on a le cas de habitants sont à la proximité de la station pour leur protection des mauvaises odeurs.

2. Sale de control :

Depuis cette sale on arrive à manipuler les pompes, les machines aussi toute la station facilement

Si on a un problème ce système de control nous permet de nous alarmer et avertir immédiatement.

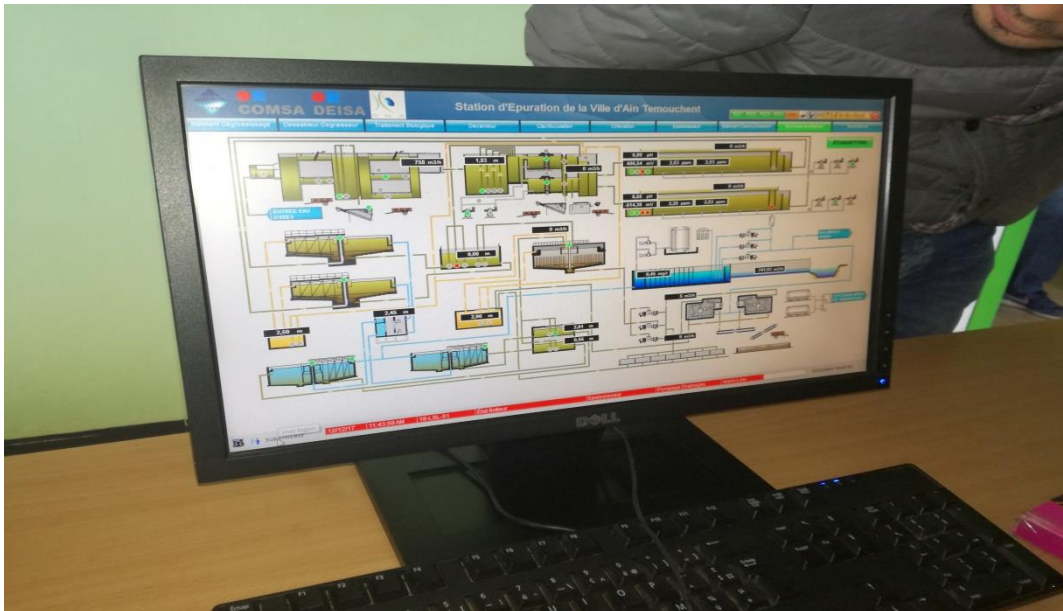


Figure 12 : logicielle de contrôle

3. Laboratoire :

Ce labo permet de faire les analyses de qualité d'eau avant et après le traitement et mesurer la quantité de MES, température, quantité d'oxygène, PH ... etc.

Il y un Echantillonneur automatique contient 24 bouteilles chaque bouteille remplie dans une heure.



Figure 13 : Echantillonneur

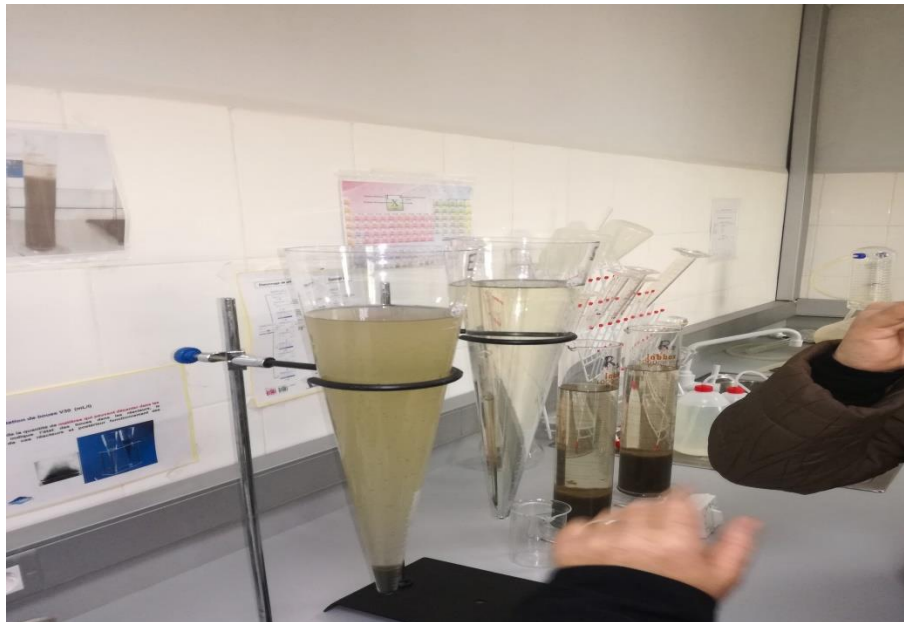


Figure 14 : deux échantillon dans laboratoire avant et après le traitement

CHAPITRE IV : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DE LA STEP D'AIN EL-HOUTZ POUR L'IRRIGATION

1 Qualité des eaux usées épurées :

	MES sortie	Norme	DCO sortie	Norme	DBO5 sortie	Norme
Janvier	12	30	23	90	11	35
Fevrier	13	30	10	90	10	35
Mars	16	30	34	90	10	35
Avril	20	30	27	90	9	35
Mai	26	30	59	90	40	35
Juin	26	30	28	90	19	35
Juillet	20	30	19	90	12	35
Aout	18	30	23	90	19	35
Septembre	23	30	49	90	19	35
Octobre	21	30	19	90	9	35
Novembre	21	30	25	90	11	35
Décembre	24	30	22	90	8	35
La moyenne	20	--	28.167	--	14.75	--

