

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VU DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER

**Spécialité : Traitement et Valorisation
des Ressources Hydriques**

Thème

**Valorisation agricole des eaux usées épurées
par le procédé de lagunage naturel :
Cas de la STEP de Ghardaïa**

Réalisé par : M^{elle} RACHEDI Amel

M^{elle} : MERABTI Celia

Devant le jury :

Président : M^r MAKHLOUF. M

Maître de conférences à l'UMMTO

Promoteur : M^r MERIDJA. S

Maître de conférences à l'UMMTO

Examineur : M^r METAHRI. M

Maître de conférences à l'UMMTO

Examinatrice : M^{elle} ABDELLAOUI. K

Maître assistante à l'UMMTO

Soutenu le : 15/07/2015

Promotion : 2014/2015

Remerciements

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous avoir guidées vers le droit chemin, de nous avoir aidées tout au long de nos années d'étude.

*Nous tenons tout d'abord à remercier notre promoteur **Mr MERIDJA.S** de nous avoir assistés le long de la réalisation de ce travail et pour son aide précieuse, ses conseils, son encouragement et sa disponibilité dans ce travail.*

*Nous tenons à remercier **Mr MAKHLOUF.M**, D'avoir honoré notre jury pour avoir accepté de présider le jury de soutenance, pour tout ce qu'il a pu nous apprendre durant tout notre parcours universitaire ; qu'il trouve ici l'expression de notre profonde et s'insère reconnaissance.*

*Un grand merci aux membres de jury : **Mr MITAËRI .M** et **Melle ABDELLAOUI.K** Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner et de juger notre travail.*

*Une mention spéciale pour **Melle ABDELLAOUI.K** pour ses encouragements ses précieux conseils et son soutien moral, qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde et sincère reconnaissance.*

Nos sincères remerciements vont à tous nos professeurs qui ont veillé à notre formation durant toutes ces années.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous



Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tout puissant est enfin achevé ce modeste travail, lequel je dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

A la mémoire de mon très cher Père que dieu l'accueil dans son vaste paradis.

A ma très chère Mère qui a tout sacrifié pour nous et qui ma encourager pour réussir mes études.

A mes frères, Spécialement à Fatah pour son aide et son encouragement, à Lounes, Redouane, Hichem et à toute ma famille.

A ma binôme Celia et à toute la promotion Traitement et Valorisation des Ressources Hydriques (2014/2015).

A l'homme qui ma apporter la joie et le bonheur mon cher époux BENNABI Hacene, qui ne cesse d'être à mes côtés et à qui je dois le remercier pour son amour, son soutien moral, financier et ces encouragement.

RACHEDI Amel

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, à la mémoire de ma très chère grand-mère Ourida, tu nous manqueras toujours et le temps n'effacera jamais le vide que tu as laissé que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A mes chers parents ; puisse Dieu vous prêter une très longue vie afin que vous puissiez savourer le fruit de toutes vos bonnes actions

D'abord Pour mon très cher père qui s'est toujours montré présent et qui a fait en sorte que je ne manque de rien durant toute ma vie, j'espère être digne de l'éducation et des précieux conseils que tu m'as toujours prodigué, j'espère avoir atteint le seuil de tes espérances, Merci Papa.

Ma mère à qui je dois tout, qui n'as jamais cessé de m'encourager et qui s'est toujours sacrifiée pour mon bien être et ma réussite, Merci d'avoir su susciter et entretenir en moi la patience et l'acharnement, mais aussi et surtout le sens de l'honneur puisque tu es toi-même source d'honneur.

A mon très cher frère Said en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte lui, à ma très chère sœur Narimane , plus qu'une sœur, tu es mon amie , ma confidente, ma complice, je te remercie infiniment.

Je prie le bon Dieu de me donner la force et les moyens de toujours prendre soin de vous.

A ma tante Nadia, mon refuge permanent dans mes moments d'angoisse devant l'adversité,

Jamais je ne pourrai oublier tous les services que vous nous avez rendus, toute ma reconnaissance.

A ma chère tante Karima, ta gentillesse et ton soutien ne m'ont jamais fait défaut, que Dieu te bénisse, trouvez ici l'expression de mon profond respect, mon amour, et ma gratitude.

A ma grand-mère Ouardia que dieu vous garde et vous procure santé et bonheur.

A ma tante fatma, je vous dédie mon travail en témoignage de mon sincère attachement. Je prie Dieu pour vous donner santé, bonheur et prospérité.

A mes tantes, mes oncles en particulier Djamel, Amar, Farid, cousines et cousins en particulier ma deuxième sœur Maya.

Kamy , Roza ,Ania , Meriem, Katia, Amine , Mustafa , Fawzi, vous êtes plus que des amies,

Je n'oublierai jamais les moments agréables qu'on a vécus ensemble.

A toi ma chère Rima, ta gentillesse et ton soutien ne m'ont jamais fait défaut, toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude.

A mon binôme Amel ainsi que toute sa famille.

En fin, à toute la promotion TVRH 2015.

Celia

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Partie I : Etude Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées résiduaires

I.1. Définition d'une eau usée	4
I.2. Origine des Eaux Usées	4
I.2.1. Eaux Usées Domestiques.....	4
I.2.2. Eaux Usées Industrielles	4
I.2.3. Eaux Agricole	5
I.2.4. Eaux Pluviales	5
I.3. Composition des eaux usées	5
I.3.1. Pollution Minérale.....	5
I.3.2. Pollution Organique	6
I.3.3. Pollution Microbiologique.....	6
I.4. Critères de la Pollution Organique	6
I.4.1. Définition de l'Equivalent Habitant	6
Conclusion	6

Chapitre II : Procédé d'Épuration des eaux usées résiduaires

II.1. Principe de l'Épuration.....	8
II.2. Procédés d'Épuration	8
II.2.1. Prétraitement	8
II.2.1.1. Dégrillage	8
II.2.1.2. Dessablage	9
II.2.1.3. Déshuilage-Dégraissage	9
II.2.2. Traitement Primaire (Physico-Chimique)	9

II.2.2.1. Décantation (Processus Physique)	9
II.2.2.2. Flottation (Processus Physique)	10
II.2.2.3. Décantation associée à l'utilisation d'un coagulant-floculant	10
II.2.3. Traitement Secondaire (Biologique)	10
II.2.4. Traitement par Boue Activé.....	10
II.2.5. Traitement Tertiaire	11
II.2.6. Valorisation Agricole des Eaux traitées	11
Conclusion	12

Chapitre III : Epuración biologique par lagunage

III.1. Lagunage Naturel.....	13
III.2. Lagunage Aéré.....	14
III.3. Microorganismes associés à l'épuration	15
III.3.1. Bactéries	15
III.3.2. Algues (phytoplanctons)	15
III.3.3. Zooplancton.....	16
III.4. Principaux mécanismes d'épuration dans la colonne d'eau.....	16
III.5. Facteurs influençant le pouvoir épuratoire.....	17
III.5.1. Facteurs climatiques.....	17
III.5.2. Facteurs physiques	18
III.5.3. Facteurs chimiques.....	18
III.6. Avantages et inconvénients de lagunage naturel et du lagunage aéré	19
III.7. Comparaison entre le lagunage naturel et le lagunage aéré	20
Conclusion	20

Chapitre IV : La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation

IV.1. Définition de la réutilisation des eaux usées épurées	21
IV.2. Objectifs de la réutilisation	21

IV.3. Modes de réutilisation des eaux usées	22
IV.3.1. Réutilisation agricole	22
IV.3.2. Risques liés à la réutilisation agricole	23
IV.4. Choix du système d'irrigation	24
IV.5. Avantages et inconvénients de la réutilisation	26
IV.6. Cultures irrigables	27
Conclusion	27

Partie II : Matériels et méthodes

Chapitre I : Présentation de la station de Ghardaïa

I.1. Présentation de la station	28
I.1.1. Situation géographique	28
I.1.2. Caractéristiques et dimensionnement de la STEP	29
I.2. Différentes étapes de traitement des eaux usées	31
I.2.1. Prétraitement	31
I.2.1.1 Dégrillage/Dessablage	31
I.2.1.2. Ouvrage de répartition	32
I.2.2. Traitement Primaire	33
I.2.3. Traitement Secondaire	33
I.2.4. Traitement des Boues	34
I.2.5. Evacuation des eaux traitées	34
I.3. Présentation de la vallée de Mزاب	35
I.3.1. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa	35
I.3.2. Description générale la vallée du M'ZAB	35
I.3.3. Aspect climatiques	36
I.3.4.. Aspect agronomique	37
Conclusion	38

Chapitre II : Paramètres de mesures

II.1. Paramètres physiques	39
II.1.1. Température	39
II.1.2. Turbidité	39
II.1.3. Matières en suspensions (MES).....	40
II.1.4. Conductivité électrique (CE)	40
II.1.5. Couleur	40
II.1.6. Odeur	41
II.2. Paramètres chimiques	41
II.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	41
II.2.2. Demande biochimique en oxygène (DBO5).....	41
II.2.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	41
II.2.4. Biodégradabilité	42
II.2.5. Nutriments	42
II.3. Paramètres biologiques	43
Conclusion	43

Chapitre III. Matériel végétal

III.1. Culture de l'Olivier	44
III.1.1. Caractéristiques de l'Olivier	44
III.1.1.1. Morphologie de l'Olivier.....	44
III.1.1.2. Exigences écologiques de l'Olivier.....	45
III.1.1.3. Exigences en fertilisation d'olivier	46
III.2. Culture d'agrumes	48
III. 2.1. Caractéristiques des agrumes.....	48
III.2.1.1. Morphologie des agrumes	48

III. 2.2. Exigences écologiques des agrumes	49
III.2.2.2. Exigences en fertilisation des agrumes	50

Chapitre IV. Besoin en eau d'irrigation des cultures

IV. 1. Besoin en eau des cultures	52
IV. 2. Besoin en eau d'irrigation	52
IV. 2. 1. Besoin net en eau d'irrigation	52
IV. 2.2. Besoin brut en eau d'irrigation	53

Partie III : Résultats et interprétation

Chapitre I : Résultats

I.1. Caractérisation des eaux usées traitées de la STEP de Ghardaïa	54
I.2. Potentialités agroclimatiques de la région de Ghardaïa	55
I.2.1. Potentialités agricoles	55
I.2.2. Potentialités climatiques	56
I.2.3. Potentialités agroclimatiques, Besoins en eau (ETM) et d'irrigation.....	58
I.3. Potentialités des eaux épurées de la STEP en matière de production de nutriments ...	59
I.4. Potentialités de la STEP en matière de satisfaction des besoins nets d'irrigation des agrumes et des oliviers	60
I.5. Potentialités des eaux épurées de la STEP en matière de satisfaction des besoins en nutriments pour les agrumes et l'olivier	61
I.6. Modèle de gestion raisonnée des irrigations avec les eaux épurées des STEP.....	64

Chapitre II : Interprétation

Interprétation	70
Conclusion	74

Références bibliographiques

Annexe

*LISTE DES
ABREVIATIONS*

Liste des abréviations

- **ANRH** : Agence Nationale des Barrages et Transferts
- **CE** : Conductivité électrique
- **CT**: Coliformes totaux
- **CF**: Coliformes fécaux
- **C°** : degré Celsius
- **DBO₅** : Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours
- **DCO** : Demande Chimique en Oxygène
- **DPAT** : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
- **DSA** : Direction des Services Agricoles
- **Ds/m**: de-siémens par mètre
- **EH** : Equivalent Habitant
- **ETM** : Evapotranspiration maximale de la culture
- **ETP**: Evapotranspiration potentiel ou de référence
- **FAO** : Food Agriculture Organisation (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- **g/l**: gramme par litre
- **ha** : Hectare
- **JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne
- **kg/ha** :Kilogramme par hectare
- **Kc**: Coefficient cultural
- **Kr**: Le facteur de correction
- **MES** : Matières en Suspension
- **MMS** : matières minérales en suspension
- **MVS** : Matière volatile en suspension.
- **MFE** : Ministère Français de l'environnement
- **MO** : Matière Organique
- **mm/ha /an** : milligramme par hectare par ans
- **m/s**: mètre par second
- **mg/l** : milligramme par litre

- **m³/j**: mètre cube par jour
- **m³/ha** : mètre cube par hectare
- **Ms/cm**: milli-siémens par centimètre
- **NT**: L'azote total
- **SAU**: Superficie Agricole Utile
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **ONA** : Office Nationale de l'Assainissement
- **ONM** : Office National Météorologique
- **PH** : potentiel d'Hydrogène
- **PT**: Phosphore total
- **STEP** : Station d'épuration
- **SAU** : Surface Agricole Utile
- **%** : pourcent

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Figure.1: Situation géographique de la STEP (Google, Earth, 2015).....	28
Figure.2 : Vue aérienne de la STEP d'EL-ATTEUF	29
Figure.3 : Schéma explicatif de la STEP d'EL-ATTEUF (DHW, 2013).....	30
Figure.4 : Dégrilleur et Dessableur,Avril 2013.....	32
Figure.5: Répartiteur principaux vers les bassins primaires et secondaires, Avril 2013.....	32
Figure.6 : Lagunes primaires et secondaires, Avril 2013	33
Figure.7 : Lits de séchage, Avril 2013	34
Figure.8 : Rejet final vers oued M'Zab, Avril 2013.....	34
Figure.9 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (ANRH ,2005).....	35
Figure.10 : Diagramme Ombrothermique de Ghardaïa (moyenne sur une série de 15années)	57
Figure.11: L'ETM (Besoins net en eau) et besoins net en eau d'irrigation des agrumes estimés dans la région de Ghardaïa sur une moyenne de 15 année : a) mensuellement; b) annuellement	59
Figure.12 : L'ETM (Besoins net en eau) et besoins net en eau d'irrigation de l'olivier estimés dans la région de Ghardaïa sur une moyenne de 15 année : a) mensuellement ; b) annuellement	59
Figure.13: Charge totale en azote et en phosphore contenue dans les eaux usées épurées par la STEP de Ghardaïa et exprimé, a) en poids et b) en valeur commerciale	60
Figure.14 : Potentiel minimum de surfaces irriguées par les eaux épurées de la STEP pour une satisfaction totale des besoins en eau d'irrigation.....	60
Figure.15 : Modèle graphique de gestion optimale des irrigations et des besoins en nutriments assurée par un mélange d'eau épurées de la STEP de Ghardaïa et d'une eau complémentaire puisé localement; pour l'olivier	66
Figure.16 : Modèle graphique de gestion optimale des irrigations et des besoins en nutriments assurée par un mélange d'eau épurées de la STEP de Ghardaïa et d'une eau complémentaire puisé localement; pour l'agrumes	66

*LISTE DES
TABLEAUX*

Liste des tableaux

Tableau.1: Avantages et inconvénients des filières extensives aérées. (Thomazeau, 1981)	19
Tableau.2: liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	27
Tableau.3: Capacité de traitement de la station d'épuration de l'année 2012 et estimation pour l'horizon 2030	29
Tableau.4 : Données climatiques de la région de Ghardaïa (1998-2012) (ONM, 2013) ...	36
Tableau.5 : Valeur mensuelles de kc pour des oliviers adultes plantés au Sud de l'Espagne à la densité de 286 pieds/ha et couvrant 34% du sol (Pastor and Orgaz, cités par Fernandez and Moreno, 1999).....	46
Tableau.6 : Besoins en éléments fertilisant NPK sur l'olivier irrigué	47
Tableau.7 : besoins en eau des agrumes sur le périmètre irrigué de la Soummam.....	50
Tableau.9 : Paramètres physico-chimique mesurées sur les eaux brutes et épurées au niveau de la STEP de Ghardaïa (M.ZAHOUANI Bachir2013).....	54
Tableau.10 : Taux simulés de satisfaction des besoins en eau et en nutriments des agrumes par la STEP de Ghardaïa.....	63
Tableau.11: Taux simulés de satisfaction des besoins en eau et en nutriments des agrumes par la STEP de Ghardaïa	63
Tableau.12 : résultats des simulations pour une satisfaction totale des besoins d'olivier en eau et en azote assurés par les eaux de la STEP de Ghardaïa	67
Tableau.13: Trésultats des simulations pour une satisfaction totale des besoins des agrumes en eau et en azote assurés par les eaux de la STEP de Ghardaïa.....	67

INTRODUCTION

L'eau est la source de vie, et c'est le composant principal de tous les écosystèmes du monde. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un élément clé du développement, en particulier pour générer et entretenir la prospérité par le biais de l'agriculture, de la pêche, de la production d'énergie, de l'industrie, des transports et du tourisme. Cependant, l'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être considérée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée, car elle est le réceptacle universel de tout type de pollution ; une seule goutte d'une substance dangereuse peut polluer des milliers de litres d'eau. La pollution générée aujourd'hui pourrait persister pendant des générations dans l'eau souterraine utilisée comme eau potable. En effet, les nombreuses utilisations qui en sont faites, notamment dans le domaine agricole, industriel et par les particuliers, affectent les ressources en eau. Dans les faits, nous faisons face à une crise mondiale de l'eau.

Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie sur la planète. Tous les pays auront, à court ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction. En méditerranée, l'agriculture demeure le secteur le plus directement menacé par cette problématique. La variabilité interannuelle du climat et le tarissement de la ressource en eau non renouvelable, ou très peu renouvelable, contribuent fortement à l'instabilité des rendements dans cette région, tout particulièrement sur la rive sud où l'agriculture pluviale prédomine encore. Dans ces régions où la ressource en eau est naturellement limitante alors que les consommations anthropiques croissent, le recourt à l'utilisation des eaux usées épurées, souvent chargées en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, représenterait une source d'eau et d'engrais additionnelle renouvelable et fiable pour l'agriculture d'une part et d'autre part, permettrait d'atténuer la pression sur les ressources conventionnelles plus adaptées à l'alimentation en eau potable des populations.

L'Algérie, comme la plupart des pays hydro-sensibles, ne peut se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées épurées et rejetées dans la nature ou à la mer. Cette réutilisation, longtemps délaissée, et devenue aujourd'hui un axe important de la nouvelle politique de l'eau en Algérie. Avec la remise en état des anciennes STEP et la construction de nouvelles stations, plusieurs projets d'irrigations à partir des eaux usées traitées sont en cours d'études ou déjà réalisés. L'ambition de l'Algérie est de porter le nombre actuel de 150 STEP, avec une capacité d'épuration de 550 Millions m³, à près de 216

STEP en 2020, répartis sur l'ensemble du territoire national, pour une capacité de production de l'ordre de 1200 millions m³ (Nakib, 2015).

Si la réussite d'un tel pari, pour un pays comme l'Algérie, ne relève pas de l'impossible eu égard aux potentialités financières disponibles, sa gestion efficiente en vue d'améliorer la productivité agricole sans courir le moindre risque au milieu de production constitue par contre autant de défis à relever, auprès de agriculteurs en particulier, les premiers concernés par cette politique. C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux.

Face à ces problèmes, la recherche scientifique est plus que jamais sollicitée par les producteurs et les pouvoirs publics pour trouver des solutions concrètes, efficaces, réalistes et applicables aisément. C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail dont le principal objectif est d'enrichir les méthodes et les techniques visant à utiliser à bon escient les eaux usées épurées en agriculture et de mettre à la disposition des gestionnaire des STEP mais aussi des irrigants un outil d'aide à la décision pour une gestion raisonnée est optimisées des flux liquides produits par les STEP et utiliser en irrigation, dans une optique de développement durable.

