

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

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
« ARBAOUI Abdallah »

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN
HYDRAULIQUE

OPTION : Conception des Systèmes d'irrigation et de drainage

THEME

LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES
POUR IRRIGATION DES TERRES AGRICOLES DE
LA VILLE D'OUARGLA (W.OUARGLA)

Présenté par :
M^r: MESSAOUDI Oussama

Promoteur :
M^r: O.RAISSI

MEMBRES DE JURY:

Président : M^r B.BENLAOUKLI

Examineurs :

M^{me} A.AZIEZ

M^{me} D.DJODAR

M^r R.REKROUK

M^r D.KOLIAI

Novembre 2011

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance
et de respect à :*

- *A mes chers PARENTS, essayant ainsi de vous
exprimer toute ma gratitude pour tout ce que
vous m'avez apporté.*
- *A mes Frères.*
- *A toute ma Famille.*
- *A mes amis et toutes personnes ayant participé
de près ou de loin à ce modeste travail.*

Et à tous ceux que j'aime.

MESSAOUDI Oussama

2010/2011

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Je remercie fortement mon promoteur: M^r RAISSI de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Je remercie également M^r « HICHAM BOUTALLI » et « ABDELHALIM OURAHOUNE » qui m'ont donné les informations nécessaires pour réaliser ce mémoire, sans oublier tous qui m'a orienté et donné des informations.

Je tiens à remercier aussi :

-  *Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail*
-  *Le corps enseignant et les étudiants de l'ENSH*
-  *Tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon mémoire..*

*MESSAOUDI
OUSSAMA
2010/2011*

ملخص

هذا المشروع يهدف الى دراسة لاعادة استعمال المياه القذرة التي تم تصفيتها على مستوى محطة مدينة ورقلة و تحديد الابعاد لايقصال المياه لري الأراضي الزراعية. لهذا الغرض قمنا بدراسة لنوعية المناخ التربة و المياه.

Résumé

Ce projet a pour objet de faire une étude de la réutilisation des eaux épurées au niveau de la STEP de Ouargla, et de dimensionner l'adduction de l'eau pour irriguer les terrains agricoles.

Pour cela une étude de qualité du climat, du sol et d'eau a été faite.

Abstract

This project has the aim of studying the re-use of the dirty water which had been clarified in Ouargla station. Moreover, it aims to make the dimension of the conductivity to the water in order to irrigate the agriculture soils.

For this, a study of the quality of climate, soil and water had been made.

Sommaire

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

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

Introduction.....	2
1 Pollution des eaux.....	2
1.1 Définition.....	2
1.2 Différentes pollutions de l'eau.....	2
1.2.1 La pollution chimique.....	2
1.2.2 La pollution organique.....	3
1.2.3 La pollution thermique.....	3
1.2.4 La pollution par les hydrocarbures.....	3
1.2.5 La pollution radioactive.....	3
1.2.6 La pollution agricole.....	3
1.3 Origine de la pollution.....	3
1.3.1 Pollution organique.....	3
1.3.2 la pollution micro biologique.....	4
1.3.3 La pollution minérale.....	4
1.3.4 La pollution toxique.....	4
2 Les eaux usées.....	4
2.1 Définition.....	4
2.2 Nature et origine des eaux usées.....	4
a- Les eaux usées domestiques.....	4
b- Les eaux usées industrielles.....	4
c- Les eaux de pluie et ruissellement.....	5
d- Eaux usées agricoles.....	5
3 Les principaux paramètres de la pollution.....	5
3.1 Les paramètres physiques de la pollution.....	5
a- La couleur.....	5
b- L'odeur.....	5
c- La température.....	5
d- La conductivité.....	6
e- La turbidité.....	6

f- Les matières en suspension (M.E.S)	6
g- Les matières volatiles en suspension (MVS)	6
h- Les matières minérales (M.M).....	6
3.2 Les paramètres chimiques	6
a- La demande biochimique en oxygène (BDO ₅).....	6
b- La demande chimique en oxygène (DCO).....	6
c- Le carbone organique totale (COT).....	7
d- Le pH (potentiel hydrogène)	7
e- Les nutriments (Azote, phosphore)	7
3.3 Les métaux lourds	7
3.4 Normes de rejet	7
Conclusion.....	7

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction	8
1 Localisation géographique	8
2 La STEP d'Ouargla	9
3 Cadre climatique.....	10
3.1 Les précipitations	10
3.2 La température	10
3.3 L'évaporation.....	10
3.4 L'humidité.....	12
3.5 La vitesse de vent	12
4 Synthèse climatique	13
4.1 Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTON	13
4.2 Diagramme Ombrothermique	14
4.3 Diagramme D'EMBERGER	14
5 Stratigraphie	15
6 Hydrogéologie.....	17
Conclusion.....	18

Chapitre III : Présentation de la station d'épuration

Introduction	19
1 Données de base	19

1.1 Nature des eaux usées et charges à traiter.....	19
1.2 Objectifs d'épuration et niveau de rejet.....	21
1.3 Caractéristiques du site d'implantation.....	21
a) Localisation et superficie disponible.....	21
b) Topographie	22
c) Contexte géologique et hydrogéologique.....	22
d) Hydrologie	22
2 Présentation du projet de la STEP.....	22
2.1 Principe de la filière retenue	22
a) Aménée des eaux usées en entrée de la station	23
b) Prétraitements	23
c) Lagunes aérées et de finition.....	24
d) Lits de séchage.....	24
3 Généralité sur les stations d'épuration.....	25
3.1 Définition de lagunage.....	25
3.2 Principe du lagunage aéré	25
3.3 Type de lagunage aéré	25
3.3.1 Les lagunes aérées aérobies.....	25
3.3.2 Lagunages aérées facultatives	25
3.4 Facteurs influençant le pouvoir épurateur.....	25
3.4.1 Facteurs climatiques.....	25
3.4.2 Facteurs physiques	26
3.4.3 Les facteurs chimiques	26
3.4.4 Facteurs biologiques.....	27
3.5 Avantages et inconvénients du lagunage aéré	27
3.5.1 Avantages	27
3.5.2 Inconvénients	27
4 Présentation de la station d'épuration	27
4.1 Description de la STEP.....	27
4.1.1 Prétraitement des eaux usées.....	28
4.1.2 Traitement secondaire des eaux usées.....	30
4.1.3 Décharge des boues.....	34
Conclusion.....	35

Chapitre IV : La réutilisation des eaux usées épurées

Introduction	35
1 Composition des eaux usées	36
1.1 Les micro-organismes	36
1.2 Les virus	36
1.3 Les bactéries	37
1.4 Les protozoaires	37
1.5 Les helminthes	37
1.6 Les matières en suspension (MES)	37
1.7 Les micropolluants	37
1.8 Les substances nutritives	38
2 Aspects techniques et sanitaires	38
2.1 L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	38
2.2 L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	42
2.3 Surveillance de la qualité des effluents traités réutilisés en irrigation	42
A- La salinité	42
B- La conductivité électrique (EC_w)	43
C- Le rapport d'adsorption du sodium	43
D- Les cations et les anions	43
E- Les métaux lourds	43
F- Nutriments de la plante	43
2.4 Comparaison entre les normes OMS et USEPA	48
3 La réutilisation des eaux usées épurées dans le bassin méditerranéen	48
4 Les techniques d'irrigations avec les eaux usées traitées	50
4.1 Irrigation par goutte à goutte (système d'irrigation ponctuel ou localisé)	50
4.2 Irrigation souterraine	51
4.3 Irrigation par micro asperseur	51
Conclusion	51

Chapitre V : Qualité des eaux sorties de la STEP

Introduction	52
1 Analyses des effluents à l'entrée et à la sortie de la STEP	52
1.1 Résultats d'analyses physico-chimiques de la STEP	52
1.2 Résultats d'analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP	56

2 Résultats analytiques et interprétations	56
a) Paramètres physiques	57
b) Paramètres chimiques	57
c) Paramètres bactériologiques	57
Conclusion	58

Chapitre VI : Plan culturel et calcul des besoins en eau

Introduction	59
1 Activités agricoles	59
2 Occupation du sol	59
2.1 Milieu urbain	59
2.2 Occupation du sol au niveau de la cuvette d'Ouargla	60
2.2.1 Les ergs à dunes	60
3 Modèles d'assolements proposées et données climatiques	61
4 Besoins en eau du périmètre d'un hectare de palmerais	61
4.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET ₀)	62
4.2 Evapotranspiration réelle ou de culture (ETR ou ETC)	63
4.3 Besoins net en eau du palmier	64
4.4 Besoins bruts en eau du palmier	64
5 Capacité de la STEP	67
Conclusion	68

Chapitre VII: Dimensionnement de l'adduction

Introduction	68
1 Dimensionnement du réservoir de distribution	68
Volume du réservoir	68
2 Dimensionnement de la station de pompage	69
2.1 Données de base	69
2.2 Dimensionnement de la bâche de stockage	69
a) volume de la bâche	69
b) surface de la bâche :	69
c) Longueur et largeur de la bâche :	70
2.3 Détermination de la hauteur d'élévation	70
a) Hauteur géométrique	70
b) Pertes de charges	70

2.4 Choix de type et nombre des pompes	71
Critères du choix du nombre de pompes.....	71
3 Etablissement de la conduite de refoulement.....	72
3.1 Choix du matériau de la conduite	72
3.2 Calcul du diamètre	72
3.3 Frais d'exploitation	73
3.4 Frais d'amortissement.....	74
3.5 Le coût total	74
Conclusion.....	75
Conclusion general.....	76

List de tableaux

Tableau I.1 : Normes de rejets de l’OMS, appliquées en Algérie.....	7
Tableau II.1: Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations	10
Tableau II.2: Moyennes mensuelles et annuelles de la température	10
Tableau II.3 : Moyennes mensuelles et annuelle de L’évaporation en (mm).....	11
Tableau II.4: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité.....	12
Tableau II.5: Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse de vent.....	12
Tableau II.7: Classification de climat selon MARTON	13
Tableau II.8: Quotient pluviométrique.....	15
Tableau III.1 : Les charges hydrauliques et polluantes aux différents horizons.....	19
Tableau III.2 : Caractéristiques des lagunes.....	14
Tableau IV.1: Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour une réutilisation des RUE en agriculture (Blumenthal et coll. 2000).....	41
Tableau IV.2 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).....	44
Tableau IV.3 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAQ 1985).....	44
Tableau IV.4 : Teneurs maximales d'éléments à l'état de traces recommandées pour les eaux d'irrigation (FAO-1985).....	45
Tableau IV.5: Autres Réglementations dans le monde.....	47
Tableau V.1: Evolution des débits moyens des eaux usées brutes et épurées	52
Tableau V.2: Résultats d'analyses physico-chimiques des EUE (2010).....	52
Tableau V.3: Résultats d'analyses physico-chimiques des EU brutes et traitées de la STEP (2011).....	53
Tableau V.4: Suite d'analyses des eaux de la STEP.....	54
Tableau V.5: Résultats d’analyses de (N) des eaux brutes et traitées (2011).....	55
Tableau V.6: Comparaison entre les analyses de (2010 et 2011)	55
Tableau V.7: Paramètres bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP (2011)	56
Tableau V.8: Paramètres mesurés des eaux usées a la sortie de la STEP	56
Tableau V.9: Limites recommandées en éléments traces (mg.L ⁻¹) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003).....	58
Tableau VI.1 : Résumé des données climatiques.....	61
Tableau VI.2: Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith.....	63
Tableau VI.3: pluies de projet et pluies efficaces de la station.....	65

Tableau VI.4 : Besoins en eaux en pour les palmiers.....	65
Tableau VI.5: Les débits de la STEP.....	67
Tableau VI.6 : Les surfaces qu'on peut les irriguer à partir de la STEP.....	67
Tableau VII.1: Dimensions du réservoir de distribution.....	68
Tableau VII.2: Dimensions de la bêche d'aspiration.....	70
Tableau VII.3: Variantes pour le choix du nombre de pompes.....	71
Tableau VII.4: Frais d'exploitation.....	73
Tableau VII.5: Frais d'amortissement.....	74
Tableau VII.6: Coût total.....	74
Tableau VII.7: Caractéristique de la conduite de refoulement.....	75
Tableau VII.8: Résumer de dimensionnement de l'adduction.....	75

Liste des figures

Figure II.1: Situation générale (Extrait de la carte Michelin N° 953).....	8
Figure II.2: Carte de situation de la cuvette (Extrait de la carte Michelin N° 953).....	9
Figure II.3: Répartition mensuelle des pluies à Ouargla (période 1997 – 2009).....	10
Figure II.4: Température moyenne mensuelle à Ouargla (période 1997 – 2009).....	11
Figure II.5: Evaporation moyenne mensuelle à Ouargla (période 1997 – 2009).....	11
Figure II.6: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité.....	12
Figure II.7: Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse de vent.....	13
Figure II.8: Diagramme Ombrothermique.....	14
Figure II.9: Diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....	15
Figure II.10: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord -Est Septentrional.....	17
Figure II.11: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972).....	17
Figure III.1: Plan général de la station d'épuration.....	27
Figure III.2: Dégriilleur.....	28
Figure III.3: Dessableur.....	29
Figure III.4: Le répartiteur.....	29
Figure III.5: Aérateur en marche.....	30
Figure III.6: Bassin d'aération (1 ^{ère} étape).....	31
Figure III.7: Bassin d'aération (2 ^{ème} étape).....	32
Figure III.8: Bassin de finition.....	33
Figure III.9: Lits de séchage des boues.....	34
Figure VII.1: Graphique du choix du diamètre économique.....	74

Liste des abréviations

° C: Degrés Celsius.

CE: Conductivité électrique.

D: Diamètre.

DBO: Demande biologique en oxygène en cinq jours.

DCO: Demande chimique en oxygène.

MES: Matière en suspension.

NO₄⁺: L'ammoniac.

NO₂: Nitrite.

NO₃: Nitrate.

OMS: Organisation mondiale de la santé.

Q: Débit.

PH : Le potentiel d'hydrogène.

STEP: Station d'épuration.

T: Température.

Introduction générale

La protection de l'environnement devient une nécessité, voire une urgence même pour limiter les dégâts causés par les différents types de pollution. Parmi les facteurs les plus polluants, les eaux usées de différentes origines déversées dans la nature, dans les oueds et la mer, ont déjà causées beaucoup de dommages aussi bien humains.

Consciente de la gravité de la chose l'Algérie, à l'instar des autres pays, à commencé à prendre les dispositions qui s'imposent. Le ministère de l'environnement a été crée, et qui, avec d'autres instances, a établi des plans d'action pour lutter contre ce phénomène.

Pour cela, les stations d'épuration sont primordiales pour la récupération, d'une part, de l'eau traitée et d'autre parts, éviter la pollution de l'environnement.

La ville d'Ouargla a une station d'épuration en fonctionnement, cette station est la plus récente dans la wilaya d'Ouargla, actuellement elle a destiné pour traiter les eaux usées domestique. Plusieurs processus de traitement sont utilisés. Leur maitrise nécessite une formation appropriée et des mesures strictes quant à leur utilisation.

Nous savons que l'irrigation agricole a besoin de beaucoup d'eau surtout dans les régions sahariennes. Actuellement, l'irrigation se fait depuis des forages c'est-à-dire consommation importante des eaux souterraines qui sont de préférence les utiliser pour des autres besoins dans les activités humaines.

Vue l'importance de la station d'épuration vis-à-vis de l'environnement, en plus on peut destiner les eaux usées épurées comment une nouvelle ressource d'eau qui peut couvrir les besoins agricoles et minimiser le gaspillage des eaux souterraines.

Dans ce travail on va traiter le thème de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation des terres dans la ville d'Ouargla à partir de la station d'épuration existante.