Tableau 1: Valeurs moyennes mensuelles de MES ; DCO et la DBO5 dans les eaux

Les données de tableau. 01 représenté dans les graphes des figures suivants

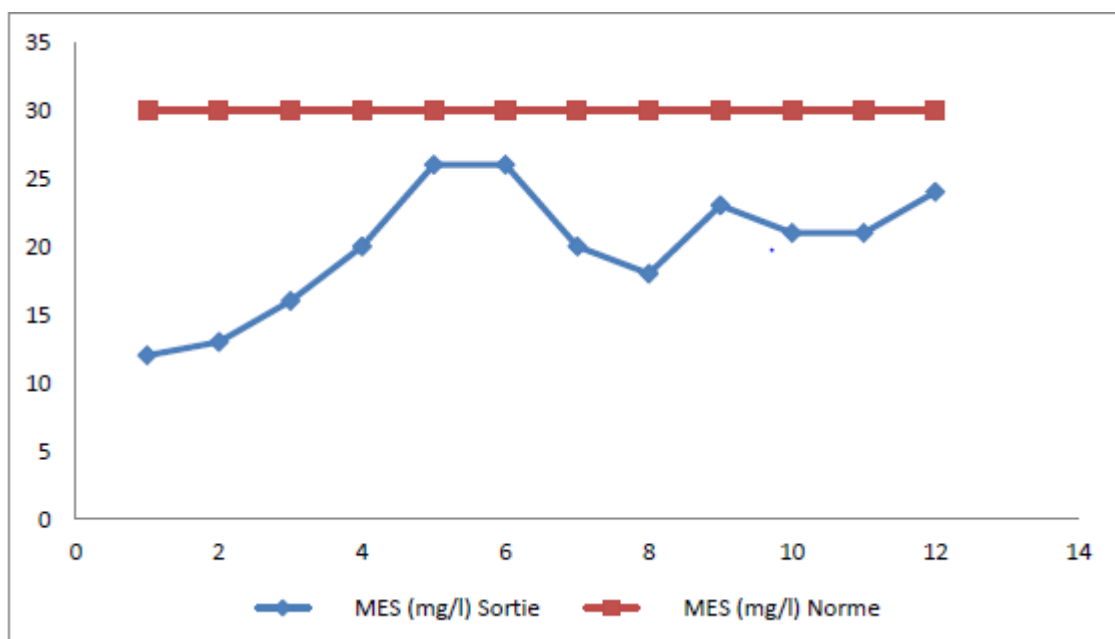


Figure 15 : Evolution des MES de l'eau épurée pendant l'année 2017

CHAPITRE IV : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DE LA STEP D'AIN EL-HOUTZ POUR L'IRRIGATION

En ce qui concerne les eaux épurées, le taux de MES varie entre 12 mg/l et 26 mg/l, ces faibles valeurs sont dues à la décantation des matières décantables, avec une moyenne de 20 mg/l pendant la période de l'étude. Cette valeur reste inférieure à la norme de rejet de (30 mg/l) et à celle du journal officiel algérien limitée à 30 mg/l.

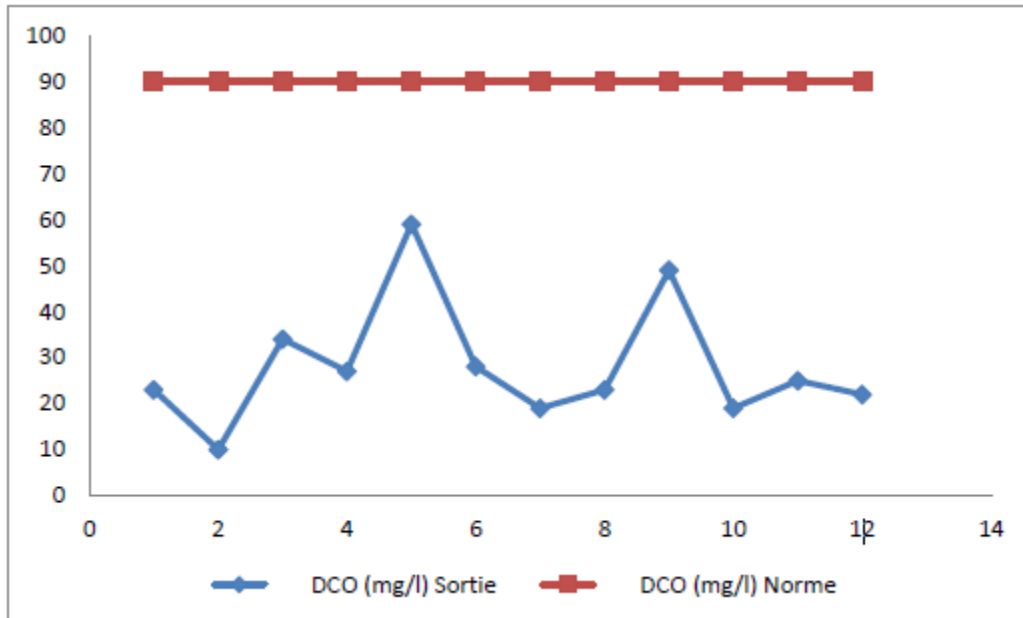


Figure 16 : Variations moyennes mensuelles de DBO5 à la sortie de la STEP pendant

Selon les courbes présentées dans la figure précédente, on remarque que les valeurs moyennes mensuelles de la DBO5 de l'eau traitée sont variables, elles oscillent entre 8 mg/l et 60 mg/l avec une moyenne de 14.75 mg/l.

Cette valeur est largement inférieure aux normes de rejets (35 mg O₂/l).

IV. 2.2. Les avantages de STEP d'Ain EL-Houtz :

- Protection du barrage SEKKAK de la pollution
- Irrigation de la plaine de Hennaya
- Utilisation de la boue produite dans l'épandage
- Protection de l'environnement

IV. 3. Utilisation des eaux usées épurées de la STEP de Ain El Houtz pour irriguer le Périmètre de Hennaya

La Direction Régionale de l'Oranie a prié en charge le périmètre d'irrigation Hennaya (wilaya de Tlemcen) à partir du moins de mars 2011. Le périmètre se situe au nord du chef-lieu de la commune, et à 11 Km en aval de la station d'épuration des eaux usées « Ain El-Houtz ». Pour la première fois, L'ONID a réalisé un Périmètre hydro agricole, irrigué à partir des eaux usées

CHAPITRE IV : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DE LA STEP D'AIN EL-HOUTZ POUR L'IRRIGATION

épurées (STEP). Cette expérience permet de développer l'irrigation à partir des eaux usées épurées dans les zones à grand déficit hydrique.

L'irrigation à partir des EUE nécessite un contrôle sanitaire périodique.



