

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomiques

Département des sciences agronomiques



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en science agronomique

Spécialité : Traitement et Valorisation des Ressources Hydriques.

Thème

VALORISATION AGRICOLE DES EAUX
USEES EPUREES : CAS DE LA STEP DE
BOUMERDES

Présenté par

M^{lle} KABICHE CHERIFA

Encadré par

M^r MERIDJA. S

Promotion 2014/2015



REMERCIEMENTS

*Merci **mon DIEU** de m'avoir donner la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience, d'aller jusqu'au bout du rêve et la volonté de mener à terme le présent travail ;*

Tout d'abord je tiens à remercier mon promoteur M^r Meridja.S, pour avoir aimablement orienter et assidûment diriger ce modeste travail ;

Je tiens particulièrement à remercier les honorables membres du jury qui m'ont font l'honneur de corriger et juger mon travail ;

Je remercie M^{me} Bachattene, ingénieur du laboratoire d'hydraulique pour son soutien et sa gentillesse ;

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.



DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail,

A tous ceux qui me sont très chers,

Ma mère, tout mon respect et affection en témoignage de son soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour ses conseils et orientations dans ma vie ; que dieu la protège ;

La Mémoire de mon père, que dieu le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis ;

Mes frères, mes sœurs et leurs maris;

Mes neveux, Hani et Mayas ;

Ma petite nièce Céline ;

Mon très cher Hacène, qui a su me reconforter, me redonner du courage et m'épauler lors des moments difficiles ;

Sans oublier ma très chère copine Sylia

Toute la promotion TVRH 2014/2015.



CHERIFA.K

Liste des abréviations

- % : pourcent
- °C : degré Celsius
- $\mu\text{s} / \text{cm}$: Micro Siémens par centimètre
- CE : Conductivité Electrique
- CF : Coliforme Fécaux
- cm / jour : centimètre par jour
- DBO : Demande Biochimique en Oxygène
- DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours
- DCO : Demande Chimique en Oxygène
- EH : Equivalent Habitant
- ETM : Evapotranspiration maximale de la culture
- ETP : Evapotranspiration potentiel
- FAO : Food Agriculture Organisation (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- ha : hectare
- kg/ha : kilogramme par hectare
- m / s : mètre par second
- m³/j : mètre cube par jour
- MES : Matière en Suspension
- mg /l : milligramme par litre
- mm : millimètre
- MMS : Matière Minéral en Suspension
- MVS : Matière Volatile en Suspension
- NH₄⁺ : Ammoniac
- NO₂⁻ : Nitrite
- NO₃⁻ : Nitrate
- N_{org} : Azote organique
- NTK : Azote Totale Kjeldhal
- O₂ : Oxygène
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- PH : Potentiel d'Hydrogène
- PO₄³⁻ : Ortho Phosphate
- REUE : Réutilisation des Eaux Usées Epurée
- STEP : Station d'Epuration
- T° : Température
- tonne/an : tonne par an

Liste des figures

Figure n°01 : schéma d'un prétraitement d'une station d'épuration.....	10
Figure n°02 : schéma d'un dégrilleur	11
Figure n°03 : lagunage naturel.....	18
Figure n°04 : lit bactérien.....	20
Figure n°05 : disque biologique.....	21
Figure n°06 : schéma d'un traitement biologique aérobie à boue activée.....	22
Figure n°07 : Différentes étapes de la transformation de l'azote.....	24
Figure n°08 : Vue satellitaire de la STEP Boumerdès.....	53
Figure n°09 : Bassin d'orage	54
Figure n°10 : Dégrilleur.....	54
Figure n°11 : bassin d'aération.....	55
Figure n°12 : clarificateur.....	56
Figure n°14 : Flux total annuel en tonnes d'azote et de phosphore dissout dans les eaux épurées et produit par la STEP de Boumerdès.....	59
Figure n°15 : valeur commerciale de flux d'azote et de phosphore produite annuellement par la STEP de Boumerdès.....	60
Figure n°16 : Flux d'azote et de phosphore en kg/ha d'agrumes apportés par les eaux d'irrigation avec les eaux épurées de la STEP de Boumerdès.....	63
Figure n°17 : Gain financier en DA/ha d'agrumes pour les irrigants utilisant les eaux épurées de la STEP de Boumerdès.....	64
Figure 18 : Bilan climatique mensuel (Σ Pluies – Σ ETP _{pen}) établi sur 37 ans (période de 1967 à 2004) pour la région d'Alger (données météorologiques provenant de la station de météorologie de Dar El-Beida).....	65

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée.....	06
Tableau n°02 : Normes de rejets de l'OMS, appliquées en Algérie.....	08
Tableau n°03 : classe de qualité de salure de l'eau d'irrigation.....	41
Tableau n°04 : les inter-relations entre le système d'irrigation et l'efficacité du système...43	
Tableau n°05 : paramètres physico-chimique mesurées sur les eaux brutes et épurées au niveau de la STEP de Boumerdès.....	57
Tableau n°06 : Récapitulatif des résultats des simulations du bilan hydrique réalisé sur les agrumes, sous les conditions climatiques de la plaine de la Mitidja-Est.....	58



SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	
1- Généralités	3
I-1- Définition des eaux usées	3
I-2- Origines des eaux usées.....	3
I-2-1-Les eaux usées domestiques.....	3
I-2-2-Les eaux usées industrielles	4
I-2-3- Les eaux pluviales	4
I-2-4-Les effluents agricole	5
I-3- Les différents types de pollution des eaux.....	5
I-3-1- La pollution organique.....	5
I-3-3- La pollution physique	5
I-3-4- La pollution microbiologique.....	6
I-4- Les caractéristiques des eaux usées.....	6
I-4-1- les paramètres organoleptiques	6
I-4-1-1- La couleur et l'odeur.....	7
I-4-1-2- La turbidité	7
I-4-2- Les paramètres physico-chimique.....	7
I-4-2-1- La température.....	7
I-4-2-2-Le potentiel d'hydrogène	7
I-4-2-4- La conductivité électrique (CE).....	8
I-4-2-5- La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	9
I-4-2-6- La demande chimique en oxygène (DCO).....	9
I-4-2-7- La biodégradabilité	9
I-4-3-Autres éléments	10
I-4-3-1- L'azote	10
I-4-3-2- Le phosphore	10
I-5- L'équivalent habitant.....	11
I-6-Normes de rejets	11
I-7-Systèmes d'assainissement	12
I-7-1-Système unitaire	12
I-7-2- Système séparatif.....	12

I-7-3- Système pseudo-séparatif	13
I-8-Conséquence de rejet des eaux usées sur le milieu récepteur.....	13
I-9- Les procédés de traitements des eaux usées	13
I-9-1- Les prétraitements	14
I-9-1-1- Le dégrillage.....	14
I-9-1-2- Le dessablage	15
I-9-1-3- Le dégraissage-déshuilage	15
I-9-2- Les traitements primaires.....	16
I-9-3-1-Traitement secondaire anaérobies	17
I-9-3-2- Traitement secondaire aérobie.....	18
I-9-5- Le traitement tertiaire	29
I-9-5-1-L'élimination de l'azote.....	29
I-9-5-2- L'élimination de phosphore	31
I-9-5-3- La désinfection	31
I-9-6- Traitement des boues.....	33

Chapitre II : réutilisation des eaux usées épurées en irrigation

II-1- Définition de la réutilisation des eaux usées	36
II-3- Modes de la réutilisation des eaux usées.....	37
II-4- Qualité de l'eau d'irrigation	39
II-4-1- La qualité physique	39
II-4-2-Qualité chimique.....	39
II-5- Choix du système d'irrigation	42
II-6- Risques liées à la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.....	43
II-6-1-MES.....	44
II-6-2-Excès des nutriments.....	44
II-6-3-Bactéries	44
II-6-4-Virus	44
II-6-5-Protozoaires	45
II-6-6- Helminthes.....	45
II-6-7-Risque chimique.....	45
II-6-8-Salinité.....	45
II-7-Avantages et inconvénients de la réutilisation	45

II-7-1- Avantages	45
II-7-2- Inconvénients	46
II-8-Intérêt agronomique des eaux usées épurées	46
Conclusion	47

Chapitre III: la culture des agrumes

III-1- Classification botanique des agrumes	48
III-2- La morphologie des agrumes	48
III-3- Ecologie et phénologie des agrumes	49
III-3-1- Ecologie	49
III-3-2- Phénologie	50
III-4-La fertilisation des agrumes	51
Conclusion	51

Chapitre IV présentation de la station d'épuration de Boumerdès

IV-1- Conception et réalisation	52
IV-2- Situation géographique	52
IV-3- Caractéristiques des eaux	53
IV-4- Le fonctionnement de la STEP	53
IV-4-1-L'arrivée de l'eau usées à la station	53
IV -3-2- Le prétraitement	54
IV-3-3- Le traitement secondaire	55

Chapitre V : valorisation des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdès

V-1 Résultats	59
V-1.1 Volume d'eau épurée par la STEP de Boumerdès	59
V-1.2 Estimation des flux d'azote et de phosphore apportés par les eaux épurées de la STEP	59
V-1.3 Estimation de la valeur commerciale des flux d'azote et de phosphore produits par la STEP de Boumerdès	60
V- 1.4 Valorisation des eaux épurées par la STEP et de leur charge fertilisante sur les agrumes	60
V-1.4.1- Besoin en eau des agrumes (ETM)	60
V-1.4.3 Estimation des besoins en eau (ETM) et en irrigation (Br_{irr}) des agrumes	62
V-1.4.4 Estimation de la charge fertilisante en Net P sur les agrumes	63

V-1.4.5 Potentiel de la STEP de Boumerdès en matière de surfaces d'agrumes irriguées	64
V-2 Interprétation	65
Conclusion.....	68
Références bibliographiques	



INTRODUCTION

GENERALE

L'eau est sans doute la richesse la plus précieuse sur terre, aucune vie n'est possible sans cette commodité première. Si les premières communautés humaines se sont fondées le long des cours d'eau, il est encore vrai aujourd'hui que l'eau reste un facteur important de progrès et de développement. (BELLIL.M et OUKAS.N, 1998).

La démographie galopante des pays en développement, l'effet de la pollution sur les eaux de surfaces et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et la problématique grandissante des changements climatiques, avec ses conséquences sur le milieu, sont considérées aujourd'hui comme étant les principaux freins au développement de nombreuses régions dans le monde. En Algérie où la ressource en eau est naturellement limitante alors que les consommations anthropiques croissent, assurer les besoins en eau des divers secteurs, secteur agricole entre autre, avec la seule ressource conventionnelle disponible relève de l'exploit et demeure ainsi la préoccupation principale des autorités publiques qui doivent chercher à s'adapter au mieux à cette situation. Dans un contexte où la recherche de nouvelles sources innovatrices d'approvisionnement se pose avec acuité pour les gestionnaires des périmètres irrigués, la réutilisation des eaux usées après épuration apparaît comme une alternative souhaitable pour répondre à une demande de plus en plus croissante de l'agriculture irriguée et constitue, pourquoi pas, une alternative importante à l'usage de l'eau propre (conventionnelle).

L'utilisation des eaux usées épurées reste une pratique très répandue dans la plupart des pays du monde, méditerranéens en particulier, dont les principaux projets d'utilisation sont consacrés à l'irrigation agricole et à la recharge des aquifères (TAMRABET.L, 2011). En Algérie, jusqu'en 2004, le ratio entre les superficies irriguées et irrigables est de 0,2. Bien que l'irrigation des cultures avec l'eau usée brute soit interdite en Algérie (Code des Eaux, 1997), nombreux sont les agriculteurs qui adopte cette pratique, faute de disponibilité en eau pour l'irrigation, soumettant alors le consommateur de ces produits agricoles à des risques de santé considérable (Medkour, 2002; Lehtihet, 2005). La réutilisation des eaux usées épurées peut constituer une alternative à cette pratique dangereuse pour la santé des consommateurs de même qu'elle peut représenter une solution de gestion à long termes et sans risque pour le système de production, pour répondre d'une part, à la problématique de la pénurie d'eau qui se pose avec acuité pour le secteur agricole irrigué, et d'autre part pour réduire les coûts de production en valorisant les principaux nutriments contenus dans ces eaux. La gestion d'un tel système reste cependant d'autant plus difficile que la conduite de système de production

dépend de nombreux facteurs exogènes aux exploitants agricoles et sur lesquels ils n'ont pas prise. Le facteur climatique, aux échelles qui nous intéressent, est celui qui, de tous, présente le plus de sensibilité et de variabilité et pour lequel on doit chercher à s'adapter au mieux.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail dont le principal objectif est de proposer une méthodologie visant à utiliser à bon escient les eaux usées épurées en agriculture, tout en valorisant les éléments nutritifs assez abondants de ces eaux dans le but de préserver le milieu naturel récepteur et de réduire, autant que possible, les coûts de production de l'agriculture irriguée et pérenniser le système de production.

Ce document de travail se présente en cinq parties :

- Dans le premier chapitre, un rappel sur les eaux usées et les procédés de leur épuration est alors présenté ;
- Le second chapitre aborde le principe de la réutilisation des eaux usées dans divers secteurs et les risques liés à cette utilisation;
- Le troisième chapitre présente la culture des agrumes, ces besoins de production et sa conduite agricole ;
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation de la STEP de Boumerdès et aux caractéristiques de ces eaux épurées ;
- Le cinquième et dernier chapitre présente les résultats de ce travail et leurs interprétations.



SOMMAIRE



**LISTE DES
ABRÉVIATIONS**



LISTE DES FIGURES



LISTE DES
TABLEAUX



INTRODUCTION

GENERALE



CHAPITRE I



CHAPITRE II



CHAPITRE III



CHAPITRE IV



CHAPITRE V



CONCLUSION

GENERALE



RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Les rejets des eaux après usage sont augmentés et multipliés avec l'accroissement démographique et l'expansion des villes qui génère des différentes catégories de déchets. Les eaux usées peuvent contenir de nombreuses substances polluantes, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menacent la qualité de l'environnement dans sa totalité. Donc leurs traitements avant réutilisation est une pratique nécessaire pour la conservation des ressources en eaux et en sols.

I- Généralités

I-1- Définition des eaux usées

« La pollution de l'eau est une modification néfaste de la composition des eaux par l'ajout des substances susceptibles d'altérer leur qualité, leur aspect esthétique et compromettre leur consommation ».

Les eaux usées constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles. Les eaux usées sont généralement chargées de détritiques divers, de matières minérales dissoutes, produits minéraux et organiques en suspension (BOUZIANI, 2000). Ces eaux polluées doivent bénéficier d'un assainissement et d'une épuration avant d'être déversées dans les milieux naturels ou d'être recyclées dans différents domaines.

I-2- Origines des eaux usées

Les eaux usées, appelées aussi eaux résiduaires, qui arrivent à la station d'épuration. Suivant l'origine et la qualité des substances polluante, on distingue quatre catégories d'eau usées :

I-2-1- Les eaux usées domestiques

Elles comprennent les eaux ménagères et les eaux de vannes. Les premières concernent les eaux de cuisine et de salle de bain, elles renferment des matières en suspension, des matières dissoutes et des graisses appelées eaux grises. Les secondes sont issues des toilettes qui sont chargées de matières organique azotées et phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires (MESSAOUDENE et SOUIKI, 2007).

I-2-2-Les eaux usées industrielles

Les eaux résiduelles industrielles ou professionnelles sont les déchets liquides obtenus lors l'extraction et de la transformation de la matière première en produits industriels ainsi que lors de l'utilisation de ces produits pour la fabrication d'articles de consommation. La composition des eaux usées industrielles varie selon la nature des rejets ; selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- des matières radioactives (centres nucléaires, traitement des déchets radioactifs....)
- des sels métalliques (traitement de surface, métallurgie....)
- des matières organiques et graisses (industries agroalimentaires....)
- des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries....)
- eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques....).

Les eaux usées industrielles avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, doivent faire l'objet d'un traitement de la part des industries. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

I-2-3- Les eaux pluviales

Les eaux pluviales, ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation, elles peuvent être particulièrement polluées, surtout au début de pluie, par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées, les déchets solides ou liquides déposés sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les précipitations qui se produisent ;
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (BOUHANNA.A, 2014).

I-2-4-Les effluents agricole

Les effluents agricoles renferment diverses substances, d'origines agricoles ou animales. Il s'agit de solutions d'engrais lessivées par les sols fortement fertilisés, des produits phytosanitaires (pesticides) et des déjections animales (purins et lisier de bétail) (LADJEL, 2004).