Introduction

Le respect de la santé publique et la protection des milieux naturels qui reçoivent les eaux usées sont les contraintes auxquelles doit répondre l'assainissement. En effet le développement de certaines épidémies au cours des siècles précédents, était dû à l'absence de traitement des eaux usées.

1 Pollution des eaux

1.1 Définition

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines. [12]

1.2 Différentes pollutions de l'eau

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

1.2.1 La pollution chimique

a- par les pesticides

Les pesticides sont des substances organiques utilisées par l'homme pour détruire des espèces végétales ou animales nuisibles. Il va de soi que si le pesticide élimine efficacement l'insecte ou la végétation nuisible, il n'en demeure pas moins qu'une utilisation abusive peut conduire à une rupture de l'équilibre écologique, et engendrer les produits secondaires encore plus toxiques aussi bien sur l'homme, sur la flore et la faune aquatique que sur les animaux et plantes. Trois grandes catégories de pesticides rassemblent les divers produits en usage : Il s'agit des organo - phosphorés, des organo - chlorés, et des désherbants. [12]

b- par les détergents

Ces trente dernières années ont vu s'accroître d'une manière intensive l'utilisation de produits détergents aussi bien chez la ménagère que chez l'industriel.

La présence de substances tensio-actives dans les eaux a des origines diverses:

- Une origine industrielle (textile, tanneries, blanchisserie, etc....).
- Une origine agricole due à l'entraînement par le ruissellement des eaux pluviales, des mouillants entrant dans la composition des insecticides et des germicides.
- Une origine urbaine due à l'utilisation ménagère des détergents, et de leur emploi pour le nettoyage des voies publiques par exemple; hôpitaux, casernes,...etc. [12]

c- par les produits toxiques

Les métaux lourds, dont l'exemple le plus connu est celui du chrome, ne créaient jusqu'à présent les soucis que dans les rivières, s'agissant le plus souvent de cas isolés. On se préoccupe aujourd'hui d'avantage de l'apparition de pollutions dues au mercure, au cadmium et au plomb. [9]

1.2.2 La pollution organique

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acception la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales). Chaque activités rejette des composés spécifiques biodégradables ou pas. [12]

1.2.3 La pollution thermique

Ce type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centrales thermique ou nucléaires en particulier. Ces eaux chaudes provoque la réduction de la teneur en oxygène dissous de l'eau et peut avoir des actions néfastes sur la faune. [17]

1.2.4 La pollution par les hydrocarbures

Elle s'intéresse d'abord et surtout, les mers, résultants du rejet des résidus pétroliers en haute mer aussi bien que dans les ports et les estuaires. Dans les eaux de surface, les hydrocarbures créent des taches d'aspect désagréable, formant un film qui empêche la ré-oxygénation naturelle de l'eau et compromet le pouvoir auto-épurant du milieu. [9]

1.2.5 La pollution radioactive

C'est la pollution générée par la radioactivité. Elle peut avoir plusieurs origines : naturelle, industrielle, militaire, médicale...La pollution radioactive est nocive pour l'homme: en effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux. Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est relativement faible, car ils atteignent les cellules environnantes de manière très concentrée, pouvant créer des tumeurs. [2]

1.2.6 La pollution agricole

La concentration des élevages donne un excédent de déjections animales ; celles-ci s'évacuent dans les cours d'eau et les nappes souterraines ; elles constituent une source de pollution bactériologique. Les engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent la qualité des nappes souterraines qu'ils atteignent par infiltration des eaux.

1.3 Origine de la pollution

1.3.1 Pollution organique

On distingue pour les eaux usées urbaines les matières organiques suivant: Les lipides, les protides, les glucides et les détergents.

1.3.2 La pollution micro biologique

L'eau usée est un milieu favorable pour le développement des germes pathogènes. La pollution micro biologique provoque chez l'homme des maladies hydriques qu'on appelle en abréviation MTH telles que la fièvre, typhoïde

1.3.3 La pollution minérale

Il s'agit de la pollution métallique, industrielle, ce sont les chromates, le cuivre,...

1.3.4 La pollution toxique

La pollution toxique dans les eaux usées peut être organique ou minérale. Les substances organiques toxiques sont entre autre les pesticides, les hydrocarbures et les produits organiques de synthèse industrielle. [2]

2 Les eaux usées

2.1 Définition

L'eau usée est une eau contenant des rejets d'activités humaines, industrielles et agricoles qui peuvent provoquer ou accroître la pollution du milieu naturel dans lequel elle est rejetée. Cette pollution peut être provoquée par des matières en suspension, colloïdales ou en solution de nature organique ou minérale.

2.2 Nature et origine des eaux usées

Les eaux usées proviennent principalement de quatre sources :

- Les eaux domestiques ;
- Les eaux usées industrielles ;
- Les eaux de pluie et de ruissellement. [19]

a- Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des habitations, et caractérisent par leurs fortes teneurs en matières organiques, en sels minéraux (azote, phosphore), en détergent et germes fécaux. Les eaux usées domestiques peuvent provenir de trois origines possibles :

- Eaux de cuisine : préparation des aliments, vaisselles, et sont riches en graisse.
- Eaux de buanderie : proviennent de lavage des locaux, elles contiennent des détergents, et des savons.
- Eaux vannes : proviennent des toilettes, et sont constituées de l'urine et de matières fécales diluées dans l'eau. [2]

b- Les eaux usées industrielles

Provenant des usines, elles sont caractérisées par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau. Tous les produits ou sous-produits de l'activité industrielle se retrouvent concentrés dans l'eau :

- Matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissage...) ;
- Sels métalliques (traitement de surface, métallurgie) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industrie chimique, tanneries...) ;
- Eaux chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactives). [2]

c- Les eaux de pluie et ruissellement

Ce sont des eaux de pluies et de lavage des chaussées. Ces eaux sont caractérisées par la présence des matières en suspension en grande majorité ainsi que des hydrocarbures provenant de la circulation automobile agricoles. [19]

3 Les principaux paramètres de la pollution

L'évaluation de la pollution d'une eau usée est basée sur la détermination de plusieurs paramètres physiques, chimiques et bactériologiques, ces paramètres indiquent

le degré de pollution de ces eaux et donnent le danger qui peut être provoqué par leur rejet en milieu naturel.

3.1 Les paramètres physiques de la pollution

a- La couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation,...), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés). La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de solutés induit une coloration qui ne se limite pas au seul domaine du visible. [3]

b- L'odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. En effet, une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. [3]

c- La température

La connaissance de la température est essentielle pour les réactions physico-chimiques et biologiques régies par leurs caractéristiques thermodynamiques et cinétiques. La température est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau.

d- La conductivité

La mesure de conductivité électrique, paramètre non spécifique, est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux résiduaire, valeur inverse de la résistivité (résistance d'une tranche d'eau de 1cm² de section et de 1cm d'épaisseur); la conductivité est fonction de la concentration en espèces ionisées, principalement de nature minérale. [3]

e- La turbidité

La turbidité liée à la présence plus ou moins importante de matière en suspension insoluble contenue dans l'eau usée, quelque soit d'origine minérale ou organique.

f- Les matières en suspension (M.E.S)

Les eaux résiduaires urbaines et industrielles contiennent des matières en suspension qui sont des matières ni solubilisées ni colloïdales. On peut considérer qu'elles représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières. Les MES peuvent être les décantables (les plus denses et plus grossières) et les MES non décantables (plus fins, colloïdales) les teneurs en MES sont obtenues après séchage à 150°C d'un volume connu d'échantillon. La concentration en MES dans les eaux usées sont très variables et de l'ordre de 100 à 300 mg/l. [17]

g- Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension et sont obtenues par calcination de ces MES à 105°C et MVS à 525°C donne la "perte au feu" et correspond à la teneur en MVS (en mg/l) d'une eau.

h- Les matières minérales (M.M)

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussières par exemple. [3]

3.2 Les paramètres chimiques

a- La demande biochimique en oxygène (BDO₅)

Elle représente la pollution biodégradable. Cette méthode d'analyse de la pollution correspond à la qualité d'oxygène nécessaire, pendant 5 jours, aux matières organiques (bactéries) contenus dans l'eau pour oxyder une partie des matières carbonées.

Matière organique + bactéries + oxygéné → Boues + gaz + eau

b- La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle représente la quantité totale de pollution oxydable et correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir grâce à des réactifs chimiques puissants, pour oxyder les matières contenues dans l'effluent.

c- Le carbone organique totale (COT)

Bien que le carbone organique total ne compte pas au rang des demandes d'oxygène, on peut le placer à proximité de celles-ci car il correspond aussi à une approche de la matière organique, dont le carbone est le constituant essentiel.

Le principe de COT repose sur la combustion des matières organiques carbonées d'un effluent après passage au four de 950°C sous un courant d'oxygène.

d- Le pH (potentiel hydrogène)

Le pH joue un rôle important dans le traitement biologique. Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées, il joue un rôle dans :

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;

Les processus biologique, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situant entre 6,5 et 8,5.

e- Les nutriments (Azote, phosphore)

1) Azote

- L'azote des eaux usées est essentiellement, constitué d'azote organique ammoniacal ou réfractaire (sous forme soluble et particulaire) et d'azote ammoniacal.
- L'azote est l'un des éléments qui favorise la prolifération d'algues, par conséquent la réduction de sa teneur avant le rejet des eaux est plus que nécessaire.

2) Phosphore

Le phosphore en majeure partie sous forme de phosphates PO_4^{-3} provient de nos déchets alimentaires et fécaux ainsi que des produits de nettoyage où ils sont ajoutés pour adoucir la dureté de l'eau contrariant leur efficacité.

Le phosphore peut être présent dans les eaux usées, soit sous forme d'ortho phosphates, soit sous forme de poly phosphates ou de phosphore organique. On parle aussi de phosphore total qui correspond à la somme de toutes les formes de phosphore.

3.3 Les métaux lourds

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel sans aucun doute. Leur présence, est nuisible pour l'activité des micro-organismes donc perturbe le processus d'épuration biologique.

Parmi ces métaux lourds on peut citer : le mercure Hg^{+2} , cadmium Cd^{+2} , fer Fe^{+2} , cuivre Cu^{+2} ...

3.4 Normes de rejet

Conformément aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS), les normes de rejet des eaux en Algérie sont résumées dans le **tableau I.1**.

Tableau I.1 : Normes de rejets de l'OMS, appliquées en Algérie

Paramètres	Unités	Normes
T	(°C)	30
pH	/	6,5 à 8,5
DBO	(mg.l ⁻¹)	40
DCO	(mg.l ⁻¹)	120
MES	(mg.l ⁻¹)	30
Zinc	(mg.l ⁻¹)	5
Chrome 3+	(mg.l ⁻¹)	3
Chrome 6+	(mg.l ⁻¹)	0,1
Aluminium	(mg.l ⁻¹)	5
Cadmium	(mg.l ⁻¹)	0,2
Manganèse	(mg.l ⁻¹)	1
Mercure	(mg.l ⁻¹)	0,01
Nickel	(mg.l ⁻¹)	5
Plomb	(mg.l ⁻¹)	1
Cuivre	(mg.l ⁻¹)	3
Azote Kjeldahl	(mg.l ⁻¹)	40
Phosphates	(mg.l ⁻¹)	2

Conclusion

Pour déterminer les caractéristiques d'une eau usée et connaître son degré de pollution, il est impératif de déterminer ses différentes composantes et les paramètres qui sont mis en jeu. Cependant, selon le besoin, nous sommes, souvent, amené à déterminer les paramètres essentiels qui entrent directement dans la conception d'un procédé d'épuration.

Introduction

Ce chapitre est une présentation générale du site d'étude (la ville d'Ouargla), Du point de vue situation géographique et conditions climatiques. L'étude détaillée des principaux facteurs climatiques, vont nous permettre de déterminer le type de climat caractérisant la zone d'étude.

L'analyse des différents facteurs climatiques de la ville est indispensable pour une conception d'un réseau d'irrigation, puisque ses réseaux sont à la base de divers calculs, tels que : le calcul des besoins en eau des cultures.

1 Localisation géographique

Notre zone d'étude est située dans la wilaya d'Ouargla, l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle est située au Sud-est de l'Algérie à une distance de 750 km de la capitale. Elle occupe une superficie de 163238 km².

La ville de Ouargla est située dans une dépression appelée « cuvette de Ouargla », elle s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880) en (m):

X = 710'000 ; Y = 3'530'000 et X = 730'000 ; Y = 3'600'000

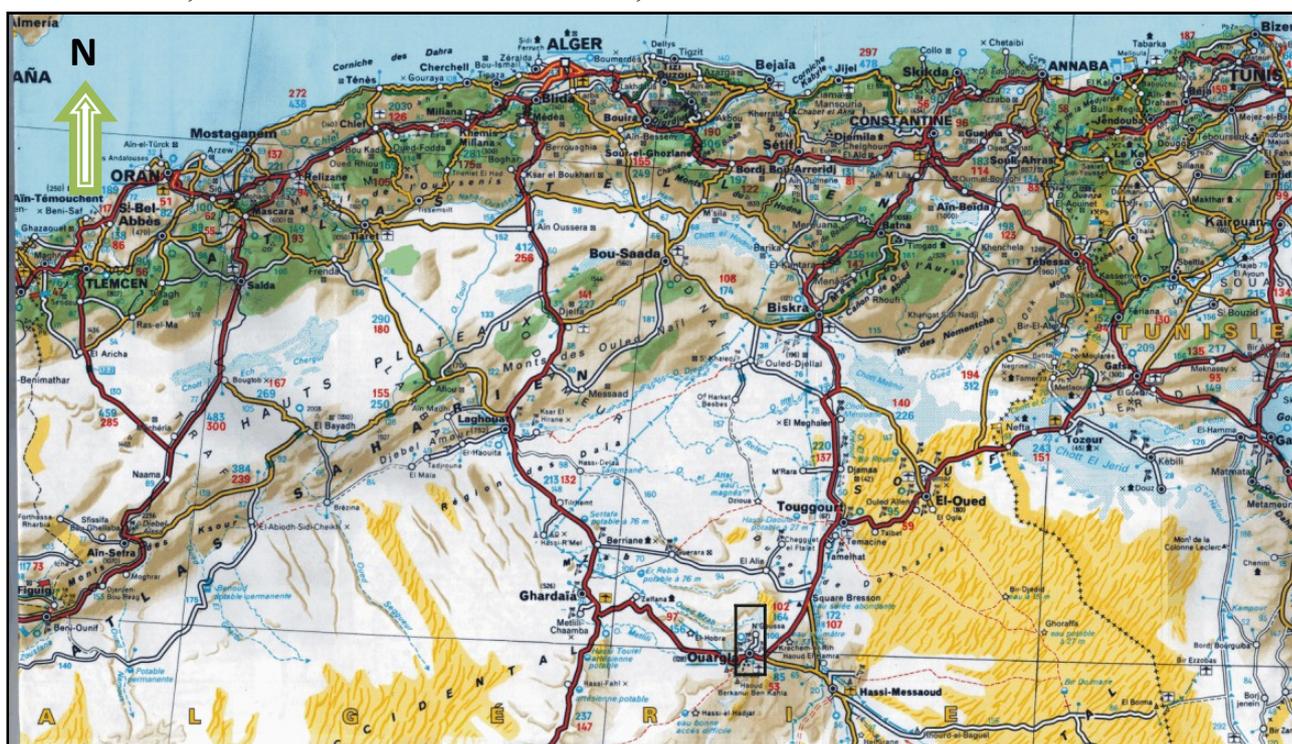


Figure II.1: Situation générale (Extrait de la carte Michelin N° 953), (Ech: 1/500000)

Elle est limitée par:

- La Sebkhet Safioune au Nord.
- Les ergs Touil et Arifdji à l'Est.
- Les dunes de Sedrata au Sud.
- Le versant Est de la dorsale du M'Zab à l'Ouest.