Figure 17 : carte du périmètre de Hennaya

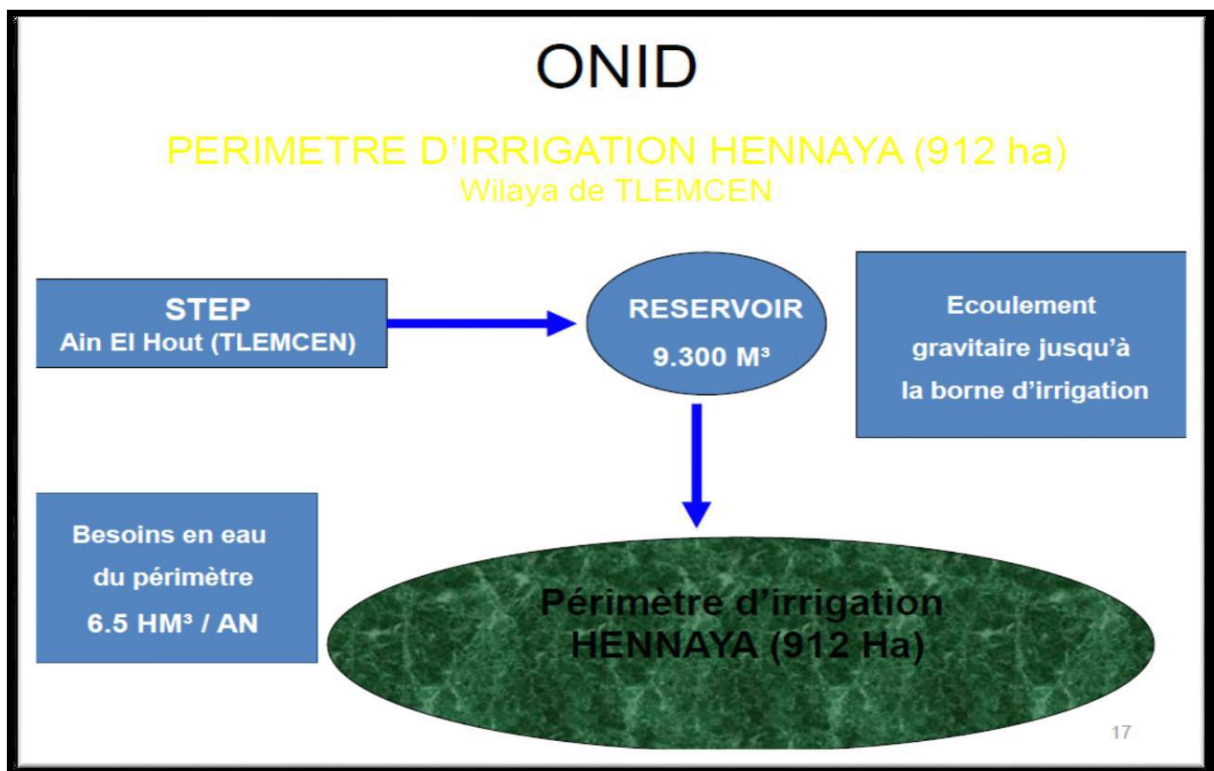


Figure 18 : Schéma de dérivation des eaux vers le périmètre de Hennaya

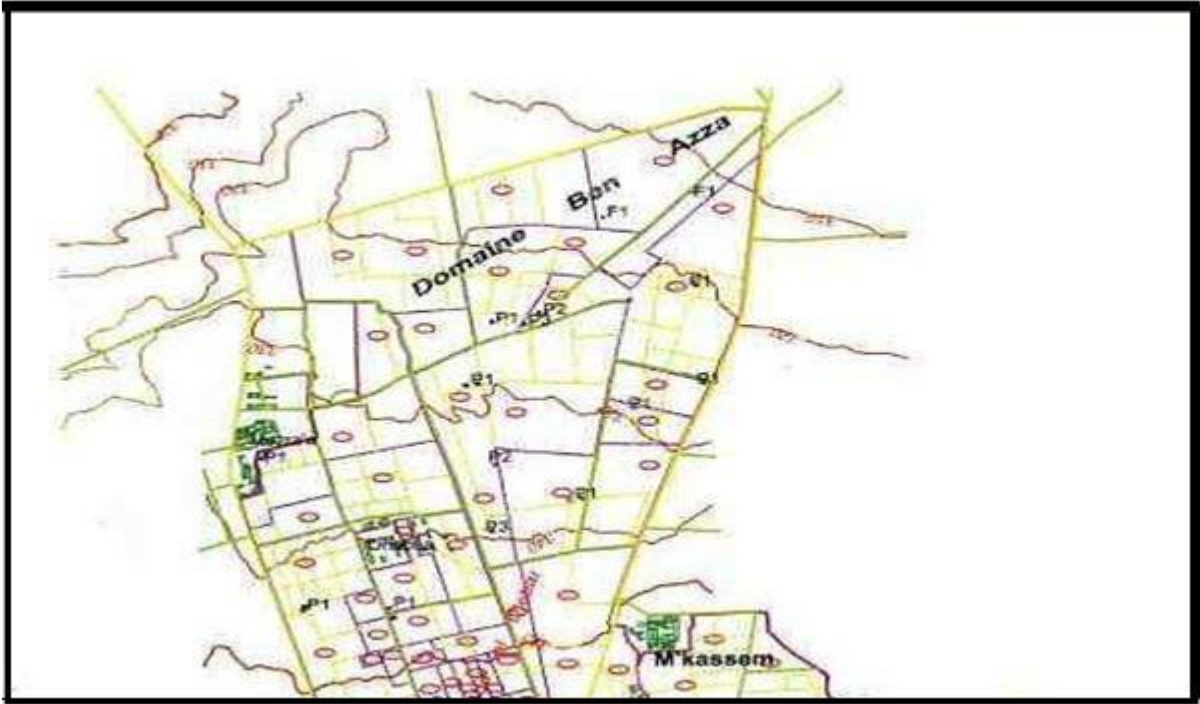


Figure 19 : Périmètre d'irrigation de Hennaya (Tlemcen)

IV.4. Paramètres caractéristiques de la réutilisation en irrigation :

IV.4.1. Paramètre caractéristiques physico chimique de l'eau :

Les résultats de la caractérisation physico-chimiques des deux échantillons d'eau de la station d'épuration d'Ain Houtz - Chetouane (Tlemcen) sont indiquées dans le tableau suivant :

Echantillons	pH	CE	SAR	Chlorures	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
				(mé/l)			(mé/l)			
essai.1	7.41	0.89	<<<3	/	/	/	Trace			
essai.2	7.80	1.07	<<<3	/	/	/	Trace			

Tableau 2: Paramètres caractéristiques de la réutilisation en irrigation

1. SAR: (Sodium Adsorption Ratio) = $Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+})/2)^{1/2}$

IV.4.2. Paramètres caractéristiques des éléments traces métalliques

Echantillons	Zn	Pb	Cu	Mn	Co	Cd	Cr
essai.1	0	0	0.021	0	0	0	0
essai.2	0.032	0	0.024	0	0.004	0	0

Tableau 3: Dosage des éléments solubles et ETM

Dans le cas de la détermination des Eléments Traces Métalliques, qui reste le troisième point d'évaluation de la qualité de l'eau, il a été réalisé le dosage du zinc, du plomb, du cuivre, du manganèse, du cobalt, du cadmium et du nickel.

A partir de ces résultats, il est possible de dire que la présence et la disponibilité des ET reste insignifiante. En effet, les taux observés varient de nuls à traces (valeurs en ppm) (Tableau IV .03).

Eléments	Valeurs limites (mg/l)	Normes (mg/l)
Cd	0.01	0.01
Co	0.5	0.5
Cr	1	1
Cu	2	2
Ni	2	2
Pb	5	5
Zn	2	2

Tableau 4: les valeurs limitent des ETM pour l'eau d'irrigation [42]

Les éléments traces métalliques (ETM) ne peuvent pas être considérés comme une contrainte « majeure » à haut risque dans l'utilisation des eaux épurées, toutefois, il est primordial de procéder à une vérification permanente de la composition des eaux usées.