I-3- Les différents types de pollution des eaux

Les causes de la pollution se sont étendues avec l'accroissement de la population et le développement accéléré des techniques industrielles modernes. Selon leur nature, on distingue divers types de pollution :

I-3-1- La pollution organique

La pollution organique est la plus répandue, elle est engendrée par le déversement des eaux usées domestiques ou des eaux résiduaires provenant des industries agroalimentaires, d'abattoirs, d'industries de bois, papeteries... .

La pollution organique s'exprime par la demande biochimique en oxygène (DBO). Exprimée en mg/l (Chevalier, 2005), la DBO présente la quantité de composés organiques biodégradables par les micro-organismes (Olivier. M.J, 2007). En fait, la biodégradation est un processus qui se déroule souvent en présence d'oxygène. En effet, plus l'eau est polluée en matière organique, plus les micro-organismes demandent de l'oxygène. Généralement, on mesure cette demande dans les laboratoires pendant cinq jours, d'où l'appellation : DBO5 (Olivier.M.J, 2007).

I-3-2- La pollution chimique

La pollution chimique est reliée à la présence de composés toxiques comme des résidus de médicaments, pesticides, solvants, etc., ainsi qu'à la présence de métaux lourds. Cette fois, à la place des micro-organismes on a des oxydants forts qui nécessitent, eux aussi, la présence d'oxygène pour compléter leurs réactions avec les polluants. Donc, lorsqu'on calcule une DCO élevée, cela indique que l'eau comprend des polluants chimiques (DADI.E, 2010).

I-3-3- La pollution physique

La couleur, la température et l'odeur sont toutes des indicateurs de la pollution physique d'une eau. Les modifications de ces paramètres sont généralement liées à la présence de matières en suspension (MES) qui affectent la qualité de l'eau, notamment la turbidité de l'eau. En effet, une eau polluée très turbide est souvent trop chargée de matières en suspension.

➤ La pollution thermique

Ce type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires en particulier. Ces eaux chaudes provoquent la réduction de la teneur en oxygène dissous de l'eau et peut avoir des actions néfastes sur la faune.

➤ La pollution mécanique

Il s'agit de transporter par l'eau des particules en suspension, elle provient du lessivage des sols lors des pluies abondantes et des travaux de revêtement qui rendent le sol imperméable, provoquant une concentration des écoulements et des volumes entraînant avec eux des boues. Celles-ci colmatent les fonds des ruisseaux et des rivières et diminuent ainsi l'infiltration de l'eau vers la nappe.

I-3-4- La pollution microbiologique

Cette pollution est en lien avec la présence de microorganismes vivants présents dans l'eau polluée et pouvant affecter la santé humaine, tels que : les bactéries, les virus, les parasites, etc. Dans le domaine du traitement des eaux, les coliformes fécaux (CF) sont les micro-organismes les plus considérés dans la détection de la contamination pathogène.

I-4- Les caractéristiques des eaux usées

L'évaluation globale de la qualité d'une eau usée s'appuie sur le calcul des paramètres suivants :

I-4-1- les paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques correspondent à l'appréciation de la qualité de l'eau par les sens, essentiellement la vue, et l'odorat.

I-4-1-1- La couleur et l'odeur

La couleur est due à la présence de matières organiques colorées en suspension ou à des rejets industriels colorés. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson (DEGREMONT, 2005). L'odeur est due à la fermentation des matières organique.

I-4-1-2- La turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide, le caractère trouble d'une eau est dû à la présence de matières en suspension colloïdales de nature minérale ou organique qui ne peuvent pas sédimenter facilement à cause de leurs faibles tailles et masse volumiques. Elles sont également la propriété d'être chargées négativement, ce qui leurs confère un pouvoir de répulsion électrostatique qui empêche leur décantation naturelle. L'effet le plus important de la turbidité est sa capacité de protection des bactéries et des virus contre la désinfection (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

I-4-2- Les paramètres physico-chimique

I-4-2-1- La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision car, c'est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau : un changement de température affecte les diverses propriétés de l'eau (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010). Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, dans la détermination du PH et pour la connaissance de l'origine de l'eau. La température optimale est de 12°C à 15°C, elle dépend de la nature de la ressource : les eaux souterraines sont fraîches, les eaux de surface ont une température variable entre 2° à 30°C. La température maximum des eaux brutes est de 25°C.

I-4-2-2-Le potentiel d'hydrogène

Le PH d'une eau donne une indication sur son acidité ou son alcalinité. Il est déterminé à partir de la quantité d'ion d'hydrogène libre (H^+). L'eau considérée comme un solvant universel, et le PH permet de comparer les ions les plus solubles dans l'eau.

Le PH joue un rôle important dans :

- Les propriétés physico-chimiques (agressivité, entartrage...).
- L'efficacité de certains traitements exemple : coagulation et floculation (MESSAOUDENE et SOUIKI, 2007).

I-4-2-3- Les matières en suspension(MES)

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc se sont des petites particules retenues par un filtre, les matières en suspension qui comportent des matières organique (MVS) et minérales (MMS) constituent un paramètre important qui marque bien le degré de la pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Elles sont exprimées en mg/l et par la relation suivante : $MES = 30\% MMS + 70\% MVS$ (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

➤ Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension et sont obtenue soit par filtration, soit par centrifugation, séchées à $105^{\circ}C$, puis pesées, ce qui fournit la teneur en matières en suspension (MES). Elles ensuite chauffées à $525^{\circ}C$, les matières volatiles disparaissent et la perte de poids est attribuée aux matières volatiles en suspension (MVS) (ROBERT.TH, 1981).

➤ Les matières minérales (MMS)

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice (GAID.A, 1984).

I-4-2-4- La conductivité électrique (CE)

L'interprétation de la conductivité électrique d'une eau traduit la capacité de cette eau à conduire le courant électrique et cela en fonction de son degré de minéralisation, la conductivité électrique est d'autant plus grande que la concentration des ions dans la solution est plus élevée. Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

Tableau n°01 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

Conductivité en $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation
< 100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

I-4-2-5- La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène correspond à la quantité de la matière organique biodégradable présenté dans l'eau, plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce au phénomène d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de cinq jours, c'est la DBO₅ : demande biochimique en oxygène sur cinq jours.

I-4-2-6- La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder ces matières par voie chimique (MESSAOUDENE et SOUIKI, 2007).

I-4-2-7- La biodégradabilité

La biodégradabilité d'une pollution traduit sa propriété à être décomposée par les microorganismes. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K donné par la relation suivante : $K = DCO/DBO$.

Pour une eau usée urbaine, ce rapport est de l'ordre de 02 à 03. L'effluent est considéré alors comme biodégradable. Si ce rapport est supérieur à 03, l'effluent est peu ou pas biodégradable.

Un coefficient K élevé peut traduire la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tel que les détergents, les phénols, les hydrocarbures etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de filière de traitement à adopter :

- Si l'effluent est biodégradable, on applique un traitement biologique.
- Si l'effluent n'est pas biodégradable, se sera un traitement physico-chimique.

I-4-3-Autres éléments

I-4-3-1- L'azote

Il est mesuré sous différentes formes, les types d'analyses dépendent des formes chimiques recherchées, on peut les diviser en deux grandes familles :

➤ **L'azote réduit**

Correspond à l'azote organique que l'on trouve dans les eaux usées provenant notamment des déchets métaboliques d'origine humaine. Cette forme de l'azote est analysée suivant une méthode dite de kjeldhal. On parle de l'azote total kjeldhal (NTK) résultats exprimé en milligramme d'azote par litre. Dans (NTK), il ya une forte quantité de sels ammoniacaux (NH_4^+).

➤ **L'azote oxydé**

Se trouve d'une façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrites (NO_2^-) et des nitrates (NO_3^-), produits de la transformation chimique (oxydation) de l'azote réduit. Pour les nitrates, les résultats sont exprimés en mg de NO_2^- / l et pour les nitrates en mg NO_3^- / l .

I-4-3-2- Le phosphore

On trouve dans les eaux usées le phosphore minéral et organique :

➤ **Le phosphore organique**

Il est présent dans les cellules des organismes vivants.

➤ **Le phosphore minéral**

Il représente les sels minéraux : les ortho phosphates (PO_4^{3-}) et les poly phosphates, d'origine urbaine (composant des détergents) et agricole (lessivage d'engrais) (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010)

I-5- L'équivalent habitant

L'équivalent habitant se définit comme étant la pollution produite par habitant et par jour, on exprime en équivalent habitant non seulement le pouvoir polluant des usées domestiques mais aussi ceux des rejets industriels et agricoles. L'équivalent habitant correspond à une pollution de 54g DBO_5 / J pour une eau brute et 35g DBO_5 / J pour une eau décantée.

I-6-Normes de rejets

On entend par normes de rejets, les valeurs admissibles des paramètres de pollution qui réglementent le rejet des effluents dans le milieu naturel. Les normes (valeurs) qui varient d'un pays à un autre sont fonction de :

➤ L'état de l'environnement :

- Potentialités matérielles et humaines, techniques, scientifiques... .
- Flux de la pollution déversée.
- Nature de la pollution.

- Niveau de conscience écologique des autorités concernées par la mise en œuvre de la législation, promulgation des lois et de leurs applications (MESSAOUDENE et SOUIKI, 2007).

Les normes appliquées en Algérie sont celles de l'OMS, et selon l'OMS les normes de pollution moyennes des eaux résiduaires urbaines à l'entrée de la STEP sont :

- DCO \geq 800 mg/l
- DBO₅ de 200 à 400 mg/l
- MES $>$ 800 mg/l
- PH compris entre 6 et 8
- T $^{\circ}$ $>$ 30 $^{\circ}$ C
- Phosphore compris entre 10 et 25 mg/l
- DCO/DBO₅ \geq 2.5

Le tableau suivant montre les normes de rejets d'eau de l'OMS après l'épuration qui sont appliquées en Algérie.

Tableau n°02 : Normes de rejets de l'OMS, appliquées en Algérie (LADJEL, 2004).

Paramètres	Unités	Normes
T $^{\circ}$	$^{\circ}$ C	30
PH	/	6.5-8.5
O ₂	Mg/l	05
DBO ₅	Mg/l	30
DCO	Mg/l	90
MES	Mg/l	30
Zinc	Mg/l	02
Chrome	Mg/l	0.1
Azote total	Mg/l	50
Phosphate	Mg/l	02
Détergents	Mg/l	01
Hydrocarbures	Mg/l	10
Huiles et graisses	Mg/l	20

I-7-Systèmes d'assainissement

On distingue trois grands types de réseaux ou de systèmes d'assainissement :

I-7-1-Système unitaire

Il est composé d'un seul réseau d'égout qui recueille l'ensemble des eaux usées et pluviales. Généralement, il est équipé de déversoirs d'orage permettant en cas de pluies intenses le rejet par surverse d'une partie des eaux par un évacuateur vers le milieu naturel soit directement, soit après un traitement spécifique.

I-7-2- Système séparatif

Le système séparatif consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents. Un réseau est affecté à l'évacuation des eaux usées domestiques (eaux de vannes et eaux ménagères) et des effluents industriels, à condition qu'ils aient des caractéristiques analogues aux eaux usées domestique. Un autre réseau assure l'évacuation des eaux pluviales directement dans tous exutoires naturels existant.

I-7-3- Système pseudo-séparatif

Le système pseudo-séparatif, actuellement est peu préconisé, il consiste à diviser les apports des eaux pluviales en deux parties (SATIN et al, 1999).

I-8-Conséquence de rejet des eaux usées sur le milieu récepteur

Le rejet des eaux usées brutes perturbe l'équilibre du milieu récepteur, la qualité de pollution rejetée est devenu incompatible avec les capacités d'autoépuration des cours d'eau et provoque des conséquences néfastes :

- Dégradation du milieu naturel ;
- Pollution des mers, des lacs et des cours d'eau ;
- Risque de contamination des eaux souterraines (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

I-9- Les procédés de traitements des eaux usées

Actuellement, les possibilités offertes par les techniques disponibles sont très étalées et permettent l'élimination des différentes substances contenues dans les eaux usées. Le premier critère de choix du type de traitement à envisager est la connaissance de la nature

(composition) du polluant et ce afin de ne pas perturber le traitement biologique et le bon fonctionnement de la station. Les eaux usées urbaines (domestiques) comportent : les excréments humains, les déchets ménagers et les détergents. Tous ces polluants se trouvent sous forme :

- De matières en suspension flottantes, décantables ou colloïdales ;
- De matières en solutions qui peuvent être des sels minéraux classiques contenus dans l'eau de distribution ou des matières organique qui contribuent à la DBO et la DCO des effluents (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

Selon le degré d'élimination de pollution et les procédés mise en œuvre, plusieurs niveaux de traitement sont définis : les prétraitements, le traitement primaire, et les traitements secondaires. Dans certains cas des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

I-9-1- Les prétraitements

Le prétraitement a pour objectif d'intercepter les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures de traitement. Il comprend : le dégrillage, le dessablage, le dégraissage et le déshuilage (ZERROUKHI et BENNABI, 2006).

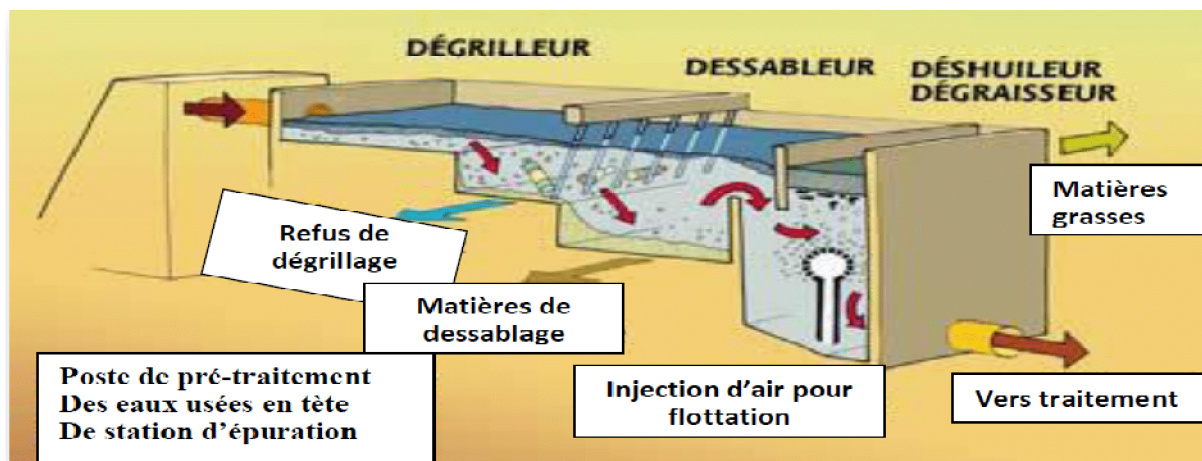


Figure n°01 : schéma d'un prétraitement d'une station d'épuration (HAOUA.A, 2007).

I-9-1-1- Le dégrillage

Arrivées à la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage (parfois tamisage), permettant de séparer et évacuer les matières volumineuses qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer l'exécution, et

amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation. La qualité de l'opération peut être définie de la façon suivante :

- Pré dégrillage : pour grille à barreaux espacés de 30 à 100mm.
- Dégrillage moyen : pour grille à barreaux espacés de 10 à 25 mm.
- Dégrillage fin : pour grille à barreaux espacés de 03 à 10 mm (ZERROUKHI et BENNABI, 2006).

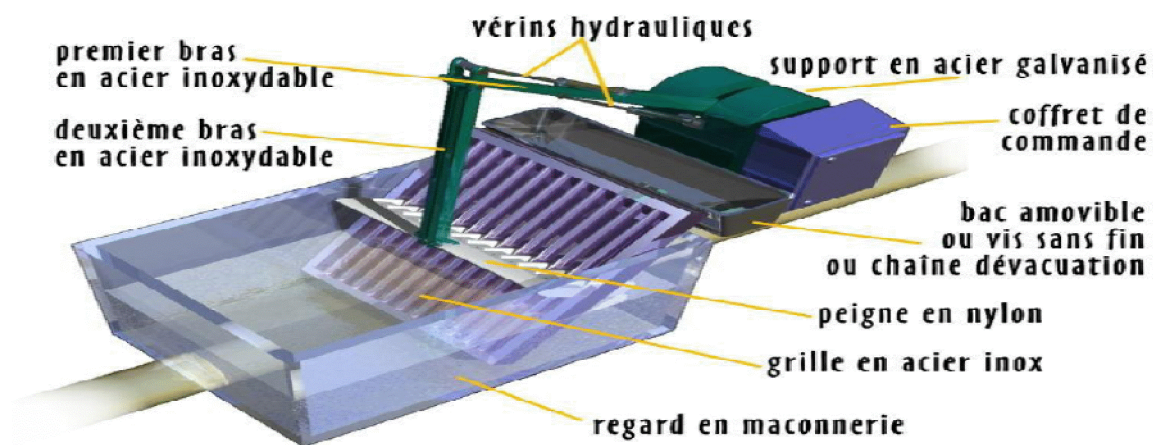


Figure n°02 : schéma d'un dégrilleur (HAOUA.A, 2007).