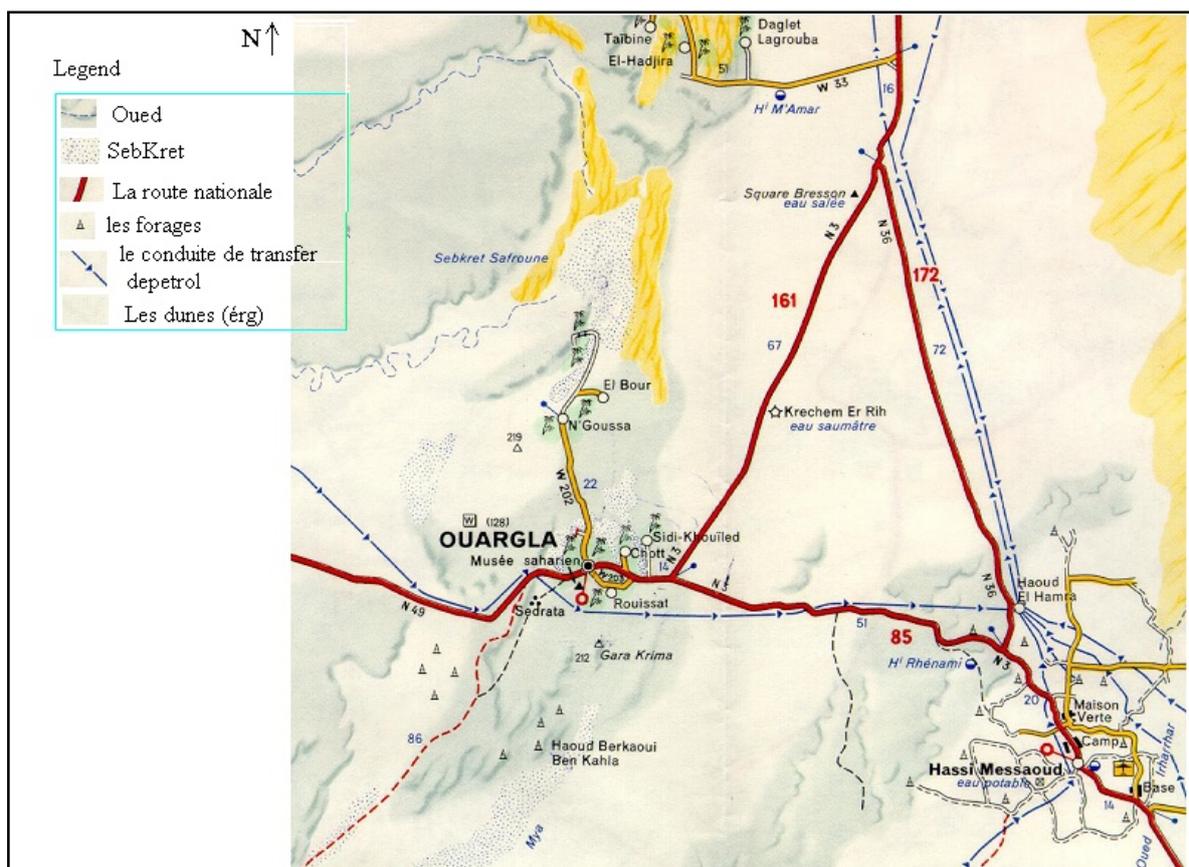


Figure II.2: Carte de situation de la cuvette (Extrait de la carte Michelin N° 953)
(Ech: 1/500000)

Le périmètre de la présente étude fait partie du territoire de la Wilaya d'Ouargla, elle-même sise au Nord Est du Sahara algérien. Il est contenu sur la carte dans le quadrant allant de 04° 10' à 05° 25' Est et de 31° 50' à 32° 30' Nord.

La wilaya de Ouargla est limitée par:

- ✓ La wilaya d'El Oued au Nord-est.
- ✓ La wilaya de Djelfa au Nord-ouest.
- ✓ La wilaya d'Illizi au Sud-est.
- ✓ La wilaya de Ghardaïa à l'Ouest.

2 La STEP d'Ouargla

La STEP de Ouargla est destinée à épurer les eaux usées des agglomérations de toute la population de la ville d'Ouargla. En 2005, la population de l'agglomération de Ouargla comprenant les communes d'Ouargla, Rouissat et Aïn Beïda a été estimée à 204100 habitants, à l'horizon 2015, la population atteindra 270000 habitants et 400000 à l'horizon 2030.

La STEP est située au Nord-est de la ville d'Ouargla à côté de la route d'évitement.

3 Cadre climatique

L'analyse des paramètres climatiques est basée sur les données météorologiques pendant des années.

Les principaux paramètres météorologiques se présentent comme suit :

3.1 Les précipitations

Tableau II.1: Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
P (mm)	14,4	1	4	2,4	1,2	0,3	0,5	1,4	5,6	12,3	7	2,5

Source : DHW Ouargla (Période : 1997-2009)

D'après ce tableau, on remarque que la valeur maximale des précipitations est enregistrée au mois de janvier (14,4 mm), tandis que le minimum est atteint au mois de juin (0,3 mm). La pluviométrie moyenne annuelle pour cette station est de 52.6 mm.

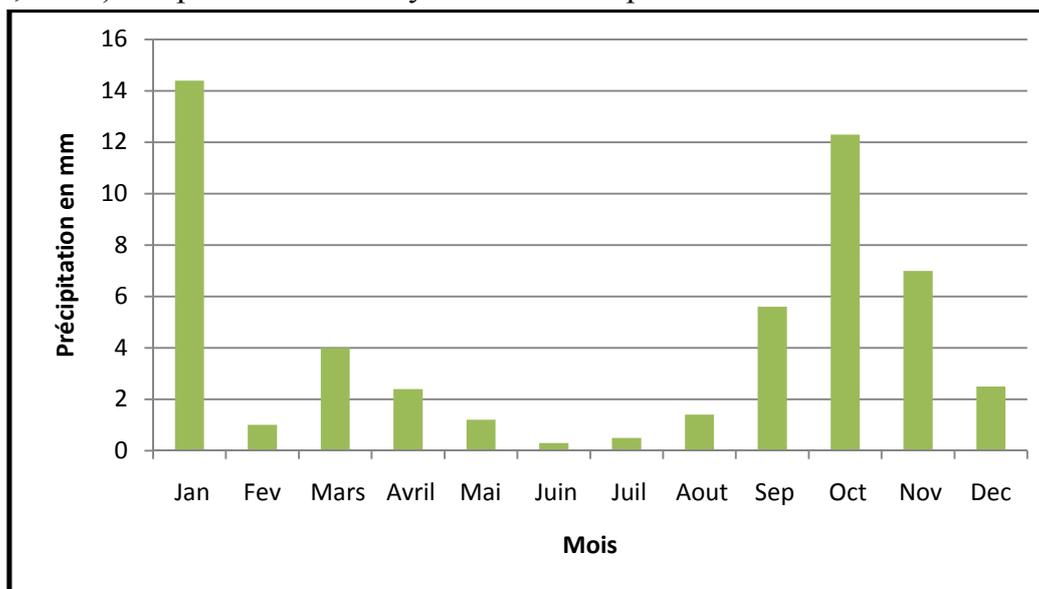


Figure II.3: Répartition mensuelle des pluies à Ouargla (période 1997 – 2009)

Source : DHW Ouargla

3.2 La température

Tableau II.2: Moyennes mensuelles et annuelles de la température

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Tmax (°C)	18,5	20,9	25,5	29,9	34,8	39,4	43,7	42,9	37,6	31,8	23,9	19,1
Tmin (°C)	4,9	6,6	10,1	14,9	20	25	28	27,3	23,7	17,8	10,1	5,9
Tmoy (°C)	11,7	13,7	18	22,5	27,6	32,8	35,1	34,1	30,7	25,6	16,9	12,3

Source : DHW Ouargla (Période : 1997-2009)

On remarque que la température Moyennes diminue pendant les trois mois d'hiver (Décembre, Janvier, Février) et atteint un minimum de 11,7°C en Janvier, elle augmente pendant les mois d'été (Juin, Juillet, Août, Septembre) et atteint le maximum de 35,1°C en Juillet. La moyenne annuelle est de 23,4°C.

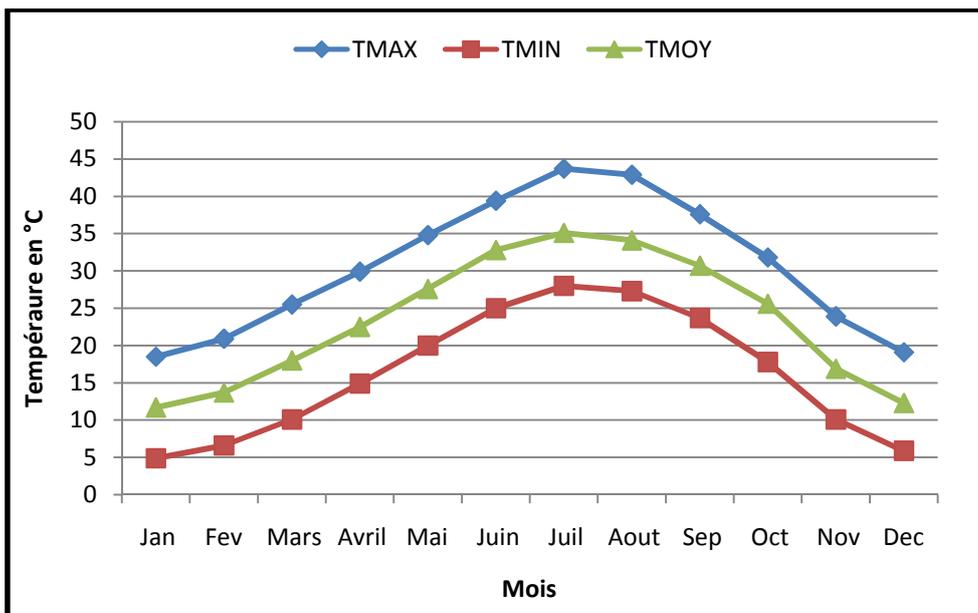


Figure II.4: Température moyenne mensuelle à Ouargla (période 1997 – 2009)

Source : DHW Ouargla

3.3 L'évaporation

Tableau II.3 : Moyennes mensuelles et annuelle de L'évaporation en (mm)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Evap.	102	139,7	218,2	289,7	343,2	431,9	484,1	451,8	319,2	239,6	137,3	95,4

Source : DHW Ouargla (Période : 1997-2009)

On peut remarquer que les valeurs les plus importantes sont enregistrées en période allant du mois de Mai au mois d'Août, la valeur la plus élevée est celle du mois de juillet (484 mm).

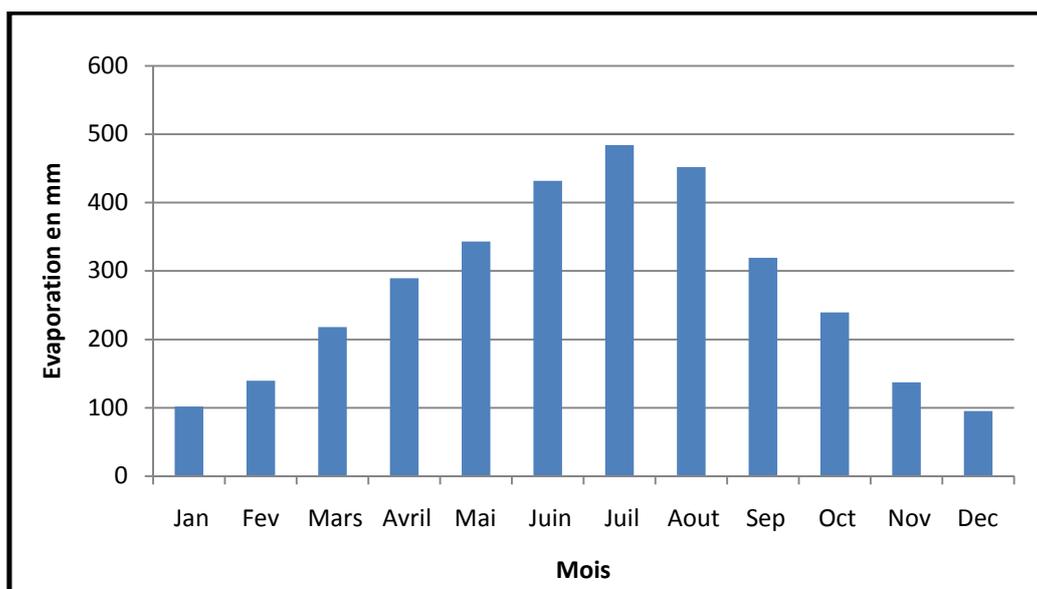


Figure II.5: Evaporation moyenne mensuelle à Ouargla (période 1997 – 2009)

Source : DHW Ouargla

3.4 L'humidité

Tableau II.4: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité

Paramètres	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	MA
H (%)	60,1	52,4	41,9	35,3	32,2	26,2	24,6	27,8	38	46,4	56,5	60,5	41,8

Source : DHW Ouargla (Période : 1997-2009)

D'après ce tableau Le taux d'humidité relative de l'air dans la zone d'Ouargla varie entre 24,6 et 60,5 %. Il diminue en été et monte en hiver. En outre, l'humidité est plus faible vers midi que le matin et le soir. La valeur moyenne annuelle est de 41,8 %.

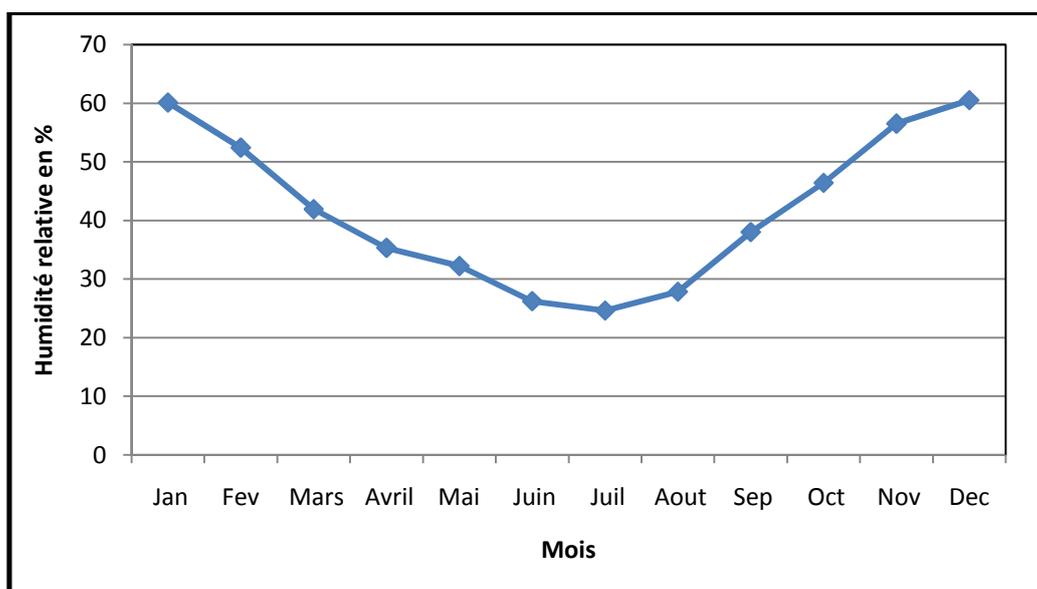


Figure II.6: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité

Source : DHW Ouargla

3.5 La vitesse de vent

Tableau II.5: Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse de vent

Paramètres	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	MA
V (m/s)	2,8	3,2	3,8	4,4	4,8	4,6	4,2	4	3,8	3,5	2,8	2,7	3,7

Source : DHW Ouargla (Période : 1997-2009)

D'après ce tableau sur les treize (13) ans d'observation, la vitesse de vent mesurée présente un maximum de 4.8 m/s en Mai et un minimum de 2.7 m/s enregistré en Décembre. La moyenne annuelle est de 3.7 m/s.