Ce document de travail se présente en trois parties :

- Dans une première partie, un rappel sur les eaux usées et les procédés de leur épuration est alors présenté, tout en mettant l'accent sur le procédé d'épuration par lagunage naturel, ainsi qu'un aperçu sur la réutilisation des eaux usées en irrigation.
- Le matériel utilisé est les méthodes suivies pour réaliser ce travail sont alors présentés dans la seconde partie de ce document. La présentation de la STEP de Ghardaïa, les caractéristiques du matériel végétal utilisé et des méthodes de calculs des besoins en eaux des cultures représentent les principaux constituant cette partie.

- La troisième partie, quant à elle, est spécifiquement consacrée aux résultats obtenus et leurs interprétations. Après une caractérisation agroclimatique de la région et le calcul des besoins en eau des agrumes et de l'olivier, nous avons mis en avant les potentialités de production de satisfaction en eau et en nutriments de ces deux cultures par la STEP de Ghardaïa avant de finir par la présentation d'un outils graphique de gestion des flux liquides produit par la STEP en question et utilisés en irrigation.

ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Chapitre I : Généralités sur les Eaux Usées Résiduaires

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (Selghi, 2001).

Toutes fois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, quantitativement et qualitativement.

I.1. Définition des Eaux Usées

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (Dugniolle, 1980 ; Glanic et Benneton, 1989).

I.2. Origine des Eaux Usées

Les eaux usées appelées aussi eaux résiduaires qui arrivent à la station d'épuration sont un mélange de plusieurs types d'eaux (Resjek, 2002).

I.2.1. Eaux Usées Domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau , elles se composent d'une part des rejets provenant des salles de bain et des cuisines chargés en détergents , graisses , solvants et débris organiques et d'autre part des eaux issues des toilettes et chargées de matières organiques azotées et de germes fécaux. On les appelle respectivement eaux grises et eaux brunes ou de vannes (Lagardette, 2004).

I.2.2. Eaux Usées Industrielles

Les eaux résiduaires industrielles ou professionnelles sont les déchets liquides obtenus lors de l'extraction et de la transformation de matières premières en produits industriels, ainsi que lors de l'utilisation de ces produits pour la fabrication d'articles de consommation (Meinck,1977) elles sont extrêmement variées selon le genre d'industrie dont elles proviennent , elles contiennent les substances les plus diverses pouvant êtres acides ou

alcalines corrosives ou entartrant , à température élevée , souvent odorantes et colorées (Gomelia,1978).

I.2.3. Eaux Agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates , sous une forme ionique ou en quantité telle , qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

I.2.4. Eaux Pluviales

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues ou sont accumulées les polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique.

I.3. Composition des Eaux Usées

La pollution des eaux usées se manifeste sous formes minérale, organique et microbiologiques (Gaid, 1984).

I.3.1 Pollution Minérale

Elle est constituée essentiellement des métaux lourds en provenance des industries métallurgiques, de traitement de minerais. On peut citer quelques-uns comme le plomb, le cuivre, le fer, le zinc, le mercure.

Il y'a aussi le cas de certains sels à forte concentration. Ces éléments sont non biodégradables et de ce fait un traitement tertiaire devient plus que nécessaire.

I.3.2 Pollution Organique

La pollution organique des eaux urbaines se compose principalement de protides, de glucides et de lipides ainsi que des détergents utilisés par les ménages. Il est à noter l'existence d'autres substances organiques utilisées ou fabriquées industriellement, c'est le cas des phénols, des aldéhydes, des composés azotés.

I.3.3 Pollution Microbiologique

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation.

I.4. Critères de la Pollution Organiques

Selon (Liu et al, 1997), la pollution organique est la plus répandue. Elle est engendrée par le déversement des eaux usées domestiques ou des eaux résiduaires provenant des industries textiles, papeteries, industries de bois, de raffineries, d'abattoirs et d'agroalimentaires.

Cette pollution peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'auto épuration n'est pas atteinte. Au-delà de cette limite, la respiration de divers organismes aquatiques peut être compromise au profit de la dégradation de cette matière organique.

I.4.1. Définition de l'Equivalent Habitant

Pour quantifier globalement les matières polluantes contenues dans les eaux usées domestiques, on utilise comme unité de mesure l'équivalent-habitant (EH) (Lagardette, 2004).

L'équivalent habitant (EH) correspond à la quantité de pollution rejetée par un habitant quotidiennement (Gaid, 1993).

Conclusion

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution. Parmi ces sources, la pollution générée par la grande consommation d'eau qui produit des quantités considérables d'eaux usées souvent rejetés dans le milieu récepteur.

Suite a ce problème, de nombreuse stations d'épurations on été créés en Algérie, afin de réduire la pollution de ces eaux, et trouver un moyen pour réutiliser les eaux épurées produites par ces stations

CHAPITRE II

Chapitre II : Procédé d'épuration des eaux usées résiduaires

II.1. Principe de l'épuration

L'épuration des eaux consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station il en résulte d'une part une eau épurée destinée à la réutilisation dans différents domaines ou rejetée dans un milieu naturel, et d'autre part, il reste des sous produits désignés sous terme des boues résiduaires (Amir, 2005).

II.2. Procédés d'épuration

Les eaux usées sont acheminées vers la station d'épuration ou elles subissent plusieurs phases de traitement. L'objectif est de diminuer suffisamment la quantité de substance polluante qu'elles contiennent pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel ne le dégrade pas. Le nettoyage des eaux usées obéit à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitement sont définis (Lagardette, 2004).

II.2.1. Prétraitement

Les dispositifs de prétraitement physique sont présents dans toutes les stations d'épuration, quelque soient les procédés mis en œuvre en aval. Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particuliers les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements qui sont (Le dégrillage, Le dessablage, déshuilage et dégraissage) (Ladjel, 2006).

II.2.1.1. Dégrillage

Premier poste de traitement qui consiste à faire passer les eaux usées à travers des barreaux métalliques d'une grille retiennent les déchets volumineux (papier, feuilles, matières plastique, objets divers...) cela permet de:

- Protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de ces gros objets susceptible de provoquer des bouchages dans des tuyauteries ;
- Séparer et évacuer les matières volumineuses charriées par l'eau brute qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements d'eau et de boues ou au moins compliquer leur exécution, et leur exploitation.

L'opération est plus ou moins efficace, en fonction de l'écartement des barreaux des grilles (Laurent, 1994).

II.2.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitement suivants. L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé « déssableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage (Degremont, 1978).

II.2.1.3. Déshuilage-Dégraissage

L'objectif du déshuilage et dégraissage est de retenir les graisses et les huiles qui en principe flottent car leurs densités sont inférieures à celles de l'eau. En effet ces deux opérations sont réalisées ensemble bien que correspondant à deux phénomènes physique différente. Le déshuilage correspond à une opération de séparation liquide-liquide, le dégraissage correspond à une opération de séparation solide-liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour permettre le figeage des graisses (Laurent, 1994).

On utilise souvent une aération sous forme de bulles d'air qui augmentent la vitesse de montée des particules grasses dont la récupération s'effectue dans une zone de tranquillisation. Ce traitement est utilisé en vue d'éviter la perturbation de l'aération à cause de fine couche qui se forme en surface et qui réduit les échanges gazeux eau-atmosphère. On enlève ainsi de l'eau que 80 à 90% des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40% des graisses totales).

II.2.2. Traitement Primaire (Physico-Chimique)

Le traitement « primaire » permet d'éliminer 70% environ des matières minérales et organiques en suspensions et constitue une pré-épuration non négligeable.

Nous avons :

II.2.2.1. Décantation (Processus Physique)

Le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation.

II.2.2.2. Flottation (Processus Physique)

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide – liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient.

II.2.2.3. Décantation associée à l'utilisation d'un Coagulant-Floculant (voie physico-chimique)

Le principe est de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floccs plus gros (Boulkroune, 2008).

II.2.3. Traitement Secondaire (Biologique)

Le traitement secondaire recouvre les techniques d'élimination des matières polluantes soluble : carbone, azote, et phosphore. Ils constituent un premier niveau de traitement biologique.

Ces techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Qui peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobie c'est-à-dire nécessitant un apport en oxygène.

Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques suivant :

- les procédés à boues activées ;
- Extensifs (le lagunage, l'épandage) ;
- Les procédés biologiques intensifs (lits bactériens, disques biologiques) ;
- Les bioréacteurs à membranes (Boutin, 2009).

II.2.4. Traitement par Boues Activées

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.

II.2.5. Traitement Tertiaire

En général les techniques d'épuration, même les plus sévères performantes, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappent à la décantation. En outre même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants.

La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact longs. Mais il convient de signaler suite à cette opération que des toxiques pour la vie aquatique peuvent être formés, il faut donc procéder à une opération de décoloration avant le rejet (Ladjel, 2006).

A coté de la désinfection par le chlore, d'autres procédés existent également mais qui restent pratiquement inutilisable dans les domaines de l'épuration des eaux usées. Ceci peut conduire à une eau de qualité. On peut citer par exemple l'échange ionique et l'adsorption sur du charbon actif.

Le cout excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce cout ne représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements mais aussi celui d'un personnel hautement qualifié (Degremont, 1989).

II.2.6. Valorisation agricole des eaux traitées

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation à pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver d'autre sources d'eau pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau.

D'autre part, l'impact surtout sanitaire de cette réutilisation passe via les mécanismes de formation des eaux usées (domestique, industrielle...) ce qui nous permet de savoir la composition biologique, chimique, et physique de cette eau.

L'étude des formes de réutilisation nous permettent de détecter les différentes formes de danger (microbiologique, chimique,...etc.) menaçant la santé humaine. Il est donc indispensable de respecter les normes de rejet (O.M.S.1989), et adopter pour des procédés de traitement plus poussées et efficaces, avant leur réutilisation.

Conclusion

Les conséquences de la pollution des eaux sont multiples, que ce soit directement sur l'homme ou indirectement sur le milieu récepteur.

Pour la réduction de ces conséquences une épuration des eaux résiduaires avant leur rejet dans le milieu récepteur est nécessaire car elle répond à deux préoccupations essentielles : préserver les ressources naturelles en eau ainsi que les objectifs de qualité de l'environnement.

CHAPITRE III

Chapitre III : Epuration Biologique par Lagunage

Le lagunage est une technique extensive de traitement des eaux usées, qui est simple écologique, fiable et peu onéreuse du fait de son fonctionnement non mécanisé, avec des résultats hautement satisfaisants en matière de décantation. Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels ou étangs, formé de digues, imperméabilisés, dans lesquels les eaux usées sont déversées et passent successivement et naturellement d'un bassin à l'autre, par gravitation, pendant un long temps de séjour. Différents assemblages de ces bassins sont possibles en fonction de divers paramètres, tels que les conditions locales, les exigences sur la qualité de l'effluent final et le débit à traiter.

Il existe plusieurs techniques d'épurations par lagunage qu'on va citer et définir dans ce chapitre, mais on se basera sur deux techniques d'épuration qui sont :

- Lagunage naturel ;
- Le lagunage aéré.

III.1. Lagunage Naturel :

Le lagunage est une technique biologique d'épuration des eaux usées, où le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies impliquant un large éventail de microorganismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les microorganismes qui y participent sont fondamentalement les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières. Le lagunage consiste en une succession de bassins (minimum 2) peu profonds et généralement rectangulaires. L'eau s'écoule gravitairement de lagune en lagune. Dans un système de lagunage, la surface et la profondeur des bassins influencent le type de traitement (aérobie ou anaérobie) et confèrent un rôle particulier à chaque bassin. L'action naturelle du soleil, qui fournit chaleur et lumière, favorise une croissance rapide des microorganismes aérobies et anaérobies qui consomment la DBO. Le processus épuratoire qui s'établit dans une lagune est particulièrement intéressant car c'est un phénomène vivant, un cycle naturel qui se déroule continuellement (Pearson, 2005).

On rencontre trois types de bassins :

- Les bassins anaérobies ;
- Les bassins facultatifs ;
- Les bassins de maturation.

Le but premier des bassins anaérobies et facultatifs est d'éliminer la DBO; quant aux bassins de maturation, leur but est d'éliminer les pathogènes. Les bassins anaérobies sont très utilisés pour recevoir des eaux usées très chargées en matières organiques et contenant de grandes quantités de solides en suspension.(MARA D.D. and PEARSON. (1987)).

III.2. Lagunage Aéré

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Dans l'étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des microorganismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation, cela conduit à prévoir des temps de séjour plus longs, plus favorables à une bonne adaptation du système aux variations de qualité de l'effluent à traiter.

Ce procédé a un bon comportement vis-à-vis des effluents dilués ou si les débits ne sont pas bien équilibrés. Le lagunage aéré est reconnu comme un procédé d'épuration efficace, notamment au niveau des charges oxydables (90%) (AERM, 2007).

Il existe deux formes de lagunage aéré :

1- Le Lagunage Aéré strictement Aérobie :

Il faut une aération suffisante pour maintenir le bassin en aérobie et l'ensemble des particules en suspension. La profondeur peut être de 2,4 à 2,8m, dans laquelle l'oxygène et les matières en suspension sont uniformément réparties dans le bassin (Tchimogo, 2001).

2- Le Lagunage Aéré Aérobie/Anaérobie Facultatif :

L'oxygène n'est maintenu que dans la partie supérieure et la plus grande partie des matières inerte en suspension et des matières biologiques non oxydées décantent au fond du bassin, ou elles subissent une décomposition anaérobie. Le bassin peut être modifié pour comporter un compartiment séparé de décantation capable de fournir un effluent clarifié (Bekkouche et Zidane, 2004).

III.3. Microorganismes associés à l'Epuration

Les bassins de lagunage sont colonisés naturellement par une grande variété d'organismes vivants, pour la plupart invisibles à l'œil nu (Bondon et Pietrasanta, 1994). Ces multiples espèces peuvent varier en fonction des effluents traités, des conditions climatiques, de la charge organique, de la profondeur d'eau. Les principaux groupes sont les bactéries, les algues et le zooplancton.

III.3.1. Bactéries

Ce sont des micro-organismes qui peuvent dégrader et assimiler une grande partie de la matière organique contenue dans les eaux usées. Ces bactéries rejettent dans le milieu des produits de dégradation qui sont les matières minérales solubles et les gaz dissous. On constate une régulation naturelle du taux bactérien en fonction de la matière organique présente dans le milieu et des autres conditions de développement (température, ensoleillement, pH, oxygène dissous...).

Quel que soit le processus biologique considéré, on trouve :

- **Les Bactéries Aérobie**s: qui transforment en présence d'oxygène dissous, la charge organique dissoute en matières minérales (nutriments) et gaz.
- **Les Bactéries Anaérobies**: réalisent la transformation de la matière organique au niveau des sédiments (LIBES, Y, 2010).

III.3.2. Algues (Phytoplanctons)

Ce sont des plantes microscopiques qui, en présence de lumière, grâce à leur activité photosynthétique due à la chlorophylle contenue dans leurs tissus, utilisent les substances minérales et le gaz carbonique rejetés par les bactéries, pour édifier leur matière et évacuer de l'oxygène. Il s'agit des :

- Algues bleues (cyanophycées) proches des bactéries ;
- Algues vertes (chlorophycées) ;
- Algues brunes (chrysophycées) ;
- Eugléniens. (BONDO, D. et PIETRASANTA, Y.1994).

III.3.3. Zooplancton

Le rôle du zooplancton est d'assurer la finition de l'épuration des eaux (prédation, filtration...). On trouve :

- **Les Protozoaires**, qui sont des prédateurs des bactéries. Ils constituent le seul zooplancton hivernal réellement abondant dans les derniers bassins de lagunage. A la belle saison on les observe même dans le bassin primaire.
- **Les Cladocères**, Leur rôle est intéressant car elles favorisent l'abatement du taux des matières en suspension. Elles permettent ainsi un éclaircissement du milieu et la pénétration de la lumière. Par contre elles provoquent une diminution du taux d'oxygène dissous à cause de leur respiration et de l'élimination des micro-algues (STEP OUARGLA, 2012).

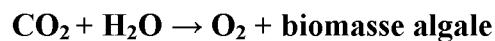
III.4. Principaux Mécanismes d'Epuration dans la Colonne d'Eau

Dans tous les cas, l'effluent apporte des nutriments sous forme de sels dissous. Les matières décantables se déposent au fond du bassin pour former les sédiments. Les matières polluantes solubles vont être transformées par l'action des micro-organismes. La colonne d'eau est alors le lieu d'activité aérobie et anaérobie.

Du point de vue chimique, en zone aérobie la matière organique sera décomposée par dégradation biologique ou respiration bactérienne. Une association se crée, les bactéries aérobies consomment les matières organiques solubles en utilisant l'oxygène produit par les algues et fournissent du CO₂ et de la biomasse bactérienne :



Le CO₂ est utilisé par les algues pour réaliser la photosynthèse.



En zone anaérobie l'éclairage est pratiquement nul et la concentration en oxygène tend vers zéro. La dégradation de la matière organique aboutit à un dégagement de CO₂ et de CH₄ qui vont alimenter en substrat carboné la zone aérobie. L'élimination de l'azote se fait généralement selon un processus biologique en deux étapes importantes.

- La Nitrification :

La nitrification est un processus se déroulant sous l'action de certains microorganismes spécifiques et qui conduit à la transformation de l'ammoniac (ou de l'ammonium) en nitrate en 2 étapes :

- Nitrosation : sous l'action de bactéries nitreuses aérobies (Nitrosomonas).
- Nitrification : par les bactéries nitrifiantes aérobies (Nitrobacter).

La nitrification est une des étapes du traitement d'une eau usée qui vise la transformation de l'ammonium (NH_4) en nitrate (NO_3). Cette transformation est réalisée par des bactéries, en milieu aérobie.

- La Dénitrification :

Est un processus anaérobie par lequel les nitrates sont réduits en azote et en oxydes d'azote. Les micro-organismes utilisent les nitrates comme source d'oxydante à la place de l'oxygène et en présence d'une source d'un carbone organique qui doit être apportée dans le milieu (TCHIMOGO, 2001).

III.5. Facteurs influençant le pouvoir épuratoire

L'efficacité des bassins de lagunage dépend de plusieurs facteurs qui sont d'ordre climatique, chimique, physique.

III.5.1. Facteurs Climatiques

- Radiations Solaires

Les rayons solaires ultraviolets possèdent des propriétés germicides importantes qui les font souvent considérer comme des bons agents naturels de désinfection (IDDER, 1998). L'importance exacte que ces radiations jouent effectivement dans l'élimination des germes dans les bassins de lagunage est cependant difficile à évaluer (IDDER, 1998).

- La Température

La température est un facteur très important, elle agit directement sur la vitesse des réactions biologiques. L'activité biologique du milieu est d'autant plus importante que la température augmente (BOUKHETALA et IDDOU, 2010).

- Le Vent

Le vent cause des turbulences qui assurent un brassage de la masse d'eau et favorise l'oxygénation des eaux des bassins.

- L'Evaporation

Elle augmente la charge à la surface et diminue la qualité des effluents à traiter (BARIKA et SENOUSSE, 2005).

III.5.2. Facteurs Physiques :

- La Forme, la Profondeur et le Volume des Bassins

La forme des bassins doit être hydrodynamique pour faciliter la circulation des effluents et éviter aussi les zones mortes. La profondeur agit directement sur la pénétration de la lumière qui favorise la photosynthèse.