Les résultats de l'évaluation de la qualité de cette eau, par combinaison entre les tests microbiologiques, le degré de salinité et l'effet des Eléments Traces Métalliques ;

CHAPITRE IV : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DE LA STEP D'AIN EL-HOUTZ POUR L'IRRIGATION

les principales caractéristiques contraignantes du sol : une première phase en tenant compte des notes et des observations de terrain (développement racinaire, aspect drainage et effet stagnation d'eau) et une seconde phase à partir des analyses physico-chimiques.

IV 4.3. Analyse de sol de périmètre de Hennaya :

Dans cette évaluation, il s'agit de présenter les résultats d'analyses des différents échantillons de sol prélevés au niveau de la zone d'étude à savoir le périmètre de Hennaya.

Les échantillons concernés par cette caractérisation sont au nombre de 37. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

Code Ech	Granulométrie (%)			Calc.tot (%)	pH	CE (dS/m)	CEC (mé/100g)	Bases échangeables (mé/100g)			
	Arg.	Lim.	Sab.					Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺
P1N1	40	41	18	21.8	7.88	0.13	24.72	3.24	0.57	18.2	1.45
P1N2	35	48	18	36.7	8.04	0.14	22.34	3.37	0.48	18.62	1.33
P2N1	35	40	24	14.8	8.13	0.13	22.47	1.37	0.47	17.28	1.16
P2N2	35	27	37	9.8	8.28	0.16	23.08	3.57	0.31	12.54	0.77
P3N1	30	40	30	32.5	7.83	0.11	22.41	3.49	0.72	13.89	0.63
P3N2	25	41	33	33.2	8	0.17	18.74	4.26	0.68	15.77	0.93
P4N1	50	27	23	14.8	7.77	0.26	30.2	2.4	0.61	17.63	1.13
P4N2	45	28	26	15.5	8.12	0.26	23.3	1.5	0.69	27.47	0.89
P5N1	40	37	23	11.3	8.05	0.16	24.13	1.85	0.56	18.76	0.41
P5N2	40	35	25	12	8.06	0.2	23.56	3.24	0.52	2.12	1.26
P6N1	35	44	21	24.7	8.28	0.14	20.85	1.87	0.63	13.13	0.35
P6N2	35	45	20	22.6	8.00	0.15	21.67	6.7	0.55	16.28	1.42
P7N1	35	30	35	4.2	8.13	0.24	27.3	1.8	0.69	12.96	1.98
P8N1	25	45	30	21.8	8.04	0.11	17.1	2.4	0.74	19.01	0.09
P9N1	30	41	29	34.3	8.13	0.13	20.21	3.1	0.72	34.26	0.89
P10N1	35	41	24	15.6	8.29	0.22	22.52	2.8	0.7	17.21	1.83
P10N2	35	40	24	33.8	8.6	0.24	23	8.63	0.77	10.29	0.93
P11N1	35	40	30	18.3	7.64	0.2	25	9.93	0.66	9.72	1.62
P11N2	35	35	29	19	7.99	0.14	26.5	2.3	0.73	18.39	1.75

Tableau 5: Analyses échantillons de Sol.

CHAPITRE IV : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DE LA STEP D'AIN EL-HOUTZ POUR L'IRRIGATION

Code Ech	Granulométrie (%)			Calc.tot (%)	pH	CE (dS/m)	CEC (mé/100g)	Bases échangeables (mé/100g)			
	Arg.	Lim.	Sab.					Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺
P12N1	40	40	20	13.4	8.14	0.26	24.91	2.09	0.64	23.22	1.25
P12N2	40	44	16	14.1	8.7	0.42	19.3	1.8	0.67	18.48	1.66
P13N1	34.5	42.91	22.59	21.13	8.19	0.56	20.2	1.49	1.03	14.39	0.89
P13N2	37	40.78	22.22	19.01	8.26	0.15	21	3.12	3.33	9.83	1.16
P14N1	28	38.25	33.75	66.76	8.03	0.16	18.4	3.03	4.58	10.74	1.07
P16N1	34	40.77	25.23	8.03	7.82	0.16	21.3	2.27	1.01	11.26	5.53
P16N2	37	40.78	22.22	5.07	8.14	0.14	22	3.35	8.23	2.65	4.63
P17N1	28.5	41.46	30.04	16.9	7.87	1.5	15	3.07	4.45	6.01	2.49
P17N2	32	45.32	22.68	59	8.53	3.15	19.2	2.31	4.56	10.12	3.24
P18N1	24.5	37.68	37.82	36.34	8.3	0.12	12.5	2.09	3.5	6	1.18
P18N2	35.5	34.72	34.72	13.1	8.09	0.12	20.87	2.05	2.14	9.09	2.27
P19N1	31	37.77	37.77	13.5	7.87	0.12	20.04	1.95	4.06	9.52	3.33
P19N2	32.5	35.96	35.96	22	8.09	0.12	22.83	2.85	5.28	8.09	6.77
P20N1	33.5	53.44	53.44	30.4	7.88	0.16	20.39	2.12	5.25	8.83	5.38
P20N2	39	51.06	51.06	26.2	8.22	0.16	21.91	2.68	5.63	9.74	3.23
P21N1	35.5	50	50	27.8	8.125	0.13	19.84	5.38	4.83	7.74	3.76
P21N2	34.5	52.17	52.17	27	8.28	0.12	21.80	2.12	4.42	9.47	8.79
P22N1	20	20	35.31	27.8	7.98	0.14	15.23	2.11	3.11	7.7	1.86

Tableau 6: (suite). Analyses échantillons de Sol

DELIMITATION DU PERIMETRE D'ETUDE ET LOCALISATION DES POINTS D'OBSERVATIONS

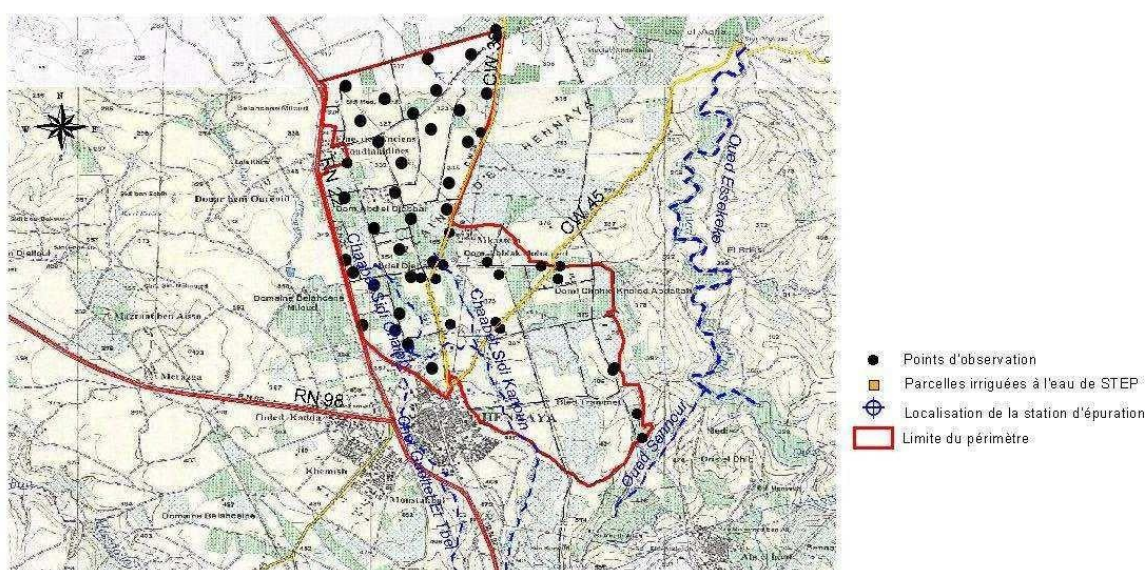


Figure 20 : Localisation du point d'observation

Il ressort de la lecture de ces résultats que :