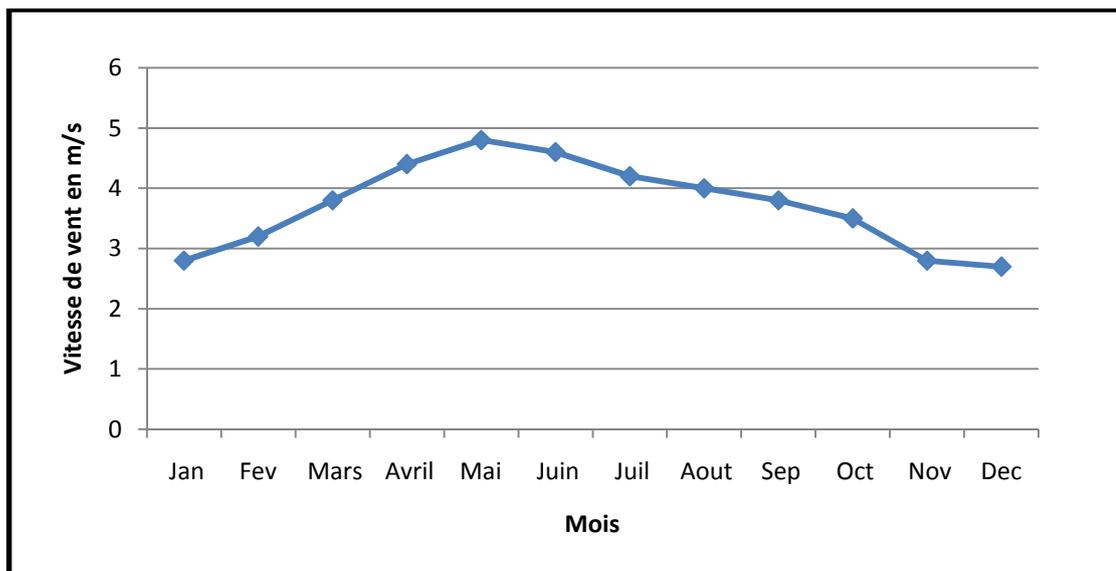


Figure II.7: Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse de vent

Source : DHW Ouargla

4 Synthèse climatique

A travers les deux facteurs importants du climat, la température et la pluviométrie, trois paramètres peuvent être déterminés:

- L'Indice d'aridité de MARTON
- Le Diagramme Ombrothermique
- Le Climogramme d'EMBERGER

4.1 Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTON

L'indice d'aridité de MARTON est un paramètre de classification du climat afin de nous permettre de savoir si l'irrigation est indispensable ou pas par rapport au type de climat.

L'indice d'aridité est donné par l'expression : $I_A = \frac{P}{T+10}$

I_A : Indice de Marton

P : Précipitation annuelle totale de la région en mm/an

T : Température moyenne annuelle en °C

Tableau II.7: Classification de climat selon MARTON

VALEURS DE I	TYPE DE CLIMAT	IRRIGATION
$I < 5$	désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Pour : $P=52.6$ mm ; $T=23,4$ °C

On aura : $I_A = \frac{52,6}{23,4+10} = 1,575$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime désertique, où l'irrigation est indispensable.

4.2 Diagramme Ombrothermique

En appliquant la formule $P = 2T$, le diagramme permet de déterminer la période sèche, où le mois sec est celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades.

Quand la courbe de température est au-dessus de celle des précipitations, la zone délimitée représente la zone sèche.

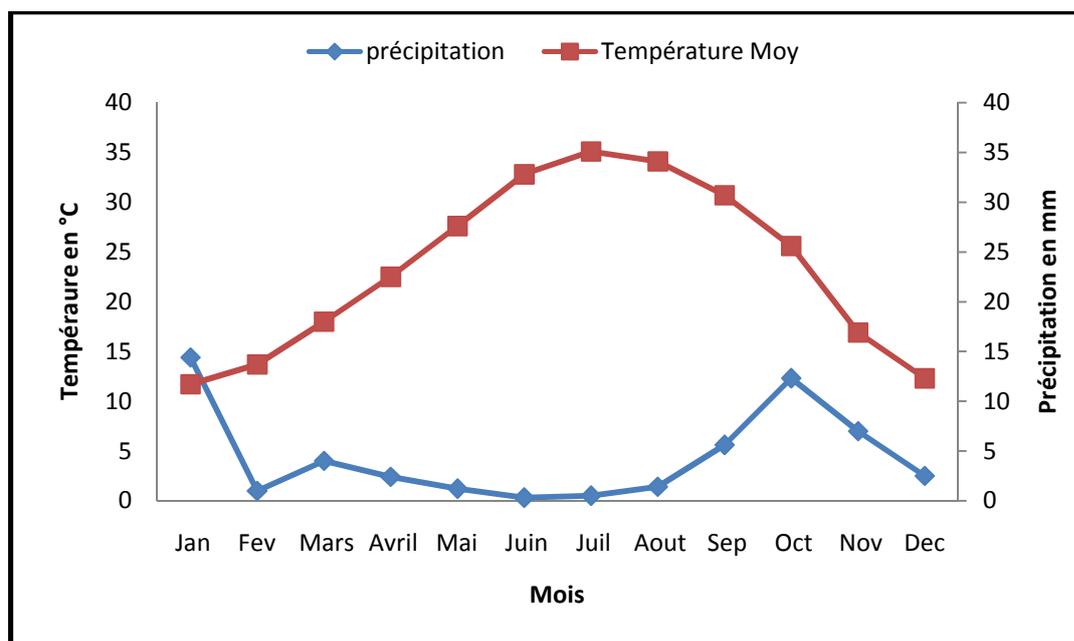


Figure II.8: Diagramme Ombrothermique

Source : DHW Ouargla

Etabli pour la station d'Ouargla, il ressort une période sèche pendant toute l'année à part le mois de janvier.

4.3 Diagramme D'EMBERGER

Son calcul se base essentiellement sur les températures et les précipitations.

Ce quotient n'est applicable qu'aux climats de type méditerranéen. Mis au point par EMBERGER (1930), il s'exprime par la formule :

$$Q2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm) ;

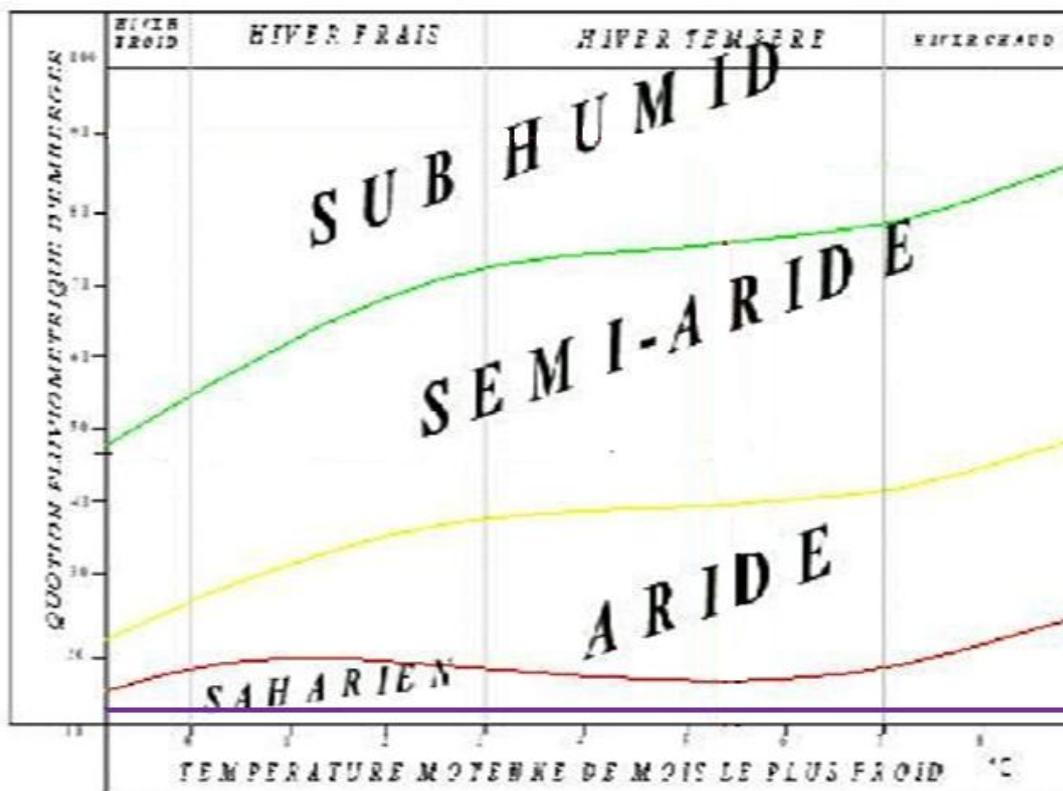
M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud (°K) ;

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid (°K).

En utilisant les deux valeurs Q2 et m, EMBERGER a défini les étages bioclimatiques qui sont reconnus par référence à un diagramme comportant un réseau de lignes séparatrices dans un espace orthonormé portant en ordonnées Q2 et en abscisse le m.

Tableau II.8: Quotient pluviométrique

Précipitations (mm)	m (°K)	M (°K)	Q2	Etage bioclimatique
52.6	277,9	316,7	4,56	Saharien

**Figure II.9:** Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

D'après la figure, nous avons constaté que la région se caractérise par un climat saharien très chaud.

5 Hydrogéologie

La cuvette d'Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques.

La carte piézométrique de la nappe phréatique en novembre 2003 et la coupe hydrogéologique à travers le Sahara sont présentées dans les figures suivantes :

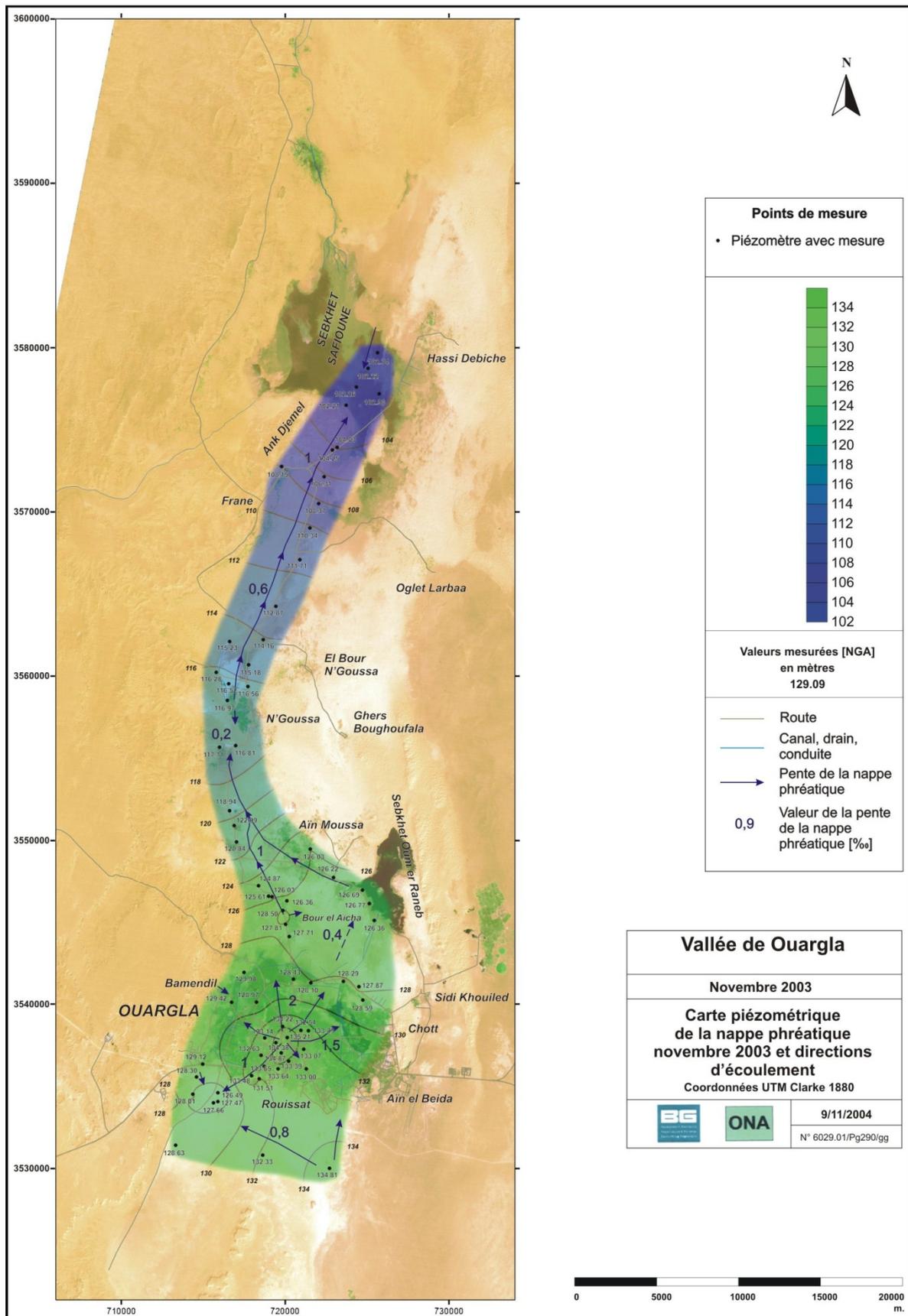


Figure II.10: Carte piézométrique de la nappe phréatique en novembre 2003

(cf. annexes graphiques A3, plan N° 6029.01/Pg 290/gg)

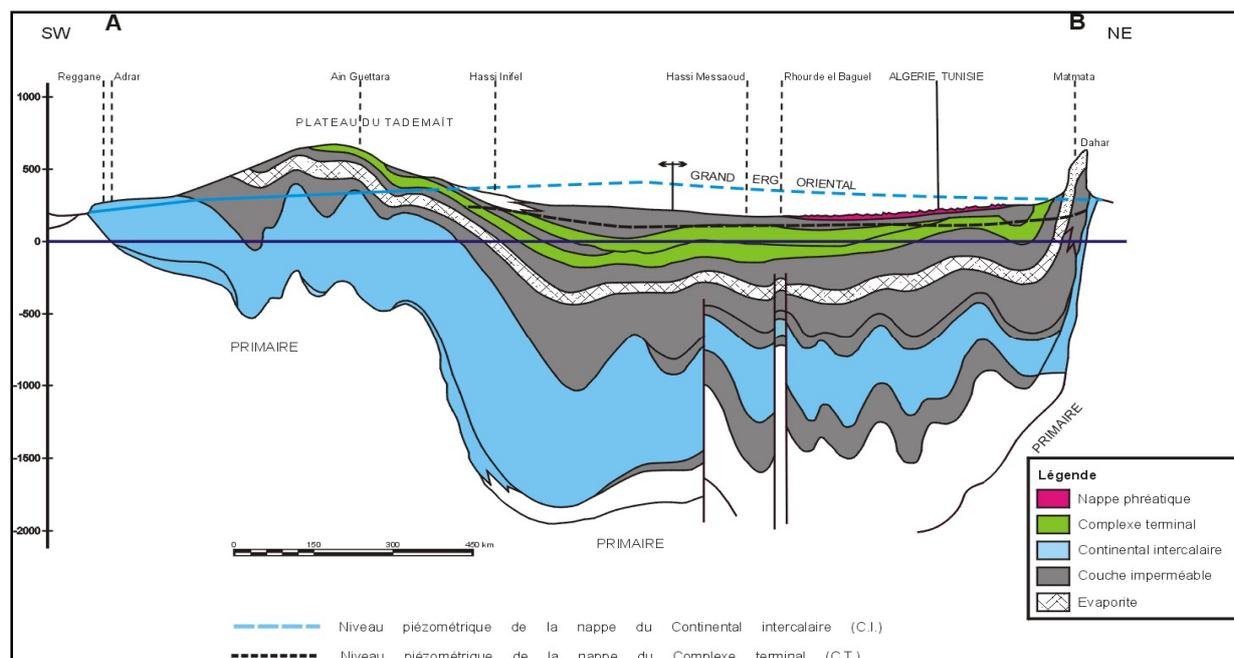


Figure II.11: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, les nappes artésiennes du Continental terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles.