Le volume des bassins permet avec les débits de fixer un temps de séjour optimum dépendant de la charge admise et de la dépollution souhaitée (LABADI et MOUKAR, 2010).

- Le Temps de Séjour

Le temps de séjour désigne le temps nécessaire que doivent séjourner les eaux usées dans chaque bassin pour permettre leur épuration. Il varie en fonction des conditions climatiques et donc indirectement affecte les rendements attendus.

Les fortes évapotranspirations rencontrées pendant les saisons chaudes peuvent augmenter considérablement le temps de séjour et, par voie de conséquence, le rendement. Le gel d'une tranche d'eau supérieure en hiver, au contraire, réduit le temps de séjour (BAUDOT et PERERA, 1991).

III.5.3. Facteurs Chimiques

- Le pH

Le pH est un facteur très important qui conditionne le pouvoir épuratoire. Un milieu très alcalin ou très acide ne peut être toléré puis qu'il existe une limite de tolérance imposée par les micro-organismes (DEKKICH, 2007).

- La Charge Organique

La charge organique a son poids dans le pouvoir épuratoire. Il faut la choisir de façon à répondre aux exigences des micro-organismes sans dépasser le seuil de surcharge ou un manqué de charge (TCHIMOGO, 2001).

- La Composition en Sels Minéraux

Cette composition doit être suffisante pour assurer aux végétaux une croissance normale, tout excédent peut provoquer des inhibitions (BEKKOUCHE et ZIDANE, 2004).

III.6. Avantages et inconvénients de Lagunage Naturel et du Lagunage Aéré

Les avantages et les inconvénients du lagunage naturel et aéré sont nombreux, le tableau suivant présente l'ensemble de ces avantages et inconvénients.

Tableau .1: Avantages et inconvénients des filières extensifs aéré. (Thomazeau, 1981).

		Filière	
		Lagunage Naturel	Lagunage Aéré
Avantages		<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique – dilution) ; - Faible coût d'exploitation ; - Bonne intégration dans l'environnement ; - Bonne élimination des pathogènes ; - Boues peu fermentescibles ; - Bonne élimination de l'azote (70%) et du phosphore (60%). 	<ul style="list-style-type: none"> - Tolérant à la variation de charges hydrauliques et organiques importantes ; - Tolérant aux effluents très concentrés ; - Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) ; - Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables ; - Bonne intégration paysagère ; - Boues stabilisées.
Inconvénients		<ul style="list-style-type: none"> - Contrainte de nature du sol et d'étanchéité ; - Variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée ; - Difficultés d'extraction des boues ; - Pas de réglage possible en exploitation ; - Sensibilité aux effluents septiques et concentrés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ; - Présence de matériel électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ; - Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ; - Forte consommation énergétique.

III.7. Comparaison entre le lagunage naturel et le lagunage aéré

III.7.1. Temps de séjour

Le temps de séjour dans le lagunage naturel est très élevé (peut aller jusqu'à 50 jours) par rapport au lagunage aéré (quelques jours).

III.7. Comparaison entre le Lagunage Naturel et le Lagunage Aéré

- Temps de Séjour

Le temps de séjour dans le lagunage naturel est très élevé (peut aller jusqu'à 50 jours) par rapport au lagunage aéré (quelques jours).

- Superficie

La superficie nécessaire dans le lagunage naturel est très importante par rapport au lagunage aéré.

- Consommation d'Energie :

Il n'y a pas de consommation d'énergie pour le lagunage naturel, par contre dans les lagunages aérés une consommation d'énergie pour l'aération est obligatoire.

Conclusion

En résumé le lagunage naturel et aéré sont des techniques extensifs de traitement des eaux usées, qui sont simples écologiques, fiables et peu onéreux du fait de leurs fonctionnement non mécanisés, avec des résultats hautement satisfaisants en matière de décantation.

Le lagunage naturel et aéré apparaît donc comme une technique performante dans le traitement des eaux usées sous le climat saharien, comme celui de la région de Ghardaïa.

CHAPITRE IV

Chapitre IV : La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation

Les précipitations atmosphériques inégales (dans l'espace et dans le temps) dans la plus part des pays méditerranéens, la croissance démographique, la contamination des ressources en eau, le développement rapide du secteur touristique et les sécheresses périodiques ont contraint les divers services et agences de l'eau à rechercher de nouvelles sources d'eau plus fiable. Le recours aux eaux épurées pour diverses utilisations d'eau non potable s'est avérée être la plus fiable des ressources d'eau et à été adoptée comme telle par la société méditerranéenne.

Dans les régions arides et semi-arides, la réutilisation des eaux usées est un élément essentiel du développement, car elle assure une ressource alternative durable en eau, la réduction de la pollution de l'environnement et la protection de la santé publique.

La réutilisation de l'eau est un domaine en pleine expansion, principalement associé à l'agriculture. Dans les pays où les réserves actuelles d'eau douce sont ou seront prochainement à la limite du niveau de survie, le recyclage des eaux usées est la seule alternative significative peu coûteuse permettant des réutilisations agricoles, industrielles et urbaines ne nécessitant pas une eau de qualité potable.

IV.1. Définition de la Réutilisation des Eaux Usées

Selon (Valiron *et al*, 1983), « la réutilisation est 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 peut être réalisée d'une 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.

IV.2. Objectifs de la réutilisation

La réutilisation et la récupération de l'eau usée a pour objectif de fournir des quantités supplémentaires d'eau dont la qualité convient à un usage déterminé , sans avoir à utiliser une eau épurer par un passage dans son cycle naturel.

La réutilisation est justifiée dans les pays qui présentent les situations suivantes :

- Déficit pluviométrique : on parle de déficit lorsque la pluviométrie annuelle est en dessous de l'évapotranspiration potentielle annuelle ;
- Rareté des ressources hydriques : les réserves en eau superficielles ou souterraines sont faibles et ne répondent pas aux besoins de l'agriculture ;
- Protection de l'environnement (ressources et cours d'eau, les nappes, le littoral...) ;
- Coût d'exploitation élevé des eaux naturelles ;
- Économie de l'eau naturelle.

IV.3. Modes de réutilisation des Eaux Usées

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisations. Il existe des milliers de projets de réutilisation des eaux usées (BOXIO *et al*, 2008). On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc,
- réutilisation industrielle : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc. ;
- réutilisation en zone urbaine: lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc...
- la production d'eau potable ;
- la recharge de la nappe phréatique (DEGREMONT, 2005).

IV.3.1. Réutilisation Agricole

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

Cette usage consiste à :

- Irrigation de grandes cultures céréalières, fourragères ;
- Certaines productions maraîchères (pomme de terre, tomate) ;
- La production du bois, et irrigation de certaines zones vierges pour le reboisement ;
- La production florale et ornementale.

La réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen et le Sud des Etats Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du

Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (LAZAROVA, 1998).

IV.3.2. Risques liés à la réutilisation agricole :

D'après (CAUCHI, 1996), les populations humaines exposées à une pathologie, associée de manière certaine à une utilisation agricole d'effluents bruts ou traités sont de quatre ordres:

- 1- les consommateurs de légumes crus : le risque est statistiquement plus élevé pour les helminthes (par rapport à la population générale), par contre il ne l'est pas pour le risque bactériologique ;
- 2- les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite : la contamination par le ver solitaire (*Tænia*) est possible car les bovins sont des hôtes intermédiaires de cet helminthe;
- 3- les travailleurs agricoles : le risque est plus élevé pour les helminthes. En laboratoire, il a été mis en évidence que l'exposition aux entérovirus est plus élevée, même si sur le terrain il n'y a pas eu d'augmentation de cas cliniques. Des études listées par (DEVAUX, 1999) montrent que les travailleurs agricoles sont légèrement plus exposés que la population normale ou que les personnels de station d'épuration et les égoutiers. Les nouveaux travailleurs sont plus sensibles que les anciens : il semble y avoir une adaptation immunitaire aux bactéries et aux virus;
- 4- les populations avoisinantes, surtout dans le cas d'irrigation par aspersion qui forme des aérosols. Le risque est légèrement plus élevé pour les helminthes et *Shigella* (CAUCHI 1996).

IV.4. Choix du système d'irrigation

Le choix du système d'irrigation dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes, du risque potentiel sur l'environnement, sur la santé des agriculteurs et du public.

Si une eau usée traitée répond aux directives de l'OMS, toutes les méthodes d'irrigation sont appropriées du point de vue du contrôle de la transmission de maladies, à condition que les critères agricoles soient également satisfaits. Si l'eau usée traitée ne répond pas aux critères de santé alors :

- L'irrigation par aspersion est seulement limitée aux fourrages et production de graines ;
- L'irrigation par aspersion de pelouse ou de domaine à accès illimité, peut être pratiquée pendant la nuit ;
- L'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en condition venteuses.

Les microbes pathogènes peuvent être emportés par le brouillard ou l'aérosol formé par la dérive du vent, ce qui peut engendrer un risque sanitaire pour les ouvriers, les habitants de la ferme et des zones résidentielles voisines.

L'utilisation d'eau usées traitées implique des préoccupations supplémentaires telles que les éléments toxiques, la résistance et la méfiance sociale, les aspects culturels ainsi que les précautions sanitaires et environnementales. Il est toutefois possible de réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées traitées par la sélection de méthodes d'irrigation appropriées.

- Irrigation à la Planche

Les irrigations à la planche, par bassin et par submersion impliquent le recouvrement complet de la surface du sol avec l'effluent traité et donc la contamination des cultures qui poussent sur le sol ou dans le sol. Avec ces méthodes, les fermiers ou les agriculteurs sont en contact avec l'effluent. Ces méthodes d'irrigation se seront acceptées que pour la production de fourrage, céréales ou arbres fruitiers à condition que les eaux soient au moins de classe B et que les ouvriers évitent le contact direct avec l'eau pendant l'irrigation.

- Irrigation à la Raie

L'irrigation à la raie ne mouille pas l'entièreté de la surface du sol. Cette méthode peut réduire la contamination des cultures puisque les plantes poussent sur les buttes. Mais une

protection sanitaire complète ne peut pas être garantie. Le risque de contamination est réduit si l'effluent est transporté par des conduites fermées.

Outre les risques sanitaires, l'irrigation de surface comporte un danger de pollution du sol et des nappes phréatiques supérieur à celui des autres systèmes d'irrigation à cause des pertes par colature et par percolation.

- Irrigation par Aspersion

L'irrigation par aspersion peut être utilisée pour épandre des eaux usées qui ont subi un traitement secondaire pour autant que l'effluent ne soit pas trop salin. Des précautions supplémentaires telles que la filtration et le choix d'ajutage de diamètre adéquat sont nécessaires. L'irrigation par aspersion, implique moins de risques de colmatage que l'irrigation localisée mais, en revanche, elle introduit un risque lié à la contamination des cultures par contact avec l'eau et du voisinage par aéroaspersion. Les cultures industrielles et les cultures consommées cuites peuvent être irriguées avec ce procédé.

- Irrigation Localisée

L'irrigation localisée est la technique la mieux adaptée à l'apport d'eaux usées parce qu'elle engendre le moins de risques sanitaires. Ces systèmes requièrent une filtration efficace et demandent un entretien constant à cause de leur sensibilité au colmatage.

Pour assurer un bon fonctionnement et une gestion efficace d'un système d'irrigation qui utilise les eaux usées, il faut veiller à l'entretien du matériel en raison des caractéristiques propres à ce type d'eau. Il faut intégrer dans le système certains composants tels que : filtres à tamis, filtres à sable, vanne de purge...il est important d'effectuer régulièrement un contrôle et une vérification de la performance des composants, ainsi que du fonctionnement de tout le système. Des rapports réguliers sur le fonctionnement et l'entretien du réseau sont nécessaires pour parer au plus vite à une défaillance.

IV.5. Avantages et inconvénients de la réutilisation :

Les avantages :

Dans les pays arides et semi-arides, la pratique de la réutilisation des eaux usées traitées devrait se développer davantage, les avantages liés à cette pratique sont les suivants :

- Prévention de la pollution des eaux de surface qui se produirait si les eaux usées étaient rejetées dans les cours d'eau ou les lacs ;
 - Conservation des ressources en eaux douces et leur utilisation rationnelle, ce qui est d'une grande importance dans des régions arides et semi-arides comme la Méditerranée ;
 - Accroissement de la fertilité du sol, puisque les effluents sont riches en éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium notamment) et permettent ainsi de réduire l'application d'engrais artificiels ;
 - Amélioration des caractéristiques physiques du sol grâce à l'apport de matières organiques.
- En outre, l'accumulation dans le sol peut prévenir l'érosion de celui-ci.

Les Inconvénients :

Les Inconvénients principalement liés à a 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 les plantes ce qui peut entraîner une chute de la production végétale et même une stérilité des sols par accumulation de sel ;
- L'apport en quantité importante des doses 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'est-à-dire 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 de faibles rentabilités économiques ;
- Les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions.

IV.6. Cultures irrigables

Vue les risques des eaux usées directe ou indirectes sur la santé humaine la législation algérienne a établi une liste de cultures pouvant être irriguées par les eaux usées sans aucune limite :

Tableau 2: liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées
(Journal officiel, 2012)

Groupes des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers	Dattiers, Vigne, Pomme, Pêche, Poire, Abricot, Nêfle, Cerise, Prune, Nectarine, Grenade, Figue, Rhubarbe, Arachide, Noix, Olive
Agrumes	Pamplemousse, Citron, Orange, Mandarine, Tangerine, Lime, Clémentine
Cultures fourragères	Bersim, Mais, Sorgho fourragères, Vesce et Luzerne
Cultures industrielles	Tomate industrielle, Haricot à rames, Petit pois à rames, Betterave, Coton, Tabac, Lin
Cultures céréalières	Blé, Orge, Triticale et Avoine
Cultures de production de semences	Pomme de terre, Haricot et Petit pois
Arbustes fourragers	Acacia et Atriplex
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, Iris, Jasmin, Marjolaine et Romarin

Conclusion

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion, principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté de l'eau. De nombreuses solutions techniques permettent de répondre aux normes de réutilisation existantes, en particulier aux directives de l'OMS sur l'irrigation restreinte et sans restrictions.

Les eaux usées sont très concentrées en polluants, leurs réutilisations brutes présentes des risques sanitaires potentiels élevés. Actuellement, il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants et d'atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable.

MATERIEL
&
METHODES

CHAPITRE I

Chapitre I. Présentation de la Station de Ghardaïa

Les eaux usées ménagères industrielles et agricole sont acheminé jusqu'à la station d'épuration qui se situe le plus souvent à l'extrémité d'un réseau de collecte l'eau est alors traitée avant d'être rejetée dans le milieu naturel.

L'objectif de la station d'épuration n'est pas de rendre l'eau potable mais acceptable par la nature. Les eaux sales provenant des égouts sont tous d'abord filtrées pour éliminer les débris. En les laissant ensuite reposer, on peut facilement récupérer les graisses qui flottent et les particules solides qui coulent. Il ne reste qu'à introduire des bactéries dans les bassins. Elles vont se nourrir des derniers déchets avant de couler. L'eau, enfin propre, peut retourner à la nature. Le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration par lagunage naturel est l'une des techniques les plus appropriées de traitement des eaux usées pour notre pays. On a choisi, pour évaluer l'efficacité de cette technique, de baser le présent chapitre sur l'étude de la station d'épuration par lagunage naturel de la ville de Ghardaïa.

I.1. Présentation de la station

I.1.1. Situation Géographique

La station d'épuration de Kef Doukhane est située dans la commune d'EL ATTEUF qui constitue l'aval de la vallée du M'Zab. D'une superficie d'environ 79ha, la STEP est située à 600Km au sud de la capitale Alger et à 12Km à l'est du chef-lieu de la commune de Ghardaïa.



Figure.1: Situation géographique de la STEP (Google, Earth, 2015)

I.1.2. Caractéristiques et Dimensionnement de la STEP

La station a été mise en service en novembre 2012 et traite les eaux usées par le procédé de lagunage naturel avec prétraitement, traitement primaire et traitement secondaire pour la filière eau, et déshydratation dans les lits séchages pour la filière boues. Le milieu récepteur des eaux usées épurées est l'oued M'Zab; pour les eaux usées de la zone industrielle, elles ne sont pas traitées par la STEP.



Figure 2 : Vue aérienne de la STEP d'EL-ATTEUF (DHW, 2013).

La capacité de traitement de la station d'épuration de l'année 2012 ainsi qu'une estimation pour l'horizon 2030 est représentée dans le tableau 3.

Tableau 3: Capacité de traitement de la station d'épuration de l'année 2012 et estimation pour l'horizon 2030

Années	2012	2030
Capacité d'eau usée traité (m ³ /j)	25000	46400
Nombre d'équivalent habitant (eq/hab)	168323	331700

❖ Le dimensionnement de la STEP de Ghardaïa est le suivant :

- Capacité : 331700 eq/hab.
- Surface totale : 79 ha.

- Nombre de lit de séchage : 10 lits
 - Nombre de bassins : 16 bassins devisés en 02 niveaux.
 - Débit moyen journalier à capacité nominale : 46 400m³/j
- ❖ La filière de traitement comprend :
- 1) Collecteur principal d'amenée :
 - Composé de deux conduites de 1000 mm de diamètre
 - 2) Prétraitement constitué de :
 - Dessableur principal.
 - Dégrilleur/Déssableur localisé à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire.
 - 3) Traitement primaire constitué de :
 - 8 Lagunes primaires anaérobies alimentées en parallèle
 - Ouvrage de sortie avec cloison siphonide permettant de retenir les matières flottantes
 - 4) Traitement secondaire constitué de :
 - 8 Lagunes secondaires alimentées en parallèle,
 - Ouvrages de sorties avec cloison siphonide permettant de retenir les matières flottantes
 - 5) Déshydratation des boues constitué de :
 - 10 lits de séchage construits du côté Montage des lagunes secondaires
 - avec réseau de drainage permettant de retourner le lixiviat en tête du traitement secondaire

La figure suivante représente un schéma explicatif de différents étages de la STEP de Ghardaïa.

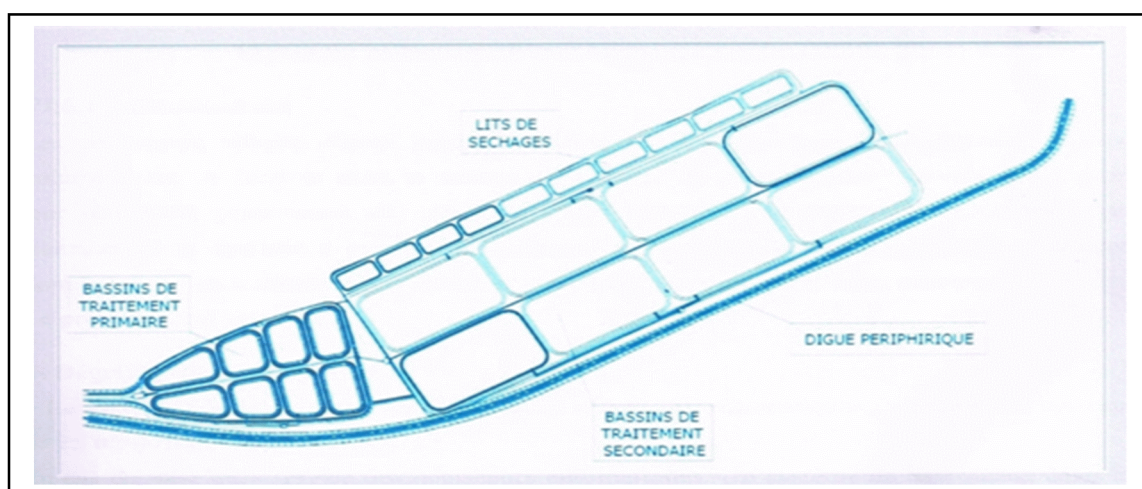


Figure.3 : Schéma explicatif de la STEP d'EL-ATTEUF (DHW, 2013)

I.2. Différentes étapes de traitement des eaux usées

Les eaux usées sont acheminées gravitairement (pente : 0,2%) depuis la fin du collecteur projeté au niveau de la digue d'EL ATTEUF jusqu'à l'entrée de la station grâce à deux collecteur en parallèle de diamètre 1000mm. Les étapes par les quelles passent les eaux usées dans la station sont les suivantes :

I.2.1. Prétraitement

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses. A l'arrivée les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement des traitements préalables de dégrossissage, appelés « prétraitement » et destinés à extraire des effluents la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

Le prétraitement comporte :

I.2.1.1. Dégrillage/Dessablage

Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25mm) disposés en parallèle.

En cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques. Un système de batardeaux caléau-dessus de la cote plan d'eau maximal équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40mm) disposé en parallèle permet de by passer complètement l'ensemble de l'eau prétraité.

Au niveau de la jonction avec le collecteur principal des eaux usées de l'ensemble des collecteurs des différents bassins de collecte sont prévus des dispositifs de dessablage : de ce fait , les particules non retenues à ce niveau et qui se retrouvent directement dans les lagunes sont en quantité négligeable et sont évacuées lors des opérations de curage,

La station actuellement n'est pas équipée d'un système de déshuilage. Le dessableur et le dégrilleur sont localisés à l'intérieure du répartiteur principal du traitement primaire (figure 4).

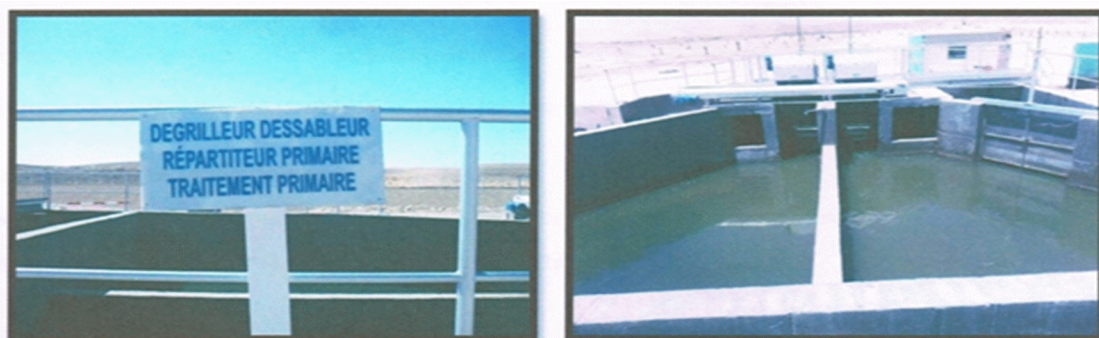


Figure.4 : Dégrilleur et Dessableur, (DHW, 2013)

I.2.1.2.Ouvrage de répartition

Répartiteurs Principaux

La répartition des débits vers les huit lagunes primaires secondaires s'opère au niveau du répartiteur principal.

Déposé en tête de chacun des deux niveaux d'épuration, cet ouvrage se compose des éléments suivants, d'amont en aval :

A l'aval immédiat des canaux de dégrillage (pour le répartiteur primaire), une cloison siphonide participe à la tranquillisation des flux. L'élargissement de la section de l'ouvrage permet de ralentir le cheminement des eaux usées avant leur passage sur un seuil frontal décomposé en huit seuils de largeur 1m, les eaux usées se déversent dans deux chambres d'où partent les deux conduites de diamètre 1000mm de liaison avec les répartiteurs secondaires.



Figure 5 : Répartiteur principaux vers les bassins primaires et secondaires, (DHW, 2013)

Répartiteurs Secondaires

Ils sont destinés à répartir les eaux usées vers les lagunes d'un même étage de traitement (primaire ou secondaire), implantées sur une même plage.

I.2.2. Traitement Primaire :

Le traitement primaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux usées au sein des lagunes primaires dites « anaérobies », constituées de 8 bassins d'une superficie de l'ordre de 0.62ha et d'une profondeur d'eau de 3.6m : la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géomembrane bitumineuse.

Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.

I.2.3. Traitement Secondaire :

Le circuit hydraulique du traitement secondaire est similaire à celui du traitement primaire avec les éléments suivant :

- Deux conduites de diamètre 1000mm, qui collectent les eaux ayant subi le traitement primaire, arrive sur répartiteur principale du traitement secondaire.
- Les eaux sont ensuite réparties vers les huit lagunes secondaires.

Le traitement secondaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux au sein des lagunes secondaires constituées de huit bassins d'une superficie de l'ordre de 3.8 ha et d'une profondeur d'eau de 1.6m : la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géomembrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5 m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.



Figure.6 : lagunes primaires et secondaires, (DHW, 2013)

I.2.4. Traitement des Boues :

Le système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes primaires et secondaires à l'air libre sur 10 lits de séchage.



Figure.7 : lits de séchage, (DHW, 2013).

I.2.5. Evacuation des eaux traitées :

Après le traitement dans les bassins secondaires, et à travers les ouvrages de sortie des lagunes, les eaux traitées sont évacuées gravitairement vers le rejet final par deux collecteurs du diamètre de 1000mm. Les eaux épurées de la STEP seront destinées à irriguer un périmètre situé sur la rive gauche de l'oued M'Zab limitrophe de l'ancien périmètre des jeunes de KEF EL DOUKHANE.



Figure.8 : rejet final vers oued M'Zab, (DHW, 2013).

I.3. Présentation de la vallée de Mzab :

Actuellement ces eaux épurées sont rejetées directement à l'oued M'Zab (figure14).

I.3.1. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa :

La wilaya de Ghardaïa se situe dans la zone septentrionale du Sahara Algérien. Elle se situe à 600km au sud d'Alger. Elle est limitée (figure3) :

- Au Nord par les wilayas de Laghouat et Djelfa
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla
- A l'Ouest par les wilayas d'Adrar et d'El-Bayad

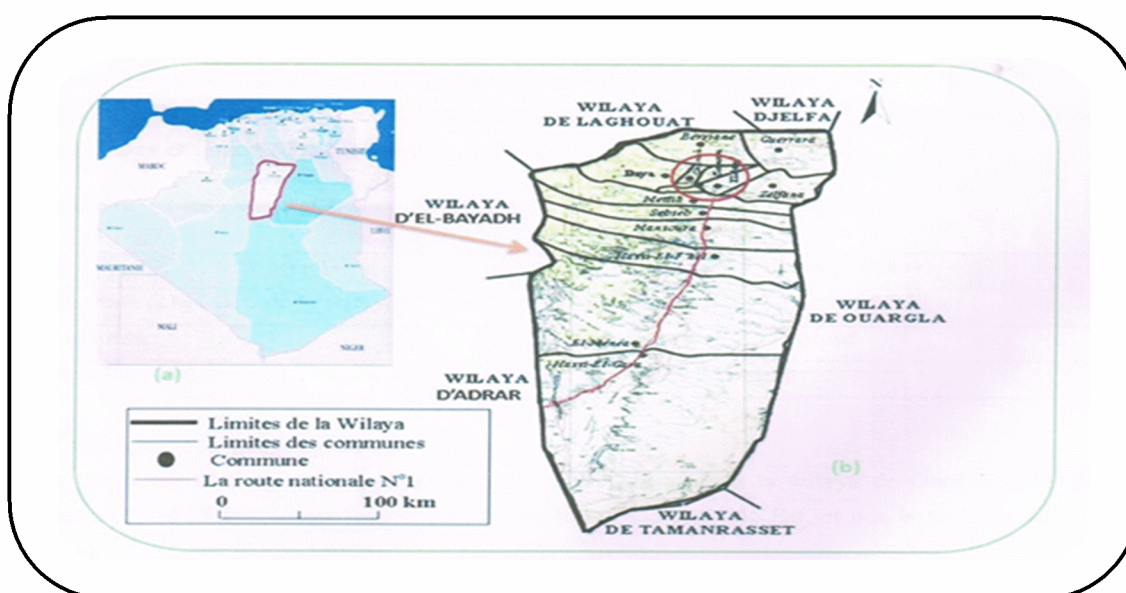


Figure.9 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (ANRH ,2005).

I.3.2. Description générale la vallée du M'ZAB

La vallée du M'Zab à laquelle se rattache notre étude, est la plus importante des zones habitées de la wilaya, elle est située dans l'enceinte du bassin versant. Elle se situe à 600Km au Sud d'Alger, dans la wilaya de Ghardaïa, sur le plateau Hamada au Sahara septentrional. 181 263 habitants résident dans la vallée du M'Zab, dont 114 003 à Ghardaïa en 2012. La densité de population est de 372 habitants/km² pour la ville de Ghardaïa.

I.3.3. Aspect climatique

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement saharien, se caractérise par deux saisons :

Une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver. On enregistre une moyenne annuelle de 20°C, avec une évapotranspiration de 60 mm/an (ANRH ,2010)

Tableau.4 : Données climatiques de la région de Ghardaïa (1998-2012) (ONM, 2013)

Mois \ Paramètres	T max (°C)	T min (°C)	T moy (°C)	P (mm)	Insolation (heures par mois)	Vent (m/s)	Evap. (mm)	H(%)
Janvier	21	2,6	11,9	11,9	250	5,04	98,3	55,5
Février	24	3,8	13,9	1,7	252	4,5	123,5	45,4
Mars	30	5,2	18,2	12,9	252	6,1	183,4	39,8
Avril	34	10,4	22,4	8,5	301	6,5	246,9	34,5
Mai	37	14,3	26,9	1,6	341	6,4	297,4	30,1
Juin	42	19,1	32,2	3,3	351	6,2	366	26,2
Juillet	44	24,4	35,3	2,9	357	4,7	408	22
Août	43	23,4	33,6	6,5	345	3,1	370,6	25,3
Septembre	40	17,7	30,1	22,4	265	3,4	269,2	36,1
Octobre	33	13,1	24	9,9	292	4,7	176,8	45,3
Novembre	27	6,9	16,9	5,2	265	3,1	122	49,2
Décembre	22	3,7	12,8	6,1	259	3,5	142,6	54,9
Année (cum*/moy)	33	12	23,2	93*	294,2	4,7	2804,7*	38,7

➤ La Température

Suite à une analyse d'une série d'observations statistiques enregistrées au niveau de la wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observation de 15 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée, est de 23.2°C ; avec 43.7°C pour le mois le plus chaud (juillet) et 2.6°C pour le moi le plus froid (janvier) (tableau 4).

➤ Les Précipitations

Les zones arides en général et Ghardaïa en particulier, sont caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières. Septembre (22.4 mm) mois le plus pluvieux, Mai (1.6mm) mois le moins pluvieux, le cumul annuel est de 93 mm (tableau 4).

➤ L'Insolation

Dans la région de Ghardaïa, la durée maximale d'insolation est de 357 heures enregistrée pour le mois de juillet et un minimum de 250 heures au mois de Janvier. La moyenne annuelle est de 294.2 heures (tableau 4).

➤ Les Vents

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides avec une vitesse de 6.5 m/s(tableau 4).

Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaïa, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de Mai à septembre (DPAT, 2012).

➤ L'Evapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Le cumul est de l'ordre de 2804.7 mm/an avec un maximum mensuel de 408 mm au mois de juillet et un minimum de 98.3 mm au mois de janvier (tableau 4).

➤ L'Humidité

L'air à Ghardaïa est très sec. L'humidité moyenne annuelle est de 38.7%. Le taux d'humidité varie d'une saison à une autre. Le maximum d'humidité étant de 55.5% pour le mois de janvier, le minimum est de 22% pour le mois de juillet à cause des fortes évaporations et des vents chauds durant ce mois (tableau 4).

I.3.4.AspectAgronomique

Dans la wilaya de Ghardaïa, le secteur agricole est limité, il est à vocation phoenicicole. Sur les 8 466 012 hectares couverts par la superficie de la wilaya 1 370 911 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile (SAU) est évaluée à 32 745 hectares. En raison de faible précipitation la SAU exploitée se limite aux seules superficies bénéficiant d'une ressource hydrique (forages, puits), le reste est constitué de pacages et

parcours avec 1337 994 hectares et de terres improductives des exploitations agricoles avec 172 hectares.

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Oasien de l'ancienne palmeraie,
- La mise en valeur.

Le patrimoine phoénicicole de la wilaya compte 1224 810 palmiers dont 1 014 295 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 50 000 tonnes dont 21 000 tonnes de type DegletNour .Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives d développement (DSA, 2012)

Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait un aperçu sur la station d'épuration de la ville de Ghardaïa, cette station est conçue pour produire une eau de qualité conforme aux normes de rejet fixées par l'OMS, le procédé adopté est le traitement par lagunage naturel qui consiste à laisser l'eau se reposer dans des bassins ouverts peu profonds de 1 à 5 m de profondeur pendant une durée variant de 30 à 60 jours. Il aboutit d'une part à l'abattement de la charge polluante et d'autre part à la stabilisation des boues produites, sous l'action des organismes se développant dans le milieu. Ce procédé de traitement par lagunage naturel dans la station d'épuration de la ville de Ghardaïa est écologique dans la mesure où il n'utilise aucun produit chimique pour traiter les eaux usées et les évacuer sans risque dans le milieu naturel récepteur.

CHAPITRE II

Chapitre II. Paramètres de Mesures

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser, il existe une grande variété de paramètre indicateur de pollution de l'eau qui sont généralement traduits par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur.

II.1. Paramètres Physiques

II.1.1. Température

La température des eaux est fortement influencée par les conditions environnementales liées à la position géographique de la localité, à la géologie des terrains traversés, à l'hydrologie et surtout au climat. Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, et dans la détermination du pH (Rodier *et al*, 2005).

La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau (Mekhalif, 2009).

II.1.2. Turbidité

Une eau turbide est une eau trouble. Cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau. Au cours de ce parcours, l'eau se charge de quantités énormes de particules qui troublent l'eau. Les matières mêlées à l'eau sont de nature très diverses : matières d'origine minérale (argile, limon, sable ...), microparticules, micro-organismes.

La turbidité joue un rôle important dans le traitement de l'eau, En effet :

- Elle indique une probabilité plus grande de présence d'éléments pathogènes ;
- La matière organique associée à la turbidité favorise la formation de biofilms dans le réseau (OMS 2012). La turbidité des effluents résiduaires et des eaux polluées est en général très élevée (Rodier *et coll* 2009).

II.1.3. Matières En Suspensions (MES)

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\ll \text{MES} = 30\% \text{MMS} + 70\% \text{MVS} \gg$$

- Les Matières Volatiles en Suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau ;

- Les Matières Minérales(MMS)

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc.

L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène (Duguet *et al*, 2006).

II.1.4. Conductivité Electrique (CE)

La mesure de la conductivité permet d'évaluer approximativement la minéralisation globale de l'eau. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et les résultats obtenus sont exprimés en micro siemens par centimètre.

II.1.5. Couleur

Elle peut être due à certaines impuretés minérales, mais également à certaines matières organiques. La couleur peut gêner, dans certains cas, sur le plan analytique (Rodier, 1996).

II.1.6. Odeur

Les eaux usées chargées en matières organiques particulaires et dissoutes, en composés azotés et phosphorés, peuvent dégager des odeurs désagréables, les principaux composés odorants rencontrés dans les stations d'épuration font partie essentiellement des familles des produits soufrés et azotés, ainsi que des composés organiques tels les acides gras volatils (Gaid, 1993).

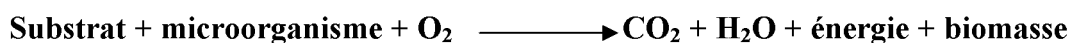
II.2. Paramètres Chimiques

II.2.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en anhydride de carbone liée à la minéralisation totale. Le pH des eaux usées urbaines seules est généralement près de la neutralité, entre 7 et 7.5 environ. Un pH différent est l'indice d'une pollution industrielle. L'épuration biologique est possible entre pH 6.5 et pH 8.5.

II.2.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène exprimé en mg/l et consommée dans les conditions de l'essai d'incubation à 20°C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usées. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jour ; c'est la DBO₅. Elle se résume à la réaction chimique suivante :



II.2.3. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières organiques biodégradables ou non biodégradables ainsi que toutes les matières oxydables existantes dans l'eau dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure de la DCO correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quel que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrates, ammonium, sulfures et chlorures) (Rodier *et al*, 2005).

II.2.4. Biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimé par un coefficient K, tel que, $K=DCO/DBO_5$:

- Si $K < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable ;
- Si $1,5 < K < 2,5$: Cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradable ;
- Si $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'élément inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures... etc.

La valeur de coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, si non on applique un traitement physico-chimique.

II.2.5. Nutriments

- L'Azote

L'azote rencontré dans les eaux usées peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes :L'azote organique, l'azote ammoniacal NH_4^+ , l'azote nitreux NO_2^- et l'azote nitrique NO_3^- .

Dans les eaux usées, l'azote se trouve principalement sous formes ammoniacale. Les concentrations des formes oxydées de l'azote sont faibles(Salghi, 2004).

- Le Phosphore

Le phosphore se trouve dans l'eau usée sous deux formes :

- Des sels minéraux (Ortho phosphates) et de composés organiques.
- Les poly phosphates peuvent être toxique pour l'homme et sont considérés responsables des accidents cardiaques et vasculaires (Benhacine *et al*, 1983).

II.3. Paramètres Biologiques

Les micro-organismes pathogènes présents dans les eaux usées sont à l'origine du traitement biologique, ils sont constitués :

- Des germes pathogènes (mycobactéries, colibacilles etc...)
- Des parasites (Kyste d'amibes, des œufs de vers etc...)
- Des champignons (Bechacet *al*, 1984).

Conclusion

Les paramètres de pollution sont généralement traduits par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. L'appréciation de la qualité des eaux brutes et épurées se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

CHAPITRE III

Chapitre III. Matériel Végétal

III.1. Culture de l'Olivier

L'olivier est un arbre de la famille des oléacées qui se distingue des autres arbres fruitiers par son feuillage qui reste persistant tout au long de l'année, par sa grande longévité (capacité naturelle de régénération par des rejets racinaires), par sa grande rusticité qui lui permet de se développer et de fructifier en condition d'eau et de sols très limités.

III.1.1. Caractéristiques de l'Olivier

III.1.1.1. Morphologie de l'Olivier

On distingue deux systèmes morphologiques de l'olivier :

1. Système Aérien

Composé de plusieurs parties dont certaines demeurent persistantes tout au long de développement de l'arbre, celui-ci comprend :

- Un tronc plus ou moins haut (de 50 centimètres à un mètre chez les arbres taillés pour faciliter la récolte) qui est le principal support de l'arbre porte la frondaison il est lisse et de couleur gris verdâtre lorsque l'arbre est jeune mais devient gris noir, souvent noueux et crevassé avec une base plus large en vieillissant.
- Branches principales, au nombre de 3 à 8 : celles-ci donnent sa forme à l'arbre ;
- Branches secondaires ;
- Rameaux porteurs qui assurent la fructification de l'année en cours ;
- Drageons ou rejets ou éclats qui se développent à partir du collet et qui peuvent donner un nouvel arbre (Dr Monique ARTAUD Avril 2008).