- Tamisage : pour tamis à orifices de 0.3 à 5 mm. Le tamisage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles.

I-9-1-2- Le dessablage

Le dessablage consiste à retirer de l'effluent les sables et les particules minérales plus ou moins fines, à fin de protéger les conduites et pompes contre la corrosion et éviter même le colmatage des canalisations par les dépôts à la cour de traitement. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite (0.3 m / s) dans un bassin appelé dessableur entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirer par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être envoyés en décharge (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

I-9-1-3- Le dégraissage-déshuilage

Cette opération consiste à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graisses par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, l'injection des micros bulle d'air permettent d'accélérer la flottation des corps gras.

Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage ou la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau 80 à 90 % des graisses (LADJEL, 2004).

I-9-2- Les traitements primaires

Le traitement primaire est un traitement physico-chimique, dont l'objectif est de retenir le maximum de matières en suspension présentes dans l'eau résiduaire. (BOUHANNA.A, 2014).

La décantation est la méthode la plus fréquente de séparation de MES et des colloïdes, un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. Son objectif est d'éliminer les particules dans la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité (OUALI, 2001).

Dans les décanteurs, les eaux résiduaires circulent à une vitesse réduite à un point tel que les matières décantables peuvent se rassembler au fond sous forme de boues appelée boues primaires. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension et réduit d'environ 35 % de la DBO₅ et de la DCO.

Il existe de nombreux types de décanteurs qui se distinguent, d'une part d'après le sens d'écoulement des eaux, et d'autre part d'après les dispositions adoptées pour l'évacuation des boues (LEONARD, 2002).

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 et diminue plus de 40% la DBO et DCO.

La décantation est encore performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable. La coagulation – floculation permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en

suspension. Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif, qui provoque l'agglomération des particules en suspension, puis une accélération de leur chute au fond de l'ouvrage. Les amas solides ainsi obtenus sont appelés «flocs» (ZERROUKHI et BENNABI, 2006).

Contrairement à la décantation, la flottation consiste à former des amas de particules qui ont une densité inférieure à celle de l'eau et qui vont donc se retrouver en surface. La flottation peut être naturelle, pour les graisses par exemple, ou d'ajouter de l'air (sous forme de microbulles) qui va se fixer sur des particules (F.N.S.A., 2009 ; CARDOT, 2010).

I-9-3-Les traitements secondaire

Le traitement secondaire a pour objectif principal l'élimination des composés solubles d'origine organique. Le principe de ce traitement est de mettre en contact la matière organique contenue dans les eaux usées avec une population bactérienne. Celle-ci assimile alors la matière organique pour son propre développement. Ces dispositifs permettent d'intensifier et de localiser sur des surfaces réduites les phénomènes de transformation et de dégradation des matières organiques tels qu'ils se produisent en milieu naturel (ATTAB.S, 2011).

Les procédés de traitement secondaires sont fondés sur la digestion microbienne à la fois en présence ou en absence d'oxygène pour réduire la concentration en matières organique (MADIGAN.M et MARTINKO.J, 2007). Plusieurs techniques peuvent être distinguées, le choix de l'une ou l'autre est fonction de l'emplacement disponible pour le procédé de traitement, de la charge de l'effluent et de la quantité de pollution à traiter.

Du fait que les micro-organismes, les plus actifs, sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, les procédés biologiques de traitements, peuvent être classés en procédés aérobies et anaérobies (VILAGINES.R, 2003).

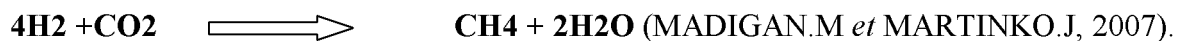
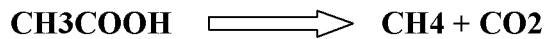
I-9-3-1-Traitement secondaire anaérobies

Le traitement secondaire anaérobie est un processus microbiologique de conversion de la matière organique, faisant intervenir essentiellement des populations bactériennes (*Bacteria* et d'*Archaea*), ainsi que des protozoaires et quelques champignons anaérobies (EFFEBI.K.R, 2009).

Le traitement anoxique est typiquement employé pour traiter des eaux usées contenant de grandes quantités de matières organiques insolubles, telles que les fibres, la cellulose résultant des industries laitière et agroalimentaire. Le processus de dégradation anoxique proprement dit se déroule dans de grands réservoirs clos appelés digesteurs ou bioréacteurs (MADIGAN.M et MARTINKO.J, 2007).

Le principe de la digestion anaérobie est décrit comme la conversion de la matière organique en biomasse et en biogaz, composé essentiellement de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂) (EFFEBI.K.R, 2009).

Grâce à l'action des microorganismes anaérobies présents, les composés macromoléculaires des eaux usées sont d'abord digérés par des polysaccharases, des protéases et des lipases pour donner des composés solubles. Ces derniers sont alors fermentés pour fournir un mélange d'acides gras volatils, qui sont ensuite fermentés en acétate, CO₂ et H₂, ces produits sont alors utilisés comme substrats par les *Archaea* méthanogènes, capables de réaliser les réactions suivantes :



Ce type de fermentation est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de PH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols (VILAGINES.R, 2003).

D'emblée on peut rappeler que les systèmes de traitement anaérobie sont réputés plus économiques que les systèmes aérobies du fait de l'économie d'énergie, de la faible production de boue, et la possibilité de réutiliser le biogaz produit, qui est converti parfois en énergie électrique ou mécanique (EFFEBI.K.R, 2009).

I-9-3-2- Traitement secondaire aérobie

L'action des micro-organismes aérobies provoque la biodégradation de la matière organique. Les traitements anaérobies sont généralement réservés à la réduction de la teneur en matière fermentescible des boues.

L'épuration biologique aérobie demeure le mode de traitement le plus utilisé actuellement, les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. Les principaux procédés biologiques utilisés sont les procédés intensifs et les procédés extensifs (MANSOUR.F, 2008).

A- Procédés secondaires extensifs

Les techniques dites extensives sont des procédés qui permettent l'épuration à l'aide des cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide des cultures libres. L'oxygène est apporté soit par les échanges avec l'atmosphère au niveau de plan d'eau, soit par l'activité des micro-algues de surface, excepté pour le lagunage aérée pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs où le matériel d'insufflation d'air.

Les surfaces utilisées sont plus importantes et le fonctionnement de ce type d'installation est généralement possible sans électricité. On distingue pour les cultures fixées : l'infiltration-percolation, les filtres plantés et pour les cultures libres, les lagunes (MENECEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

❖ Procédés à cultures fixées

➤ Infiltration-percolation

L'infiltration-percolation est une technique d'épuration des eaux usées prétraitées (traitement primaire) qui consiste à faire passer l'effluent à traiter à travers un sol hautement perméable (10 à 30 cm/jour). Elle est en général réalisée au moyen de bassins d'infiltration remplis de sable, inondés à raison de quelques centaines de litres par m² et par jour, pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines (NATHALIE.R. 1993).

Le prétraitement à pour fonction de retenir les graisses et d'assurer la décantation des matières en suspension contenues dans l'effluent. La filtration sur sable permet

principalement d'oxyder la matière organique, de nitrifier l'azote ammoniacal (formation des nitrates) mais aussi de réduire les germes pathogènes.

L'infiltration des effluents dans des massifs sableux suffisamment épais assure une bonne élimination de la pollution microbienne.

▪ **Mécanismes d'épuration par infiltration-percolation**

Au niveau d'un filtre à sable, utilisé dans le procédé d'infiltration percolation, plusieurs réactions peuvent avoir lieu, parmi ces réactions :

- **la filtration**

Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent au niveau des premiers centimètres du support filtrant. Elle permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et de l'odeur.

- **Échange d'ions**

C'est un processus réversible d'échange de cations et d'anions entre phase solide et phase liquide ou entre les phases solides présentant un contact étroit. Il s'agit d'un procédé par lequel, une substance insoluble attire un ion positif ou un ion négatif d'une solution et rejette un autre ion de même signe.

- **Adsorption**

C'est la fixation ou la rétention d'ions libres, d'atomes ou de molécules à une surface donnée. L'adsorption est la conséquence des interactions physico-chimiques qui se produisent à la surface de l'adsorbant. Elle permet la fixation des substances responsables de : la couleur, le goût, l'odeur... etc., ainsi que plusieurs substances toxiques non biodégradables à la surface du support d'une manière physique et chimique.

- **Oxydo-réduction**

Généralement en cas de l'azote, en aérobie c'est le phénomène d'oxydation qui domine (cas de nitrification), en anaérobie on assiste à la réduction (cas de la dénitrification).

- **Biodégradation**

L'oxygène et les nutriments véhiculés par l'eau usée à traiter favorisent la croissance et la multiplication des micro-organismes. Ces derniers ont un rôle très important dans la dégradation des composés organiques retenus par le support filtrant. Les micro-organismes responsables de l'épuration sont fixés autour du support filtrant en formant un biofilm. Une station d'épuration par infiltration-percolation comprend, un prétraitement, une décantation, un stockage et une alimentation séquentielle des filtres et des unités d'infiltration (DISJARDINS.R, 1990).

- **Filtres plantés**

Les filtres plantés de roseaux se classent parmi les filières de traitement biologique à cultures fixées sur supports fins (sable, gravier), rapportés et alimentés à l'air libre.

Le principe consiste à faire passer les eaux usées à travers un massif granulaire planté de végétaux (des macrophytes généralement). Les racines des végétaux permettent une bonne circulation des fluides et ils supportent comme le massif granulaire, les micro-organismes épurateurs. (MENECEUR.R et SAIDJ.KH, 2013). Deux stratégies sont appliquées : les flux verticaux et les flux horizontaux.

- **Filtres plantés à écoulement vertical**

L'effluent est apporté par bâchées qui couvrent toute la surface et descendent dans le massif filtrant. En passant, il entraîne un renouvellement de l'air dans le massif qui permettra les réactions de nitrification. Les cycles d'alimentation permettent l'élimination de la pollution organique et les cycles de repos permettent la minéralisation de la biomasse formée précédemment.

- **Les filtres plantés à écoulement horizontal**

Dans les flux horizontaux, on met œuvre une circulation horizontale de l'effluent prétraité qui reste au dessous du niveau de lit granulaire. La plupart du temps l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible. Pendant son passage à travers le massif l'eau est traitée. L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterrée dans une tranchée de pierres drainante (MENCEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

- ❖ **Procédés à cultures libres**

- **Le lagunage**

Est un procédé d'épuration des eaux usées qui permet une séparation des éléments solides de la phase liquide par sédimentation, et une épuration biologique due essentiellement à l'action des bactéries. Les bassins de lagunage sont destinés à recevoir de l'eau, la traiter pendant un certain temps pour la restituer ensuite au milieu récepteur. C'est le plus répandu et le plus classique surtout dans les pays à climat chaud et où le terrain est disponible à coût raisonnable (AMIR.S, 2005).

Ce système d'épuration présente de nombreux avantages en comparaison avec d'autres procédés. Il ne consomme pas d'énergie et ne demande pas de produits chimiques, ne nécessite que peu d'entretien, il est simple, écologique, rustique, fiable, et peu onéreux du avec des résultats hautement satisfaisants en matières de décontamination. Ses nombreux avantages pourraient presque faire oublier les quelques contraintes de cette technique dont la principale est la superficie nécessaire pour leur installation.

Le lagunage a différents types dont les principaux sont le lagunage naturel, à microphytes, à macrophytes et aéré.

- a- Lagunage naturel**

Le phénomène mis en place est simple, le traitement par lagunage naturel est constitué d'une série de bassins artificiels, généralement trois bassins. Le temps de séjour est généralement 03 semaines.

b- Lagunage à microphytes

Le principe consiste à faire passer les eaux usées à travers des lagunes non plantées, qui sont réservées au développement du plancton. Le métabolisme algal s'accompagne d'une forte production d'oxygène qui est utilisé par les bactéries aérobies pour la minéralisation des composés organiques. Les algues utilisent le gaz carbonique libérés pour la photosynthèse.

c- Lagunage à macrophytes

Il est constitué de plantes telles que les roseaux et les massettes. Les bassins sont généralement de plus faible surface et moins profond 0,6 à 0,8m ou la charge polluante est plus faible. L'effet épuratoire est dû principalement à la faculté de ces plantes d'extraire les éléments nutritifs de la colonne d'eau.

d- Lagunage aéré

Composé de plusieurs bassins, dont les premiers sont équipés d'un dispositif d'aération artificiel. L'oxygénation est dans le cas du lagunage aéré apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. L'adaptabilité de cette filière aux conditions climatiques doit être étudiée plus en détail. Le temps de séjour dans les bassins varie en fonction des conditions climatiques et donc indirectement affecte les rendements attendus.

Généralement, le système est constitué de deux étages : étage d'aération où les eaux à traiter par aération mécaniques sont dépollués en présence des micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments qui constituer la pollution des eaux usées et l'étage de décantation où les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Cette technique est adaptée à des variations importantes de la charge hydraulique et/ou organique. Les inconvénients de ce système résident dans la qualité moyenne des rejets sur tous les paramètres, la présence des matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé et la forte consommation énergétique (BOUHANNA.A, 2014).

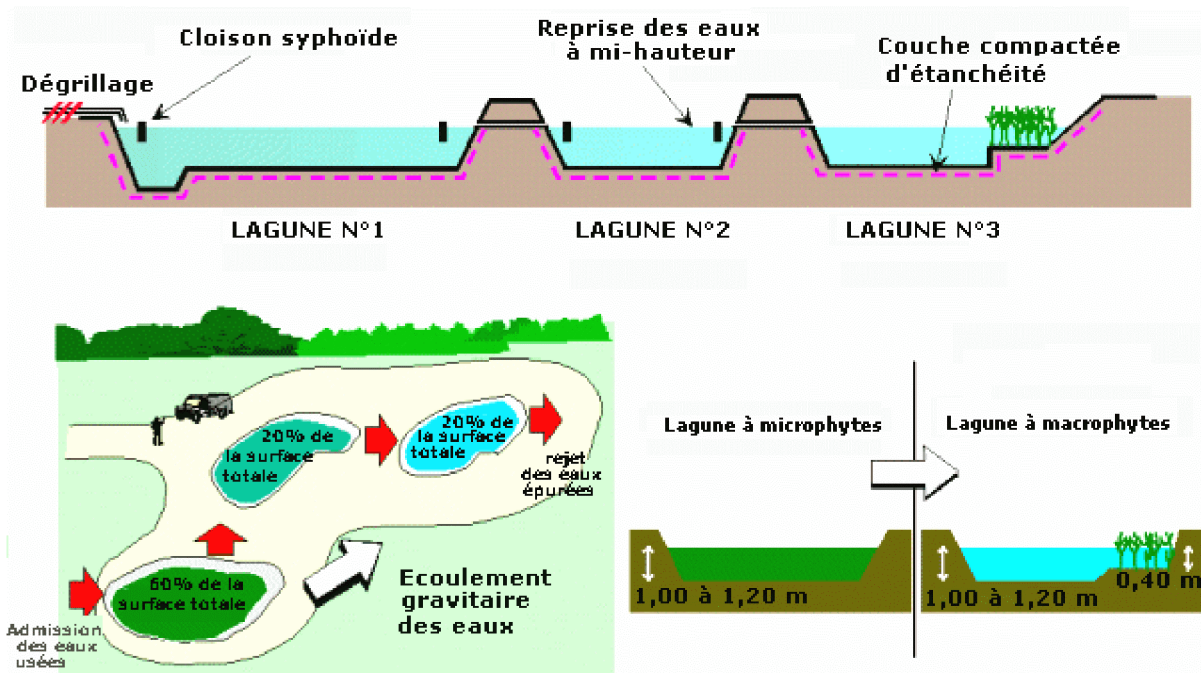


Figure n°03: lagunage naturel (ALLAOUI.K, 2009).

B- Procédés intensif

Ils regroupent toute une série de techniques ayant en commun le recours à des cultures bactériennes. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. Il existe deux grandes catégories de procédés biologiques artificiels :

❖ Procédés à culture fixées

Ils reproduisent l'effet épurateur du sol et font appel à deux techniques répandues : lits bactériens et disques biologiques, où la culture bactérienne (appelée aussi biofilm, film biologique ou biomasse) repose sur un support (caillou, plastique, milieu granulaire fin...) (MENSEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

➤ **Lits bactériens**

Le principe des lits bactériens consiste à faire ruisseler l'eau à traiter préalablement décantée sur une masse de matériaux poreux (filtrant) qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par titrage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs.

Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produit par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Ce système d'épuration présente certains avantages et inconvénients :

Avantages

- Faible consommation d'énergie ;
- Fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- Faible sensibilité aux variations de charges.

Inconvénients

- Coûts d'investissement assez élevés ;
- Sensibilité au colmatage et au froid ;
- Nécessité un prétraitement efficace ;
- Boues fermentescibles (MENCEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

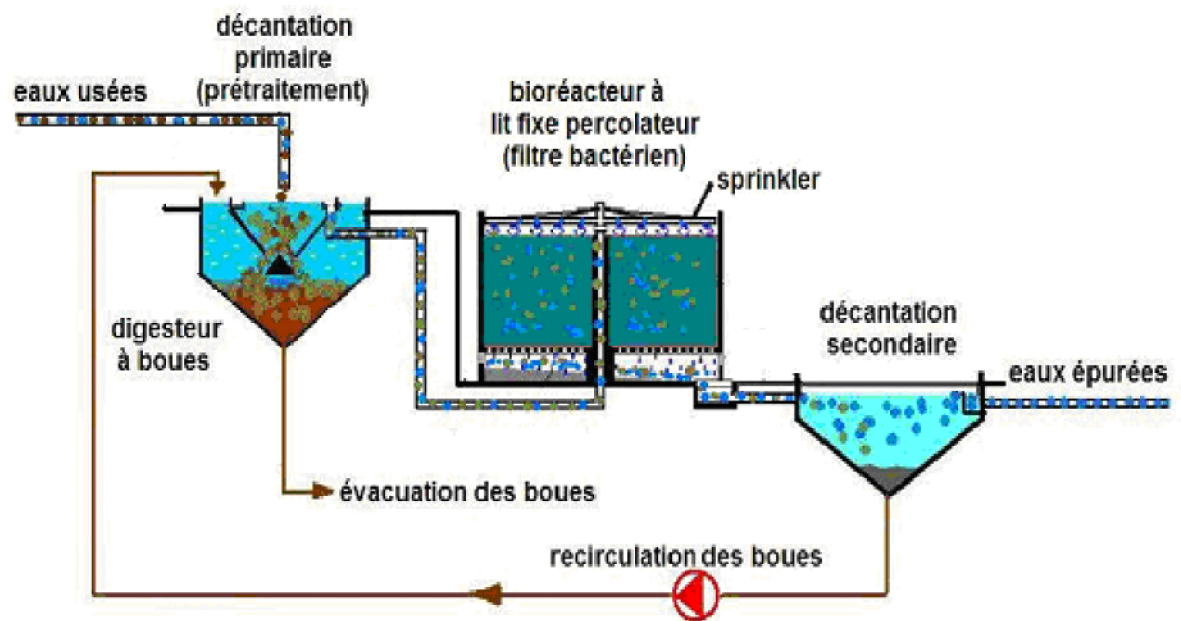


Figure n°04 : lit bactérien (BONGIOVANNI.J.M, 1998).

➤ Disques biologiques

C'est une technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants, où se développent les micro-organismes et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. La colonisation des biodisques par les micro-organismes a lieu quelques jours, et l'épaisseur du biofilm varie entre 1.5 et 3 mm. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant le rejet dans le milieu naturel (MENECEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

Avantages

- bonne décantation des boues ;
- faible consommation d'énergie ;
- fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- plus faible sensibilité aux variations de charge que la technique des boues activées.

Inconvénients

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées ;
- coûts d'investissement importants ;
- grande sensibilité aux variations de température ce qui crée une obligation de couverture (ALLAOUI.K, 2009).

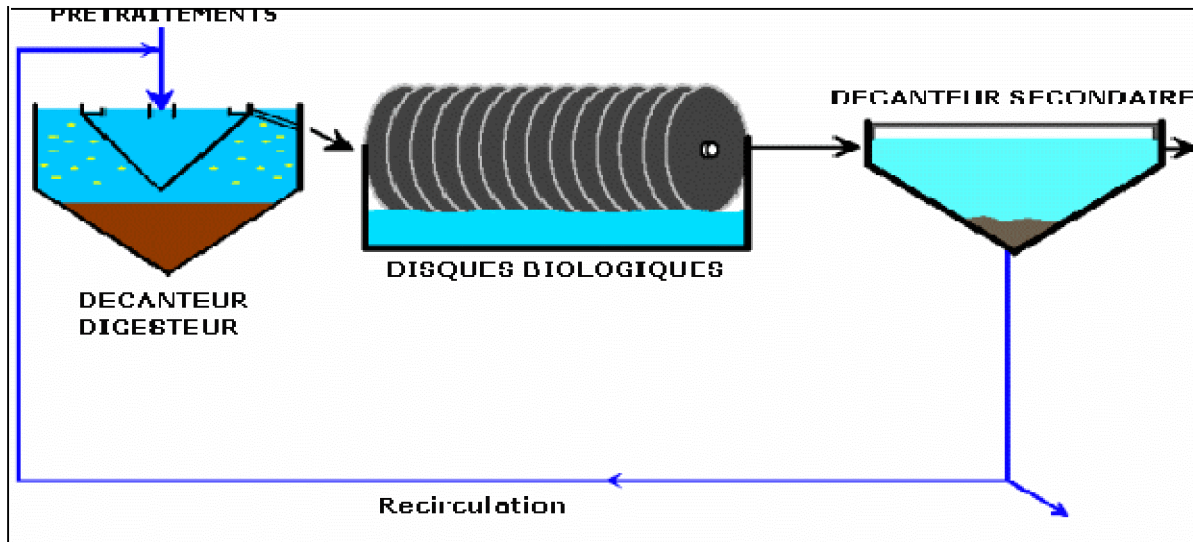


Figure n°05: disque biologique (ALLAOUI.K, 2009).

❖ Procédé à culture libre

Dans ce procédé la culture bactérienne est maintenue en suspension dans le courant des eaux usées à traiter, il s'agit du procédé de boues activées. C'est le traitement le plus simple et le plus fréquemment utilisé (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

➤ Boues activées

Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des

boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène. Un traitement par boues activées élimine 90 % des bactéries entériques, 80 à 99 % des entérovirus et des rotavirus.

L'élimination a lieu grâce à la sédimentation des MES, la compétition avec les micro-organismes non pathogènes et la température ; la part la plus importante est due à la sédimentation (BELAHMADI.M et SEDDIK.O, 2011).

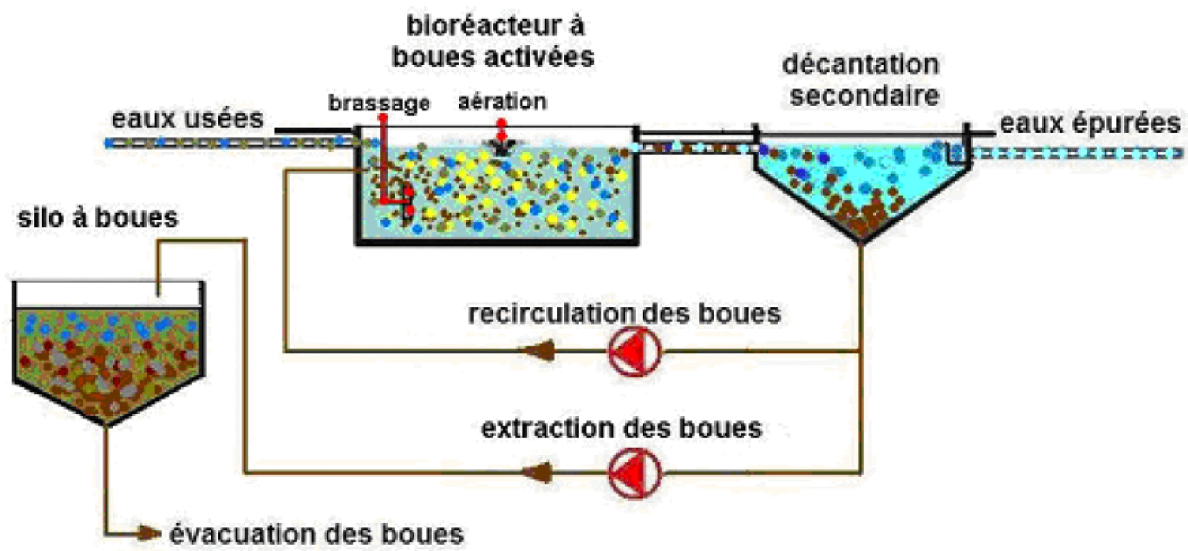


Figure n°06 : schéma d'un traitement biologique aérobie à boue activée (BONGIOVANNI.J-M, 1998).

I-9-4-La clarification

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée vers un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau des boues.

Ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération (boues de recirculation ou boues en retour) pour maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent est extrait du système et évacué vers la stabilisation (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

I-9-5- Le traitement tertiaire

Les traitements complémentaires appelés aussi tertiaires, avancés, ou de finissage, sont des procédés qui permettent d'améliorer les caractéristiques d'une eau résiduaire après un traitement biologique ou un traitement physico-chimique. On leur fait appel lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire de milieu récepteur ou en raison d'une réutilisation immédiate.

Ces procédés ont notamment pour but :

- ❖ L'élimination de l'azote et du phosphore.
- ❖ La désinfection (DAHOU.A et BREK.A, 2013).

I-9-5-1-L'élimination de l'azote

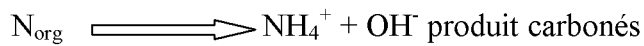
L'azote existe essentiellement sous la forme organique et sous la forme ammoniacale dans les eaux résiduaires urbaines. Il est issu de la dégradation de la matière organique que sont les protéines, l'urée, ... mais peut aussi être générée par des activités spécifiques dont les activités industrielles et agricoles (KOND DIALLO.M, 2011).

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des procédés complémentaires permettent l'élimination de l'azote (ATTAB.S, 2011).

L'élimination de l'azote est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologique. Le principe de l'élimination de l'azote se fait en trois étapes indispensables, suivant le cycle biologique de l'azote :

➤ Ammonification

L'ammonification est la première étape de transformation de l'azote organique en azote ammoniacal réalisée par des bactéries hétérotrophes, suivant la réaction :



➤ Assimilation

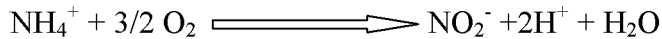
L'assimilation de l'azote consacre l'utilisation d'une partie de l'azote organique dans la synthèse de nouvelles cellules bactériennes.

➤ Nitrification – dénitrification

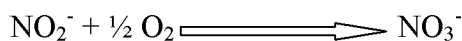
• Nitrification

La nitrification est l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en nitrate en deux étapes à savoir la nitritation et la nitratisation.

⇒ La nitritation est un processus lent qui met en œuvre des bactéries autotrophes aérobies strictes, c.-à-d. des bactéries qui utilisent le carbone minéral pour synthétiser de la matière, il s'agit de nitrobactéries du genre nitrosomonas.



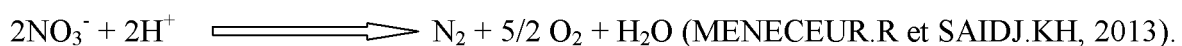
⇒ La nitratisation est assurée par des bactéries des nitrobacter, nitrospira, nitrococcus dont certaines sont hétérotrophes.



Le bilan nous donne : $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ (KONE DIALLO.M, 2011).

• Dénitrification

Les produits oxydés (nitrite et nitrate) issus de traitement aérobie de l'azote subissent une réduction anaérobie par des bactéries spécifiques dont la formation est toujours réprimée par absence de l'oxygène. Cette réduction aboutie à la formation de l'azote gazeux qui se dégage dans l'atmosphère, selon la réaction suivante :



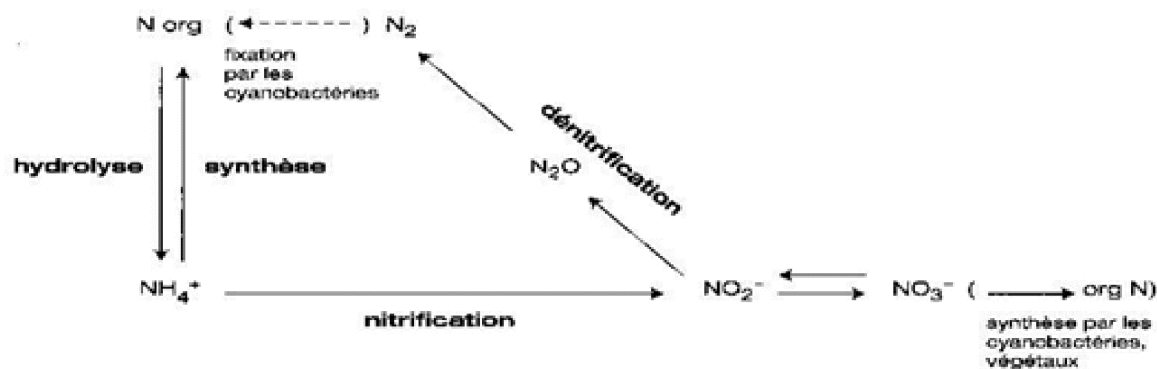


Figure n°07: Différentes étapes de la transformation de l'azote (DADI.E, 2010).

I-9-5-2- L'élimination de phosphore

Le phosphore contenu dans les eaux usées domestique constitue un élément nutritif susceptible d'entraîner une croissance excessive d'organismes végétaux (algues, plantes aquatiques) et causer l'eutrophisation du milieu récepteur. Pour être enlevé des eaux usées, le phosphore doit être fixé à des solides qui pourront être séparés de l'effluent au moyen d'un processus physique.

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues. La voie biologique est basée sur un traitement par culture en suspension ou par boues actives et par l'utilisation des plantes aquatiques flottantes (utilisation de la jacinthe d'eau et la lenticule, ces deux plantes ont été utilisées au Etats-Unis et au Québec, les résultats trouvés sont encourageants) (ATTAB.S, 2011).

I-9-5-3- La désinfection

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. Des procédés d'élimination supplémentaire sont donc employés lorsque les eaux traitées sont rejetées en zone de baignade, de pisciculture ou

d'élevage de coquillage. L'éventail des techniques de désinfection est assez large. Un réactif désinfectant peut être ajouté aux eaux traitées, avant leur rejet dans le milieu naturel (MENECEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

➤ **Le chlore**

Est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes.

Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément "eau de Javel", l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), le chlore de chaux ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{OCl}_2$) et le chlorite de sodium (NaClO_2) (OUALI, 2001).

➤ **L'ozone (O_3)**

Est un oxydant puissant, la désinfection par l' O_3 est utilisée aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen Orient essentiellement. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus. Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité (ATTAB.S, 2011).

➤ **Les rayons ultraviolets**

Qui consistent à utiliser des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées (ATTAB.S, 2011).

➤ **La filtration**

Est un procédé physique qui permet de retenir les microorganismes par rétention à l'aide d'un filtre. Qu'elle soit réalisée sur sable ou sur membrane, cette technique exige une

épuration secondaire préalable garantissant une élimination assez poussée des matières en suspension.

L'élimination des virus, des bactéries et des protozoaires est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée (FABY.A et BRISSAUD.F, 1997).

➤ **Lagunes de finition**

Le lagunage naturel "tertiaire" assure l'exposition des microorganismes pathogènes au rayonnement solaire. Ce rayonnement provoque une destruction des germes d'autant plus efficace que le temps de séjour des eaux traitées dans la lagune est élevé. Cependant, l'efficacité de ce traitement s'amointrit lorsque l'exposition aux rayons du soleil se réduit (ATTAB.S, 2011).

I-9-6- Traitement des boues

Les boues de stations d'épuration sont des produits résiduaux qui résultent du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration. Au cours des traitements primaires et secondaires des boues sont produites. Elles sont classées en trois catégories :

➤ **Les boues primaires**

Sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation, de nature fortement organique.

➤ **Les boues secondaires**

Proviennent des traitements biologiques des eaux usées.

➤ **Les boues mixtes**

Correspondent au mélange des boues primaires et secondaires. Les constituants des boues les plus importants sont :

- La matière organique
- Les nutriments

- Les pathogènes
- Les métaux
- Les composés organiques traces.

Les étapes de traitement des boues sont les suivantes :

❖ **Epaississement**

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

❖ **Stabilisation**

A pour objectif de réduire le pouvoir fermentescible des boues et leur nuisance olfactive. Elle est effectuée soit par digestion anaérobie, soit par digestion aérobie thermophile, soit par stabilisation chimique (utilisation de la chaux), soit par compostage.

❖ **Conditionnement**

C'est une étape qui conduit à l'élimination d'environ 40 à 50 % de la phase liquide, elle est réalisée par centrifugation, par filtration ou par séchage (ARODI.B, 2005).