Les sols de la région sont dans l'ensemble à prédominance d'argile et de limon, d'où ressort la tendance argilo-limoneuse à argileuse. Seulement, il est utile d'indiquer quels différents échantillons présentent des taux de sable plus ou moins appréciables (assez importants par moment, cas de : P3, P20, P21, P22). A ce niveau, il est possible d'assimiler cette présence à *des flux d'apports* (si on tient compte de l'aspect zones des sédimentations et/ou de déjection).

Le calcaire est bien représenté dans la région, il est identifié dans l'ensemble par deux gammes

- Moyennement calcaire à fortement calcaire (10-25% à 25-50%) ;
- Très fortement calcaire (>50%).

Les quelques points cités ont une tendance texturale plus ou moins grossière, Limono-argileuse sableuse à Limono-sableuse argileuse.

Cet aspect de niveau limitant de la profondeur et d'obstacle au développement racinaire est représenté dans la figure ci-dessous :

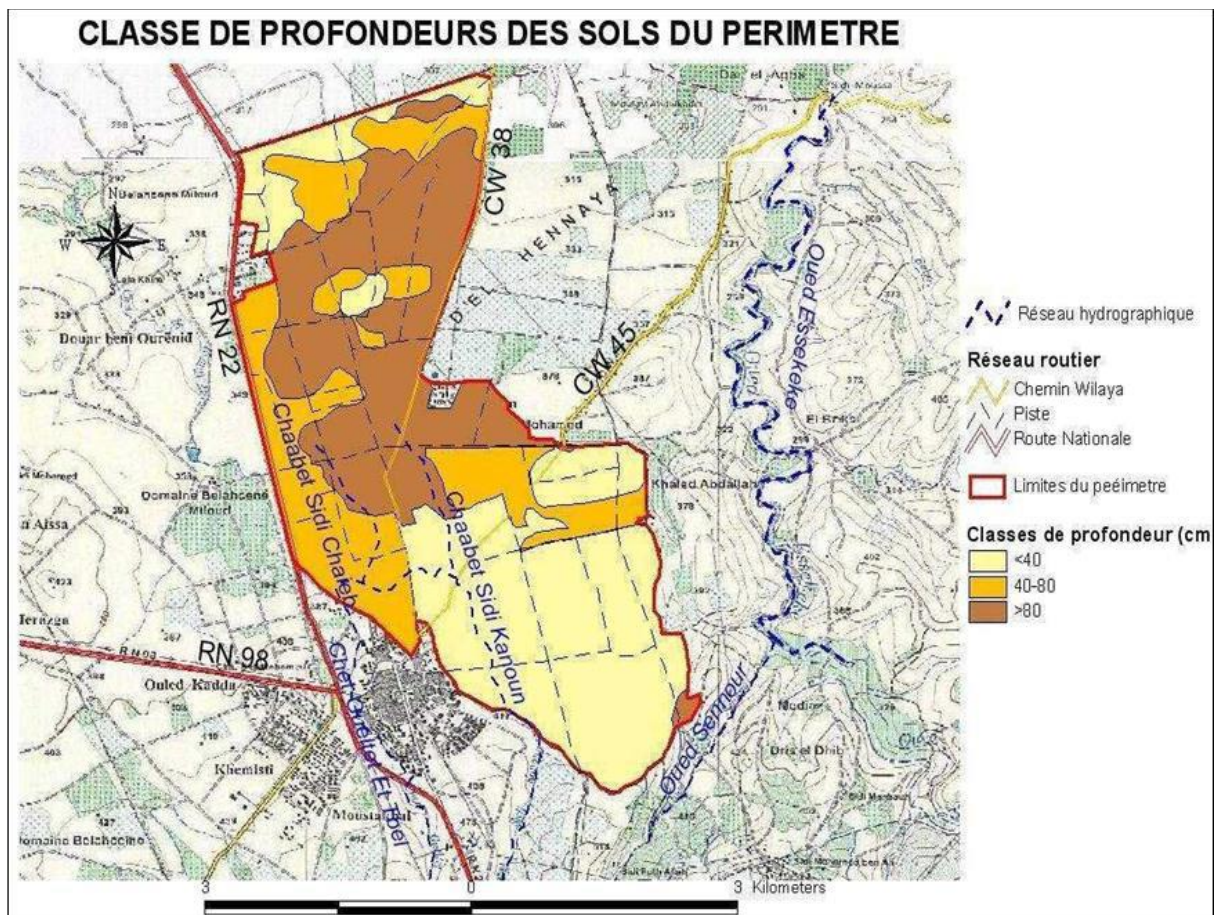


Figure 21 : classe de profondeurs des sols du périmètre Hennaya

CHAPITRE IV : LA REUTILISATION DES EAUX USEES DE LA STEP D'AIN EL-HOUTZ POUR L'IRRIGATION

La fraction active du calcaire totale peut être néfaste dès que celle-ci dépasse un taux de 7% et peut induire à des chloroses (blocage du fer surtout en arboriculture fruitière), ce phénomène est largement apparent dans différentes exploitations.

De même, cette fraction peut inhiber l'absorption de certains éléments majeurs notamment le phosphore en formant des ponts calciques.

- Le pH est alcalin, il varie entre 7.7 et 8,8. Généralement, ce sont des valeurs, qui confirment le point précédent, il s'agit bien de sols calcaires.
- Le paramètre conductivité électrique, sur la base des résultats obtenus par, nous permet de dire que les échantillons de sols (et de là, les sols des zones de prospection) ne présentent pas de risque de salinisation et/ou de dégradation (effet cumulatif à court terme) et de contrainte pour le développement des plants (tableau 07).