2. Système Radiculaire

Le système radiculaire est un chevelu très dense, il a ainsi un ancrage solide dans le sol qui lui permet de résister aux vents, à la sécheresse, à l'érosion par exemple. Parfois il présente de gros renflements qui sont des réserves lui permettant de faire face aux variations climatiques.

Le système radiculaire se développe et absorbe de l'eau et des nutriments en métabolisant les substances nutritives que la frondaison met à sa disposition. Pour assumer au mieux ces fonctions, le système radiculaire a besoin d'un grand volume de terrain à explorer, contenant de l'oxygène, de l'eau et des éléments nutritifs assimilables. Son développement dans les sols

reste étroitement lié aux caractéristiques physico-chimiques du sol, au climat et au mode de conduite de l'arbre, Les racines pouvant aller au-delà de un mètre de profondeur pour chercher un supplément d'eau. (Conseil oléicole international, 2007).

III.1.1.2. Exigences Ecologiques de l'Olivier

Le Climat

L'olivier se cultive sous climat chaud et subtropical, les régions très chaudes ou très froides ne lui sont pas favorables. Il préfère le climat méditerranéen, à l'hiver doux et pluvieux et a été sec et chaud. L'extension de sa culture est limitée par le froid car il ne résiste guère aux températures inférieures à 0°C. Les jeunes arbres ne supportent pas les températures prolongées de l'ordre de 2 à 3°C, par contre l'olivier est apte à bien supporter les températures élevées de l'été de plus de 40°C, si son alimentation hydrique est élevée. (LOUSSERT et BROUSSE, 1978)

La Pluviométrie

Les précipitations doivent être supérieures à 400 mm ; jusqu'à 600 mm, les conditions sont suffisantes ; elles sont acceptables jusqu'à 800 mm et bonnes jusqu'à 1 000 mm. Une humidité excessive et permanente favorise le développement de certains ravageurs tels les maladies cryptogamiques comme le cycloconium et la fumagine. La neige par son poids, provoque la cassure des charpentes. Selon MAILLARD (1975), les gelées arrêtent la formation de l'huile. (LOUSSERT et BROUSSE, 1978).

L'Altitude

Il est conseillé de ne pas dépasser les 800m en exposition sud pour la culture de l'olivier et 600m au Nord. Des altitudes de 900m à 1000m peuvent exposer l'arbre aux risques de gel ou de neige (LOUSSERT et BROUSSE, 1978)

Le Vent

Les vents amplifiés par l'effet de Sirocco (vent chaud et desséchant) peuvent détruire toute la récolte, notamment à la floraison, stade où l'arbre est vulnérable aux brusques fluctuations atmosphériques, et dans d'autre cas le vent joue un rôle dans le transport du pollen (LOUSSERT et BROUSSE, 1978).

Le besoins en eau de l'olivier (ETM)

Comme pour la plus part des cultures pluriannuelles le besoins en en eau de l'olivier demeure faible durant la saison d'hivers, coïncidant avec la période de repos végétatif, et maximum durant la période estivale, coïncidant avec la période de pleine croissance végétative. Pour une culture adulte couvrant 34% de la surface du sol, ce besoin représente tout au long de l'année entre 50% et 60% de l'évapotranspiration d'un couvert moyen, soit l'ETP d'une région donnée, comme le montre le tableau ci-dessous donnant les kc nécessaire à l'évaluation des besoins en eau ETM de l'olivier ($ETM = ETP * kc$).

Tableau.5 : Valeur mensuelles de kc pour des oliviers adultes plantés au Sud de l'Espagne à la densité de 286 pieds/ha et couvrant 34% du sol (Pastor and Orgaz, cités par Fernandez and Moreno, 1999)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Kc	0.50	0.50	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.45	0.55	0.60	0.65	0.50

Les Sols

Le sol doit être adapté en termes de texture, de structure et de composition sur une profondeur d'au moins un mètre. Les concrétions calcaires, ferrugineuses ou basaltiques formées dans le sol pourraient constituer un obstacle au développement du système racinaire. En ce qui concerne la texture, les sols les plus aptes pour l'olivier sont ceux caractérisés par un équilibre entre sable, limon et argile. Les sols majoritairement sableux ont une faible capacité de rétention de l'eau et des minéraux mais permettent une bonne aération du terrain et constituent un avantage pour l'olivier lorsque l'eau est disponible, à condition qu'une fertilisation pertinente soit assurée pour satisfaire les exigences nutritionnelles en éléments minéraux. (LOUSSERT et BROUSSE, 1978).

III.1.1.3. Exigences en fertilisation de l'Olivier

L'olivier demeure un arbre moins exigeant en éléments fertilisant, comparé aux autres arbres fruitiers comme les agrumes. Ce besoin reste cependant plus élevé sur un olivier en pleine production et conduit en irrigué, comparé à un olivier conduit en sec. Le tableau ci-dessous donne les besoins en NPK de l'olivier irrigué, en fonction de son âge (de son développement):

Tableau.6: Besoins en éléments fertilisant NPK sur l'olivier irrigué.

Olivier en irrigue				
Eléments fertilisant	Phases	Quantité de fertilisants U/ha	Fractionnement	Stade végétatif
N	Installation du verger	40	10U : Février	Avant débourrement
			20U : Avril	Avant Floraison
			10U : Juin	
	Préparation à l'entrée en production	40 + 25 pour 10qtx de production	10U : Février	Avant débourrement
			20U : Avril	Avant Floraison
			10U : Juin	
	Plein production	110-150	50 à 70 U : Février	Avant débourrement
			30 à 40 U : Avril	Avant Floraison
			30 à 40 U : juin	
P₂O₅	Installation du verger	300	300 U : Juin-Aout	Labour
	Préparation à l'entrée en production	/	/	/
	Pleine production	60-80	60-80U : Septembre-Octobre	Grossissement et maturation des fruits
K₂O	Installation du verger	300	300 U : Juin-Aout	Labour
	Préparation à l'entrée en production	/	/	/
	Pleine production	100-120	100-120 U : Septembre-Octobre	Grossissement et maturation des fruits

III.2. Culture d'agrumes

Définition

Selon LOUSERT(1989), Le terme « Agrumes », d'origine italienne, est un mot masculin, pluriel, qui désigne les fruits comestibles et par extension les arbres, appartient exclusivement au genre citrus. Les principaux agrumes cultivés pour la production de fruit sont : Les Orangers, les Clémentiniers et les Mandariniers, les Citronniers et Pomélos.

III.2.1. Caractéristiques des Agrumes :

III.2.1.1. Morphologie des Agrumes :

On distingue deux systèmes morphologiques des agrumes :

1. Système Aérien

- Les Feuilles et les Rameaux

Les agrumes se ramifient facilement et naturellement, les rameaux sont assez couverts d'épines, leur frondaison est généralement dense et leurs feuilles sont persistantes, à l'exception des poncirus.

- Les Fleurs

Elles sont généralement de couleur blanche, 4 à 5 pétales imbriqués, souvent recourbés vers l'arrière, et souvent très odorantes.

Selon les espèces, la floraison en grappe ou en fleur isolée est très abondante. L'époque de floraison varie selon les espèces et le climat, de mars à juillet.

- Le Fruit

Leur fruit, constitué de quartiers remplis de petites vésicules très juteuses. Selon les espèces le fruit mûrit de novembre à mars.

2. Système Radiculaire :

Les agrumes ont un système racinaire superficiel, de couleur blanchâtre ou brunâtre, se localise dans les premiers mètres de profondeur mais qui peut s'étendre jusqu'à 6m latéralement, ce qui explique la forte sensibilité des agrumes à la sécheresse, à l'exception du genre poncirus qui a un système pivotant et profond.

On distingue deux types de racines :

- **Racines Principales (Pivot) :** au nombre de deux à trois, ancrent solidement l'arbre au sol en se développant jusqu'à 1 à 2m de profondeur, ainsi les agrumes peuvent supporter des productions en fruits qui atteignent les 100kg/arbre et les vents violents.

- **Racines Secondaires** : se divisent en fines racines qui constituent le chevelu racinaire, a y ont pour rôle l'absorption des minéraux et l'eau du sol. Le chevelu racinaire se localise en général dans les premières 50cm du sol, ou il trouve les conditions optimales a son fonctionnement : aération satisfaisante de la terre, humidité convenable et sans excès, sol riches en éléments nutritifs apportés.

III.2.1.2. Exigences écologiques des Agrumes

La Température

Les basses températures hivernales et printanières sont souvent un facteur limitatif à l'extension de la culture. En fait, toute baisse des températures en dessous de 0°C cause des dégâts : en hiver sur les fruits en cour de maturation, et au printemps sur les fleurs et les jeunes pousses.

Les températures élevées peuvent également provoquer de sérieux problèmes sur les arbres et leurs productions. Au moment de la floraison les températures élevées accompagnées de vent desséchant rendre les fleurs littéralement grillées et la fécondation se trouve compromise.

Les températures moyennes favorables à la culture des citrus sont de l'ordre :

- 10°C à 12°C pour les moyennes hivernales.
- 22°C à 24°C pour les moyennes estivales

La Pluviométrie

Après les températures basses, l'eau est le facteur limitant le plus important. En effet, la culture des agrumes s'est développée hors de la zone chaude et humide qui constitue l'habitat naturel des agrumes ; on les cultive dans toutes les régions ou l'hiver n'est pas très froid le plus souvent malgré une faible pluviométrie. En général, les besoins totaux varient entre 900-1200mm/ha /an (ANONYME ,1980).

L'Humidité de l'air (Hygrométrie)

L'humidité de l'air joue un rôle important pour deux raison :

- C'est un facteur de régulateur de la température dont elle atténue les variations.
- Limite l'évapotranspiration

L'humidité peut modifier sensiblement le comportement physiologique des agrumes, ainsi, une atmosphère humide permet d'obtenir les fruits plus juteux, de forme plus régulière et de peau plus fines, qui sont plus appréciés du consommateur, les fruits situés à la périphérie de l'arbre, sont moins beaux que ceux qui se développent à l'intérieure de la frondaison ou

l'hygrométrie est plus grande, cependant un excès d'humidité nuit à la valeur commerciale du fruit, en particulier à sa saveur.

Les besoins en eau des Agrumes (ETM)

Pour Notre cas d'étude, il s'agit d'une culture pérenne qui évapotranspire tout au long de l'année. Les agrumes puisent leur besoins en eau du sol qui joue le rôle de réservoir, mais lorsque les températures commencent à s'élever et la saison devient sèche les besoins en eau demeurent accrus et l'apport supplémentaire d'eau s'impose.

Les apports d'eau nécessaires à la bonne fructification des arbres dépendent de plusieurs facteurs dont notamment :

- L'âge de la plante
- Les conditions climatiques
- Le stade de croissance
- Le type de sol
- Le mode d'irrigation envisagé et son efficacité

Soit l'ETP d'une région donnée, comme le montre le tableau ci-dessous donnant les kc nécessaire à l'évaluation des besoins en eau ETM des agrumes ($ETM = ETP * kc$)

Tableau.7 : besoins en eau des agrumes sur le périmètre irrigué de la Soummam.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Kc	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80

III.2.2.2. Exigences en fertilisation des Agrumes

Les agrumes sont parmi les espèces les plus exigeantes 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 important de (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 a besoin d'un apport plus important de 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)

Tableau.8 : Les besoins des agrumes en éléments fertilisants.

Agrumes				
Elément Fertilisant	Phases	Quantité de Fertilisant U/ha	Fractionnement	Stade végétatif
N	Installation du verger	30 /année de plantation	15 U : juin	Après plantation
			07,5 U : juillet	Après débourrement
			07,5 U : aout	Développement des pousses
			70 U : février-mars	avant la floraison
	en production (5ème année de plantation)	150	40 U : mai -juin	à la nouaison
			40 U : aout-septembre	Pousse d'automne
			120 - 150 U : février- mars	Avant la floraison
Pleine production	250-300	70 -80 U : mai - juin	A la nouaison	
P ₂ O ₅	Installation du verger	450-500	70 -80 U : aout-septembre	Pousse d'automne
			450-500 U : juin-aout	Labour
	Pleine production	100-120	100-120 U : septembre	Labour
K ₂ O	Installation du verger	600-700	600-700 U : juin-aout	Labour
	Pleine production	100-160	100-160 U : septembre	Labour

CHAPITRE IV

Chapitre IV. Besoin en eau et d'irrigation des cultures

IV.1. Besoin en Eau des Cultures

Perrier en 1984, définit les besoins en eau comme étant « le volume d'eau requis pour l'évapotranspiration, depuis la date de semis jusqu'à la date de récolte, pour une culture donnée dans un régime climatique spécifique, quand l'humidité du sol est suffisamment maintenue par les précipitations ou l'irrigation, de telle sorte que cela ne limite pas la croissance des plantes ou le rendement des cultures ».

Pour notre cas d'étude, il s'agit d'une culture pérenne qui évapotranspire tout au long de l'année. Les besoins en eau des agrumes correspondent alors au volume d'eau requis pour l'évapotranspiration maximale de cette culture sur l'ensemble de la période de l'année. Ce besoin est alors estimé mensuellement pour la région d'étude selon l'équation suivante :

$$ETM = ETP * Kc * Kr$$

Avec :

- ETM : Evapotranspiration Maximale en mm;
- ETP : Evapotranspiration Potentielle en mm;
- Kc : Coefficient Cultural (sans unité);
- Kr : Le Facteur de Correction à 78%.

IV.2. Besoin en Eau d'Irrigation

Le besoin en eau d'irrigation est défini comme étant le volume d'eau requis par les cultures et non assuré par les précipitations, la surexploitation de l'eau du sol, ou par l'écoulement de l'eau vers la zone des racines à partir d'une zone saturée. (Perrier, 1984).

Introduire une irrigation dans une zone donnée passe impérativement par l'établissement d'un bilan hydrique entre les disponibilités en eau pour la culture en question (l'offre en eau du climat et du milieu) et ses pertes par évapotranspiration (la demande du climat).

IV.2.1. Besoin Net en Eau d'Irrigation

C'est la quantité qui doit être effectivement consommée par la plante :

$$B_{netIRRIGATION} = ETM_{CULTURE} - P_{EFFICACE}$$

Avec : $P_{EFFICACE}$: La précipitation efficace est donc la proposition d'eau tombée sous forme de pluies contribuant à la satisfaction des besoins en eau de la culture. Elle dépend de la

quantité de pluie tombée, de sa durée, de la topographie du site (pente par exemple), du taux d'infiltration de l'eau dans le sol, de la capacité de rétention de l'eau dans la zone des racines, etc.

IV.2.2. Besoin Brut en Eau d'Irrigation

C'est le volume d'eau qui doit être délivré par le réseau ou prélevé sur la ressource en eau pour assurer les besoin net d'irrigation d'une part, et compenser des pertes d'eau dues au transport de celle-ci dans le réseau (depuis la source jusqu'à la parcelle) et à sa distribution à la parcelle, d'autre part. Il s'agit d'une majoration des besoins nets en fonction de l'efficience (du rendement) du réseau (des pertes dues au réseau), donné par la relation suivante :

$$\mathbf{Bbrut_{IRRIGATION} = Bnet_{IRRIGATION} / Efficience\ du\ r\acute{e}seau}$$

RESULTS
&
INTERPRETATIONS

CHAPITRE I

Chapitre I : Résultats

Nous présentons dans ce chapitre les principaux résultats obtenus durant ce travail. Ces résultats portent en premier lieu sur la caractérisation des eaux brutes et traitées de la STEP de Ghardaïa. Nous aborderons dans une seconde partie les potentialités agroclimatiques de périmètre de l'oued Mzab et les besoins en eau des agrumes et de l'olivier, avant de présenter les potentialités de la STEP de Ghardaïa en matière d'irrigation et de fertilisation (Azote total et Phosphore) pour ces deux cultures en question.

I.1. Caractérisation des eaux usées traitées de la STEP de Ghardaïa

La station d'épuration de la ville de Ghardaïa, dont le traitement se fait par lagunage naturel, a fait l'objet d'une campagne de mesure durant l'année 2013 par M.ZAHOUANI Bachiren vue de caractériser ces eaux brutes et traitées. Le tableau 9 résume les résultats de mesure de ces différents paramètres physico-chimiques concernés par cette campagne de mesure ainsi que les normes OMS pour les rejets des eaux traitées dans les milieux réceptifs.

Tableau.9 : Paramètres physico-chimique mesurées sur les eaux brutes et épurées au niveau de la STEP de Ghardaïa (M.ZAHOUANI Bachir 2013)

Paramètres	Effluent brut	Effluent traité (moyenne)	Norme de qualité d'eau d'irrigation
T (°C)	22,71	22,79	*30
pH	7,7	8,27	*6,5 à 8,5
CE (ms/cm)	4,14	3,83	<2,7 irrig
Salinité (g/l)	2,34	2,19	>2 irrig
O ₂ dissous (mg/l)	3,2	6,22	*<5
DBO ₅ (mg/l)	151	31	**<30 ; <10
DCO (mg/l)	373,3	204,7	*<90
NT (mg/l)	40,9	33,47	**<50
PT (mg/l)	4,3	3,8	*<0,94

*OMS **NA

Ces résultats montrent que les procédés de traitements appliqués dans la STEP de Ghardaïa ont été efficace pour l'azote total, à la limite de l'efficacité pour la température, le pH et l'O₂ dissous mais peu, voire très peu, efficace pour la DBO₅, la DCO et le phosphore

total. Un traitement supplémentaire serait donc nécessaire pour ramener les valeurs de ces différents paramètres aux normes des eaux épurées et rejetées dans le milieu réceptif. Solution qui n'est pas toujours possible, compte tenu des coûts élevés que nécessitent de tels traitements. La réutilisation de ces eaux en agriculture constituerait, dans ces conditions, la seule alternative à cette problématique, lorsque celle-ci s'apprête bien à l'irrigation ; ce qui n'est pas le cas de l'eau épurée de STEP de Ghardaïa dont l'utilisation doit être accompagnée de mesures et de précaution ayant pour objectif principal la préservation du système de production agricole et la pérennité de son fonctionnement dans une optique de développement durable.

En effet, si la présence de fort taux d'azote et de phosphore dans ces eaux épurées rend bénéfique l'utilisation des eaux épurées de cette STEP en agriculture, les fortes valeurs en CE et en sels total dissous lui confèrent, par contre, une qualité modérément saline, selon la classification de la FAO de 1985 (annexe, tableau 1), exigeant de fait de fortes restrictions pour son utilisation en irrigation. Ainsi, des sols ayant une bonne aptitude au drainage (naturelle ou artificielle), des cultures assez tolérantes à la salinité, une disponibilité en eau locale de meilleure qualité (eau de puits, de barrage, des cours d'eau...) pour effectuer des mélanges avec les eaux épurées de la STEP de Ghardaïa et une bonne technicité de l'irrigant en matière de gestion et de pilotage des irrigations constituent autant de conditions à réunir si l'on veut aboutir à une utilisation optimisée et raisonnée d'une telle eau sur les cultures.