❖ **Elimination finale**

Les boues issues de traitement des eaux usées posent actuellement de réels problèmes environnementaux et économiques pour les collectivités locales, plusieurs filières d'élimination sont actuellement proposées aux producteurs de boues urbaines.

1- La mise en décharge

Après une étude géologique, les boues sont mises dans un terrain de grande surface, les inconvénients de ce procédé est l'absence de réduction du volume des déchets et le danger de mettre en décharge certains produits toxiques.

2- L'incinération

Ce traitement fait appel à des réactions de combustion qui mettent en œuvre des phénomènes d'oxydation.

3- L'épandage agricole

Ce procédé consiste à épandre des boues préalablement stabilisées sur des terres agricoles pour tirer parti de leur pouvoir fertilisant. L'épandage est encadré par une réglementation stricte, qui fixe les modalités techniques et administratives, ainsi que la traçabilité.

La présentation des principales techniques d'élimination des boues ne saurait aujourd'hui être complète sans aborder les notions des risques sanitaires et impacts environnementaux (DUVAND et al, 1999).

Conclusion

Les conséquences de la pollution des eaux sont multiples, que se soit sur l'homme directement ou sur le milieu où il vit. L'intérêt porté à l'assainissement et la réalisation d'ouvrage d'épuration vise la dépollution des eaux usées et la protection de milieu naturel.

Différents procédés sont mis en œuvre, mais l'épuration biologique reste la prédominante. Le procédé par boues activées est généralisé car c'est le plus économique que se soit mise en œuvre ou en exploitation.



CHAPITRE II

Le déversement sauvage des eaux usées dans le milieu naturel est à l'origine de graves problèmes de pollution biologique des nappes souterraines et des eaux de surface. Pour limiter les risques de pollution, l'organisation mondiale d'alimentation préconise de plus en plus à travers le monde, de réutiliser les eaux usées après un traitement partiel ou total.

La réutilisation des eaux usées traitées est une forme de valorisation d'un potentiel en eau très important. Cette valorisation permet d'alléger le recours aux eaux conventionnelles et essentiellement les eaux souterraines très vulnérables.

Les applications de la réutilisation des eaux usées traitées sont nombreuses, qu'il s'agisse d'irrigation agricole, utilisations urbaines (nettoyage, espaces verts), industrielles (refroidissement, protection contre les incendies), d'usages récréatifs, d'entretien d'habitats naturels et de zones humides, ou de recharge de nappe (BOUHANNA.A, 2014).

II-1- Définition de la réutilisation des eaux usées

Selon Valiron et al, la réutilisation est définie comme une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler le déficit hydrique.

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est particulièrement intéressante dans les pays qui ont des ressources hydriques faibles avec présence de saison sèche et où la compétition avec l'eau potable est très marquée.

La réutilisation peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

- La réutilisation directe correspond à l'emploi immédiat des eaux déjà utilisées, après épuration, sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel ;
- La réutilisation indirecte correspond à l'emploi, sous forme diluée, des eaux déjà utilisées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

II-2- Objectif de la réutilisation des eaux usées

La récupération et la réutilisation de l'eau usée s'est avérée être une option réaliste pour couvrir le déficit en eau et les besoins croissants dans les différents pays, mais aussi pour

se conformer aux règlements relatifs au rejet des eaux usées, en vue de la protection de l'environnement et de la santé publique (MENECEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

II-3- Modes de la réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisations. On peut distinguer deux catégories de valorisation :

➤ La valorisation directe – le cycle court

Dans cette nomenclature, l'eau usée traitée passe directement du statut d'eau usée au statut de nouvelle ressource après avoir transité par des mécanismes d'épuration.

a- Usage agricole

Le secteur agricole constitue actuellement le plus grand débouché pour la valorisation des eaux usées, c'est également la solution qui à le plus d'avenir à court et moyenne terme. Cette usage consiste à :

- Irrigation de grandes cultures céréalières et fourragères ;
- Certaines productions maraichères ;
- La production du bois et irrigation de certaines zones vierges pour le reboisement ;
- La production florale ornementale.

b- Usage industrielle

L'eau résiduaire après traitement peut être une source d'eau tout à adaptée aux besoins industriels en particulier pour :

- L'apport en eau pour les circuits de refroidissement ;
- Le lavage des sols, de certaines pièces mécaniques ;
- Autres applications possibles concernent (les stations de lavage de voiture, l'industrie de papier ...).

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels.

c- Usage urbain et périurbain

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine et périurbain sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiple exemple à travers le monde. Ces projets concernent :

- L'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf et d'aire de jeux ;
- Les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance ;
- Les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles ;
- Le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.

➤ **La valorisation indirectes-le cycle long**

Ces modes de valorisation peuvent être plus délicats car ils supposent qu'on puisse suivre efficacement le devenir des eaux injectées dans le milieu naturel.

a- Recharge des nappes

Le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les eaux traitées dans le sous sol. On poursuit de la sorte plusieurs objectifs :

- La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable ;
- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée ;
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée ;
- La protection de l'environnement en évitant de rejeter les effluents dans un cours d'eau ou en mer.

b- Le soutien d'étiage

Le soutien d'étiage peut avoir pour objectif le maintien en vie faunistique d'un tronçon de cours d'eau. Il peut aussi viser à fournir à un cours d'eau (souvent de type oued) un débit dont la destination est d'être partiellement récupéré à l'aval pour différents usages dont principalement l'irrigation (MENECEUR.R et SAIDJ.KH, 2013).

II-4- Qualité de l'eau d'irrigation

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

Pour cela, les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception des projets de la réutilisation agricoles des effluents.

II-4-1- La qualité physique**a- La température**

La température optimale de l'eau se situe aux environs de 25 °C pour la majorité des plantes, durant la saison active de la végétation.

b- La charge solide

C'est la quantité d'impuretés contenues dans l'eau. Une eau trop chargée en matières minérales solides (argile, limon... etc.) est néfaste pour les installations ;

- Risques de colmatage des arroseurs.
- Usure des mécanismes des pompes, des turbines des enrouleurs...etc.

II-4-2-Qualité chimique

La qualité chimique de l'eau est en fonction des sels que l'eau contient en solution et donc de leur nature et de leur quantité totale. Pour l'eau d'irrigation, on tiendra compte des caractéristiques suivantes : le colmatage chimique, la salinité, l'alcalinité et la toxicité.

a- Colmatage chimique

Les réseaux d'irrigation sont sensibles au colmatage et au bouchage. Néanmoins, en irrigation par aspersion les colmatages d'ordre chimique sont rares et aisément maîtrisables. En agriculture une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques qu'elle favorise (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

b- La salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. La concentration en sels totaux de l'eau usée excède celle de l'eau potable d'environ 200 mg / l.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, cela augmente la pression osmotique de l'eau du sol, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires. Il est possible, dans certaines cas, d'utiliser une eau salée pour l'irrigation, mais il dépendra de plusieurs facteurs :

- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation ;
- Les conditions climatiques. La qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols ;
- Les procédures de gestion des sols de l'eau.

La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient ou pas pour l'irrigation. FABY, 1997 a établie une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique. Voir tableau suivant :

Tableau n°03 : classe de qualité de salure de l'eau d'irrigation (FABY, 1997).

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (µs/cm)	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg / l)
I. Excellente	< 250	< 160
II. Faible salinité	250 – 750	160 – 500
III. Forte salinité	750 – 2250	500 – 1500
IV. Très forte salinité	2250 – 5000	1500 – 3600

c- L'alcalinité

L'alcalinité de l'eau exprime le danger d'alcalinité d'un sol, en fonction de la nature et de la quantité des cations contenus dans l'eau et dont le résultat est de conférer au sol de mauvaises propriétés physiques, en plus de la toxicité due à l'excès des ions de sodium qui est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation.

Le danger d'alcalinisation est évalué à partir du rapport entre les concentrations de sodium, de calcium et de magnésium, rapport obtenu à partir de l'équation de GAPON.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Les recherches à partir du SAR ont abouti à la classification des eaux d'irrigation en 04 classes d'alcalinité :

S₁ : 0 < SAR < 10 : eau faible en sodium, elle peut être utilisée sur presque tous les sols.

S₂ : 10 < SAR < 18 : eau moyenne en sodium, eau utilisable sur des sols à texture grossière avec une bonne perméabilité.

S₃ : $18 < SAR < 26$: eau riche en sodium : leur emploi requiert un aménagement spécial : bon drainage, fort lessivage, apport de matière organique pour augmenter les qualités physiques du sol.

S₄ : $SAR > 26$: eau très riche en sodium : généralement déconseillé pour l'irrigation.

d- La toxicité

Parmi les qualités d'une eau d'irrigation, le problème de la toxicité est différent de ceux de la salinité et de l'alcalinité. La toxicité apparaît à travers une culture comme le résultat de l'acheminement de l'accumulation de certains éléments dans les tissus végétaux.

La toxicité peut être ou ne pas être associée à la salinité ou à des problèmes de perméabilité du sol. Les éléments toxiques concernent principalement le bore, les chlorures, le sodium et le lithium.

e- PH de l'eau d'irrigation

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à Ph 6.0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7.0 et 100 fois plus grande que celle à pH8.0.

Plus la concentration en ion hydrogène est élevés, plus le pH est bas et acide. Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5.5 et 6.5. A ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

II-5- Choix du système d'irrigation

La protection des ressources en eau consiste à appliquer des techniques d'irrigation efficaces, évitant tout apport excessif d'azote, en maximisant leur utilisation et donc en limitant les possibilités de fuite. Etant une pratique particulière, l'irrigation avec les eaux usées traitées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux de nappe, 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.). Ainsi, le choix de la méthode d'irrigation adéquate et adaptée permet de

réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation. Deux éléments importants et interactifs méritent d'être pris en considération pour minimiser les risques de toute contamination du sol, de la nappe et des eaux de surface ; le degré d'épuration et l'efficacité d'application de l'eau au niveau de la parcelle. Pour cela, le bon choix de la méthode d'irrigation et la bonne stratégie de pilotage des apports d'eau s'imposent pour une réutilisation rationnelle. Voir tableau n°04.

Tableau n°04 : les inter-relations entre le système d'irrigation et l'efficacité du système.

Système d'irrigation	Impact et efficacité du système
Gravitaire	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur les eaux souterraines • Impact possible sur les eaux de surface lié aux évacuations des excédents • Efficacités du système : <ul style="list-style-type: none"> - Bassin : 60 – 80 % - Raie : 50 – 70 % - Planche : 40 – 70 %
Aspersion	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur les eaux superficielles • Efficacité du système : 90%
Souterraine « sub-irrigation »	<ul style="list-style-type: none"> • Impact possible sur la nappe • Impact possible sur les eaux superficielles lié aux évacuations des excédents
Localiser <ul style="list-style-type: none"> • Goutteurs • Rampes perforés 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité : 90 – 100 % • Impact possible sur les eaux superficielles mais d'une ampleur inférieure aux autres systèmes d'irrigation.

II-6- Risques liées à la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

Les risques liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture sont multiples et de nature microbiologique, chimique ou environnementale. Ces risques sont MES, excès des nutriments (N, P, K), bactéries, helminthes, virus, les métaux lourds et la salinité. (ABBOU, 2010 ; TAMRABET, 2011).

II-6-1-MES

La plus part des micro-organismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES qui les protègent de beaucoup de traitements, d'autre part, si les MES sont présentes en trop grande quantité, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations et systèmes d'irrigation ;

II-6-2-Excès des nutriments

Les éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un apport d'azote excédentaire par rapport aux besoins des cultures, peut provoquer dans un sol très perméable la lixiviation du nitrate dans la nappe phréatique ; La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l. s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation, cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l et permet donc de répondre partiellement aux besoins.

II-6-3-Bactéries

La plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses. Les eaux usées urbaines contiennent en moyenne environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermo- tolérants.

II-6-4-Virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles.

II-6-5-Protozoaires

Les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires.

II-6-6- Helminthes

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et $10^3/l$. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs.

II-6-7-Risque chimique

Concernant les éléments traces métalliques : bore, fer, manganèse, zinc, cuivre et molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome et le sélénium.

II-6-8-Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. Les eaux usées épurées sont habituellement très salées, leur utilisation pour l'irrigation nécessite des suivis très ambitieux des impacts sur les sols et les cultures (BOUHANNA.A, 2014).

II-7-Avantages et inconvénients de la réutilisation

II-7-1- Avantages

Les avantages de la réutilisation des eaux usées sont reconnus par de nombreux pays, ils sont inscrits dans leurs schémas directeurs de l'eau et dans leur politique nationale (TAMRABET, 2011). L'eau usée et d'autres eaux de mauvaises qualités sont importantes dans le contexte de la gestion globale des ressources en eau, la réutilisation apporte une contribution à la conservation de l'eau et de l'énergie et améliore la qualité de la vie. D'ailleurs, les systèmes d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, à côté de rendements agricoles accrus. Cependant, la réutilisation de l'eau usée peut également avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique (FAO, 2003).

II-7-2- Inconvénients

Les inconvénients sont principalement liés à l'adaptation aux usages et aux obstacles psychologiques et culturels attachés à des eaux supposées dangereuses. Les principaux inconvénients liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture sont les suivants :

- Risque sanitaire lié à la présence de germes dans les eaux usées traitées aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur ;
- En raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut en résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui peut entraîner une chute de la production végétale et même une stérilité des sols par accumulation de sel ;
- L'apport importante en dose d'azote et de phosphore peut nuire à la production agricole et contribue à la pollution des nappes ;
- Les sites d'utilisation doivent se trouver à proximité des stations d'épuration, c.-à-d. dans les zones périurbaines peuplées ;
- La réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposées sont faibles rentabilités économiques (LOUMI.F et YEFSAH.K, 2010).

II-8-Intérêt agronomique des eaux usées épurées

L'utilisation des eaux usées résiduares domestiques pour la production agricole constitue à priori une démarche séduisante à plusieurs titres. Elle permet en effet, de valoriser l'eau et les matières fertilisantes qu'elle contient au lieu de les rejeter (TAMRABET, 2011). L'eau usée traitée peut avoir des résultats agronomiques positifs (FAO., 2003). Selon ABBOU. (2010), l'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables dans les eaux usées et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation des eaux usées épurées en agriculture. D'une façon générale. Une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare : de 16 à 62 kg d'azote, de 2 à 69 kg de potassium, de 4 à 24 kg de phosphore, de 18 à 208 kg de calcium, de 9 à 100 kg de magnésium et de 27 à 182 kg de sodium.

Conclusion

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

- le contexte socio-économique : le type d'activité industrielle, le nombre et la densité de l'habitat, l'importance de l'agriculture, la présence d'usines de production d'énergie, etc.
- le contexte écologique : la quantité des ressources disponibles, la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, la sensibilité du milieu récepteur à l'eutrophisation et aux autres pollutions, le contexte hydro géographique, etc. ;
- le niveau de traitement des eaux : à chaque niveau de traitement, on peut appliquer un usage différent ;
- la réglementation : elle limite les usages en fonction de la qualité de l'eau utilisée et donc de son niveau de traitement. Plus le niveau sanitaire est bon, plus les applications autorisées seront nombreuses ;
- l'acceptation par la population : ce dernier aspect n'est pas à négliger. L'idée de réutiliser des eaux usées peut avoir un impact psychologique négatif sur la population.

On peut faire le parallèle avec le problème des boues de stations d'épuration, qui crispe actuellement l'opinion. Il faut donc bien informer la population des risques et des avantages de la REUE.



CHAPITRE III

Le nom Agrume est donné aux arbres appartenant à la famille des Rutacées et au genre botanique *Citrus*. Cette appellation d'origine italienne, désigne les fruits comestibles et par extension les arbres qui les portent. A cette catégorie d'arbre appartiennent les orangers, les mandariniers, les citronniers, les cédratiers et les pamplemoussiers (LOUSSERT, 1989).

III-1- Classification botanique des agrumes

Règne : plante (plantea) ;

Division : Angiospermes ;

Classe : Dicotylédones ;

Sous classe : Rosidées ;

Ordre : Thérébinthales ;

Famille : Rutacées ;

Sous famille : Aurantiées .

III-2- La morphologie des agrumes

Les agrumes sont des plantes ligneuses, composées de deux parties :

a- La partie aérienne

➤ Le tronc

Sa hauteur est limité de 30 à 40 cm du niveau du sol, il porte la ligne de greffe, assure le transport des sèves entre les deux systèmes.

➤ Les ramifications

Elles prennent naissance sur le tronc, se divisent en sous charpentières qui portent des rameaux végétatifs et fructifères.