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)	Effet sur la croissance des plantes
Non salins	0-2	Effets de la salinité négligeables
Légèrement salins	2-4	La production de certaines plantes sensibles peut être affectée
Modérément salins	4-8	La production de la plupart des plantes est restreinte
Fortement salins	8-16	Seule les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante
Très fortement salins	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante

Tableau 7: Classe de salinité des sols et effet sur la croissance des plantes

La lecture des valeurs de la capacité d'échange cationique (CEC), renseigne sur le rôle « important » attribué (de par leur présence) aux argiles (nature) dans son conditionnement.

- Les valeurs obtenues varient entre 12,5 et 30 (me/100g), pour des taux d'argile qui dépassent dans l'ensemble 30%.
- Les valeurs des bases échangeables (me/100g) confirment, un tant soit peu, l'effet nature calcaire des sols. Il ressort la prédominance de l'élément calcium sur le complexe adsorbant.

Les résultats de l'évaluation analytique vont dans le même sens que les observations (approche descriptive) faites sur terrain. Il est clair que l'effet texture fine (argilo-limoneuse argileuse) et l'effet calcaire (taux et formes) est prédominant. La résultante on a :

- ✓ Une association contraignante d'effet sols lourds et niveau limitant,
- ✓ Une absence perceptible à une régression visible de l'efficacité du drainage,
- ✓ Un effet risque « cumulatif » avec l'eau d'irrigation ;

- ✓ Une déficience en éléments nutritive par rétrogradation et/ou insolubilisations.

IV. 5. Les aménagements pour la réutilisation des eaux usées en irrigation :

Afin d'acheminer les eaux usées de la station d'épuration d'Ain-El-Houtz vers le périmètre irrigué de Hennaya, un ensemble d'aménagement a été réalisé, comprenant :

- Un Réservoir V = 9300 m³
- Deux Bassins (Brise charge) V = 200 m³ chacun.
- Réseau d'adduction linéaire : 13835 ml.
- Fb (Frété Béton) : Diamètre 600-800 mm
- Réseau de distribution linéaire : 26720 ml PVC : Diamètre 90 - 500 mm.
- Bornes d'irrigation : 102 unités.



Figure 22 : réservoir de stockage



Figure 23 : brise charge

Année	Volumes Distribués (m3)	Sup.irriguée (H)
2011	6 086 000	350
2012	9 010 470	350
2013	9 088 695	350
2014	10 527 520	350
2015	10 953 600	665
2016	10 853 000	665
2017 (*)	10 950 000	912

Tableau 8: Evolution des supervise & des volumes des eaux usées réutilisée à l'irrigation

(*) La répartition du supervise irriguée dans l'année 2017 est représenté dans la figure 20

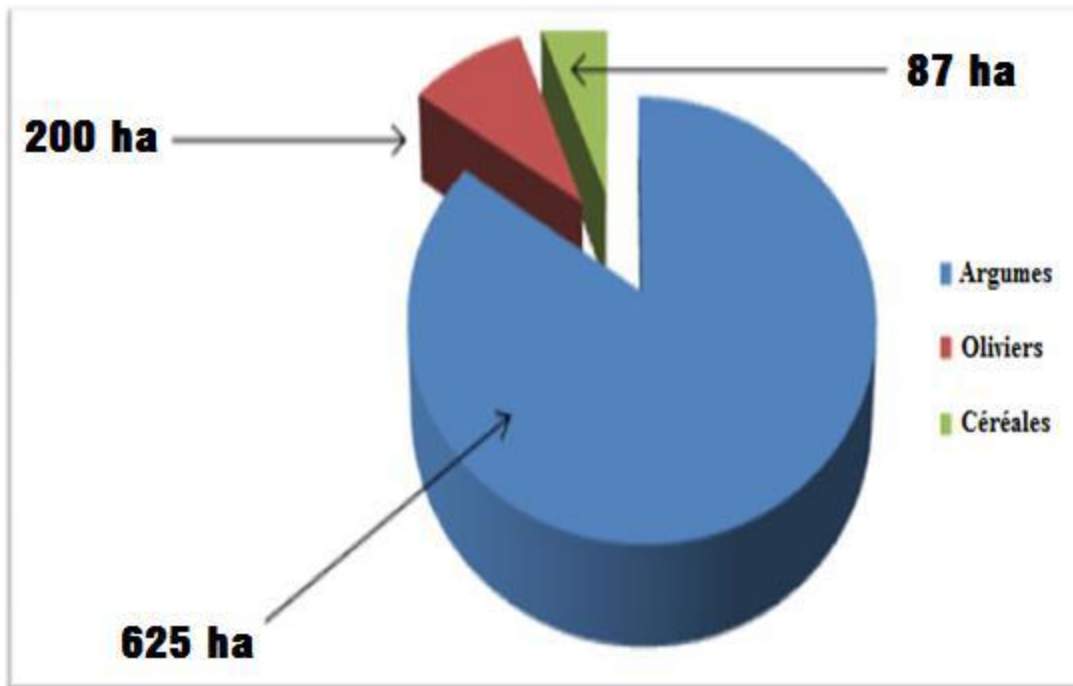


Figure 24 : Répartition des supervise irriguées selon les cultures

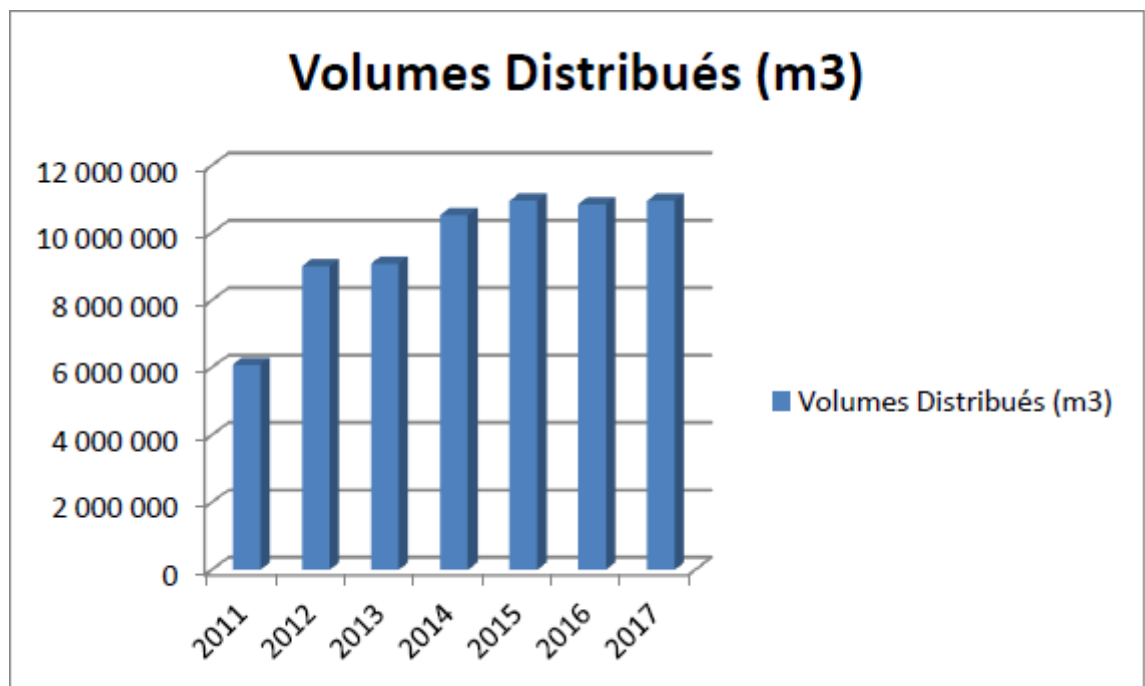


Figure 25 : Répartition des volumes distribués pendant les années 2011 jusqu'à 2017

D'après la figure 13 on observe qu'il y a une augmentation dans le volume distribuée pendant les années 2011 jusqu'à 2017.