Les eaux souterraines représentent la principale ressource hydrique de la Wilaya d'Ouargla, il existe trois grands ensembles aquifères qui du haut vers le bas sont :

1- La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface (parfois moins de 1 mètre), généralement entre 1 et 2 m, mais qui peut dépasser 18 m au Sud d'Ouargla.

2- L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT) comprenant trois aquifères différents qui de haut en bas sont le Mio-pliocène, le Sénonien et le Turonien. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300m.

3- L'ensemble aquifère du Complexe Intercalaire dite aussi nappe de l'Albien fortement artésienne située à 1100- 1200 mètres de profondeur.

Conclusion

Le climat dans la région d'Ouargla peut être caractérisé comme typiquement saharien. Les étés sont très secs et très chauds avec des températures moyennes mensuelles allant jusqu'à 43°C environ. Les hivers sont froids et secs; dans le mois le plus froid, au mois de Janvier, la température moyenne est d'environ 12°.

L'humidité relative observée est modérée pendant toute l'année avec une valeur moyenne autour de 42%. En Décembre, la moyenne journalière atteint le maximum soit 60,5%, elle ne descend pas en moyenne en dessous de 24%.

L'évaporation moyenne annuelle est de 3252,1 mm avec un maximum de 484,1 mm au mois de Juillet et un minimum de 95,4 mm en Décembre.

Introduction

Parmi les divers procédés d'épuration des eaux usées, dont l'application dépend des caractéristiques des eaux à traiter et du degré de dépollution souhaité, figure le lagunage naturel.

Moyen rustique d'épuration des eaux usées, il se distingue des autres techniques de traitement réputées intensives par de nombreux avantages. Ce procédé écologique, simple et peu onéreux se base sur les phénomènes responsables de l'autoépuration des cours d'eau.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter de lagunages aérés et La station d'épuration des eaux usées d'Ouargla.

1 Données de base

1.1 Nature des eaux usées et charges à traiter

Les caractéristiques des rejets sont typiquement celles d'un rejet domestique ; la part des rejets industriels reste limitée.

La fraction d'eaux parasites véhiculée dans le réseau d'assainissement représente actuellement environ 30% du débit total ; les travaux projetés de réhabilitation du réseau d'eaux usées permettront de réduire ces apports.

Le tableau suivant rappelle les charges hydrauliques et polluantes à traiter aux différents horizons.

Tableau III.1 : Les charges hydrauliques et polluantes aux différents horizons

HORIZON	Unité	2 005	2 015	2 030
DEFINITION DE LA POPULATION RACCORDEE				
Population totale	EH	204 102	273 731	393 592
% de raccordement au réseau	%	70%	95%	100%
Population raccordée	EH	142 937	260 102	393 592
DEFINITION DU DEBIT TOTAL D'EAUX USEES				
Débit d'eaux usées	m ³ /j	24 034	42 319	63 157
Débit d'eaux parasites	m ³ /j	16 872	14 678	10 870
Pourcentage d'eaux parasites	%	41%	26%	15%
Débit total	m ³ /j	40 906	56 997	74 027
Pourcentage par rapport à la capacité nominale	%	55%	77%	100%
Salinité	g/l	4,9	4,0	3,3

DEFINITION DES FLUX DE POLLUTION				
Flux DBO5 domestique	kg/jour	7 147	13 005	19 680
Flux DBO5 industriel	kg/jour	764	1 137	1 613
Flux DBO5 total	kg/jour	7 911	14 143	21 293
Pourcentage	%	37%	66%	100%
Concentration DBO5	mg/l	193	248	288
Ratio DBO5	g/EH.j	50	50	50
Flux DCO domestique	kg/jour	14 294	26 010	39 359
Flux DCO industriel	kg/jour	1 345	2 028	2 872
Flux DCO total	kg/jour	15 639	28 039	42 232
Concentration DCO	mg/l	382	492	570
Ratio DCO	g/EH	100	100	100
Flux MES domestique	kg/jour	10 006	18 207	27 551
Flux MES industriel	kg/jour	892	1 354	1 916
Flux MES total	kg/jour	10 898	19 561	29 468
Concentration MES	mg/l	245	319	372
Ratio MES	g/EH	70	70	70

(Source : ONA Ouargla)

A l'horizon 2030, la population totale raccordée au réseau d'assainissement collectif est de l'ordre de 395 000 équivalents – habitants ; le taux de raccordement sera proche de 100%.

Les travaux de réhabilitation du réseau d'assainissement vont permettre de réduire la part d'eaux parasites qui passe de 40% du débit total en 2005 à 15% en 2030. La salinité des eaux usées étant liée à la présence d'eaux parasites, celle-ci diminuera donc en conséquence.

Les caractéristiques des effluents véhiculés dans le réseau d'assainissement auront tendance à se rapprocher de celles des eaux usées urbaines issues d'un réseau séparatif.

A l'horizon intermédiaire 2015, les charges de pollution générées par l'agglomération d'Ouargla atteindront les 2/3 des charges finales obtenues à la capacité nominale (2030).

1.2 Objectifs d'épuration et niveau de rejet

Les objectifs de l'épuration de l'agglomération d'Ouargla définis dans le Plan Directeur sont les suivants :

- Supprimer les nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées;

- Protéger le milieu récepteur;
- Se garder la possibilité de réutiliser pour l'irrigation les effluents épurés.

Le niveau d'épuration retenu permettra, d'une part, le rejet vers le milieu récepteur via le drain principal et d'autre part une irrigation restrictive (niveau B suivant OMS).

Ce niveau d'épuration est caractérisé par les contraintes suivantes :

- **Paramètres organiques :**

DCO = 125 mg/l

DBO₅ = 40 mg/l

MES = 35 mg/l

- **Paramètre parasitologie :** moins de 1 œuf d'helminthes par litre.

1.3 Caractéristiques du site d'implantation

a) Localisation et superficie disponible

Il se situe au Nord-est de Ouargla à l'amont de la station de refoulement principale, entre les deux branches du drain principal.

Ce site permet de répondre aux besoins fonciers et aux objectifs d'assainissement (proximité du drain et de zones potentielles de développement agricole).

Le site d'implantation est limité :

- Au nord, par le drain existant ;
- Au sud, par un terrain vague se prolongeant jusqu'aux constructions traditionnelles ;
- Au sud-est, par des palmeraies ;
- A l'ouest, par le drain existant.

La surface aménageable, qui représente la superficie sur laquelle peuvent réellement être implantés l'ensemble des ouvrages d'épuration, est déterminée en prenant en considération les dispositions suivantes :

- Distance à respecter par rapport aux drains (nord et ouest): 10 m
- Distance à respecter par rapport à la palmeraie (est): environ 200 m

La superficie disponible, de l'ordre de 80 ha, est suffisante pour l'implantation de la station d'épuration.

La forme géométrique du site s'apparente à un trapèze dont les dimensions sont :

- Grande base (au nord) : 1 200 m
- Petite base (au sud) : 650 m
- Longueur au centre : environ 1 100 m

Actuellement, le site est inoccupé. A l'avenir, il conviendra de veiller à ce qu'aucun développement de l'occupation du sol n'ait lieu sur cette zone compte tenu de leur utilisation ultérieure.

b) Topographie

Le site est caractérisé par une morphologie plane avec une légère dénivelée vers le sud ; on ne distingue aucune anomalie particulière d'ordre topographique. Cette caractéristique ne fait pas ressortir un sens d'écoulement particulier (côte moyenne de 129 m NGA).

c) Contexte géologique et hydrogéologique

D'un point de vue géologique, le site est établi au sein d'un vaste bassin à substratum Mio-Pliocène constitué par la formation des sables rouges.

Au-dessus, s'est déposée une couverture sédimentaire d'âge Quaternaire où l'on observe deux faciès principaux :

- En surface et jusqu'à 1,00 m/TN en moyenne, des sables moyens à fins, légèrement gypseux, de couleur souvent uniforme marron-beige à ocre. Ces sables sont apparus relativement bien homogène sur l'ensemble des sondages.
- Puis des limons argilo-sableux ou même des sables argileux marron plus foncé, relativement saturés en eau, et comportant une forte proportion de cristaux de gypse. Cet horizon présente une épaisseur de l'ordre de 3 à 5m (Voir localement plus).

Une des particularités géotechniques majeures, est la présence d'une nappe superficielle étendue sur l'ensemble du site. Le toit de cette nappe a été rencontré entre 1,30m et 1,80 m/TN sur l'ensemble des sondages (puits et piézomètres), soit entre les côtes 127,1 et 127,7 NGA.

d) Hydrologie

Le site d'implantation de la station est situé hors zone inondable.

2 Présentation du projet de la STEP

2.1 Principe de la filière retenue

La définition de la filière de traitement des eaux usées et des boues résulte de la prise en compte :

- Des charges à traiter et de leur évolution;
- Des objectives de l'assainissement;
- Des critères de dimensionnement;
- Des caractéristiques du site d'implantation des lagunes;
- Des échéances de réalisation des travaux.

La station de traitement des eaux usées de l'agglomération d'Ouargla est conçue de la manière suivante.

a) Amenée des eaux usées en entrée de la station

Lorsque les travaux de réseau seront réalisés, les eaux usées à traiter arriveront à la station d'épuration par l'intermédiaire de quatre stations de refoulement.

Les caractéristiques des conduites de refoulement arrivant à la station d'épuration sont les suivantes :

- **Refoulement 01:**

Conduite d'amenée des eaux usées DN 600 mm de SP de Chott.

- **Refoulement 02 :**

Conduite d'amenée des eaux usées DN 315 mm de SP Sidi Khouiled.

- **Refoulement 03 :**

Conduite d'amenée des eaux usées DN 400 mm de nouvelle SP Caserne/Hôpital.

- **Refoulement 04 :**

Conduite d'amenée des eaux usées DN 500 mm de SP Douane.

- **Refoulement 05 :**

Conduite d'amenée des eaux usées DN 700 mm de SP route N'Goussa.

(Source: La STEP d'Ouargla)

Les conduites de refoulement débouchent dans un regard de réception. Ce dernier assure une oxygénation naturelle des eaux brutes. Cette opération permet d'évacuer le H₂S qui pourrait se former dans les conduites de refoulement.

b) Prétraitements

A partir du regard de dégazage, les eaux usées sont dirigées vers l'ouvrage de prétraitement. Cet ouvrage est constitué d'une étape de dégrillage et d'une étape de dessablage.

Le dégrillage permet de protéger les équipements électromécaniques, et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes suivantes du traitement.

Le système comprend un ensemble de 2 dégrilleurs automatiques disposés en parallèle. Ces ouvrages sont encastrés dans des chenaux en béton. Un canal de secours équipé d'une grille statique disposée en parallèle permettra de by passer complètement l'ensemble des prétraitements, en cas de problème sur les dégrilleurs automatiques.

Les refus de l'ensemble des dégrilleurs sont acheminés au moyen d'une vis de convoyage vers une benne à déchets. Cette vis assure également un compactage des refus et permet ainsi de réduire le volume des déchets.

Le dessablage permet la décantation des résidus les plus denses (sable). L'élimination du sable évite l'ensablement des bassins. Le dessablage sera réalisé à partir de 3 chenaux rectangulaires disposés en parallèle et dans lesquels se produit une décantation des sables.

Les sables décantent et sont concentrés en fond d'ouvrage au niveau d'une fosse à sable. Une pompe assure l'extraction des sables vers un classificateur qui permet l'égouttage des sables avant stockage dans une benne.

c) Lagunes aérées et de finition

A la suite de ces prétraitements, la filière est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition.

Les effluents sont répartis entre les six lagunes du premier étage grâce à 1 répartiteur. Les eaux en cours de traitement transitent de façon gravitaire des lagunes

aérées 1 vers les lagunes aérées 2 puis vers les lagunes de finition. Il est prévu, à la sortie de chaque lagune, un ouvrage muni d'une crête déversant permettant de contrôler le niveau d'eau dans la lagune.

L'étage aéré n°2 et l'étage de finition sont constitués de 2 lagunes. La liaison entre deux lagunes se fait grâce à des canalisations gravitaires de liaison.

Les eaux épurées (sortie lagune de finition) seront reprises par un collecteur de restitution auquel seront raccordés tous les ouvrages de sortie.

En entrée et sortie, un canal venturi associé à une sonde ultrason de mesure de la hauteur d'eau en amont permettra de mesurer de manière continue les débits.

Les lagunes d'aération sont pourvues d'un système d'aération artificielle qui assure l'oxygénation des eaux usées ; il s'agit d'aérateurs flottants.

d) Lits de séchage

Le fonctionnement épuratoire de ces lagunes se traduit par l'accumulation de boues au fond. Régulièrement quand le volume « utile » de la lagune, c'est à dire le volume total moins celui occupé par les boues, devient trop faible et se traduit par des temps de séjour trop courts il est nécessaire d'extraire ces boues.

Cette extraction a lieu lors des opérations de curage. Les boues extraites sont acheminées et épandues sur les lits de séchage au moyen de pompes et de tuyaux de refoulement.

Ces boues voient leur siccité augmenter grâce à l'évaporation naturelle couplée à un système de drainage. Ce dernier favorise l'évacuation de la plus grande partie de l'eau par simple ressuyage. Cette eau sera évacuée en tête de station d'épuration par l'intermédiaire d'un poste de refoulement.

A l'issue de ce séchage les boues sont évacuées vers leur destination finale, mise en décharge ou épandage sur des cultures pour lesquelles elles constituent un amendement organique intéressant.

3 Généralité sur les stations d'épuration

3.1 Définition de lagunage

Le lagunage n'est autre qu'un réacteur « agro-bactérien », il s'agit d'un ou de plusieurs bassins en série exposés à l'air libre destinés au traitement biologique des eaux usées. Il s'y réalise à la fois une transformation des charges polluantes et une stabilisation des boues produites qui, sous l'action des micro-organismes se développent dans le milieu (bactéries et algues en particulier). Les bassins reproduisent un phénomène en amplifiant l'action auto-épurateur des étangs.

3.2 Principe du lagunage aéré

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec apport artificiel d'oxygène. Elle est classée comme un procédé extensif.

Dans l'étape d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments.

Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation.

L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. La consommation électrique de chacun de ces deux procédés est similaire à celle d'une boue activée.

3.3 Type de lagunage aéré

On distingue deux types de lagunages aérés :

- Le lagunage aéré strictement aérobie.
- Le lagunage aéré aérobie / anaérobie facultatif.

3.3.1 Les lagunes aérées aérobies

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 4.8 m.

3.3.2 Lagunages aérées facultatives

Il y a formation de dépôt qui évolue en milieu anaérobie. Le premier cas est très peu utilisé car il est grand consommateur d'énergie.

La seconde solution est rencontrée plus fréquemment : elle s'apparente au lagunage naturel par l'épuration des eaux usées par échange eau/sédiment.