➤ Les feuilles

Les feuilles sont spiralées, ou bien opposées et dénuées de stipules. Tous les citrus sont des arbres à feuilles persistantes, seul le poncirus trifoliata qui perd ses feuilles en hiver.

➤ **Les fleurs**

Les fleurs sont hermaphrodites, actinomorphes (c.-à-d. qu'elles peuvent être divisées selon deux plan de symétries) ou beaucoup plus rarement zygomorphes (divisibles selon un seul plan de symétrie).

➤ **Le fruit**

Leur fruit est subdivisées en loges (quartiers) par de fines membranes, à l'intérieur se trouvent des cellules – vésicules (la pulpe de fruit) – remplies d'une solution aqueuse de sucre et d'acide qui peut constituer jusqu'à 50 % du poids du fruit, le jus contient des vitamines et des sels minéraux.

b- La partie souterraine

Le système racinaire des agrumes se développe en profondeur, et latéralement selon les caractéristiques du sol.

➤ **Les racines principales**

Au nombre de deux à trois, jouent le rôle de fixation dans le sol. Elles peuvent aller jusqu'à 02 m de profondeur.

➤ **Les racines secondaires**

Se devisant en fine racines qui constituent un chevelu racinaire, assurent la nutrition, elles se localisent dans les premières 50 cm du sol, où se trouvent les conditions optimales à son fonctionnement, éléments nutritifs apportés par la fertilisation minérale et organique, humidité convenable, aération satisfaisante (LOUSSERT, 1989).

III-3- Ecologie et phénologie des agrumes

III-3-1- Ecologie

Les agrumes présentent une grande capacité d'adaptation à des conditions pédoclimatiques très différentes. La culture des agrumes est possible partout où la température moyenne de l'année est supérieure à 13°C et inférieure à 39°C. Les agrumes préfèrent les climats maritimes des zones subtropicales. En terme de besoins en eau, 120 mm par mois, soit 1200 à 1500 mm par an, représentent une quantité d'eau au-dessous de laquelle la culture des agrumes nécessite une irrigation. La lumière a une action très remarquée sur la qualité et la

coloration des fruits. Les arbres fruitiers sont plus exigeants sur les caractéristiques physiques du sol et non sur les caractéristiques chimiques qui peuvent être corrigées par des apports d'engrais et d'amendements. Les sols doivent être profonds et de préférence légers (sablo-argileux ou argilo-sableux), bien drainés. Les agrumes redoutent les eaux salines (au-dessus de 0,5%). Le pH idéal est situé entre 5,5 et 7,5 (WALALI.Let *al*, 2003). C'est à cet effet que le choix du porte-greffe est un des facteurs essentiels de réussite car il peut conférer à la plante une tolérance à des maladies et à des contraintes abiotiques (salinité, pH, froid, sécheresse, calcaire...). L'optimum d'altitude pour un bon développement des agrumes se situe entre 1000 et 1300 m car ces derniers ne doivent pas être trop exposés aux vents.

LOUSSERT, 1989 signale qu'au-dessous de 800 m, les fruits manquent de saveur. La peau des oranges reste verte, les cloisons deviennent plus épaisses.

III-3-2- Phénologie

Le développement de la frondaison des agrumes se fait sous forme de flux végétatif ou poussée foliaire (flush). Ces flux végétatifs succèdent à des périodes d'arrêt végétatif. Ce phénomène s'observe même en climat tropical humide où les conditions permettent une activité végétative continue (PRALORAN, 1971). Il existe généralement 3 flux végétatifs par an. Ils commencent avec le début des pluies. Le premier flux, qui est de loin le plus important (longueur et nombre de rameaux émis), débute en mars avec le retour des pluies. Le second se fait au mois d'août, il est également déclenché par le retour des pluies. Le dernier survient en octobre.

La floraison se produit en même temps que la pousse qui suit le repos végétatif. Les fleurs sont isolées ou en grappes et se forment sur le bois de l'année précédente (PRALORAN, 1971). La floraison est continue tout au long de l'année sur les citronniers et limettiers. Sur les autres espèces on peut avoir une ou 2 périodes de floraisons par an. Sur un même arbre, on peut ainsi retrouver des feuilles, des fleurs et des fruits de différents âges. Dans la zone forestière humide du Cameroun, deux principales périodes de floraison sont observées. La première a lieu entre mars et juin et la seconde de septembre à décembre (NDO EUNICE GOLDA.D, 2011).

III-4-La fertilisation des agrumes

Les agrumes sont parmi les espèces les plus exigeants en élément fertilisant pour obtenir une production abondante et régulière. Pour cela, il est impératif d'appliquer une fertilisation rationnelle. La détermination exacte des besoins en élément nutritif des vergers d'agrumes est difficile car il faut tenir compte de nombreux facteurs comme l'état végétatif des plantes et l'état physico-chimique du sol.

En période de végétation, de mars à octobre, les agrumes ont besoin particulièrement importante (N.P.K) et oligo-élément. Sans ces apports, assortis d'arrosage abondant, le fruit aura du mal à se nouer, l'arbre à pousser, les feuilles à rester vertes.

Un agrume encore jeune à besoin d'un apport plus important en azote qu'un agrume adulte qui, lui nécessitera davantage de potasse pour le fruit. (LOUSSERT.1989)

Les oligo-éléments, tel que magnésium, fer, zinc, manganèse, cuivre, bore, molybdène, etc., sont rarement apportés de façon systématique. Si des analyses foliaires en montrent le besoin, ces éléments sont appliqués en pulvérisation sur les jeunes feuilles pleinement développées de la nouvelle pousse végétative. Seul le fer est appliqué au sol, sous formes chélates. (PARALORAN ,1971).

Conclusion

La plante se sert de l'eau quelle a absorbée dans le sol pour développer ses tissus à l'aide de la photosynthèse et régularise sa température à l'aide de l'évapotranspiration. Cependant, la connaissance de ses besoins à chaque stade végétatif est indispensable à fin d'estimer le débit de l'installation et le choix de la technique.



CHAPITRE IV

IV-1- Conception et réalisation

La station d'épuration de Boumerdès a été mise en service en janvier 2001. Elle a pour but l'épuration des effluents domestiques de la ville de Boumerdès, selon le procédé « boues activées à faible charge », pour un volume journalier théorique de $15\,000\text{ m}^3/\text{j}$, et une capacité de $75\,000\text{ eq/hab}$, elle s'étend sur une superficie de $34\,966.15\text{ m}^2$. Les effluents arrivent à la station par un réseau unitaire (AMOUCAS.K et HASSAINE.I, 2013).

IV-2- Situation géographique

La STEP de Boumerdes est située à la limite Sud de la commune de Boumerdes dans un bas fond sur la rive gauche de l'oued Tatareg sur le chemin reliant Boumerdes à Corso.



Figure n°08 : Vue satellitaire de la STEP Boumerdès (Google earth, 2015)

IV-3- Caractéristiques des eaux

a-Eau brut

L'effluent brut à traiter présente les caractéristiques suivantes :

➤ Charge hydraulique

- Débit moyen journalier 625 (m³/j)
- Débit de pointe temps sec 1063 (m³/h)
- Débit de pointe temps de pluie 1944 (m³/h)

➤ Charge polluante

- DBO₅ journalière 4050 (kg/j)
- MES journalière 5250 (kg/j)

b- Eaux traitée

Les objectifs à atteindre sont :

- DBO₅ ≤ 10 mg/l sur un échantillon moyenne de 24 h
- MES ≤ 30 mg/l sur un échantillon de 24 h
- DCO ≤ 90 mg/l sur un échantillon de 24 h
- PH compris entre 6.5 à 8.5 (AMOUCAS.K et HASSAINE.I, 2013)

IV-4- Le fonctionnement de la STEP

IV-4-1-L'arrivée de l'eau usées à la station

L'eau brute arrive d'une part par pompage, d'autre part par gravité. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation suivant le nombre de bassins d'aération en service. Un by pass contrôle l'entrée générale de la station.



Figure n°09 : Bassin d'orage

IV -3-2- Le prétraitement

a- Le dégrillage

L'eau est acheminée de manière gravitaire vers le dégrilleur en passant sur un canal d'écrtage, qui permet d'évacuer le surplus de pointe quotidienne et des périodes d'orage pour être vidé pendant les périodes creuses. L'ensemble de dégrillage comporte : un dégrilleur automatique fin de type champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20 mm, le dégrillage grossier déjà été assuré dans la station de pompage en amont. Les refus sont évacués par convoyeur vers une benne, et jetés à la décharge publique. En cas de panne pour le dégrilleur automatique, il est prévu un canal de by-pass équipé d'un dégrilleur de secours à champ droit à nettoyage manuel et espacement entre barreaux de 20 mm.



Figure n°10: Dégrilleur

b- Dessablage - dégraissage

La STEP comprend deux dessableurs-déshuileurs. Le sable de dimension supérieure à 150-200 décanté va être aspiré par le classificateur à sable vers des bennes, La Quantité de sable piégée est de : 15 - 40 La graisse qui flotte dessus va être raclé par un racleur vers la fausse à graisse. Sachant que la Quantité de graisses piégée : 5 - 15 (mg/l).

IV-3-3- Le traitement secondaire**a- Bassin d'aération**

L'eau provenant du prétraitement coule par gravité dans les bassins biologiques où elle séjourne 5h30 à 6h, ce temps est jugé nécessaire pour la dégradation de la matière organique (matière polluante soluble).

Au niveau de la station de Boumerdes on retrouve 3 bassins d'aération dont les caractéristiques sont les suivantes : Volume unitaire de 3600m^3 , profondeur de 4.5m, et un nombre d'aérateurs de 9.

Cette eau subit un traitement biologique par aération. Les bassins reçoivent d'autre part la « liqueur mixte » constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs finaux qui permettent de maintenir une concentration de micro-organismes nécessaire pour assurer le niveau d'épuration biologique. Un dispositif de brassage est disponible afin d'assurer le contact entre ces micro-organismes et la nourriture, d'éviter les dépôts de favoriser la diffusion de l'oxygène.



Figure n°11 : bassin d'aération

b- Clarification et recirculation de boue

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs. Dont les caractéristiques sont les suivantes : Un diamètre de 24m, hauteur latérale d'eau de 2.6 m et une surface requise de 1330 m²

Une fois la matière polluante éliminée dans les bassins d'aération, la boue est toujours mélangée à l'eau, le clarificateur a pour objectif de les séparer et cela par une simple décantation de la boue ,à la fin de cette opération, l'eau est claire et peut donc être envoyée dans le bassin de chloration ,visiblement l'eau est déjà prête pour la réutilisation (mais une étape supplémentaire était autre fois opérationnelle et ce en ajoutant une dose de chlore dans le bassin de chloration pour désinfecter l'eau épurée).

L'eau claire est donc envoyée à travers les chicanes vers oued Tatareg, puis vers la mer et l'autre partie est utilisée en agriculture avec certaine conditions d'irrigation.

Une petite partie de cette boue est recerclée et sera réinjectée en tête d'aération dans le bassin biologique sous le nom de liqueur mixte, on parle ici de recirculation de boue, cette opération a pour but de maintenir une concentration en MES constante et correcte dans le bassin biologique (c'est-à-dire maintenir une concentration constante de la boue dans le bassin d'aération), le deuxième rôle de cette opération est d'éviter l'accumulation des boues dans le clarificateur.



Figure n°12 : clarificateur

L'autre partie de la boue subie un traitement qui comporte deux étapes :

a- Epaissement

C'est la séparation solide/liquide, la boue passe dans un épaisseur (qui a le rôle d'un décanteur), et puis elle est refoulée grâce à une pompe vers la déshydratation. |

b- Déshydratation mécanique

La boue doit d'abord être floculée ou coagulée en ajoutant un polymers (le volume de ce polymère est calculé). Ensuite, la boue passe par une bande presseuse (qu'on appelle la super-presse), où elle subie un essorage.

Enfin, on obtient ce qu'on appelle un gâteau, c'est-à-dire une boue déshydratée, cette dernière a pour destination soit une décharge publique, soit une utilisation agricole comme engrais.

Tableau n°05 : paramètres physico-chimique mesurées sur les eaux brute et épurées au niveau de la STEP de Boumerdès (AMOUCHAS.K et HASSAINE.I, 2013).

Paramètres	Effluent brute	Effluent épuré	Norme de qualité d'eau d'irrigation(OMS)
T° (°C)	17.78	17.79	30
PH	7.38	7.40	6.5 à 8.5
CE (ms/cm)	8.65	1.28	<2.7
DBO ₅ (mg/l)	174.49	4.80	<10
DCO (mg/l)	359.86	26.69	<90
MES (mg/l)	215	15.26	≤ 30
N (mg/l)	32.35	23.13	<50
P (mg/l)	4.27	2.06	02

Ces résultats obtenus montrent dans l'ensemble que les eaux usées épurées présentent un PH= 7.40 relativement stable au voisinage de la neutralité et des concentrations moyenne de 23.13 mg/l d'azote totale et de 2.06mg/l de phosphore. Pour les paramètres indicateurs de pollution MES, DBO₅, et DCO, les valeurs sont respectivement 15.26mg/l, 4.80mg/l et 26.69mg/l. La comparaison des concentrations enregistrées au niveau de la STEP avec la

norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation montre que ces résultats sont conformes aux normes. Donc on peut dire que ces eaux usées épurées sont d'une qualité lui permettant d'être facilement utilisées dans le domaine agricole.



CHAPITRE V

Dans ce chapitre, on s'intéresse particulièrement aux potentialités de production de la STEP de Boumerdès en matière d'eau et de nutriments azotés et phosphatés, dans un premier temps, et aux potentialités de satisfaction des besoins en eaux d'irrigation et en nutriments des agrumes de la Mitidja et assurées par les eaux de cette STEP, dans un second temps. Nous mettrons aussi l'accent dans ce chapitre sur la valeur commerciale des nutriments produits par la STEP et sur le gain financier que pourrait procurer ces eaux aux irrigants de la Mitidja.

V-1 Résultats

V-1.1 Volume d'eau épurée par la STEP de Boumerdès

La station d'épuration de Boumerdès a une capacité de 75 000 équivalent habitants (EH), avec un débit journalier de 15 000 m³ / j. Le volume total d'eaux épurées annuellement par cette STEP est de 5.475 Millions de m³, disponible pour toute utilisation (agriculture et autres activités) si les conditions de leur utilisation sont respectées.

V-1.2 Estimation des flux d'azote et de phosphore apportés par les eaux épurées de la STEP

En plus des 5 475 000 m³ d'eau épurée annuellement, la STEP de Boumerdès produite en même temps une charge non négligeable en nutriments dissout dans ces eaux épurées, comme le montre la figure n°1. Indispensable au développement et à la croissance des cultures, ces nutriments améliorent les rendements des cultures et réduisent les coûts de production pour les agriculteurs irrigants. Le flux d'azote représente l'essentiel de cette charge (126.63 tonne / an) devant le flux de phosphore (16.09 tonne / an).

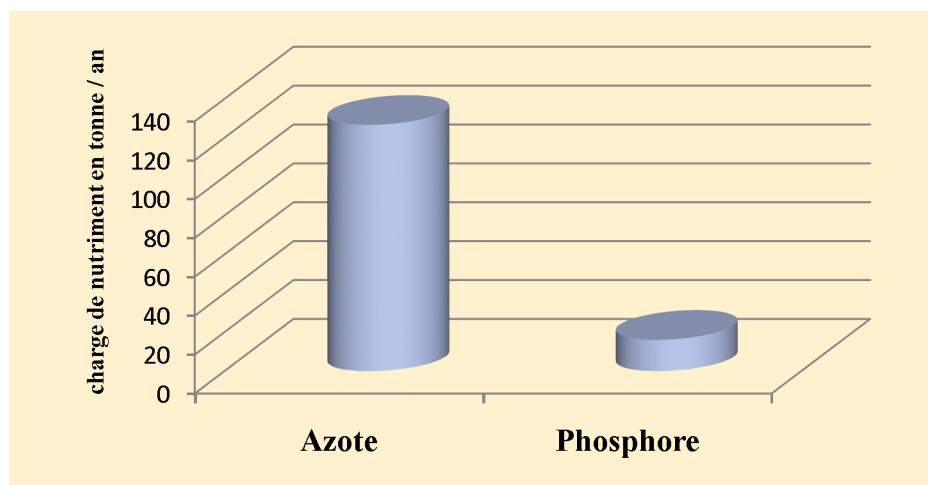


Figure n°14 : Flux total annuel en tonnes d'azote et de phosphore dissout dans les eaux épurées et produit par la STEP de Boumerdès.