I.2. Potentialités agroclimatiques de la région de Ghardaïa

I.2.1. Potentialités agricoles

La Wilaya de Ghardaïa s'étale sur une superficie de 8 466 012 hectares, dont près de 1 338 000 hectares sont dédiés aux pacages. Sur les 1 370 911 hectares affectés à l'agriculture (SAT), 32 745 hectares seulement sont utiles pour l'agriculture (SAU), compte tenu du défaut de précipitation qui caractérise la région, d'une part et du manque de ressources hydriques conventionnelles (forages, puits, barrages) pour assurer un complément d'eau par irrigation, d'autres part. Le secteur agricole est dédié dans sa globalité à la phoeniciculture.

Deux systèmes d'exploitation caractérisent le secteur agricole de cette région :

- système Oasien, représenté par les anciennes palmeraies
- système issus de la mise en valeur.

Le patrimoine phoénicicole de la wilaya compte 1224 810 palmiers dont 1 014 295 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 50 000 tonnes, dont 21 000 tonnes de type DegletNour. Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives de développement (DSA, 2012).

I.2.2. Potentialités climatiques :

a) Paramètres climatiques

Comme le montre le tableau 4 en annexes 8 résumant les valeurs moyennes des principaux paramètres climatiques établies sur une série de 15 années, Ghardaïa est caractérisé par un climat chaud et sec. L'analyse des différents paramètres du climat montre que :

- La température moyenne annuelle avoisine les 23.2°C mais peut atteindre jusqu'à 43.7°C en juillet et 2.6°C en février ; ce qui exclut de facto les cultures sensibles à la chaleur et limite ainsi le nombre de cultures conduites dans cette région.
- Le nombre d'heure ensoleillée, quant à lui, est assez élevé et avoisine les 294 heures en moyenne par mois. Il varie entre 350 heures durant la période estivale (juillet) et 250 heures durant la période hivernale (janvier) ; ce qui rend compte des grandes potentialités énergétiques de la région favorisant alors la croissance et le développement des cultures.
- La vitesse du vent journalière établie sur une moyenne annuelle est de l'ordre de 4.7 m/s mais peut atteindre jusqu'à 6.7 m/s en avril. Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaïa, une moyenne annuelle de 11 jours est enregistrée pendant la période allant du mois de Mai à septembre (DPAT, 2012).
- Le taux d'humidité varie d'une saison à une autre. Il est maximum en hiver avec 55.5% en janvier mais ne dépasse pas les 22% en été (juillet) à cause des fortes évaporations et des vents chauds durant ce mois ; ce qui pénalise la plus part des cultures agronomiques qui craignent ce pouvoir évaporant très important.
- Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) sont assez élevées à Ghardaïa, en particulier en présence de vents chauds. Le cumul est de l'ordre de 2804.7 mm/an avec un maximum mensuel de 408 mm au mois de juillet et un minimum de 98.3 mm au mois de janvier. La protection de la parcelle agricole par des brises vents et la création d'un

système de culture à étage sont autant de mesures à réaliser pour atténuer la perte en eau des cultures.

- Les valeurs de pluies sont faibles, irrégulières et font énormément défaut dans cette région. La moyenne annuelle ne dépasse pas les 93 mm. Le mois le plus pluvial reçoit en moyenne 22 mm alors que le plus sec ne reçoit en moyenne que 1.6 mm. Avec un déficit pluviométrique quasi présent tout au long de l'année, l'irrigation devient incontournable et devra être bien raisonnée et optimisée.

b) Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantités de précipitation moyennes mensuelles caractérisant un lieu donné. Il a été développé par Henri Gaussen et F.Bagnouls, botanistes célèbres, pour mettre en évidence les périodes de sécheresses définies par une courbe des précipitations se situant en dessous de la courbe des températures. Il comporte un axe horizontal ou sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures, selon des graduations standardisées. Pour les climats méditerranéens, une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures. Une courbe de température qui dépasse alors l'histogramme des précipitations, indique une période de sécheresse.

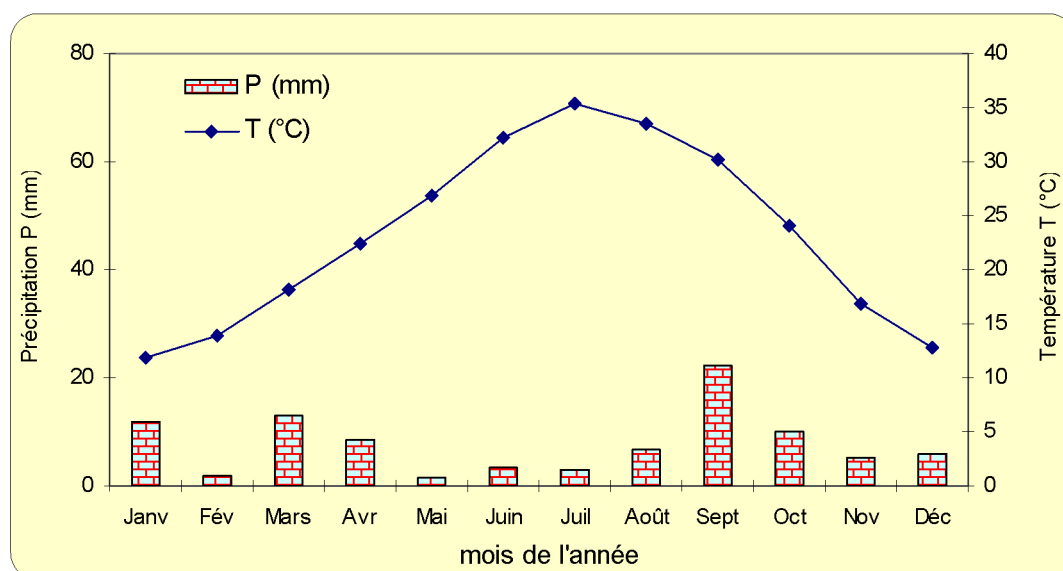


Figure.10 : Diagramme ombrothermique de Ghardaïa (moyenne sur une série de 15 années).

La construction du diagramme ombrothermique de Ghardaïa montre que cette région est caractérisée par une et une seule période sèche sur l'ensemble de l'année (figure 10). L'obtention des rendements acceptables et réguliers dans cette région reste conditionnée à un complément d'eau supplémentaire apporté par irrigation, compte tenu du défaut important de pluviométrie enregistrée dans cette région, particulièrement durant la période estivale. L'effet du climat de cette région sur la satisfaction des besoins en eau des cultures diffère selon les types de sols mais aussi et surtout selon les cultures, comme on le verra plus loin pour l'olivier et les agrumes.

I.2.3. Potentialités agroclimatiques, Besoins en eau (ETM) et d'irrigation.

L'étude agroclimatique réalisée sur les agrumes et l'olivier à Ghardaïa montre que, le besoin en eau estimé (ETM) reste important pour les deux cultures, mais de façon beaucoup plus marquée pour les agrumes. Assez élevés durant la période estivale où ils atteignent leurs maximums en juillet (270 mm pour les agrumes et 143 mm pour l'olivier), ces ETM chutent au printemps et en automne (figure 11a et 12a) pour atteindre leur minimum durant la période hivernale, en janvier précisément (57 mm pour les agrumes et 38 mm pour l'olivier). Ils sont de l'ordre de 1804 mm/an en moyenne pour les agrumes et de 1154 mm/ en moyenne pour l'olivier (figure 11b, 12b). Avec un taux de satisfaction annuel de ces ETM par les pluies ne dépassant pas les 5% pour les agrumes et les 8% pour l'olivier, le recours à un complément d'eau par irrigation s'impose de facto; Ce qui rend compte de l'extrême sévérité du climat caractérisant cette région.

Les figures 11a et 12a montrent une évolution mensuelle des besoins en eau d'irrigation (ou déficits pluviométriques) semblable à celle de l'ETM des deux cultures, avec un maximum enregistré en juillet (267 mm) et un minimum en janvier (140 mm). Ils représentent en moyenne 1711 mm/an pour les agrumes et près de 1061 mm/an pour l'olivier (figure 11b, 12b). 95% des besoins en eau des agrumes et 92% de ceux de l'olivier doivent donc être assurés par un complément en eau, apporté par irrigation, si l'on veut conduire ces deux cultures en conditions hydriques optimales. Situation qui ne peut être satisfaite sans la mobilisation de l'ensemble des ressources en eau, conventionnelles et non conventionnelles, de la région en question.

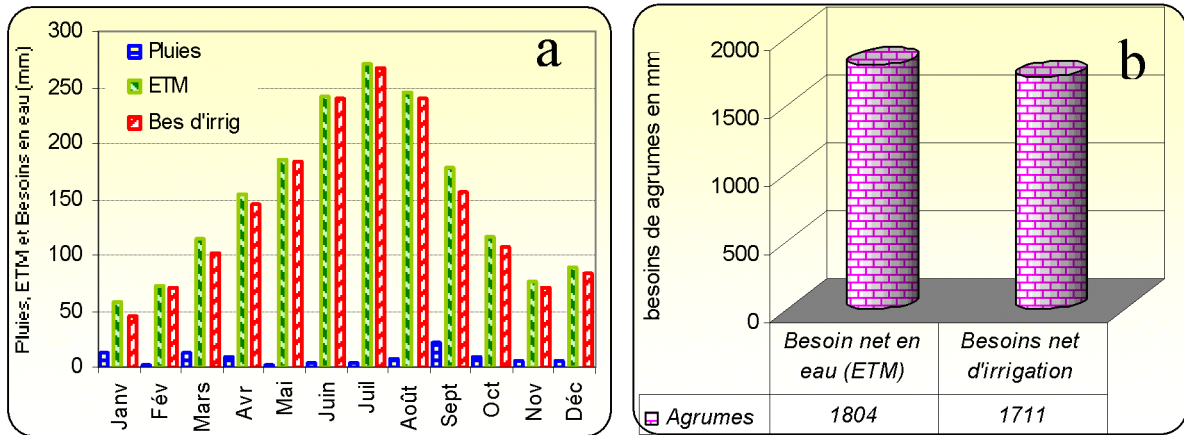


Figure.11: L'ETM (Besoins net en eau) et besoins net en eau d'irrigation des agrumes estimés dans la région de Ghardaïa sur une moyenne de 15 année : **a)** mensuellement ; **b)** annuellement.

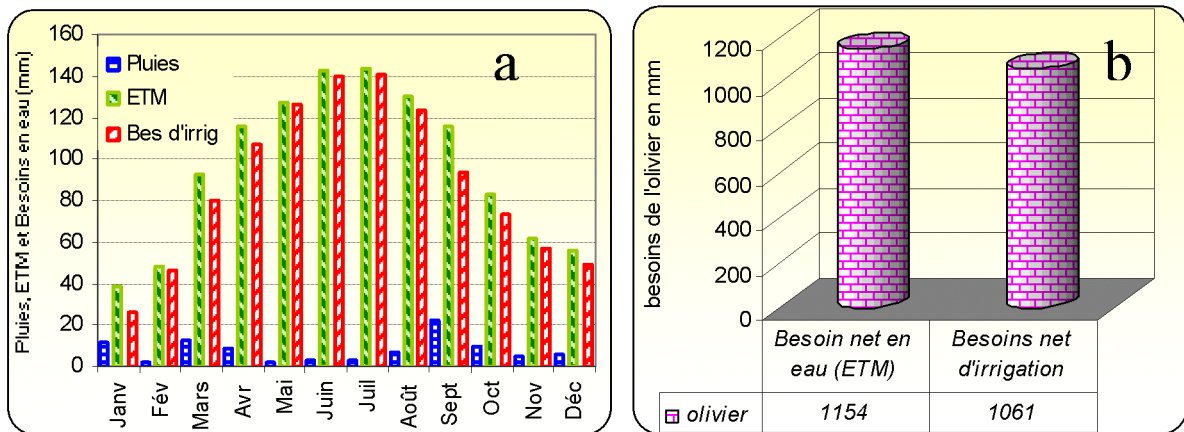


Figure 12. L'ETM (Besoins net en eau) et besoins net en eau d'irrigation de l'olivier estimés dans la région de Ghardaïa sur une moyenne de 15 année : **a)** mensuellement ; **b)** annuellement.

I.3. Potentialités des eaux épurées de la STEP en matière de production de nutriments.

En plus des 9,125 millions de m³ d'eau épurée annuellement, la STEP de Ghardaïa produit en même temps une charge de nutriments non négligeable dissoute dans ces eaux épurées, comme le montre la figure.13a. Indispensable au développement et à la croissance des cultures, ces nutriments améliorent les rendements des cultures et réduits les coûts de production pour les agriculteurs irrigants. L'azote représente l'essentiel de cette charge (305 tonnes/an) devant le phosphore (35 tonnes/an).

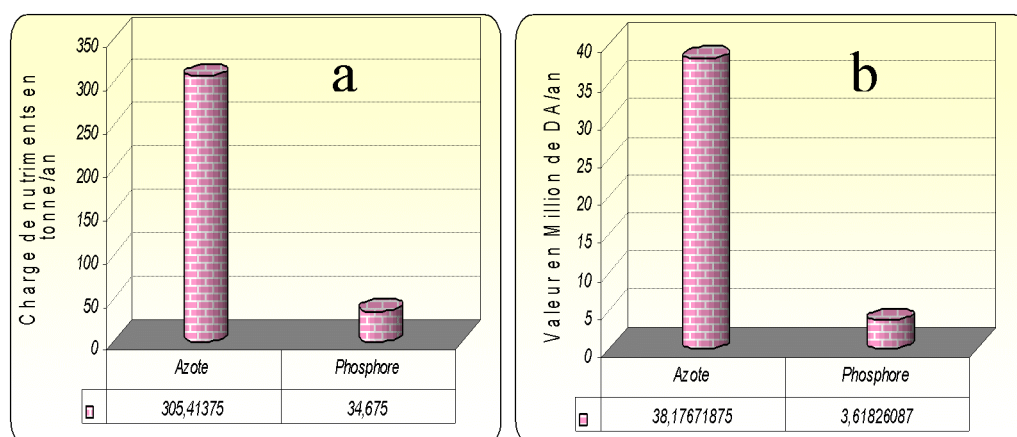


Figure.13: Charge totale en azote et en phosphore contenue dans les eaux usées épurées par la STEP de Ghardaïa et exprimé, **a)** en poids et **b)** en valeur commerciale.

Sur le plan de la valeur commerciale de cette charge en nutriments (figure 13b), on peut dire que la STEP de Ghardaïa produit annuellement une charge en azote et en phosphore d'une valeur de 42 Millions de DA (38 Millions de DA pour l'azote et de 3,6 Millions de DA 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.

I.4. Potentialités de la STEP en matière de satisfaction des besoins nets d'irrigation des agrumes et des oliviers

Les potentialités annuelles minimales de la STEP de Ghardaïa en terme surfaces irriguées sont plus élevées sur l'olivier (figure 14), pour une satisfaction totale des besoins en eau d'irrigation (abstraction faites à la charge en nutriments et au risque de pollution qu'elle peut provoquer sur le système de production).

Pour une gestion raisonnée et optimisée de l'ensemble des besoins de ces deux cultures (eau d'irrigation, azote, phosphore), le gaspillage d'eau et le risque de pollution chimique posée par les nutriments sont exclus. Le

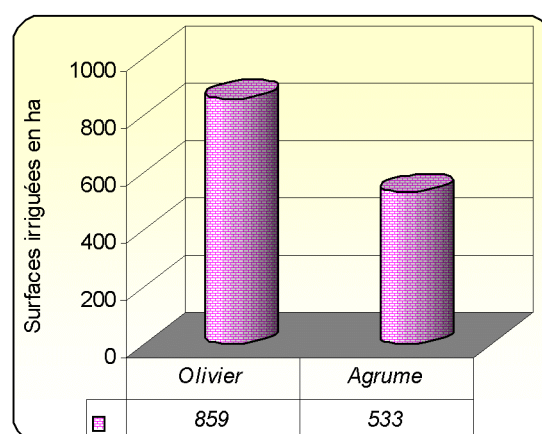


Figure.14 : Potentiel minimum de surfaces irriguées par les eaux épurées de la STEP pour une satisfaction totale des besoins en eau d'irrigation.

potentiel de surfaces irriguées, dans ces conditions, peut augmenter au profit d'une réduction dans la satisfaction de l'un ou de plusieurs de ces besoins. Satisfaction qui sera dictée par les caractéristiques des eaux épurées de la STEP et les conditions de leur utilisation (climat, besoin en nutriment des cultures ...), comme nous le verrons dans la suite de ce travail.

I.5. Potentialités des eaux épurées de la STEP en matière de satisfaction des besoins en nutriments pour les agrumes et l'olivier.

Qu'il s'agit des agrumes ou de l'olivier, la satisfaction totale par la STEP de Ghardaïa des besoins estimé en eau d'irrigation (17106 m³/ha et 10614 m³/ha pour les deux cultures respectivement) et recommandé en nutriments (300 kg/ha d'azote et 120 kg/ha de phosphore pour les agrumes et 150 kg/ha d'azote et 80 kg/ha de phosphore pour l'olivier) ne peut être évaluée que par rapport à l'un de ces trois types de besoins. Pour le reste des autres besoins la satisfaction peut être partielle ou en excès. Trois cas de situations sont donc possibles (trois besoins), dont les résultats des simulations sont résumés dans le tableau 10 et 11. La meilleure satisfaction serait celle qui répond à une gestion raisonnée de ces apports, en excluant toute forme de pollution chimique (due aux nutriments) ou de gaspillage d'eau.

Les résultats obtenus sur les agrumes et l'olivier montrent que les cas I et II ne répondent pas à une gestion raisonnée des apports en eau et en nutriments assurée par la STEP de Ghardaïa. Ainsi, une forte pollution azoté et/ou phosphaté due à un excès de satisfaction en ces besoin est à prévoir sur les parcelles agricoles dans les deux cas, avec en plus un gaspillage en eau du à un excès d'irrigation dans le second cas. En revanche, aucune forme de pollution chimique ni gaspillage d'eau ne sont à craindre dans le cas III où le besoin d'azote est satisfait dans sa totalité au dépend, bien sûr, d'une satisfaction partielle des deux autres besoins. Cette simulation montre que l'azote et l'élément ayant le risque potentiel de pollution le plus élevé et que toute gestion raisonnée de l'ensemble des besoins de ces deux cultures doit s'appuyer automatiquement sur une satisfaction ne dépassant pas les 100% pour cet élément. Dans ces conditions, la satisfaction des deux autres besoins (eau d'irrigation et phosphore) ne peut être que partielle, augmentant alors le potentiel de surfaces irriguées par les eaux de la STEP à près de 1018 ha pour les agrumes et 2036 pour l'olivier.

Il est important de rappeler que, dans cette situation, la satisfaction des besoins en eau d'irrigation n'est assurée qu'à raison de 52% pour les agrumes et de 42% pour l'olivier. Situation très particulière aux régions à climat aride et semi aride, caractérisés par un besoin en eau d'irrigation important, d'une part et par des eaux usées épurées fortement chargées en nutriments, d'autre part. Le reste de ces besoins en eaux d'irrigation non assurées par la STEP devra combler par une eau, autres que celle de la STEP de Ghardaïa, et ayant une concentration pratiquement nulle en azote pour éviter toute forme de pollution due à cet élément. Ce qui relève de l'impossible lorsqu'il s'agit d'une eau censée être prélevé dans le milieu naturel. Une gestion raisonnée des flux liquides (eau et nutriments) produit par la STEP, basée sur le mélange de ceux-ci avec une eau, autres que celle de la STEP, et ayant des niveaux de concentrations en azote et en phosphore différentes de celle de la STEP s'impose alors.