3.4 Facteurs influençant le pouvoir épurateur

3.4.1 Facteurs climatiques

a) Radiations solaires

Elles constituent la principale source de chaleur dans la lagune et favorisent la dégradation de la matière organique. Ces radiations solaires sont indispensables à la photosynthèse. La réaération de surface joue un rôle minime dans la livraison d' O_2 aux organismes aérobies. La grosse part d' O_2 est fournie par les algues, qui ne peuvent produire de l' O_2 qu'en présence de lumière adéquate.

b) Température

La température est un facteur très important aussi, elle agit directement sur la vitesse des réactions biologiques. L'activité biologique du milieu est plus importante autant que la température augmente.

L'optimum se situe autour de 25°C. Il y a une forte croissance algale au temps que la température de l'eau atteint 20°C.

c) Le vent

Le vent assure le brassage des eaux et contribue ainsi à une meilleure répartition de la température et de l'oxygène dissous et évite la stratification des eaux. Il contribue à l'évaporation au niveau de la surface d'eau en renouvelant la pellicule d'air située immédiatement au-dessus de celle-ci.

d) Evaporation

Dans la période estivale l'évaporation est très intense, elle peut diminuer le débit des effluents traités et peut augmenter la charge. Elle peut être néfaste et doit donc être prise en compte lors du dimensionnement.

3.4.2 Facteurs physiques

a) La forme des bassins

La forme de bassins doit être hydrodynamique pour faciliter la circulation des effluents et éviter aussi les zones mortes.

b) Profondeur des bassins

La profondeur agit directement sur la pénétration de la lumière qui favorise la photosynthèse.

c) Le volume des bassins

Le volume de bassin permet avec les débits de fixer un temps de séjour optimum dépendant de la charge admise et de la dépollution souhaitée.

3.4.3 Les facteurs chimiques

a) Le pH

Le pH est un paramètre très important pour le pouvoir épuratoire. Un milieu très alcalin ou très acide ne peut être toléré puisqu'il y a une limite de tolérance imposée par les micro-organismes.

b) 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 manque de charge.

c) La composition en sels minéraux

Cette composition doit être suffisante assurer aux végétaux une croissance normale, tout excédant peut provoquer des inhibitions.

3.4.4 Facteurs biologiques

Le lagunage est basé sur des mécanismes d'épuration naturels où chaque organisme a un rôle à jouer, tout particulièrement les bactéries et les algues. Un des rôles essentiels du lagunage est l'oxygénation de l'eau par les algues, qui est suivie par une minéralisation et une production des déchets inorganiques. On reconnaît trois avantages aux algues ; la ré oxygénation, la minéralisation et la production d'une chaîne alimentaire.

3.5 Avantages et inconvénients du lagunage aéré

3.5.1 Avantages

- ✓ Accepte les variations assez importantes de charge organique ou hydraulique.
- ✓ Accepte les effluents concentrés.
- ✓ Accepte les effluents déséquilibrés en nutriments.
- ✓ Bonne intégration paysagère.
- ✓ Boues stabilisées.
- ✓ Fréquence de curage espacée (tous les deux à cinq ans).

3.5.2 Inconvénients

- ✓ Nécessite un agent spécialisé pour l'entretien du matériel électromécanique.
- ✓ Nuisance sonore possible.
- ✓ Coût d'exploitation relativement élevé (forte consommation énergétique).

4 Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration des eaux usées est celle de type lagunage aérée. Qui composée de six lagunes aérées réparties en deux étages de traitement et de deux lagunes de finition (3ème étage), d'un ouvrage de prétraitement (Dégrillage, dessablage), de 11 lits de séchage des boues dépuration et de bâtiments d'exploitation, ainsi que le montage des équipements hydromécaniques et électriques.

4.1 Description de la STEP

Station d'épuration des eaux usées à lagunage aéré est conçue pour desservir les communautés de :

*la population totale peut comporter d'environ 400000 habitants.

*la pleine capacité de la station d'épuration sera atteinte en 2030.

*le processus de traitement des eaux usées se base sur des lagunes aérées, et comprend les étapes principales ci-après :

- Prétraitement avec dégrillage et dessablage longitudinal.
- Bassins d'activation primaire (étape 1 avec 4 lagunes aérées parallèles).
- Bassins d'activation secondaire (étape 2 avec 2 lagunes aérées parallèles).
- Bassins de traitement d'affinage ou maturation (étape 3 avec 2 lagunes de finition parallèles).
- Traitement de boues (11 lits de séchage des boues).

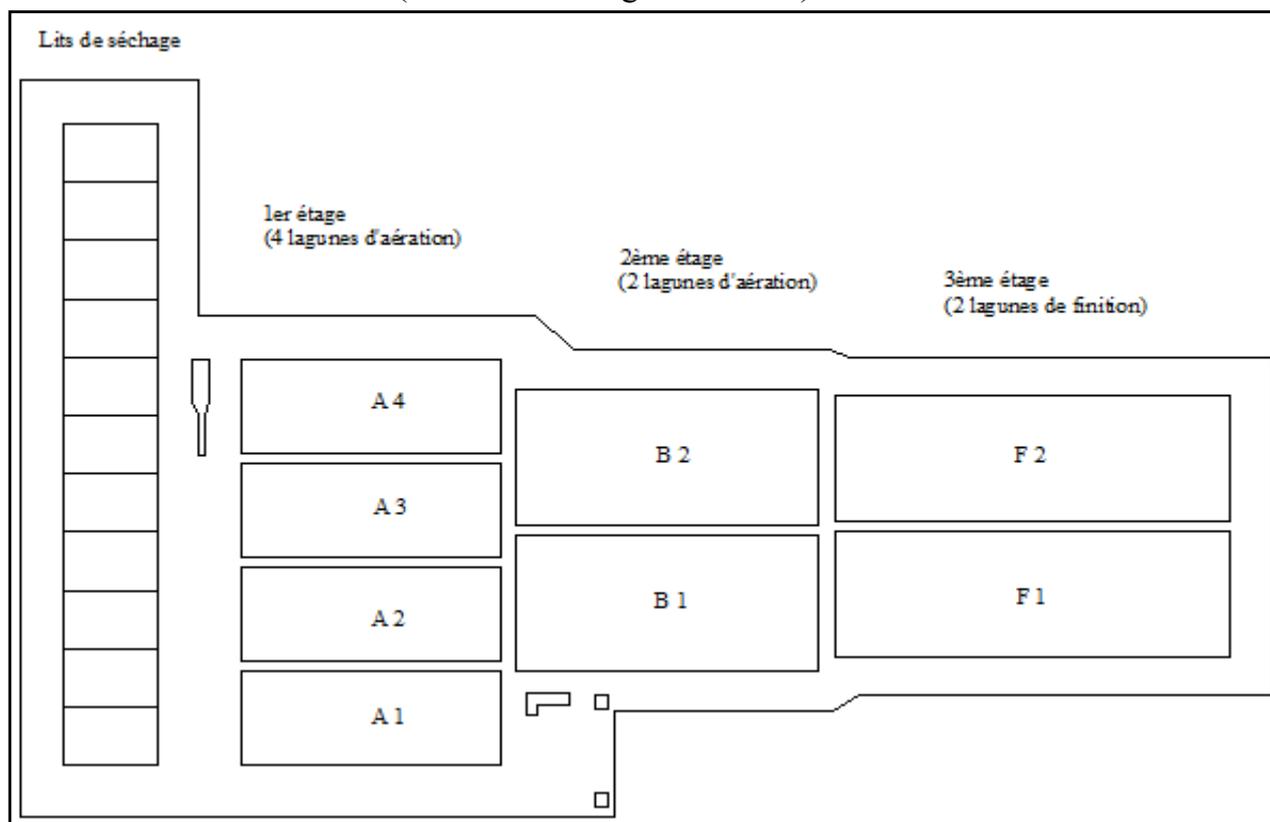


Figure III.1: Plan général de la station d'épuration

4.1.1 Prétraitement des eaux usées

a) Dégrillage

Construit en béton, avec deux chambres et dégrillage grossier dans le courant principal de l'eau usée ainsi qu'une chambre pour le by-pass de secours lors des pannes du dégrillage.

Les eaux usées traversent une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, espacement entre barreaux 15 mm retiennent les éléments les plus grossiers, après les grilles nettoyer par un système à racleur motorisé dont l'action automatisée est déclenchée par un capteur de niveau spécialement conçu qui surveille en permanence la différence entre le niveau d'eau en amont et en aval sur la grille, une fois que les débris ont été recueillis et soulevés par le racleur, ils sont chargés dans une cuve horizontale, au moyen d'un transporteur à vis horizontal et sans arbre, ces débris sont ensuite déposés dans un conteneur à débris.



Figure III.2: Dégrilleur

b) Dessablage

Construit en béton, avec trois chambres. Dans cette zone, le sable contenu dans les eaux usées est décanté grâce à une réduction de la vitesse d'écoulement et grâce à la force gravitaire.

Ces particules sont ensuite aspirées par un pont racleur avec moteur électrique et des pompes d'aspiration avec suspension flexible (pompes à moteur submersibles).

Le mélange sable eau s'écoule par les conduites en acier du pont racleur vers le conduit en acier, monté sur la paroi extérieure du dessablage et puis vers le classificateur à sable pour la déshydratation.



Figure III.3: Dessableur

4.1.2 Traitement secondaire des eaux usées

Après le traitement primaire il y a un répartiteur qui a des vannes pour conduire les eaux vers les lagunes aérées de 1^{ère} étape.



Figure III.4: Le répartiteur

a) Lagunes aérées-première étape

Suite à l'alignement des vannes des conduites du répartiteur, l'eau usée à traiter biologiquement s'écoule par les conduites et répartie de manière homogène. Le traitement biologique d'eau usée consiste des trois lagunes aérées (A1, A2, A3 et A4) de la même taille et conception ainsi que les conditions de processus de base comme suivants :

Longueur : 250 m;

Largeur : 97 m;

Capacité : 85 200 m³;

Superficie : 2.4 ha;

Profondeur d'eau : 3.50 m.

Pour assurer une réduction efficace de la pollution biologique (DBO₅) et chimique (DCO). A l'intervention des micro-organismes et l'oxygénation que fournir par 12 aérateurs dans chaque lagune, pour atteindre dégradation de pollution organique entre 70-80 %. Selon le bilan global suivant :



Figure III.5: Aérateur en marche



Figure III.6: Bassin d'aération (1^{ère} étape)

b) Lagunes aérées-deuxième étape

Le fonctionnement de la deuxième étape d'aération est identique à la première. Mais pour la dégradation de la charge restante d'environ 20-30 % assuré par 6 pièces d'aérateurs ont été installées dans chaque lagune.

Les caractéristiques des lagunes sont :

Longueur : 290 m;

Largeur : 141 m;

Capacité : 113 600 m³;

Superficie : 4.1 ha;

Profondeur : 2.80 m.



Figure III.7: Bassin d'aération (2^{ème} étape)

c) Lagunes de finition

Les lagunes de finition ont été conçues et construites selon le même système que les lagunes aérées 1 et 2 et sont pris les dimensions suivants :

- Longueur : 380 m;
- Largeur : 129 m;
- Capacité : 74 027 m³;
- Superficie : 4.9 ha;
- Profondeur : 1.50 m.

Les lagunes de finition ou de traitement final, ont été construites pour améliorer la qualité de l'eau usée traitée biologiquement, en majeure partie des matières dégradables est retenue dans les lagunes de l'étape 1 et 2. Voilà pourquoi, le dépôt des boues dans les lagunes de traitement de finition augmente juste lentement. Les écarts de temps jusqu'au raclage des boues peuvent ainsi être prolongés par rapport aux lagunes aérées. Selon une estimation approximative, on peut assurer une fréquence de raclage de 8 – 10 ans. L'eau usée clarifiée biologiquement est dirigée vers l'émissaire.



Figure III.8: Bassin de finition

4.1.3 Décharge des boues

- Lits de séchage des boues

Construire 11 lits de séchage dans 1 ligne en sont remplis des graviers de différente granulométrie et couverts du sable comme couche de couverture. Conçues comme bâches terrestres avec revêtement en feuille, tuyaux perforer de drainage pour la déshydratation et des rampes d'accès pour la décharge de la boue sèche.

Pour le raclage de la boue déposée au radier des lagunes d'eau usée, un racleur de boue avec une pompe à piston rotatif aspire le mélange boue-eau et le transmet par une conduite de refoulement flexible, la boue pompée s'écoule par la suite vers les lits de séchage. Elle stockée dans les lits de séchage et déshydratée dans les conditions naturelles. Dans les conditions climatiques locales on peut assumer un temps de séjour d'environ 15 – 18 jours. Ainsi, on atteint un taux de matière sèche de 400 – 450Kg/m³.



Figure III.9: Lits de séchage des boues

Conclusion

Dans ce chapitre on a prescrit la STEP et les successions, de l'étape d'épuration et on a expliqué le principe et les caractéristiques de lagunage aéré.

Cette station est plus récente, actuellement elle n'a pas des problèmes de fonctionnement, elle peut comporter les eaux usées domestiques de la ville d'Ouargla jusqu'à l'année 2030 d'après les statistiques du développement démographique.

On résume les caractéristiques des lagunes dans le **tableau III.2**.

Tableau III.2 : Caractéristiques des lagunes

Paramètres	Premier étage de lagunage aéré	Deuxième étage de lagunage aéré	Troisième étage de lagunage finition
Nombre de bassins	4	2	2
Hauteur (m)	3,5	2,8	1,5
Volume par bassin (m³)	85'200	113'600	74'027
Volume total (m³)	340'800	227'200	148'054

(Source: La STEP d'Ouargla)

Introduction

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans le monde et essentiellement dans les régions affectées par des pénuries de ressources en eau.

Par définition, la réutilisation des eaux épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler les déficits.

Les eaux usées après épuration en station et traitement complémentaire sont appelées eaux usées épurées. Elles sont employées pour des usages agricoles, industriels et urbains au lieu d'être rejetées dans les milieux récepteurs.

La réutilisation d'eaux usées épurées pourrait ainsi avoir de nombreuses applications comme :

Réutilisation pour l'irrigation: cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies,...

- 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 (dans quelques pays développé).

Étant donné que plus de 70% de l'eau est utilisée par l'agriculture et les autres 30% partagés pour les besoins de consommation humaine, commerciale et industrielle, la majorité des projets de réutilisation des eaux usées épurées ont une vocation agricole et sont principalement destinés à l'irrigation.

L'utilisation croissante des eaux usées brutes ou traitées à des diverses fins à travers le monde a contribué au développement de lignes directrices pour protéger l'environnement et la santé publique. À cet égard, la qualité de l'eau réutilisée est d'une importance capitale.

L'irrigation est l'activité humaine qui consomme le plus d'eau. La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de REUE. En effet, elle évite que les stations d'épuration rejettent leurs effluents polluants dans le milieu récepteur.

La réutilisation des eaux usées en agriculture apporte des bénéfices supplémentaires et améliore, dans certains cas, les rendements des cultures.

Ces bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES (Matière en suspension) contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux, est

économiquement intéressante pour les agriculteurs.

Le bénéfice d'une REUE peut donc être double :

Au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais ;

Au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue.

Néanmoins, il y a lieu de prendre certaines précautions quant à l'apport en excès de ces éléments fertilisants. Il y a en effet un triple risque :

- Un risque sanitaire : les MES protègent les micro-organismes de beaucoup de traitements, comme les traitements au chlore ou aux ultraviolets. Il existe donc une compétition entre l'élimination des micro-organismes et la préservation des MES en vue d'une utilisation agricole ;
- Un risque technique : si les MES sont présentes en trop grand nombre, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations des systèmes d'irrigation ;
- Un risque agronomique et environnemental : il est possible que les éléments soient apportés en excès. Dans ce cas, il y a un risque de pollution des sols et de diminution du rendement. Les taux en éléments nutritifs (nitrate essentiellement) et la salinité de l'eau utilisée (cause de la dégradation des sols) sont de première importance. Il faut donc trouver le bon équilibre entre le niveau de traitement, les besoins des cultures et la nature du sol. L'utilisation d'eaux épurées pour l'irrigation doit donc se faire avec précaution.