V-1.3 Estimation de la valeur commerciale des flux d'azote et de phosphore produits par la STEP de Boumerdès

Sur le plan de la valeur commerciale, on peut dire que la charge en azote et en phosphore produite annuellement par la STEP de Boumerdès à une valeur marchande de l'ordre de 15.829.594 DA pour l'azote et de 1.679.635 DA pour le phosphore (figure n°15), si l'on réfère à deux types de fertilisants simples et commercialisés sur le marché national, soit l'urée à 46 % d'azote et le TSP à 46 % de phosphore, dont les prix subventionnés sont de 5750 DA et 4800 DA respectivement.

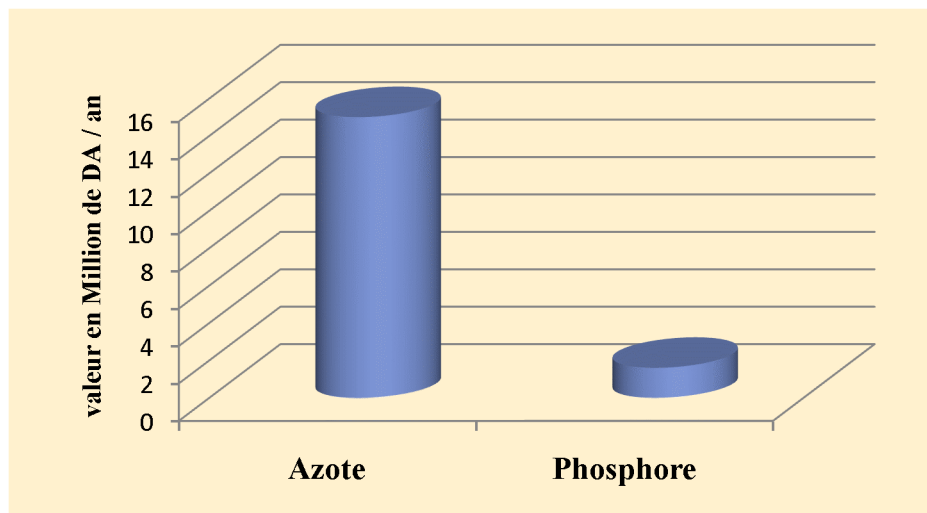


Figure n°15 : valeur commerciale de flux d'azote et de phosphore produite annuellement par la STEP de Boumerdès.

V- 1.4 Valorisation des eaux épurées par la STEP et de leur charge fertilisante sur les agrumes

V-1.4.1- Besoin en eau des agrumes (ETM)

C'est le volume (ou la hauteur) d'eau nécessaire pour conduire une culture (agrumes dans notre cas) dans de bonnes conditions hydriques afin d'assurer une production optimale. L'ETM peut être estimée à partir de la relation suivante :

$$ETM = ETP * K_C * K_r$$

Avec :

- ETM : Evapotranspiration Maximale de la culture en question en mm;
- ETP : Evapotranspiration Potentielle (paramètre climatique de la région d'étude) en mm;
- Kc : Coefficient Cultural qui est sans unité (coefficient physiologique);
- Kr : Facteur de Correction pris égale à 78% pour des agrumes adultes en pleine production (auteurs de l'étude de Ghardaïa).

V-1.4.2- Besoin réel en eau d'irrigation sur les agrumes (B_{irr})

C'est le volume d'eau qui doit être apporté en complément aux eaux de pluie (P) lorsque celles-ci ne couvrent pas l'ensemble des besoins en eau (ETM) de la culture.

➤ Sur le plan théorique

Ce Besoin d'irrigation ($B_{th_{irr}}$) peut être déduit directement du bilan hydrique agro-climatique (B_{hac}) par la relation suivante :

$$B_{hac} = P - ETM$$

* Si $(P-ETM) < 0$, on parle d'un déficit en eau ($B_{hac} = B_{th_{irr}}$)

* Si $(P-ETM) > 0$, C'est l'eau stockée dans un sol virtuel (sans limites de stockage) et donc $B_{th_{irr}}=0$.

Le besoin théorique annuel d'irrigation est ainsi estimé selon une cinétique de l'évolution mensuelle du B_{hac} tout au long de l'année, soit $\sum_{jan}^{Dec} B_{hac} = \sum_{jan}^{Dec} (P - ETM)$, négligeant les limites de stockage en eau des sols et leurs conséquence sur l'évolution du bilan.

➤ Sur le plan pratique

Il est important de prendre en compte le rôle des sols qui influent fortement sur les besoins en eau d'irrigation d'une culture à la fois par ses limites de stockages mais aussi par son rôle tampon lors de la restitution des eaux de pluies aux couverts végétaux. Le bilan hydrique réel serait, dans ces conditions, un bilan agropédoclimatique (B_{hac}) où l'humidité du sol devra être maintenue à un niveau d'humidité proche de celle de la capacité au champ.

Bien que cette valeur de la capacité au champ des sols étudiés nous fait défaut, il est toujours possible d'estimer le B_{hac} on réalisant un B_{hac} , tout on commençant la simulation avec une valeur de stock d'eau égale à la capacité au champ et que ce stock est reconstitué à chaque fin de mois par les pluies ou à défaut par les irrigations. Dans ces conditions, toute valeur mensuelle positive de B_{hac} est considérée comme une eau perdue pour le sol Br_{D+R} (eau de drainage ou de ruissellement non stockée par le sol), alors que toute valeur de B_{hac} négative représente le besoin réel d'irrigation Br_{irr} qu'il faudra apporter pour conduire le couvert végétal sous des conditions d'humidité proche de la capacité au champ. Le tableau n°06 résume l'ensemble de ces simulations réalisées sur les agrumes sous le contexte climatique de la Mitidja.

V-1.4.3 Estimation des besoins en eau (ETM) et en irrigation (Br_{irr}) des agrumes

Partant des données climatiques (ETP et Pluies) disponibles au niveau de la station météorologique de Dar-El-Beida et des valeurs de K_c et K_r applicables aux agrumes adultes en pleine production, il a été possible pour nous d'établir un bilan d'eau sur cette culture, tel que décrit ci-dessus. Ces résultats sont résumés dans le tableau n°06.

Tableau n°06 : Récapitulatif des résultats des simulations du bilan hydrique réalisé sur les agrumes, sous les conditions climatiques de la plaine de la Mitidja-Est.

	JAV	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	total annuel
ETP (mm)	53,6	61,8	86,4	109	141	173,5	201,1	187	142,2	98,5	67,3	54,4	1375,8
pluies (mm)	81,6	80,3	77	59,3	44,7	13,6	4,1	6,7	33,2	73,9	84,6	106,7	665,7
K_c	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	
K_r	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	
ETM (mm)	31,36	36,15	53,91	68,02	87,98	115	133,3	123,98	94,28	65,31	42	33,95	885,29
B_{hc}	28	18,5	-9,4	-49,7	-96,3	-159,9	-197	-180,3	-109	-24,6	17,3	52,3	-710,1
B_{hac} (mm)	50,24	44,15	23,09	-8,72	-43,3	-101	-129,2	-117,3	-61,1	8,595	42,6	72,75	-219,6
$B_{hacp} = Br_{irr}$ (mm)	0	0	0	-8,72	-43,3	-101	-129,2	-117,3	-61,1	0	0	0	-461
$B_{hacp} = Br_{D+R}$	50,24	44,15	23,09	0	0	0	0	0	0	8,595	42,6	72,75	241,43

Les résultats de simulations des bilans montrent que le déficit climatique annuel (B_{hc}) avoisine les 710 mm dans la région de la Mitidja, alors que le déficit agro-climatique appliqué aux agrumes, qui n'est autre que le B_{hac} représentant alors le besoins théorique d'irrigation $B_{th_{irr}}$, ne dépasse pas les 220 mm. Quant au déficit agropédoclimatique représenté par le B_{hpc} , déficit équivalent au besoin réel d'irrigation $B_{r_{irr}}$, il demeure compris entre les deux précédents déficits avec une valeur proche des 461 mm. Une bonne partie des eaux de pluies, soit 241 mm, échappe cependant au stockage dans le sol et rejoignent les cours d'eau et/ou les nappes phréatiques.

V-1.4.4 Estimation de la charge fertilisante en Net P sur les agrumes

Avec un besoin en eau d'irrigation de 461 mm sur les agrumes, soit 4610 m³/ha, et des concentrations en azote et en phosphore des eaux épurées de la STEP de Boumerdès de l'ordre de 23,13 g/l (0,02313 kg/m³) et 2,94 g/l (0,00294 kg/m³) respectivement, la charge fertilisante en ces deux nutriments apportée par ces eaux en question sur les agrumes serait de l'ordre de 106.6 kg/ha pour l'azote 13.5 kg/ha pour le phosphore (figure n°16).

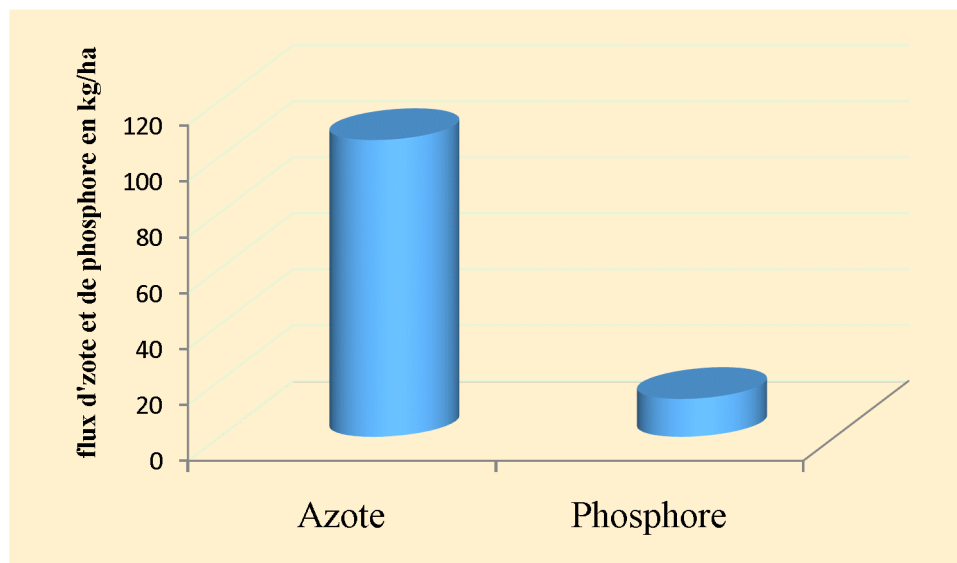


Figure n°16 : Flux d'azote et de phosphore en kg/ha d'agrumes apportés par les eaux d'irrigation avec les eaux épurées de la STEP de Boumerdès.

Sur le plan de la valeur commerciale (figure n°17), on peut dire que la charge en nutriments apportée sur les agrumes par les eaux d'irrigation produites par la STEP de Boumerdès, assure aux irrigants un gain financier de l'ordre de 6131 DA/ha pour l'azote et de 651 DA/ha pour le phosphore, si l'on se refait à deux type de fertilisants simples et commercialisés sur le marché national, soit l'urée à 46% d'azote et le TSP à 46% de Phosphore, dont les prix subventionnés sont de 5750 DA pour le premier et 4800 DA pour le second respectivement.

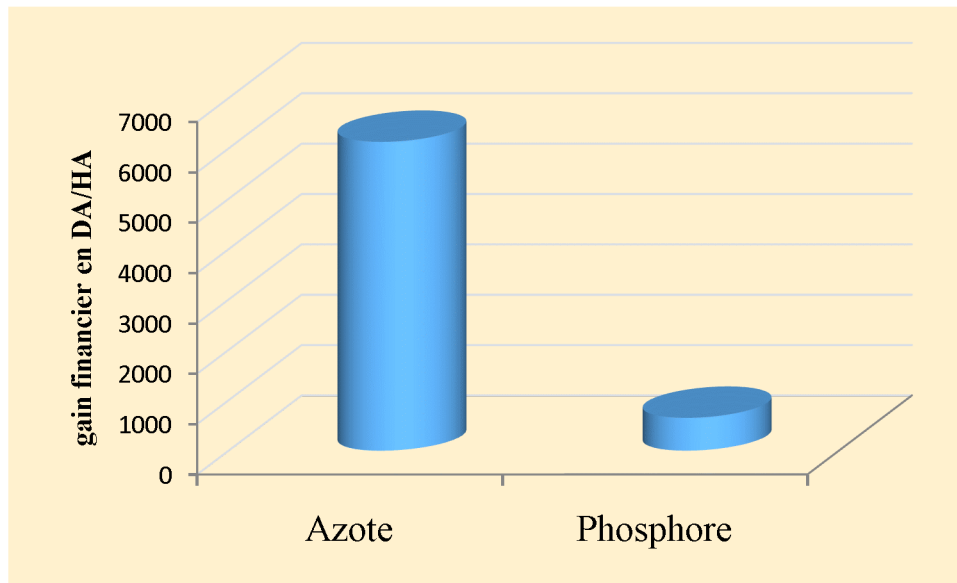


Figure n°17 : Gain financier en DA/ha d'agrumes pour les irrigants utilisant les eaux épurées de la STEP de Boumerdès.

V-1.4.5 Potentiel de la STEP de Boumerdès en matière de surfaces d'agrumes irriguées

Avec un potentiel de production en eau épurée avoisinant les 5.475 Millions de m³ et une dotation de près de 4610 m³/ha apportée sur les agrumes en complément aux pluies qui font défaut le plus souvent durant la période estivale dans cette région (Mitidja Est), la STEP de Boumerdès présente un potentiel d'irrigation sur les surfaces agrumicoles de l'ordre de 1187 hectares.

V-2 Interprétation

Situé à l'extrémité Est de la plaine de la Mitidja, la STEP de Boumerdès produit près de 5,475 Millions m³ d'eau épurées par an générant une charge non négligeable en nutriment pouvant atteindre annuellement les 126 tonnes d'azote et 16 tonnes de phosphore, et dont la valeur commerciale dépasse les 17,5 Millions DA. L'utilisation de ce double produit (eau et nutriment) en agriculture représente un atout majeur pour le développement de l'agriculture irriguée dans une zone caractérisée par un déficit hydrique important du a un défaut pluviométrique. Encore faut-il savoir utiliser ce double produit à bon escient.

L'analyse montre, en effet, que la zone de la Mitidja-Est demeure une région où la ressource en eau est naturellement limitante, avec un déficit climatique annuel important de 711 mm ; autrement dit, la plaine de la Mitidja perd deux fois plus d'eau (1376 mm d'ETP) qu'elle n'en reçoit (665 mm de pluies). Selon Meridja (2011), la demande en ETP établie sur une moyenne de 37 ans pour la Mitidja-Est reste centrée autour de la valeur moyenne de 1200 mm, contre un apport pluviométrique annuel moyen de 655 mm, engendrant un déficit climatique moyen sur 37 ans de l'ordre de 545 mm. Selon le même auteur, la période humide dans la Mitidja-Est s'étale sur six mois (saison d'automne et d'hiver) pour les années les plus arrosées, soit pour une année sur cinq (*Figure 18*, courbe bleue) mais est réduite à trois mois seulement (saison d'automne) pour une année sur deux (*Figure 18*, courbe en noir) et disparaît totalement durant les années sèches, soit une année sur cinq (*Figure 18*, courbe en rouge) ; ce qui contribue fortement à l'instabilité des rendements agricoles.

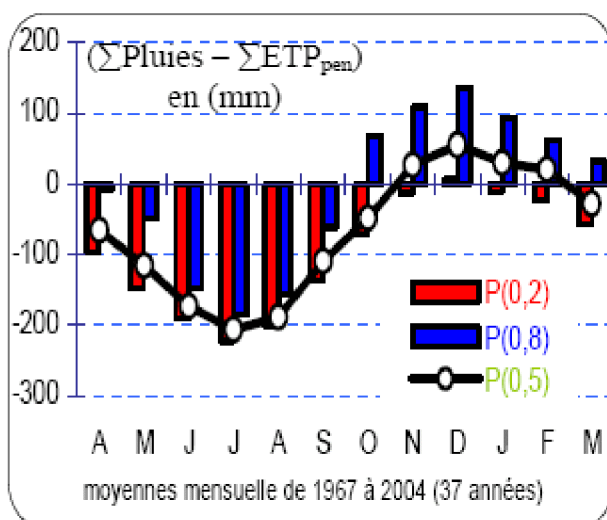


Figure 18 : Bilan climatique mensuel ($\Sigma \text{Pluies} - \Sigma \text{ETP}_{\text{pen}}$) établi sur 37 ans (période de 1967 à 2004) pour la région d'Alger (données météorologiques provenant de la station de météorologie de Dar El-Beida).