C'est dans ce contexte que nous avons élaborée un modèle graphique de gestion raisonnée des eaux épurées d'une STEP permettant, en fonction (a) des besoins estimés en eau d'irrigation et recommandée en nutriments des cultures, (b) des besoins requis en eau d'irrigation et en nutriments des cultures, (c) des flux potentiels en eau et en nutriments produits par la STEP et (d) des flux potentiels en eau et en nutriments des eaux susceptible d'être utilisés comme complément aux déficits en eau d'irrigation et en nutriments non assurés par les eaux de STEP, d'assurer une gestion raisonnée des irrigations avec les eaux épurées de la STEP de Ghardaïa.

Tableau.10 : Taux simulés de satisfaction des besoins en eau et en nutriments des agrumes par la STEP de Ghardaïa.

	Eau d'irrigation	Phosphore	Azote	Problèmes observés
Besoin estimé et recommandé (agrumes)	17106 m3/ha	120 kg/ha	300 kg/ha	*aucun problème
Cas I : Satisfaction totale en eau d'irrigation	100%	54,2%	191%	*Pollution azoté *carence en phosphore (besoin d'un complément) *Surface couverte de 533 ha
Cas II : Satisfaction totale en phosphore	185%	100%	352,3 %	*Pollution azoté *Gaspillage de l'eau (mauvaise gestion) *Surface couverte de 289 ha
Cas III : Satisfaction totale en azote	52%	28,4%	100%	*Stress hydrique et carence en phosphore (besoin d'un complément) *Surface couverte de 1018 ha

Tableau.11: Taux simulés de satisfaction des besoins en eau et en nutriments d'oliviers par la STEP de Ghardaïa.

	Eau d'irrigation	Phosphore	Azote	Problèmes observés
Besoin estimé et recommandé (l'olivier)	10614 m3/ha	80 kg/ha	150 kg/ha	*aucun problème
Cas I : Satisfaction totale en eau d'irrigation	100%	50,4%	237%	*Pollution azoté *carence en phosphore (besoin d'un complément) *Surface couverte de 859 ha
Cas II : Satisfaction totale en phosphore	198%	100%	470%	*Pollution azoté *Gaspillage de l'eau (mauvaise gestion) *Surface couverte de 433 ha
Cas III : Satisfaction totale en azote	42%	11,3%	100%	*Stress hydrique et carence en phosphore (besoin d'un complément) *Surface couverte de 2036 ha

I.6. Modèle de gestion raisonnée des irrigations avec les eaux épurées des STEP.

La gestion raisonnée des eaux usées épurées d'une STEP passe forcément par une évaluation rigoureuse des avantages et des inconvénients liés à leurs utilisations en agriculture et par le choix d'une utilisation optimale, permettant d'assurer en totalité ou en partie les besoins à la fois d'irrigation et de fertilisants sans risque sur le milieu.

Comme nous venons de le montrer ci-dessus, l'azote représente dans le contexte de notre étude l'élément au potentiel de pollution le plus élevé et qu'une satisfaction totale des besoins en cet élément ne permet qu'une satisfaction partielle des besoins en eau d'irrigation sans aucune possibilité de compléter ce déficit en eau d'irrigation par une autre eau, aussi bonne soit-elle. La seule alternative reste le mélange des eaux épurées de la STEP avec une autre eau, puisée des puits, de forage, de barrage, dans des proportions qui soient compatibles avec une gestion raisonnée des irrigations et des flux de nutriments, soit une satisfaction optimale des besoins des cultures sans risque potentiel d'une pollution chimique ou d'un gaspillage en eau, assurée pour une partie par les eaux épurées de la STEP et pour le reste par l'eau complémentaire puisée localement.

Le modèle graphique N°14 présenté ci-dessous pour l'olivier et les agrumes permet, en fonction (i) des besoins en eau d'irrigation et en nutriments des cultures et (ii) des besoins requis en eau d'irrigation, en azote et en phosphore (iii) des caractéristiques des flux liquides produits épurés produits par la STEP (eau, azote et phosphore) et ceux de l'eau complémentaire, d'établir un ensemble de courbes, définissant les principales caractéristiques des eaux mélangées. Réunies sur un même graphe, ces courbes constituent alors une sorte d'abaques permettant la prise de décision raisonnée quant aux proportions du mélange d'eau et des nutriments à respecter pour une satisfaction optimale des besoins des cultures. Chaque courbe représente donc :

- Le besoin total en eau d'irrigation (m^3/ha).

Pour les eaux épurées de la STEP

- Le volume d'eau épurée (m^3/ha) et délivré par la STEP, en fonction de la charge potentielle en azote (kg/ha) qu'il renferme.
- La charge en phosphore (kg/ha) apportée dans le volume d'eau délivré par la STEP.

Pour les eaux complémentaires à ceux de la STEP

- La valeur de la concentration (mg/l) en azote que doit satisfaire une eau complémentaire pour combler le manque de satisfaction des besoins en azote accusés par les eaux de la STEP. Au-delà de cette valeur, l'azote serait présent en excès alors qu'en deçà de cette valeur la satisfaction en cet élément demeure partielle.
- La valeur de la concentration (mg/l) en phosphore que doit satisfaire une eau complémentaire pour combler le manque de satisfaction des besoins en phosphore accusés par les eaux de la STEP. Au-delà de cette valeur, le phosphore serait présent en excès alors qu'en deçà de cette valeur la satisfaction en cet élément demeure partielle.
- Le volume en eau (m³/ha) qui doit être assuré par l'eau complémentaire en complément au volume d'eau déjà assuré par la STEP.

Reprenant le cas des besoins des agrumes et de l'olivier (estimés et recommandés) mentionnés au paragraphe ci-dessus et appliquant le modèle graphique au contexte des eaux épurées de la STEP de Ghardaïa en vue d'assurer, de façon la plus optimale possible, les besoins en eau d'irrigation et en nutriments des ces deux cultures. Les concentrations en azote et en phosphore de l'eau complémentaire (autre que la STEP) sont de 4mg/l et 1.5mg/l pour les deux nutriments respectivement. Les résultats de ces simulations sont illustrés par les graphes 15 et 16 et résumés dans le tableau 12 et 13.

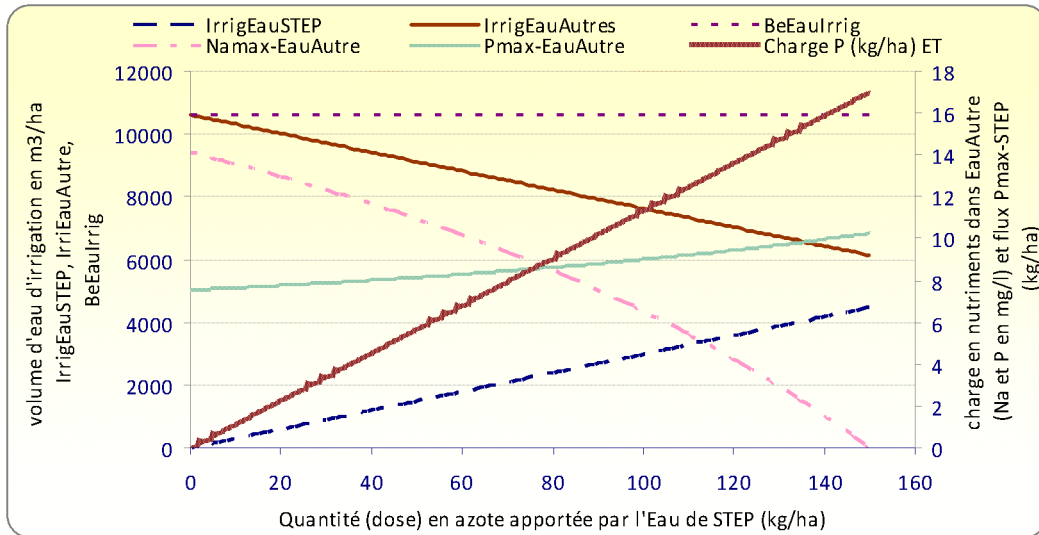


Figure.15 :Modèle graphique de gestion optimale des irrigations et des besoins en nutriments assurée par un mélange d'eau épurées de la STEP de Ghardaïa et d'une eau complémentaire puisé localement; pour l'olivier

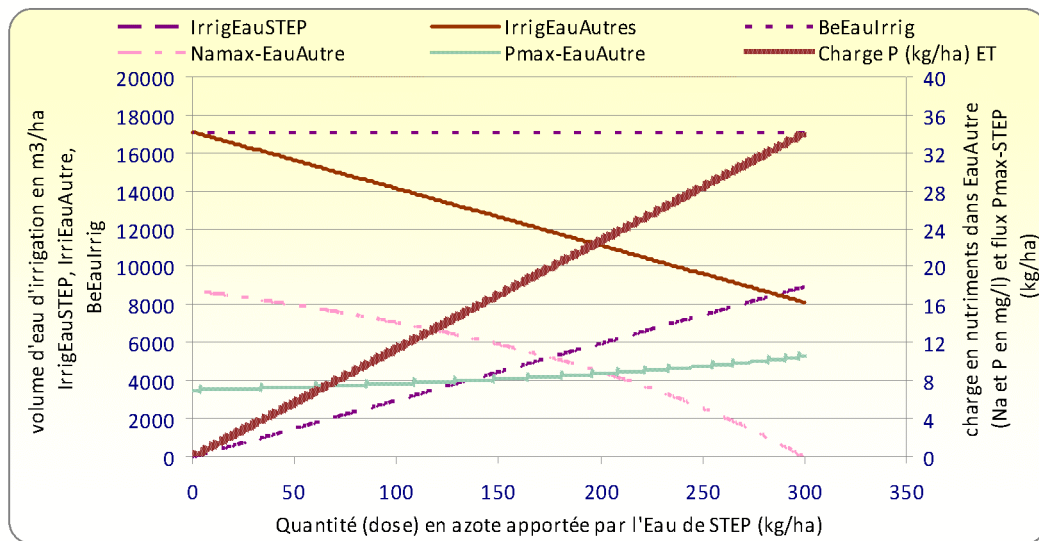


Figure.16 :Modèle graphique de gestion optimale des irrigations et des besoins en nutriments assurée par un mélange d'eau épurées de la STEP de Ghardaïa et d'une eau complémentaire puisé localement; pour l'agrume

Tableau.12 : résultats des simulations pour une satisfaction totale des besoins d'olivier en eau et en azote assurés par les eaux de la STEP de Ghardaïa

a	Azote			Phosphore			Eau d'irrigation	
	kg/ha	Satisf	Ct en mg/l	kg/ha	Satisf	Ct en mg/l	m ³ /ha	Satisf
Besoin estimé/recommandé sur l'olivier à Ghardaïa	150	100%		80	100%		10614	100
Besoin satisfait par la STEP	122	81%	33,5	13,9	17,4%	3,8	3645	34,3%
Besoin satisfait par les eaux de forage	28	19%	4	10,45	13,1%	1,5	6969	65,7%
Besoin satisfait par un apport en nutriment synthétique	0	0	/	55,65	69,5%	/	/	/

Tableau.13: résultats des simulations pour une satisfaction totale des besoins des agrumes en eau et en azote assurés par les eaux de la STEP de Ghardaïa

b	Azote			Phosphore			Eau d'irrigation	
	kg/ha	Satisf	Ct en mg/l	kg/ha	Satisf	Ct en mg/l	m ³ /ha	Satisf
Besoin estimé/recommandé sur agrumes a Ghardaïa	300	100%		120	100%		17106	100%
Besoin satisfait par la STEP	263	87,7%	33,5	29,9	24,92%	3,8	7858	46%
Besoin satisfait par les eaux de forage	37	12,3%	4	13,87	11,56%	1,5	9248	54%
Besoin satisfait par un apport en nutriment synthétique	0	0	/	76,23	63,52%	/	/	/

Les résultats du tableau 5abc pour les deux tests montrent que :

- Compte tenu le besoin estimé en eau d'irrigation et recommandé en nutriments (azote et phosphore).
- Compte tenu la disponibilité des flux en eau et en nutriments des eaux épurées de la STEP de Ghardaïa
- Compte tenu de la prise en compte d'une eau complémentaire pour satisfaire une partie des besoins en eau d'irrigation des deux cultures (besoin non assurée par les eaux épurées de la STEP),
- Compte tenu des niveaux de la charge en azote et en phosphore susceptibles d'être apportés par les eaux complémentaire, en plus de ceux de la STEP.

Le modèle graphique, dont les résultats sont résumés dans le tableau 12abc, montre que pour assurer une satisfaction totale en besoins en eau d'irrigation des deux cultures avec une eau issue d'un mélange d'eau épurée par la STEP et épuisée localement, il convient de procéder à une utilisation combinée de ces deux eaux dans des proportions qui prennent en compte les concentrations en azote et en phosphore des deux types d'eau. Le modèle suggère alors que la STEP n'apporte pour l'olivier et les agrumes que 34,3% et 46% des besoins totaux en eau d'irrigation, respectivement pour les deux cultures. Se faisant, les eaux de la STEP apportent donc une satisfaction en besoins azotés de 81% et 87,7% pour les deux cultures respectivement alors que la satisfaction du besoin en phosphore ne dépasse guère le 13,9% et 29,9% pour les deux cultures respectivement.

Le modèle suggère aussi que le déficit en eau d'irrigation soit complété par une eau puisé localement (autre que celle de la STEP), ayant les caractéristiques définies plus haut (4mg/l d'azote et 1,5 mg/l de phosphore), à raison de 65,7% et 54% pour l'olivier et les agrumes respectivement. Dans ces conditions, la satisfaction des besoins en azote et en phosphore par ces eaux complémentaires ne dépasse pas les 19% et 12,3% pour les deux cultures respectivement.

Par ces suggestions raisonnées le modèle a pu répondre de façon optimale et précise aux besoins des deux cultures, compte tenu des conditions imposées ci-dessus, soit une satisfaction totale à 100% des besoins en eau d'irrigation et en nutriments azotés assurés par le mélange des deux types d'eau d'irrigation (eau épurée et eau complémentaire). Pour ce qui est du phosphore, la satisfaction assurée par le mélange des deux types d'eau n'est que

partielle, soit au totale 30,5% et 36,5% pour l'olivier et les agrumes respectivement. Le déficit de satisfaction en nutriments phosphatés, évalué à 69,5% et 63,5% pour les deux cultures respectivement, doit être complété par un apport synthétique.

CHAPITRE II

Chapitre II : Interprétation

L'analyse des résultats des mesures de l'eau épurée par la STEP de Ghardaïa montre que les procédés de traitements par lagunage naturel utilisés ne permettent pas d'obtenir, sur le plan chimique surtout, une eau répondant de façon complète aux normes OMS sur les rejets des eaux épurées dans les milieux réceptifs. C'est le cas par exemple de la DCO dont la valeur dépasse de loin celle recommandée par l'OMS pour les rejets des eaux de même que le rapport entre la DCO et la DBO₅ dont la valeur de 6,6 dépasse d'au moins deux fois la norme préconisée (2,5). Faute de traitement tertiaire spécifique, généralement assez coûteux, permettant de ramener la qualité de cette eau à des niveaux acceptables par les normes en vigueur sur les rejets, le recourt à des procédés classiques et peut coûteux, tel que la réutilisation des eaux usées en irrigation sont à préconiser. Encore faut-il, là aussi, qu'elle soit apte à être utilisée en irrigation sans risques environnementaux, en particulier ceux liés à la salinité des sols. C'est le cas, en effet, des eaux usées épurées de la STEP de Ghardaïa qui présentent un taux de salinité élevée et que l'on peut qualifier (selon la classification de la FAO) d'eau modérément saline pouvant constituer une source de nuisance pour le système de production agricole. Leur utilisation ne peut donc être envisagée sans un mélange avec une eau de qualité meilleure, ayant un faible taux de salinité, si l'on veut préserver le potentiel de production agricole (du sol et des cultures).

Sur le plan des potentialités climatiques, l'étude montre que le périmètre de l'oued Mzab (région de Ghardaïa) est caractérisé par un climat sec et chaud durant l'ensemble des mois de l'année, mais de façon plus accentuée durant la période estivale. L'étude agroclimatique réalisée sur les cultures de l'olivier et des agrumes a mis en évidence l'extrême sévérité du climat de la région de Ghardaïa, dicté par l'effet combiné des besoins en eau très élevés de ces cultures (ETM), d'une part et du défaut considérable en eau de pluies enregistrée durant toute l'année, d'autre part. Le bilan d'eau découlant de cette étude fait apparaître un besoin en eau d'irrigation assez élevé pour les agrumes, un peu moins pour l'olivier, pouvant atteindre jusqu'à trois fois, et même plus, le besoins de ces deux cultures estimé sous des climats plus doux, comme celui de la Mitidja. Dans ces conditions, l'irrigation devient un moyen incontournable si l'on veut conduire, sous de tels conditions climatiques, des cultures agronomiques assez consommatrices en eau, comme c'est le cas des agrumes. Encore faut-il en disposé de cette eau à bon marché et en quantités suffisantes dans une région où les potentialités conventionnelles en cette ressource font énormément défaut.

C'est dans ce contexte que le recours aux ressources en eau non conventionnelles trouve toute son importance dans une région où la ressource en eau est naturellement limitante et où les consommations anthropiques sont de plus en plus croissantes.

La STEP de Ghardaïa offre, en effet, un potentiel très intéressant en flux de nutriments et d'eaux épurées. Sur les 305 tonnes d'azote et phosphore produites chaque année par la STEP, l'azote représente 90% de cette production contre 10% pour le phosphore, pour une valeur commerciale globale de près de 42 millions de DA. Pour une eau épurée livrée gratuitement aux irrigants par les STEP, ce là représente un gain non négligeable et une valeur ajoutée considérable pour les agriculteurs irrigants.

Il en est de même pour le flux d'eau épurée produit par la STEP de Ghardaïa (9 millions m³) dont l'utilisation en agriculture (en irrigation) a un impact positif sur l'amélioration de la satisfaction en eau d'irrigation des cultures. Cependant, assurer une satisfaction totale en eau d'irrigation pour des cultures comme l'olivier et les agrumes avec une eau fortement chargée en nutriments, comme c'est le cas des eaux épurées de la STEP de Ghardaïa, n'est pas sans risque de pollution sur le milieu de production (pollution azoté dans notre cas). Eviter un tel risque de pollution revient à réduire le volume d'eau d'irrigation provenant de la STEP et à compenser ce déficit, non pourvu par les eaux de la STEP, par un apport provenant d'une autre ressource locale (puis, forage, barrages, courts d'eau), ayant des concentrations en nutriments forcément différentes et plus faibles que celles des eaux de la STEP. C'est là toute la complexité d'une approche raisonnée et optimisée des flux apportés en vue d'assurer une satisfaction totale en besoins en eau d'irrigation et en nutriments pour ces deux cultures, en évitant tout risque de pollution potentielle en nutriments et/ou de gaspillage d'eau. Une telle gestion reste, cependant, d'autant plus difficile que les apports en flux (eau d'irrigation et nutriments) dépendent de nombreux facteurs comme :

- les besoins en eau d'irrigation estimés des cultures ;
- les besoins en nutriments recommandés pour les cultures ;
- les besoins en eau et en nutriments requièrent par l'irrigant ;
- La concentration en azote et en phosphore des eaux usées épurées par la STEP ;
- La concentration en azote et en phosphore de l'eau complémentaire (eau locale);
- Le reliquat d'azote et de phosphore disponible dans la parcelle ;

Pour répondre à cette problématique, nous avons mis en place un modèle de gestion des irrigations avec les eaux produites par les STEP, plus ou moins chargées en azote et en phosphore. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision présenté dans sa première version sous une forme graphique, applicable en conditions variées d'espace, de climat, de culture et de qualité d'eau destinée à l'irrigation.