1 Composition des eaux usées

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause de principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées. La réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés par les taux de concentration de ces micro-organismes. Il est donc nécessaire de rappeler des notions élémentaires à leur sujet.

1.1 Les micro-organismes

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales ; on distingue alors la flore entérique normale et les micro-organismes pathogènes. Ces derniers ont des effets divers sur la santé ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles (choléra).

1.2 Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries, ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté

accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation.

Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit à une sous estimation de leur nombre réel. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement.

1.3 Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau dont la majorité n'est pas pathogènes, cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important.

La voie de contamination majoritaire est l'ingestion, les bactéries pathogènes d'origine hydrique sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde. Parmi les plus communément rencontrée on trouve les salmonelles dont on connaît plusieurs centaines de stéréotypes différents, dont ceux responsables de typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux.

1.4 Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries, se sont les plus importants du point de vue sanitaire. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées.

1.5 Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l.

1.6 Les matières en suspension (MES)

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures.

1.7 Les micropolluants

Ce sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes.

1.8 Les substances nutritives

Potassium, phosphates et nitrates Leur présence dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur la santé humaine et la qualité des eaux superficielles et dans une moindre mesure un impact bénéfique sur les cultures dans le cas d'une réutilisation agricole.

Les nitrates, qui permettent de fournir de l'azote à la plante, sont les plus problématiques. En effet, apportés en excès, ils peuvent avoir plusieurs impacts négatifs :

- Sur les cultures : ils entraînent des retards de maturation, une altération de la qualité,...
- Sur le milieu naturel : les nitrates sont les principaux responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques ;
- Sur la santé humaine : les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques : la méthémoglobinémie et un risque de cancer. Les nitrites sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus. Les nourrissons de moins de 6 mois représentent une population à risque.

2 Aspects techniques et sanitaires

2.1 L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Les recommandations de l'OMS sont les seules à l'échelle internationale. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde, et notamment l'Algérie.

L'OMS a demandé en 1982 à trois équipes indépendantes de chercheurs de fournir une base scientifique pour établir ces recommandations. Cela a abouti en 1989 au "Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture" ou "Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture" ces recommandations limitent l'irrigation avec une qualité microbiologique de 1 œuf nématode/l (les œufs de nématodes sont des œufs de vers intestinaux tels que le ténia ou l'ascaris qui affectent la santé humaine).

Ces recommandations ont été révisées en 2000 par Blumenthal et col/. En intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques.

Cette révision a affiné les normes de l'OMS. Les modifications ont essentiellement porté sur la norme " œufs d'helminthes " qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/l.

Une troisième édition des recommandations de l'OMS relative à la réutilisation des eaux usées en agriculture a été publiée en septembre 2006. Dans cette nouvelle édition, une approche plus contemporaine et plus souple est proposée, basée sur les données

épidémiologiques disponibles et sur un processus d'évaluation quantitative des risques sanitaires. Ce parti pris, qui consiste à fonder une réglementation sur une démarche scientifique, est radicalement novateur et n'a d'équivalent que dans la réglementation australienne.

Ces recommandations ne concernent que l'usage agricole, et il y a donc un "vide juridique" pour les autres usages. Les normes concernent uniquement les quantités de micro-organismes.

Les protozoaires ne sont pas inclus directement car il est considéré qu'ils sont éliminés en même proportion que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée.

D'après l'Office International de l'Eau, en se référant aux directives de l'OMS (1989), on retient trois catégories de contraintes sanitaires C, B et A. Ces contraintes à risques croissants sont liées aux types d'usage des eaux et aux systèmes d'irrigation. Ces contraintes sont de deux types: contraintes biologiques et contraintes chimiques.

➤ **Contraintes de type C**

Concernant la qualité microbiologie, aucune limite n'est fixée étant donné les techniques mises en jeu et les types de cultures pratiquées qui ne permettent pas une transmission des risques hydriques. Il s'agit principalement des techniques d'irrigation souterraine ou localisées (micro-irrigation), pour des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des vergers et des zones forestières mais aussi pour les espaces verts non ouverts au public.

➤ **Contraintes de type B**

Les contraintes de type B consistent à respecter le niveau de contraintes suivant : teneur en œufs d'helminthes intestinaux (ténia, ascaris) de 1 par litre. Ceci permettra d'assurer une protection de la population vis à vis du risque parasitologique. La catégorie de personnel concernée directement est celle des agriculteurs et ouvriers. Ce niveau est requis pour l'irrigation par le système gravitaire des cultures céréalières et fourragères, des pépinières et des cultures de produits végétaux consommables après cuisson (pomme de terre, chou, carotte, tomate ...).

En cas d'irrigation par aspersion, des précautions et mesures particulières arrêtant la dispersion des eaux doivent être prises.

Le niveau de contraintes de type B peut être atteint par une série de bassins de décantation, présentant un temps de séjour d'une dizaine de jours, ou par tout autre procédé présentant une efficacité équivalente.

➤ **Contraintes de type A**

Le niveau de contrainte A est exprimé par une teneur en œufs d'helminthes intestinaux (ténia, ascaris) de 0,1 par litre et par une teneur en coliformes thermo tolérants de 10.000 par litre.

Sur le plan bactériologique, une protection supplémentaire que le niveau de contraintes A consiste à assurer, outre la protection des personnels des exploitations et du bétail, celle des consommateurs de produits pouvant être consommés crus. Cette exigence de qualité doit être complétée par la mise en œuvre de techniques d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

Ce niveau sera également toléré pour l'arrosage des terrains de sport et d'espaces verts ouverts au public, moyennant des mesures additionnelles minimisant le contact avec la population.

OMS (2000) : Les normes suivantes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée.

Tableau IV.1: Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour une réutilisation des RUE en agriculture (Blumenthal et coll. 2000)

<i>Catégorie</i>	<i>Conditions de réutilisation</i>	<i>Groupe exposé</i>	<i>Techniques d'irrigation</i>	<i>Œuf d'helminthe (1)</i>	<i>Coliformes Totaux</i>	<i>Coliformes Thermo tolérants Fécaux (2)</i>	<i>Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique</i>
A	<i>Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics (3)</i>	<i>Travailleurs Consommateurs Publics</i>	<i>Toutes</i>	<i>< 0,1</i>	<i>< 10.000/1</i>	<i>< 1000 — < 200 (pour irrigation, parc...)</i>	<i>Série de bassins de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement remplis séquentiellement, ou traitement équivalent (p.ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d'un lagunage tertiaire, soit d'une filtration et d'une désinfection)</i>
B	<i>Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et plantations d'arbres (4)</i>	<i>B1 Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), populations alentour</i>	<i>Par aspersion</i>	<i>< 1</i>	<i>Pas de contrainte</i>	<i>< 10.000</i>	<i>Série de bassins de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent (p.ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par lagunage, soit une filtration)</i>
		<i>B2 comme B1</i>	<i>Par rigole d'infiltration ou par gravités</i>	<i>< 1</i>	<i>Pas de contraintes</i>	<i>< 1000</i>	<i>Comme pour la catégorie A</i>
		<i>B3 Travailleurs dont les enfants < 15 ans), populations alentour</i>	<i>Toutes</i>	<i>< 0,1 contrainte</i>	<i>Pas de</i>	<i>< 1000</i>	<i>Comme pour la catégorie A</i>
C	<i>Irrigation localisée des cultures de catégorie B, sans exposition possible avec les travailleurs ou le public.</i>	<i>Personne</i>	<i>Goutte à goutte, micro jet, etc</i>	<i>Non applicable</i>	<i>Pas de contrainte</i>	<i>Pas de norme</i>	<i>Prétraitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire</i>

- 1- Moyenne arithmétique du nombre d'œuf par litre. Espèce considérée sont Ascaris, Tricheries et l'ankylostome
- 2- Moyenne géométrique du nombre par 100 ml
- 3- Une recommandation plus stricte (< 200 coliformes fécaux par 100 ml) est mieux adaptée aux pelouses publiques telles que les pelouses d'hôtels, car le public est susceptible d'entrer en contact avec elles.
- 4- dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation devrait être interrompue deux semaines avant la cueillette. L'irrigation par aspersion ne devrait pas être utilisée.

2.2 L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Selon les recommandations de la FAO -1988, l'eau à utiliser pour l'irrigation contient toujours des quantités mesurables de substances dissoutes qui selon une terminologie collective admise, sont appelés «sels». On y trouve des quantités relativement faibles mais ayant des effets importants.

Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient. Avec une eau de qualité médiocre, on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques. Il faut alors mettre en œuvre des méthodes spéciales (Traitement efficace .Contrôle de la qualité de l'eau épurée ...) Afin de maintenir une pleine productivité agricole.

En effet, d'après les directives de la FAO en matière de réutilisation des eaux usées, les mesures de protection suivantes doivent être mises en pratique :

- Application des normes de réutilisation des eaux usées ;
- Traitement efficace des eaux usées ;
- Contrôle de la qualité de l'eau épurée ;
- Contrôle de canalisation de transport, de distribution et de stockage

des eaux épurées ;

- Contrôle des personnes exposées.

2.3 Surveillance de la qualité des effluents traités réutilisés en irrigation (FAO, 1985)

En irrigation avec l'eau usée traitée, le problème critique est l'impact de ses constituants sur le sol et/ou les cultures ainsi que sur les animaux et les humains nourris avec ces cultures.

Les paramètres de qualité chimiques proposés, qui peuvent être surveillés régulièrement ou périodiquement par des agriculteurs ou pour les agriculteurs, par les autorités officielles sont:

A- La salinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation. L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na,

réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR — Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité. Par conséquent, le SAR et la conductivité électrique devraient être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels.

B- La conductivité électrique (EC_w)

Est un des paramètres généralement le plus mesuré, en particulier dans des régions arides et semi-arides, pour estimer la valeur totale en sels solubles dans l'eau. La salinité est probablement le paramètre simple le plus important, qui détermine le système de culture et la gestion des terres irriguées avec l'eau usée.

C- Le rapport d'adsorption du sodium

L'index le plus largement répandu pour mesurer les changements physico-chimiques du sol :

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

Où les concentrations ioniques (Na⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺) sont exprimées en meq/l.

D- Les cations et les anions

Ca, Mg, Na, CO₃, HCO₃, SO₄, Cl, certains de ces ions peuvent être surveillés seulement au début et ensuite périodiquement puisqu'ils changent légèrement.

E- Les métaux lourds

Bien que les métaux lourds (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Li, Mn, Hg, Ni, Se) ne sont pas nécessairement un problème pour la réutilisation de l'eau usée, il est recommandé que ces éléments soient déterminés au moins une fois avant la première irrigation. La surveillance périodique est recommandée pour ceux trouvés en concentrations qui peuvent affecter le système sol-plante.

F- Nutriments de la plante

Les solides en suspension et les éléments colloïdaux et dissous présents dans l'eau usée contiennent des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes. Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constitue ainsi une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées.

Tableau IV.2 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992)

Concentration en nutriments (mg/l)	N	P	K
	40	10	30
Nutriments apportés annuellement par l'application de 10 000 m ³ d'eau/ha (1000mm)	400	100	300

Dans le tableau ci-dessus, sont présentées les directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau destinée pour l'irrigation afin d'éviter des effets nocifs sur la qualité du sol. Cette directive permet de classer le degré de restriction dans l'utilisation de l'eau épurée dans l'irrigation en fonction de certains paramètres de qualité cités ci-dessus.

Tableau IV.3 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAQ 1985)

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		Sévère
		Aucun	Léger à modéré	
Salinité CE _w Ou TDS	dS/m mg/l	< 0.7 < 450	0.7 ÷ 3.0 450 ÷ 2000	> 3.0 > 2000
Infiltration				
SAR=0-3 et CE _w = 3-6 = 6-12 = 12-20 = 20-40 =	dS/m	> 0.7 > 1.2 > 1.9 > 2.9 > 5.0	0.7 ÷ 0.2 1.2 ÷ 0.3 1.9 ÷ 0.5 2.9 ÷ 1.3 5.0 ÷ 2.9	< 0.2 < 0.3 < 0.5 < 1.3 < 2.9
Toxicité spécifique des ions Na Irrigation de surface Irrigation par aspersion	SAR még/l	< 3 < 3	3÷9 > 3	> 9
Cl Irrigation de surface Irrigation par aspersion	még/l még/l	< 4 < 3	4 ÷ 10 > 3	> 10
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7÷3.0	> 3.0
Effets divers Azote (NO ₃ -N) Bicarbonate(HCO ₃)	mg/l még/l	< 5 < 1.5	5 ÷ 30 1.5÷8.5	> 30 > 8.5
pH		Gamme	Normale	6.5÷8.5

Source : FAO 1985

- 1- EC_w: signifie la conductivité électrique en déci Siemens par mètre à 25°C.
- 2- SAR: signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio).
- 3- NO₃-N : signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en termes d'azote élémentaire. NH₄-N et N- organique devraient être également examinés dans les eaux usées.

Dans le tableau ci après, sont présentées les concentrations maximales des éléments de traces dans les eaux destinées à l'irrigation :

Tableau IV.4 : Teneurs maximales d'élément à l'état de traces recommandées pour les eaux d'irrigation (FAO-1985)

Eléments	Concentration maximale recommandée (mg/l)	Observations
Al (Aluminium)	5,0	Peut causer la baisse de productivité dans les sols acides (pH<5,5), mais des sols plus alcalins (pH>7) va précipiter l'ion et éliminer la toxicité.
As (Arsenic)	0,1	La toxicité pour les plantes varie largement de 12 mg/l pour le gazon du Soudan à moins de 0,05 mg/l pour le riz.
Be (Béryllium)	0,1	La toxicité pour les plantes varie largement de 5 mg/l pour "Kalé" à 0,5 mg/l pour les haricots.
Cd (Cadmium)	0,01	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à de faibles concentrations (0,10 mg/l dans la solution nutritive). Des limites prudentes sont recommandées en raison des possibilités de former des concentrations, dans les végétaux et les sols, dangereuses pour l'Homme.
Co (Cobalt)	0,05	Toxique pour les plantations de tomate à 0,1 mg/l dans les solutions nutritives. Il tend à être désactivé dans les milieux neutres ou alcalins.
Cr (Chrome)	0,10	N'est en général pas considéré comme un élément essentiel de la croissance. En raison d'un manque d'information sur ses effets toxiques on recommande des limites prudentes.
(Cuivre) Cu	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations comprises entre 0,10 et 1,0 mg/l, dans la solution nutritive.
F (Fluor)	1,0	Non activité dans les sols neutres ou alcalins.
Fe (Fer)	5,0	² Pas toxique pour les plantes dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la baisse de la disponibilité du phosphore et du molybdène essentiel. peut provoquer, en aspersion «haute», des dépôts peu esthétiques sur les plantes, l'équipement et les bâtiments.

Li (Lithium)	2.5	Toléré par la plupart des plantes jusqu'à '5 mg/l. Mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à faible concentration (<0,075 mg/l). Agit comme le bore.
Mn (Manganèse)	0.20	Toxique pour un certain nombre de plantes, à partir de quelques dixièmes de mg/l à quelques mg/l, mais en général dans les sols acides.
Mo (Molybdène)	0.01	Non toxique pour les plantes à concentrations normales dans le sol et l'eau. Peut-être toxique pour les animaux si le fourrage est planté dans des sols avec haute concentration de molybdène.
Ni (Nickel)	0.20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations variant de 0,05mg/l à 1,0 mg/l ; toxicité réduite avec le pH neutre alcalin.
Pb (plomb)	5.0	Peut inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations très élevées.
Se (Sélénium)	0.02	Toxique pour les plantes à des concentrations aussi faibles que 0,025 mg/l et toxiques pour les animaux si le fourrage est planté dans des sols à hauts niveau de sélénium, c'est un élément essentiel pour les animaux mais à faibles concentrations
Sn (Fer Blanc)	-	Effectivement exclu des plantes, tolérance spécifique inconnue
Ti (Titane)	-	Effectivement exclu des plantes, tolérance spécifique inconnue
W (Tungstène)	-	Effectivement exclu des plantes, tolérance spécifique inconnue
V (Vanadium)	0.1	Toxique pour plusieurs plantes à des concentrations relativement faibles
Zn (Zinc)	0.2	Toxique pour de nombreuses plantes à des concentrations très variables; toxicité réduite à pH > 6,0 et dans les sols à textures fines ou organiques.