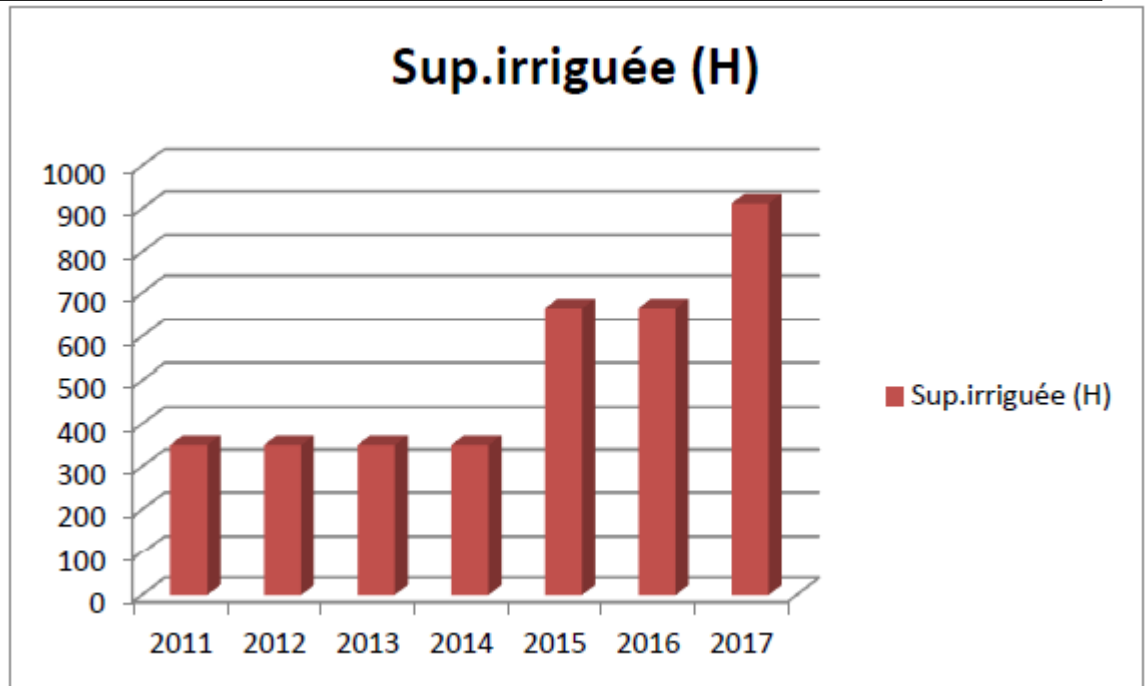


Figure 26 : Répartition des supervise irriguées pendant les années 2011 jusqu'à 2017

D'après la figure 14 on observe que dans les années 2011 jusqu'à 2014 il y a de la stabilité la supervise puis d'augmentation jusqu'à l'année 2017.

	Besoin en eau m3/An	Avant Aménagement	Après Aménagement
Cultures		2010	2017
Céréales	620065.800	20 q/ha*	50 q/ha
Agrumes	4454495.614	60 q/ha	120 q/ha
Oliviers	1425438.600	40 q/ha	80 q/ha

Tableau 9: Evolution de rendement

(*) q : le quintal q = 100 kg

Les donnes du tableau 09 considérer qu'il y a un bon rendement dans La quantité de production agricole par les cultures (Céréales ; Agrumes ; Oliviers) entre 30 à 60 quintal par hectare de l'année 2010 à l'année 2017.

IV .6. Conclusion

Les eaux usées épurées actuellement produites conviendraient pour une utilisation restrictive ; il est par conséquent strictement interdit d'irriguer les cultures maraichères et de pratiquer le pâturage direct.

Dans ce cas il est important de respecter de manière exhaustive la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées de l'arrêté interministériel du 8safir 1433 correspondant au 02 janvier 2012.

L'irrigation avec des eaux usées épurées exige en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (micro-organismes pathogènes, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc. ...).

Les éléments traces métalliques (ETM) ne peuvent pas être considérés comme une contrainte « majeure » à haut risque dans l'utilisation des eaux épurées (toutefois, il est primordial de procéder à une vérification continue ou permanente de la composition des eaux usées).

Conclusion générale

Conclusion générale

De par sa situation géographique, l'Algérie est un pays semi-aride, aux faibles ressources hydriques. La double croissance démographique et économique a entraîné l'augmentation des besoins en eau et une pression insoutenable sur cette ressource.

Par principe, la majorité des normes plus récentes exigent au minimum un traitement biologique des eaux usées destinées à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation.

La recherche de ressources non conventionnelles comme les eaux usées traitées pour une utilisation plus efficiente, est d'actualité. A cet égard, les pouvoirs publics se penchent de plus en plus sur la question de l'assainissement, et le traitement des eaux usées.

Alors que le secteur agricole, sous l'effet de la pression de l'accroissement de la demande sur les produits agricoles, fait ample utilisation des eaux usées en irrigation, là où la ressource est disponible et durable.

Après avoir décrit le site d'étude et avoir une idée sur la station d'épuration d'Ain El-Houtz à savoir la qualité des eaux épurées qui sont destinées à l'irrigation du périmètre de Hennaya.

On peut dire la réutilisation des eaux usées épurées se propose d'un part comme une solution par combler le déficit en eau en Algérie et par conséquent préserver les ressources hydrauliques d'autre part et participer à l'économie nationale et donner aux exploitant des STEP des ressources financières supplémentaires.