L'application de cette outil pour une conduite en irriguée avec les eaux épurées de la STEP de Ghardaïa montre que pour assurer une satisfaction optimale des besoins en eau d'irrigation et en nutriments sur des cultures comme l'olivier et les agrumes, sans risque potentiel de pollution ni gaspillage d'eau bien sûr, un complément en eau apporté depuis une ressource locale, autre que celle provenant de la STEP, est nécessaire.

Ainsi et après avoir mis en évidence le nutriment (azote ou phosphore) ayant le risque potentiel de pollution le plus élevé, le modèle, en fonction de la concentration en cet élément dans l'eau complémentaire, fixe dans un premier temps le volume d'eau (m^3/ha) et la charge (kg/ha) en azote et en phosphore que doit assurer les eaux épurées de la STEP, pour ensuite évaluer les besoins complémentaires en termes de volume d'eau d'irrigation (m^3/ha) et de charge (kg/ha) pour le nutriment considéré comme potentiellement polluant, susceptible d'être assurés cette fois ci par l'eau complémentaire.

Le modèle fixe dans un troisième temps la concentration théorique maximale mg/l à ne pas dépasser dans l'eau complémentaire pour le second nutriment, tout en offrant la possibilité de calculer sa charge réelle en kg/ha : si la concentration réelle en mg/l de ce second nutriment est inférieure à la concentration théorique maximale, la charge réelle en kg/ha apportée par ce nutriment permet de satisfaire une partie des besoins de la cultures en ce nutriment alors que le reste de ce besoin sera complété par un apport synthétique jusqu'à satisfaction totale. Dans le cas contraire (concentration réelle en mg/l de ce second nutriment est inférieure à la concentration théorique maximale mg/l), tout le volume d'eau complémentaire sera revu à la baisse en fonction de la charge théorique autorisée pour ce second nutriment ; ce qui permet d'assurer la satisfaction totale des besoins pour se second nutriment, moyennant une baisse de satisfaction en eau d'irrigation et en azote prévue par l'eau complémentaire. Dans ces conditions, seule la satisfaction en azote pourra être satisfaite à 100% par un complément synthétique en azote.

Les simulations réalisées sur l'olivier et les agrumes montrent que quelque soit les conditions imposées par le climat et par les concentrations en Na et P des eaux de la STEP et de celles de l'eau complémentaire, de même que celles imposées par les besoins en eaux et en nutriments requit par l'irrigant, le modèle propose toujours une solution d'eau mélangée (celle de la STEP avec l'eau complémentaire), dans des proportions raisonnées, de sorte que les besoins en eau d'irrigation et en azote (nutriment au risque potentiel de pollution le plus élevé) soient satisfait dans leurs totalités, sans le moindre risque potentiel de pollution chimique ni de gaspillage d'eau. Une satisfaction partielle est cependant notée sur le phosphore du fait de sa faible concentration dans les épurées et complémentaire mais dont le déficit doit être complété par un apport synthétique jusqu'à la satisfaction totale en ce nutriment. La gestion raisonnée et optimisée de besoins de ces deux cultures

Bien qu'il soit simple d'approche, ce modèle représente un véritable outil d'aide à la décision capable de renseigner tout utilisateur (gestionnaire des STEP ou irrigants) sur la faisabilité de l'utilisation d'une eau (de puits, forage, barrage...), plus ou moins disponible pour l'irrigant, en complément aux eaux usées épurées provenant d'une STEP, a travers des conditions réelles liées aux caractéristiques de ces eaux, aux climats et aux besoins des cultures requit par l'irrigant, tout en recherchant à valoriser de façon optimale les apports en eau d'irrigation et en nutriments de deux types d'eau.

CONCLUSION

Le travail mené et présenté a permis de mettre en place un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires des STEP, mais aussi des irrigants, permettant de raisonner les irrigations assurées par les flux liquides (eau et nutriments) produit par les STEP. Ce modèle permet de renseigner, de façon optimale et efficace, ces apports en flux liquides quelque soit la charge en nutriments de ces flux et sous divers contextes climatiques. L'intérêt global de ce travail et précisément d'avoir traité la gestion des irrigations par les eaux usées épurées de la STEP de Ghardaïa, à la fois en terme d'eau d'irrigation mais aussi en terme de charge fertilisante assurée par ces eaux.

La première partie a été consacrée à l'évaluation de l'aptitude des eaux épurées de la STEP de Ghardaïa à l'irrigation. Il a été mis en évidence que la qualité de cette eau été modérément saline et que son utilisation éventuelle en irrigation doit se faire avec précaution. Un mélange avec une eau moins chargée en sels améliorera sa qualité et permettra son utilisation en irrigation. L'étude agroclimatique a montrée, quant à elle, que la région en question évolue sous la dominance d'un climat aride, caractérisé par une pluviométrie très faible et une demande climatique très élevée et que les besoins en eau d'irrigation estimés pour des cultures comme l'olivier et les agrumes sont trois fois supérieur à ceux enregistrés sous des climats plus doux comme la Mitidja. Faute de disponibilité de la ressource en eau conventionnelle, déjà limitée naturellement dans cette région, il devient nécessaire de faire appel à la ressource non conventionnelle pour satisfaire en partie ces besoins. Sur le plan des potentialités de la STEP, celle-ci produit une charge importante en éléments chimiques, azotée et phosphatée en particulier, d'une valeur dépassant les 40 millions DA, en plus de la production des eaux utilisées pour la satisfaction des besoins en irrigation.

La seconde partie a été consacrée à la mise en place d'un outil d'aide à la décision permettant aux gestionnaires, de même qu'aux irrigants, de dimensionner de façon raisonnée les apports en eau d'irrigation et en éléments chimiques contenus dans l'eau d'une STEP. En effet, cet outil qui repose sur une approche simple mais efficace de gestion de ces apports liquides est fondé sur le principe d'une satisfaction optimale et non maximale des besoins en eaux d'irrigation et de nutriments des cultures en question. Ainsi, nous avons pu montré qu'à travers la prise en compte des besoins (eau d'irrigation et nutriments) de l'olivier et des agrumes, des besoins réels en eau et en nutriments requis par l'irrigant, des caractéristiques de l'eau de la STEP de même que celle de l'eau complémentaire (puits, barrage...), il été

possible de déterminer la proportion de mélange d'eau (STEP et complémentaire) la plus adéquate possible, permettant une satisfaction raisonnée et optimale des besoins des deux cultures.

Finalement, ce modèle graphique répond de façon directe à un besoin de meilleure prise en compte des apports en eau et en nutriments assurés par les eaux épurées des STEP, en vue d'une meilleure satisfaction des besoins des cultures, sans risque potentiel de pollution pour le milieu de production. Son implantation au niveau des STEP sera effective une fois son algorithme construit et son codage informatique réalisé.

De grandes perspectives s'offrent donc pour cet outil :

- L'approche suivie dans la réalisation du modèle permet la prise en compte de nouvelle approche complémentaire (efficacité de l'irrigation, d'absorption des nutriments, type de système d'irrigation, etc) en vue d'améliorer sa pertinence.
- La possibilité de son couplage avec des modèles de bilans hydriques où les besoins en eau et d'irrigation sont estimés à des échelles de temps variées, en conditions de climats et de plantes divers, augmentera la précision des résultats et confortera la prise de décision, toujours difficile à prendre pour les pouvoirs publics, les gestionnaires, les irrigants.
- Le couplage d'un tel modèle avec les SIG offre la possibilité de raisonnée non pas sur une STEP seulement, mais sur plusieurs STEP en même temps, facilitant les études selon des approches beaucoup plus régionales, voire nationales.

REFERENCES
&
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **AERM, 2007:** Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse – Juillet 2007 Lagunage aéré – p 1/10.
- **Amir, S.2005 :** contribution à la valorisation de boue de station d'épuration par compostage, thèse de doctorat à l'institut polytechnique Toulouse.
- **ANONYME ,1980 :** Traite pratique du jardinage, édite par L.CLAUSE P.
- **ANRH, 2005 :** note relative aux ressources en eaux souterraines de la wilaya de Ghardaïa, rapport de l'Agence nationale des ressources hydrauliques, Ouargla, 19p.
- **ANRH, 2010 :** Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du continental intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, rapport de l'Agence nationale des ressources hydrauliques, Ouargla, 9p.
- **Barika et Senoussi, 2005 :**Dimensionnement d'une station d'épuration de la ville de Hassi Messaoud .Mém. Ing. Hydraulique Saharienne. Univ d'Ouargla.36p.
- **Baudot et Perera , 1991:**Guide procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. 21p.
- **Bekkouche et Zidane, 2004 :** Conception d'une station d'épuration des eaux usées de la ville d'Ouargla par lagunage. Mem. Ing. Hydraulique saharienne. Univ. D'Ouargla.67p.
- **Benhacine Ch., Doumbliauskas A., 1983 :** Irrigation agricole. Tipaza, 62p.
- **Bechac J., Boutin B., Mercier P., Nuer B., 1984 :** Traitement des eaux usées. Edition EYROLLES, Bd St Germaine-75005 Paris cedex 05.
- **Boutin, K.Alain, H.Helmer, J-M.2009 :** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées(REUT).
- **Boulkroune B.2008 :** Estimation de l'état des systèmes non linéaires a temps discret. Application a une station d'épuration. (Thèse de doctorat-université Nancy). [En ligne]tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/34/74/65/PDF/These_boulaid.pdf(page consulter le 07/04/2015).
- **Boukhetala et Iddou, 2010 :** BOUKHATALA, Y. et IDDOU, K. 2010.Etude de rendement épuratoire de la nouvelle station d'épuration par lagunage de la ville d'Ouargla. Mém.Ing. Hydraulique. Hydraulique urbaine. Univ d'Ouargla. 27p.

- **Boxio D, Thoeye C; Wintgens T; Ravazzini A ; Miska V ; Muston M ; Chikurel H; Aharoni A; Joksimovic D and Melin T. 2008:** Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination* 218, pp 13–23.
- **Bondo D et Pietrasanta Y, 1994:** BONDO, D. et PIETRASANTA, Y.1994. Le lagunage écologique. Ed.Economica.
- **Cauchi, Hyvrard ; Nakache ; Schwartzbrod ; Zagury ; Baron ; Carre ; Courtois ; Denis ; Dernas ; Larbaigt ; Derangere ; Martigne, Seguret, 1996. Dossier :** la réutilisation des eaux usées après épuration. *Technique, sciences et Méthodes*, 2 :81-118.
- **Conseil oléicole international, 2007:** TECHNIQUES DE PRODUCTION EN OLEICULTURE © Conseil oléicole international, 2007, p19. <http://www.internationaloliveoil.org/store/download/7637>.
- **Degremont, 1978 :** Mémento technique de l'eau : 8ème édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p.
- **Degrement.1989 :** Mémento technique de l'eau, 9eme édition de cinquanteenaire et documentation, Paris p240.
- **Degrement.2005 :**(mémento technique de l'eau),dixième édition tome1.edition lavoisier.
- **Dekkiche, 2007:** Conception d'une station d'épuration des eaux usées par lagunage commune de Zaouïa El Abedia-Touggourte. Mém. Ing. Hydraulique. Univ d'Ouargla. 96p.
- **Devaux.1999 :** intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux traitées de l'agglomération clermontoise. Thèse « Sciences de la vie et de la santé ».univ. Joseph Fourier.Grenoble, 227p.
- **Dr Monique ARTAUD Avril 2008:** L'olivier, Sa contribution dans la prévention et le traitement du syndrome métabolique, p 08.
- **Duguet J-P ; Bernazeau F. ; Cleret D. ; Gaid A. ; Laplanche A. ; Moles J. ; Monteil A. ; Riou G. ; Simon P. ; 2006 :** Réglementation et traitement des eaux

destinées à la consommation humaine. 1 ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement).

- **Dugniolle H, 1980** : L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC- revue n°3-septembre, pp.44-52.
- **DPAT, 2012** : Annuaire statistique 2011 ; volume 1, rapport annuel, 91p.
- **DSA, 2012** : Atlas agriculture, Rapport annuel, Ghardaïa, 14p.
- **Fernandez J.E., and F., Moreno.1999**: water use by olive tree. Journal of Crop Production. Volume 2, No 2 , page 101-162.
- **Gäid, A-E.1984** : Epuration biologique des eaux usées urbaines (volume1).
- **Gäid,A-E.1993** : Traitement des eaux usées urbaines. Paris. Techniques de l'ingénieur.
- **Gomellia,C et Guerree,H.1978** : les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou Rurales(volume2).
- **Glanic R et Benneton J-P, (1989)** : caractérisation d'effluents d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome- TSM- L'eau- 84 année- N11-pp.573-584.
- **Idder, 1998**: La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérienne. Impacte des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiassions proposées. L'exemple d'Ouargla. Thèse de doctorat. Univ.Angers.284p.
- **Journal office N°41. 2012** : conventions et accords internationaux-lois et décrets arrêtes, décisions, avis, communications et annonces.
- **Labadi et Moukar, 2010** : Etude des performances de la station de traitement des eaux usées urbaines par lagunage de la ville d'Ouargla. Mém. Ing. Eco et Env. Ecosystème steppique et saharienne. Univ d'Ouargla. 29p.
- **Ladjel, F. 2006** : Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA- Boumerdes. 80p.
- **Lagardette, J.2004-2005** : l'eau potable et l'assainissement. Edition Johanet.
- **Laurent, J-L.1994**: Agence de l'eau et du ministère de l'environnement.
- **Lazarova V, 1998** : (CIRSEE- Lyonnaise des Eaux) et al. « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « l'eau, l'industrie, les nuisances », n°212, pp.39-46, mai.

- **Libes Y, 2010:** Les eaux usées et leur épuration MEZOUAR, M. et TRIKI, S.2010. Contribution à l'étude de l'efficacité de filtration
- **Liu, F., Mitchell C.C., Odom J.W., Hill D.T, Rochester E.W.,1997.** Swine lagoon effluent disposal by overland flow: effects on forage production and uptake of nitrogen and phosphorus. *Agronomy Journal*, 89 900-904.
- **Loussert R et Brousse G, 1978:** Techniques agricoles et production méditerranéennes Edition GP. Maisonneuve et Larose, 464p
- **Loussert, 1989 :** les agrumes. Tome I et II Ed. JB bailliere, Paris.
- **Mara D and Pearson, 1987:** *Waste stabilization ponds: Design manual for Mediterranean Europe*. Copenhagen: World Health Organization - Regional Office for Europe, 53p.
- **Meinck.F.Stoof, H. Kohlschutter, H. 1977:** les eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement (mémoire de magister).
- **Mekhalif, F.2009 :** Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement (mémoire de magistère).
- **Nakib, M. 2015 :** Etude des possibilités d'utilisation des eaux épurées et des boues d'épuration dans l'agriculture (Doctorat, ENPC d'Alger)
- **OMS.1989 :** l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture recommandations à visées sanitaires.
- **OMS.2012 :** l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères ; p254.
- **Paraloran ,1971 :** Les agrumes. Collection techniques agricoles et production tropicale .Ed. G.P. Maisonneuve et la rose, Paris 5^{ème}.
- **Pearson, 2005:** Microbiology of waste stabilization ponds. In: A. SHILTON (Ed.): pp.14-48. *Pond Treatment Technology*. London: IWA Publishing.
- **Perrier A, 1984 :** Mise à jour des définitions sur l'évapotranspiration et les besoins en eau des cultures. In : A Perrier, ChRiou (eds) Les besoins en eau des cultures (Conf.Int.XIID, Paris), INRA, Paris.
- **Rejesk F, 2002 :** analyse de l'eau, aspect réglementaire et technique, édition CRDP. Aquitaine, p358.
- **Rodier J. 1996 :** L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème Edition, Dunod, Paris, 1383 p.

- **Rodier J., C,BroutinJ.P., ChambonP., Champsaur,H. ET Rodi,L., 2005 :** L'analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduaires , eaux de mer.8^{ème} Edition. Dunod, Paris.1383p.
- **Rodier J., Legube B., Merlet N et coll.2009 :** Analyse de l'eau 9^{ème} Edition.Dunod.
- **Salghi R, 2001 :** Différentes filières de traitement des eaux, eduniv IZ Rabat, p.22.
- **Salghi R., 2004 :** Différents filières de traitement des eaux. Université IBN ZOHR, Ecole nationale des sciences appliquées d'Agadir (ANSA Agadir) Maroc, 22p.
- **Tchimogo, 2001 :**Epuration des eaux usées de l'E.N.S.H par lagunage naturel. Mém .ing. Génie rurale. Blida.132p
- **Valiron F, B.R.G.M, 1983:** Orléans. La réutilisation des eaux usées. (Climats tempérés) ,208p.

ANNEXES

Tableau1 : Classification de l'eau en fonction de la salinité (FAO, 1985)

	EC ds/m	TDS mg/l
- Eau non saline	< 0,7	<500
- Eau saline	0,7 - 42	500-30 000
-Eau légèrement saline	0,7 - 3,0	500-2 000
Eau modérément saline	3,0 -6,0	2 000-4 000
- Eau très saline	>6,0	> 4 000
-Eau très fortement saline	>14,0	> 9 000
-Saumure	>42	> 30 000

Résumé

La problématique de raréfaction de l'eau naturelle (conventionnelle) constitue le principal frein au développement dans de nombreux pays, ceux du sahel et du sud de la méditerranée en particulier. Le recours des ressources non conventionnelles dans des secteurs comme l'agriculture constitue une alternative intéressante pour satisfaire une partie des besoins de ce secteur.

En Algérie, le nombre de STEP atteint 150 répartie sur l'ensemble du territoire du pays. La wilaya de Ghardaïa a bénéficié d'une station d'épuration pour traiter par voie biologique (lagunage naturel) les eaux usées de la ville de Ghardaïa. Le fort déficit hydrique qui caractérise cette région ne permet pas la conduite des cultures sous régime. Les besoins estimés en eau d'irrigation des agrumes et de l'olivier sont trois à quatre fois plus élevés que ceux estimée pour ces deux cultures sous des climats plus doux, comme la Mitidja. Le recours à l'eau non conventionnel serait donc une condition *sin qua none* pour combler, du moins, l'énorme déficit hydrique enregistré dans cette région. De plus, ces d'eau peuvent constituer une source non négligeable en nutriments, l'azote et phosphore en particulier, indispensable au développement des cultures. Ces eaux doivent cependant être utilisées de façon raisonnée afin d'éviter tout risque de pollution potentielle pouvant nuire au système de production.

C'est dans ce contexte de nous avons entrepris ce modeste travail dans le but de mettre à la disposition des gestionnaires des STEP, de même que les agriculteurs irrigants une méthodologie simple mais efficace pour la gestion des flux liquides produits par ces STEP. Le modèle semble répondre avec une grande efficacité et permet une gestion rationnelle et optimisée de ces flux en irrigation, sans le moins risque de pollution chimique.