Pour une culture annuelle telle que les agrumes, le besoin en eau annuel reste important (885 mm d'ETM), dépassant de loin les apports climatiques, engendrant un déficit agro-climatique (Bhac) de l'ordre de 220 mm. Ce déficit n'est toute fois pas caractéristique de la région étudiée dans la mesure où le composant sol n'est pas pris en compte dans le Bhac. En effet, les résultats du bilan hydrique agropédoclimatique (Bhacp) appliqué sur les agrumes confirme cette situation de carence hydrique qui dépasse de loin celle du Bhac, avoisine en moyenne les 460 mm/an, réparti sur l'ensemble de la période estivale (d'avril à septembre) ; période durant laquelle l'irrigation est sollicité sur cette culture. Il faudra donc prévoir une dotation en eau de l'ordre de 4610 m³/ha/an si l'on veut conduire la culture des agrumes sous des conditions hydrique acceptable et ainsi régularisé les rendements.

Sur le plan de l'apport en nutriment par les eaux de la STEP de Boumerdes, la dotation en eau de 4610 m³/ha/an appliquée sur les agrumes couvre près de 35% à 42% des besoins en azote (250 à 300 kg/ha/an) et près de 11% à 13% des besoins en phosphore (100 à 120 kg/ha/an) ; ce qui ne pose aucune forme de pollution chimique sur le systèmes de culture (sol, plante et eau). Les agrumiculteurs irrigants de la Mitidja-Est utilisant les eaux épurées de la STEP de Boumerdes voient donc leurs coûts de production diminués jusqu'à concurrence de 6131 DA/ ha/an sur l'azote et 651 DA/ha/an sur le phosphore, soit un totale de 6782 DA/ha/an. Un complément de fertilisants en azote (143 à 193 kg/ha/an) et en phosphore (86,5 à 106,5 kg/ha/an) doit être apporté sous d'autres formes (chimique et autres) pour assurer les besoins de cette culture.

S'agissant des potentialités en surfaces irriguées de la STEP de Bourmerdes, ces dernières sont estimés à près de 1187 ha/an ; ce qui représente près de 40% des agrumicole et arboricoles (2927 ha selon Pallix, 1993) irriguées par la Petite et Moyenne Hydraulique dans la Wilaya de Boumerdes.

Ce travail ce veut être une étude préliminaire ayant comme principal objectif l'orientation des pouvoirs publiques, des gestionnaires des STEP et ses agrumiculteurs irrigants de la Mitidja-Est sur les potentialités d'irrigation par les eaux de la STEP de Boumerdès. En effet, l'estimation des besoins en eau des agrumes et leurs besoins d'irrigation ont été réalisé selon une approche très simpliste, ne prenant pas en compte la variabilité des paramètres spatio-temporel caractérisant le système étudié (sol, plante, climat). Un travail plus approfondi, faisant appel au modèle de bilan hydrique basé sur des approches biophysiques, tel que le modèle Bilhyna (Meridja, 2011), permet de prendre en charge la

diversité et la variabilité des paramètres caractérisant ce système : sols, climats, cultures ainsi que les pratiques culturelles plus ou moins spécifiques, intégrant leurs effets combinés sur la production.



CONCLUSION

GENERALE

Nos travaux menés dans le cadre de ce stage ont permis d'asseoir une méthodologie ayant pour objectif principal la gestion des eaux usées épurées et leur valorisation en agriculture irriguée, basée sur une approche simpliste mais efficace de bilan hydrique. Le choix des eaux de la STEP de Boumerdès, du site de la Mitidja-Est et de la culture des agrumes n'est qu'un exemple pris pour illustrer cette application. La méthodologie suivie reste valable dans l'espace et dans le temps, et demeure applicable pour des situations variées des eaux de STEP, de sites de production et de cultures.

La réutilisation des eaux usées permet non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'engrais organiques à minéralisation progressive, mais également de protéger les eaux superficielles et souterraines et ainsi les affecter pour des utilisations à vocations nobles, à savoir l'AEP, tout en limitant l'usage excessif d'engrais chimique.

En effet, la STEP de Boumerdès offre un potentiel non négligeable en eau épurée, utilisable en irrigation, et en flux de nutriments, indispensable au développement des cultures. Ce potentiel de production permet d'assurer les besoins en eau d'irrigation des agrumes, évalués à 4610 m³/ha/an, de près de 40% des terres agrumicoles et arboricoles desservies par la PMH dans la Wilaya de Boumerdes, soit une surface agrumicole irriguée de l'ordre de 1200 ha. L'apport en azote et en phosphore assuré par cette dotation en eau, telle que préconisée ci-dessus, demeure sans risque de pollution sur le système de production et son environnement dans la mesure où la satisfaction des besoins en ces éléments n'est pas sans risque de carence sur la culture en question. En effet, cet apport ne couvre qu'une partie seulement des besoins en azote et en phosphore des agrumes, réduisant de manière significative les coûts de la fertilisation sur cette culture jusqu'à concurrence de 6782 DA/ha. La part de nutriments non satisfaite par les eaux épurées de la STEP de Boumerdes doit être complétée par un apport synthétique ou autre, si l'on veut répondre aux besoins de cette culture de façon optimale.

La réutilisation des eaux usées en irrigation constitue de ce fait une nouvelle approche qu'il faudra intégrer dans la planification et la gestion des ressources en eau, en particulièrement dans les zones où le besoin en eau d'irrigation se pose avec acuité. Ainsi, elle permet de libérer les ressources d'eau douce pour l'approvisionnement en eau potable et industrielle, préserver les milieux récepteurs contre toute forme de pollution chimique et en fin améliorer et régulariser les rendements agricoles.



RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- **ABBOU.S**, 2010, *la réutilisation des eaux usées épurées*. Centre de formation aux métiers d'assainissement. Ed. Office National D'assainissement de Saida. P 52 ;
- Agence de l'eau **RM** et **CORSE**, 2005, *épuration des eaux usées domestique par filtre planté de macrophytes*. 45p ;
- **AMIR.S**, 2005, *contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost*. Th.Doc,Nati.poly de Toulouse.341p ;
- **AMOUCHAS.K** et **HASSAINE.I**, 2013, *dimensionnement des sols cultivés aux traitements tertiaires de l'azote et du phosphore de l'effluent traité de la STEP de Boumerdès*, mémoire d'ingénieur d'état en sciences agronomique, UMMTO.75p ;
- **ARODI.B**, 2005, *élimination des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans les boues d'épuration par couplage ozonation-digestion anaérobie*, Thèse en génie des procédés Montpellier II, France ;
- **ATTAB.S**, 2011, *amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la STEP Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local*, mémoire de magister, Univ, Kasdi Merbah-Ourgla.152p ;
- **BELHMADI.M** et **SEDDIK.O**, 2011, *étude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la STEP des eaux usées d'Ibnziad*, mémoire du magister en microbiologie appliquée et biotechnologies microbiennes, Univ, Montouri-Constantine. 82p ;
- **BELLIL.M** et **OUKAS.N**, 1998, *Alimentation en eau potable de la commune d'Aith-Yenni*, mémoire D.E.U.A en science agronomique, Univ, MMTTO.71P ;
- **BONGIOVANNI.J.M**, 1998, *traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique*, Thèse de doctorat, Univ, Pau et des pays de l'Adour ;
- **BOUHANNA.A**, 2014, *gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne*, mémoire de magister en sciences agronomique, Univ, Kasdi Merbah-Ouargla.234p ;

- **BOUKERRAM. T et MOUSSAOUL. M**, 2013. *Evaluation des besoins en eau des agrumes et dimensionnement d'un réseau d'irrigation goutte-à-goutte (Cas de périmètre de la vallée de la Soummam)*. Thèse d'ingénieur, UMMTO. 96p.
- **BOUZIANI**, 2000, *l'eau de la peneurie aux maladies*. Ed.Ibn Khaldoun Oran.117p ;
- **CARDOT**, 2010, *les traitements de l'eau pour l'ingénieur procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus génie de l'environnement*. Ed. Ellipses.302p ;
- **CARDOT. C**, 2010, *Les traitements de l'eau pour l'ingénieur procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus génie de l'environnement*, Ed. Ellipses. 302p ;
- **CHEVALIER**, 2005, *les eaux usées urbaines, In chevalier, Technologies d'assainissement et prévention de la pollution*, Québec, Télé-université, p120 ;
- **DADIE**, 2010, *l'évaluation de la possibilité de réutilisation en agriculture l'effluent traité de la commune de drarga*, Univ, Sherbrooke, Québec, canada.99p ;
- **DAHOU.A et BREKA.A**, 2013, *lagunage aéré en zone aride performance épuratoires cas de région d'ouargla*, mémoire du master en génie de l'environnement, Univ, Kasdi Merbah-Ouargla. 165P ;
- **DEGREMENT**, 2005, *mémento technique de l'eau*. 10^{ème} Ed. 466p ;
- **DISJARDINS.R**, 1990, *le traitement des eaux*, Ed de l'école Polytechnique de Montréal, Canada ;
- **DUVAND et al**, 1999, *situation de recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde*. ADEME. Centre Angers ;
- **EFFEBL.K.R**, 2009, *lagunage anaérobie : modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie*, Thèse de doctorat, Univ, liège de compus d'arlon.pp7-9 ;
- **F.A.O**, 2003, *irrigation avec les eaux usées traitées*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, bureau régional pour le Proche Orient et bureau sous régional pour l'Afrique du Nord.73p ;

- **F.N.S.A. (Fédération Nationale des Syndicats de l'Assainissement et de la maintenance industrielle)**, 2009, *Panorama des techniques de traitement des Déchets d'Assainissement, matières de vidange, déchets gras et déchets sableux*. 60p ;
- **FABY.A et BRISSAND.F**, 1997, *l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation*. Office International de l'Eau.76P ;
- **GAID.A**, 1984, *épuration biologique de l'eau urbaine*, T/1. Ed. OPU, Alger, 261p ;
- **Google earth**, 2015 ;
- **HAOUA.A**, 2007, *modélisation de séchage solaire sous serre des boues de STEP urbains*, Thèse de doctorat, Univ, Louis Pasteurs-Strasbourg I Discipline : science pour l'ingénieur ;
- **HARTANI**, 2004, *réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie*, acte du séminaire modernisation de l'agriculture irriguée ;
- **KONE DIALLO.M**, 2011, *infiltration-percolation sur sable et sur fibres de coco, filtres plantés et épuration d'eaux usées domestique à dominance agroalimentaire sous climat tropical sec : cas des eaux résiduaires urbaines de Ouaga Dougou, Burkina Faco*, Thèse de doctorat en ingénierie de l'eau et de l'environnement. 232p ;
- **LADJEL**, 2004, *exploitation d'une station d'épuration à boues activées niveau 02 (CFMA-Boumerdes)* ;
- **LEGRAND**, 1997, *étude du gonflement et de la floculation de gels de poly-électrolytes : application à la déshydratation des boues de station d'épuration PHD* Thèse, Univ paris VI ;
- **LEHTIHET**, 2005, *la réutilisation des eaux usées en Algérie : situation actuelle et perspectives de développement*, 30p ;
- **LEONARD**, 2002, *étude du séchage convectif de boues de station d'épuration suivi de la texture par micro-tomographie à rayons x*, Thèse de doctorat en science appliquées, Univ de liège ;

- **LOUMLI.F** et **YEFSAH.K**, 2010, *valorisation des eaux usées traitées en irrigation, cas de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou*, mémoire d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, Univ, MMTO. 134p ;
- **LOUSSERT.R**, 1989, *les agrumes, volume I, arboriculture, techniques agricoles méditerranéens*, Lavoisier ;
- **MADIGAN.M** et **MARTINO.J**, 2007, *biologie des micro-organismes*, 11^{ème} édition, Pearson / éducation, Paris.932p ;
- **MANSOUR.F**, 2008, *étude d'un avant projet détaillée(ALD) en vue de la réalisation d'une station d'épuration des eaux usées Fréha-Azazga*, Thèse d'ingénieur d'état en agronomie, univ, MMTO ;
- **MEDKOUR**, 2002, *réutilisation des eaux usées épurées*, Forum de la gestion de la demande en eau : réutilisation des eaux usées. Rabat, 26 et 27 mars 2002, 11p ;
- **MEKHALIF.F**, 2009, *réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement*, mémoire de magister en pollution chimique et environnement, Univ, 20 Aout 1955 Skikda. 158p ;
- **MENECEUR.R** et **SAIDJ.KH**, 2013, *caractérisation des paramètres physico-chimique et quantification des nutriments des eaux usées traitées de la STEP Est de la ville de T.O*, mémoire d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, Univ, MMTO. 109P ;
- **MERIDJA. S**, 2011. *Approche Biophysique des processus de développement et de croissance des couverts végétaux : Interaction avec le stress hydrique et optimisation des pratiques culturales en climats méditerranéens*. Doctorat AgroParisTech, 157p.
- **MESSAOUDENE** et **SOUIKI**, 2007, *contribution au dimensionnement du réseau d'assainissement et de la station d'épuration d'Oued-Falli, commune et daïra de T.O*, mémoire d'ingénieur d'état en science agronomique, Univ, MMTO ;
- **NATHALIE.R**, 1993, *étude d'un système d'infiltration-percolation pour la réutilisation agricole des eaux usées*, rapport de stage de fin de maîtrise de sciences et techniques génie sanitaire et environnement(GSE), Univ, paris XII-val de marne.54p ;

- **NDO EUNICE GOLDA**, 2011, *évaluation des facteurs de risque épidémiologique de la phaeoramulariose des agrumes dans les zones humides du Cameroun*, Thèse de doctorat en biologie interactive des plantes. 204p ;
- **OLIVIER.M.J**, 2007, *l'hydrosphère*. In Olivier. M.J, chimie de l'environnement, Québec, les productions Jaques Bernier. P7-48 ;
- **OMS**, 1989, *l'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandations à avisées sanitaire*, Organisation Mondiale de la Santé, Série de rapports techniques n°778, OMS, Genève ;
- **OUALI**, 2001, *cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux*.offic.Pub.Univ, Blida. 52p ;
- **PAING.J**, 2001, *bilan du carbone et du soufre dans le lagunage anaérobie : contrôle de l'émission d'H₂S pour la réduction des nuisances olfactives*, Thèse de doctorat, Univ, Montpellier I. 255p ;
- **PALLIX. G**, 1993. Rapport de mission du 16/4/93 au 13/5/93, Document ANR
- **PRALORAN.J.C**, 1971, *les agrumes, techniques agricoles et production tropicales*. Ed. E.P Maisonneuve et Larose, paris ;
- **ROBERT.TH**, 1991, *station d'épuration, eaux potable, eaux usées*. Ed. techniques et documentation, Paris ;
- **SATIN et al**, 1999, *guide technique de l'assainissement*, 2^{ème} édition, paris ;
- **TAMRABET.L**, 2011, *contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage*, Thèse de doctorat en science, Univ, Hadj Lakhdar-Batna. 147p ;
- **TELLI.S.M**, 2013, *étude sur la valorisation par séchage solaire des boues d'épuration des eaux urbaines-cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement-Tlemcen*, mémoire master, univ, Tlemcen.174p ;
- **VILAGINES.R**, 2003, *eau environnement et santé publique-introduction à l'hydraulique*.2^{ème} édition. Ed. Tec et Doc, paris. P ;

- **WALALI.L**, 2003, *fiche techniques : le bananier, la vigne, les agrumes*. Ed. In T.d.t.e. agriculture, rabat : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II ;
- **ZERROUKHI** et **BENNABI**, 2006, *analyse physico-chimiques et bactériologique des eaux usées urbaine cas : STEP du pont de bougie de T.O*, mémoire D.E.U.A, Univ, M'Hamed Bouguera – Boumerdes ;

Résumé :

Ce travail se veut être une étude préliminaire en vue de valoriser les eaux épurées de la STEP de Boumerdès en irrigation. 5,475 Millions de M³ sont donc produites par la STEP en question annuellement, générant près de 127 tonnes d'azote et 16 tonnes de phosphore, d'une valeur de 17 Millions DA, utilisable directement sur les cultures agricoles. L'étude agropédologique réalisée sur les agrumes montre que la région n'est pas à l'abri d'un stress hydrique sur au moins six mois par an, d'avril à septembre, nécessitant alors un besoin d'irrigation de l'ordre de 461 mm/an, soit une dotation de près de 4610 m³/ha/an. Cette dotation assure près de 35% des besoins en azote sur les agrumes et environ 10% des besoins en phosphore sur la même culture. Un gain considérable est alors réalisé par les agrumiculteurs irrigants avec les eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes, d'une valeur de 6800 DA/ha/an en moyenne, compte tenu la charge en fertilisant drainée par ces eaux. La réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes pour irrigation des agrumes dans la Mitidja-Est constituer une alternative intéressante et rentable sur le plan économique mais aussi et surtout environnementale.