Références Bibliographique

Références Bibliographique

- [1] **Baumont et al, 2005.** Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Îlede-France. Rapport ORS, 220p
- [2] **VAILLANT J.R., 1974.** Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles, Edition, Eyrolles, Paris, 1974.
- [3] **LARTIGES B., 1994.** Déstabilisation d'une suspension de silice colloïdale par un sel d'aluminium. Relation entre les phénomènes de surface, la structure et la granulométrie des floes, Docteur de l'INPL, Institut National Polytechnique de Lorraine, 1994.
- [4] **BOUTOUX Jean, 1983.** Introduction à l'étude des eaux douces-eaux naturelles-eaux usées-eaux de boisson, Edition CEBEDOC, liège, 1983.
- [5] **DESJARDINS, 1997.** Le traitement des eaux, 2ème édition, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 1997, pp 303
- [6] **METAHRI Mohammed Saïd, 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, 2012.
- [7] **RODIER et AL, 2005.** L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8^{ème} Edition DUNOD technique, Paris, 2005, pp 1008-1043.
- [8] **REJSEK, 2002.** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Éd CRDP, Aquitaine. France.
- [9] **Prost et Boutin, 1989.** Le risque infectieux lors de l'utilisation d'eaux usées en agriculture. T. S. M. l'EAU, 1:25-33.
- [10] **Feachem et al., 1983.** Sanitation and Diseases: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. chichester, john Wiley.
- [11] **Aït Melloul, 1999.** Etude épidémiologique de Salmonella chez les enfants de la zone d'El azzouzia en comparaison avec les enfants d'une zone témoin (Sidi moussa). Étude de l'anti bio résistance. Diplôme de Doctorat Es-Sciences Fac. Sc. Sem., (U.C.A), Marrakech, 14 -15, 29-30 p.
- [12] **AFD 2011.** Réutilisation des eaux usées traitées – Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. France, AFD, 85 p.
- [13] **Veolia, 2006.** Le recyclage de l'eau, une solution locale quand l'eau se fait rare. Veolia Environnement. 8 p.

Références Bibliographique

- [14] (OMS, 2012) *Directives de l'OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*. Genève, OMS, 225 p.
- [15] Trad. Raïs et Xantholins, 2006. *Rôle de la micro-irrigation dans l'atténuation des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles*. Vecteur-Environnement, mars 2006, p.75-81.
- [16] Anctil, 2008. *L'eau et ses enjeux*. Québec, Les Presses de l'Université Laval, 228 p.
- [17] SYNTEAU, 2012. *Réutilisation des eaux usées traitées : REUSE*. Fiches SYNTEAU, no 5, 6p.
- [18] Lazarova et Brissaud, 2007. *Intérêts, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France*. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, no 299, p.29-39.
- [19] US NRC, 2012. *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*, Washington, National Academies Press, 262 p.
- [20] US EPA, 2012. *Guidelines for water reuse*. Washington, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, pagination multiple.
- [21] Exall et autres 2004. *A review a water reuse and recycling, with reference to Canadian practice and potential: 2. Applications – Review article*. *Water Quality Research Journal*, vol. 39, no 1, p.13-28.
- [22] BRGM, 2010. *La réutilisation des eaux usées : un enjeu majeur de développement durable*. *Les enjeux des géosciences, Fiche de synthèse scientifique no 24*, avril 2010, 4 p.
- [23] (. Hadj-Sadok, Z. M., 1999) *Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau*. -Thèse : Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Nice – Sophia Antipolis, France
- [24] Wikipédia
- [25]. www.inbo news.org, 2012. *Réutilisation des eaux usées après traitement*, consulté le 25/04/2012.
- [26] Satin, M., Selmi, B., (2006). *Guide technique de l'assainissement, 3ème édition le moniteur référence technique*, Paris, 726p.
- [27] Azouzzi, N. 2010. *Traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Marrakech*. *Mémoire Licence en Science et Technique Eau et Environnement*. Marrakech. Département des sciences de la terre. 24,25 pp.
- [28] Satin, M., Bourrier, R., Selmi, B., (2010). *Guide technique de l'assainissement, 4ème édition, édition le moniteur référence technique*, 775p.
- [29] Dégrèvement., (1989). *Mémento technique de l'eau, 8ème édition*, tome 1&2, 1459p.
- [30] Dégrèvement., (1995). *Mémento technique de l'eau ,10ème édition*, tome 1 & 2, 1718p

Références Bibliographique

- [31]. **Karaali, R., Khataf, M. et Reggam, R. 2008.** *Etudes comparatives de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées avant et après épuration : cas de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-est Algérie). Mémoire diplôme d'ingénieur. Université 08 Mai 45. Guelma. 25-32 et 61-65 p*
- [32] **Vilaginés, R., (2010).** *Eau, environnement et santé publique, 3eme édition, édition TEC & DOC Lavoisier, paris, 217p*
- [33] **Daloz, A., (2007).** *L'épuration des eaux usées par les filtres plantés de micropyles, école nationale supérieure d'architecteur de Lyon, 26p*
- [34] **Vilaginès, R., (2000).** *Eau, environnement et santé publique. 2ème édition, édition TEC & DOC, Paris, 174p*
- [35]. **Edeline, F., (1992).** *L'épuration physico-chimique des eaux, édition TEC & DOC, Paris, 184p*
- [36]. www.futura-sciences.com/.../eau-traiter-eaux-usées-procède-boue-activée-4153/ : <http://step.ouvaton.org/tech8b.htm>. (Consulté le 04/04/2014)
- [37] **Debbabi, A. 2013.** *Evaluation des performances épuratoires des STEP à boues activées ; cas de la wilaya de Souk-Ahras. Mémoire de Master en hydrauliques urbaines. Université Mohamed Cherif Messaadia de Souk-Ahras. 31, 32 pp.*
- [38]. **Arodi Bernal M. (2005).** *Elimination des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans les boues d'épuration par couplage ozonation-digestion anaérobie. Thèse en génie des procédés, MONTPELLIER II France.*
- [39]. **Dégréement. (1978).** *Mémento technique de l'eau : 8ème édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p.*
- [40] **Molleta, R., (2007).** *Gestion des problèmes environnementaux, 2ème édition, Paris, 441p.*
- [41] **Berlin, J. M., Boutin, C., Molle, P. and Cooper, P., 2001**
- [42]. **Dauphin, S., 1998** *Connaissance et contrôle du fonctionnement des stations d'épuration, intérêt et limites des moyens métrologiques actuels : application à la gestion hydraulique d'un décanteur secondaire. -Thèse : Faculté des sciences et techniques de l'eau, Université Luis Pasteur de Strasbourg, France.*
- [43]. **(Alexandre et al 1998) Alexandre, O, Boutin, C., Duchène, Ph., Lagrange C., Lakel, A., Liénard, A. and Orditz, D., 1998** *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. -Technique et documentation Lavoisier (FNDAE N22), Paris, France...*
- Paramètre*
- [44]. **(Cortés De La Fuente C., 2002)** *Supervisory systems in wastewater treatment plants: sistematise their implantation.*

Références Bibliographique

-Thèse : Département d'engainerai qui mica agrària i technologies agroalimentaires, Univers tat de Gironna, Espagne.

[45]. **MEEDDM** : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable de la Mer, 2007 (France).