Tableau IV.5: Autres Réglementations dans le monde

Réglementation	Catégorie	pH	DBO (mg/l)	Turbidité (NTU)	C12 résiduel	Coliformes Fécaux (CFU/100 ml)	Coliformes Totaux (CFU/100 ml)	E. Coli Helminthe Protozoaire Virus	Autres restrictions	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
USEPA (2004) (United States Environmental Protection Agency)	Urban and agricultural	6-9	10	2	1 mg/l minimum	Non detectable	/	/	Distance de 15 m d'une station d'eau potable	Traitement biologique secondaire Filtration Désinfection
	Reuse									
	All types of landscape (e.g., golf courses, parks, cemeteries) Surface or spray irrigation of any food crop, including crops eaten raw									
California water recycling guidelines (2000)	Surfaces irrigation of parks, playgrounds, un restricted access golf courses	/	/	2 (moyenne 24h) 5.5 (max)	/	/	< 2,2 (moyenne sur les 7 derniers jours) < 23 (max)	/	/	Traitement tertiaire et désinfection
Australie EPA (2003)	Municipal irrigation with uncontrolled public access, raw human food crops, irrigation of salad vegetables, indirect potable groundwater recharge	6-9	10	2 (moyenne 24h) 5.5 (max)	1mg/l minimum	< 10/100 ml	/	< 10/100 ml < 1A < 1/50 I < 1/50I	/	Traitement tertiaire et désinfection
Arabie saoudite	Culture à accès non restreint	/	/	/	/	/	< 2,2	/	/	/
Maroc	Pour irrigation golf	/	/	/	/	< 200/100 ml	/	Absence nématodes intestinaux	/	/

2.4 Comparaison entre les normes OMS et USEPA (*United State Environment Protection Agency*)

Les deux normes s'opposent à plusieurs points de vue, et depuis quelques années, la polémique bat son plein entre les "pro-OMS" et les "pro-USERA".

Une des différences entre OMS et USEPA concerne le traitement recommandé. Il est dit dans le document de l'OMS qu'un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation, alors que l'USEPA n'évoque que des traitements de désinfection tertiaire type chloration, ozonation, etc. Les modes de contrôles varient aussi : l'OMS préconise de contrôler le nombre de nématodes, alors que l'USEPA recommande de contrôler les systèmes de traitement et le comptage des coliformes totaux sert à lui seul à contrôler la qualité microbiologique.

En général, l'OMS est taxée d'être trop laxiste, et l'USEPA de préconiser des traitements trop chers et trop technologiques, inaccessibles aux pays en voie de développement.

Une étude extrêmement intéressante a été réalisée par Shuval et col/. (1997) Les auteurs ont comparé le coût et l'efficacité des recommandations des deux institutions dans le cas de l'irrigation de légumes consommés crus et irrigués par des eaux épurées. Dans ce cas de figure, les normes sont :

- OMS : moyenne de 1000 CF/100 ml et <1 œuf d'helminthes/l
- USERA : taux de coliformes fécaux non détectable, DBO 5 10 mg/l, turbidité 5. 2 NTU, chlore résiduel de 1 mg/l.

L'expérience consistait à calculer le risque de contracter l'hépatite A ou le choléra en consommant des légumes arrosés par de l'eau traitée selon les normes de l'OMS. Contrairement à l'OMS, les normes de l'USEPA ne sont pas basées sur des études épidémiologiques et une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes et concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant.

Dans tous les cas de figure, la sévérité-des normés imposées par l'USEPA est une Barrière pour leur développement à travers le monde. Il faut noter que pour beaucoup de pays en voie de développement, où l'irrigation avec des eaux usées non traitées se pratique régulièrement, l'application des normes de l'OMS, qui autorisent un traitement extensif type lagunage et qui n'exigent pas une trop grande qualité, progrès considérable.

3 La réutilisation des eaux usées épurées dans le bassin méditerranéen

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue dans la Méditerranée. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée.

Les réglementations en usage pour la REUE en agriculture dans le bassin méditerranéen.

Plusieurs pays méditerranéens, dont Chypre, l'Espagne, la France, l'Italie, la Jordanie, le Portugal, la Tunisie et la Turquie disposent depuis plus ou moins longtemps selon les cas, d'une réglementation touchant la REUE. D'autres pays qui utilisent actuellement des REUE pour la production agricole ou pour d'autres usages, comme l'Algérie, l'Égypte, la Grèce, le Liban, la Libye, Malte, le Maroc et la Syrie ont entamé ou considèrent actuellement l'opportunité de se doter d'une réglementation ou à tout le moins de lignes directrices pour la REUE. Ce sont dans la plupart des cas des pays aux prises avec un déficit hydrique important et pour lesquels la REUE représente un bon potentiel qui, avec l'accroissement de la population, est de plus en plus disponible.

Les autres pays méditerranéens ne font que peu de chose en matière de REUE, soit par manque d'infrastructures ou de potentiels d'utilisation et soit qu'ils n'ont pas de réglementation en ce sens (Albanie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Monaco et Slovaquie). Prendre comme Exemple :

➤ **Italie**

L'utilisation d'eaux usées brutes est pratiquée en Italie depuis le début du siècle dernier, en particulier en périphérie des petites villes et près de Milan. De nos jours, l'usage des REUE est principalement fait pour l'irrigation agricole.

L'Italie est en fait le premier pays méditerranéen à s'être doté d'une réglementation, en 1977 (Standard Technique Général - G.U. 21.2.77). Cette réglementation suit, dans les grandes lignes, l'approche californienne, soit moins de 2 CFU/100 mL pour les coliformes totaux en irrigation sans restrictions. Pour l'irrigation restreinte, les niveaux varient en fonction des régions entre 10 et 20 CFU/100 mL.

Cependant, en 1989, en Sicile, une réglementation régionale a pris une nouvelle approche, apparentée à celle de l'OMS avec un niveau de 1 000 CFU/100 mL pour les coliformes fécaux et moins de 1 œuf de nématode/l.

De plus, la loi prescrit qu'en présence d'aquifères non confinés en contact direct avec les eaux de surface, des mesures préventives adéquates doivent être prises pour éviter toute détérioration de leur qualité. Une nouvelle législation sur les eaux usées municipales prévoit de porter plus d'attention à la gestion des ressources en eau et en particulier la réutilisation des EUE. L'industrie est d'ailleurs encouragée dans la réutilisation des EUE.

➤ **Espagne**

Il n'y a pas de norme ou de réglementation nationale en Espagne pour la REUE. Cependant plusieurs régions autonomes comme l'Andalousie, la Catalogne, les Baléares et les Canaries possèdent leurs propres recommandations en termes de recyclage et de réutilisation des eaux usées. Point important à noter, il n'y a pas de

constante dans l'usage des références : par exemple, les recommandations andalouses sont basées sur le référentiel OMS alors que les Canaries ont plutôt opté pour un modèle similaire à celui de la Californie. Pour l'irrigation sans restriction en Andalousie, (végétaux consommés crus), la norme microbiologique pour les coliformes fécaux est de 1000 CFU/100 ml et celle pour les œufs d'helminthes est de moins de 1/L.

➤ Tunisie

L'irrigation avec des EUE est bien établie en Tunisie depuis plus de 40 ans pour la production agricole (agrumes, fourrages, céréales,...) et pour protéger l'intrusion des eaux salines. Il est intéressant de noter que les producteurs payent les EUE qu'ils utilisent pour l'irrigation.

La législation interdit l'irrigation des produits qui sont consommés crus. La majeure partie des EUE est donc utilisée pour l'irrigation des vergers, vignobles, agrumes et autres arbres, pour les fourrages et les cultures industrielles et certains espaces verts comme les golfs. Certains jardins d'hôtel sont aussi irrigués avec des EUE. La norme de référence tunisienne est basée sur les normes de l'OMS et présentée, à titre de modèle potentiel.

La norme tunisienne planifie le contrôle des paramètres physico-chimiques à partir d'une référence similaire à celle de la FAO pour ces paramètres : mensuel : pH, DBO5, DCO, MES, Cl, Na, NH4, CE; semestriel : As, B, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, fluorures, organochlorés, Se, Pb, Zn). Les paramètres microbiologiques des EUE sont contrôlés à différentes fréquences en fonction des paramètres et selon une méthodologie précise (15 jours : œufs de parasites). La norme prévoit des mesures pour la protection des travailleurs (tenue de travail, vaccination, examen médical) ainsi que des consommateurs. Elle prévoit aussi des zones tampons dans les espaces irrigués avec les EUE et les pâturages sont interdits sur de tels espaces.

4 Les techniques d'irrigations avec les eaux usées traitées

4.1 Irrigation par goutte à goutte (système d'irrigation ponctuel ou localisé)

Système dont lequel l'eau est distribuée à basse pression à travers un réseau de tuyaux, l'eau est déversée lentement à la surface du sol près de la plante ou de l'arbre, la goutte d'eau est évacuée du réseau par un dispositif appelé goutteur.

Les caractéristiques principales du système :

- Efficacité élevée d'application. Si elle est employé correctement, elle qualifié comme meilleur méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème sur le rendement des cultures comme le cas de notre zone d'étude.
- Cette technique pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée traitée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
- Contact de l'eau traitée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.

- Aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

4.2 Irrigation souterraine

La technique consiste à enterrer un tuyau poreux dans lequel l'eau circule. Les caractéristiques principales du système :

- Absence de contact entre l'eau traitée et l'agriculteur, le fruit et l'atmosphère.
- Sa nécessite un aménagement.

4.3 Irrigation par micro asperseur

Consiste à diffuser l'eau sur le sol à proximité de la plante ou de l'arbre.

Conclusion

Une irrigation de cultures ou d'espaces verts qui met en œuvre des eaux usées n'est pas une irrigation banale. En effet, ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets de réutilisation agricoles des effluents. Il est aussi indispensable de respecter les normes de rejets des effluents définies par l'OMS.

Pour limiter les problèmes et les risques associés à la réutilisation des eaux usées en agriculture, des mesures de lutte sont recommandés. Parmi ces mesures, le traitement des eaux usées résiduelles, les mesures professionnelles, la restriction des cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces.

Ce qui concerne le choix du système d'irrigation, la technique la mieux adaptée à l'apport des eaux usées est certainement l'irrigation localisée parce qu'elle engendre le moins de risques sanitaires.

Introduction

Dans ce chapitre, il s'agit de faire une évaluation qualitative et quantitative de la charge polluante issue des effluents de la STEP de la ville d'Ouargla. Pour cela, nous avons procédé aux analyses des différents paramètres de pollution.

1 Analyses des effluents à l'entrée et à la sortie de la STEP

Appréciation des débits moyens des effluents bruts de la STEP d'Ouargla aux différents horizons.

Les valeurs des débits moyens des eaux usées brutes calculés par l'exploitant de la STEP (ONA) d'après l'étude d'assainissement de la ville, on peut supposer que le débit des eaux épurées à la sortie de la STEP par approximation compris entre 70 et 80% du débit à l'entrée de la STEP, les débits sont enregistrés dans le **tableau V.1**.

Tableau V.1: Evolution des débits moyens des eaux usées brutes et épurées

Horizons	2015	2030
Débit entrant (m ³ /j)	56 997	74 027
Débit sortant (m ³ /j)	45 598	59 222

1.1 Résultats d'analyses physico-chimiques de la STEP

Les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux usées brutes et épurées effectuées par l'exploitant de la STEP d'Ouargla durant l'année 2010, sont représentés dans le **tableau V.2**.

Tableau V.2: Résultats d'analyses physico-chimiques des EUE (2010)

Année 2010	Eaux traitées						
	PH	Température	Salinité	Œuf d'helminthe	DBO _s	DCO	MES
Janvier	7,96	14,69	4,85	-	38,25	47,54	51,2
Février	7,96	16,02	4,83	-	8,67	38,82	52,7
Mars	7,9	18,68	5,03	-	10,91	42,53	54,04
Avril	7,86	22,19	5,18	0	13,9	45,25	58,29
Mai	7,89	23,52	5,26	-	26,06	62,94	53,94
Juin	8,16	24,9	5,09	-	53,8	49,37	53,05
Juillet	7,96	27,63	5,13	-	18	52	72,8
Août	7,97	27,64	5,27	-	15,2	54,04	44,1
Septembre	8,02	24,84	5,34	-	20,75	97,95	71,75
Octobre	7,64	21,87	5,44	-	17,5	65,5	59,25
Novembre	7,39	17,76	5,83	0	13,5	69,2	37,25
Décembre	7,57	15,36	5,77	0	14,83	81,27	53
Moyenne	7,86	21,26	5,25	0	20,95	58,87	55,11
Unité	0-14 (log)	°C	S%	Œuf/l	mg/l	mg/l	mg/l

(Source : STEP d'Ouargla)

Dans les tableaux suivants on a les résultats d'analyses pour l'année (2011) :

Tableau V.3: Résultats d'analyses physico-chimiques des EU brutes et traitées de la STEP (2011)

Paramètres	Température (°C)		PH		Conductivité (µs/cm)		Salinité (mg/l)		Oxygène dissous (mg/l)	
	T brute	T traité	PH brute	PH traité	Con. brute	Con. traité	Sal. brute	Sal. traité	O2 brute	O2 traité
13/03/2011	20,6	16,6	7,65	7,61	9230	10070	5,2	5,6	0,58	4,79
15/03/2011	22,3	19,2	7,68	7,63	12630	10080	7,3	5,7	0,85	4
17/03/2011	22,9	18,8	7,66	7,69	9200	10000	5,2	5,6	1,31	4,59
21/03/2011	21,2	18,4	7,59	7,81	7370	10030	4	5,6	0,59	6,91
23/03/2011	21,6	17,6	7,59	7,99	9300	10150	5,2	5,7	0,63	6,47
24/03/2011	22,2	17,3	7,62	7,99	10150	10170	5,7	5,7	2,04	6,12
27/03/2011	23,1	18,8	7,48	8,1	10850	10260	6,2	5,8	0,91	7,67
29/03/2011	25,4	22,3	7,33	8	11450	10110	6,6	5,8	0,53	6,81
31/03/2011	23,9	20,2	7,57	8,03	7750	10430	4,3	5,9	0,69	6,61
03/04/2011	24,7	21,5	7,53	7,91	8770	10470	4,9	5,9	0,48	7,46
05/04/2011	24,6	21,6	7,42	7,81	12650	10490	7,3	6	0,65	5,05
07/04/2011	23,1	21,4	7,64	7,79	12050	10490	6,9	6	0,41	4,44
10/04/2011	24,4	22,3	7,56	7,55	9930	10380	5,6	5,9	1,4	2,32
12/04/2011	24,7	21,9	7,62	7,53	10720	10410	6,2	5,9	0,49	2,02
14/04/2011	24,1	20,9	7,65	7,64	10320	10430	5,9	5,9	0,64	2,82
17/04/2011	23,1	20,5	7,69	7,73	8700	10410	4,9	5,9	0,61	3,49
19/04/2011	24,3	22,7	7,64	7,77	13200	10390	7,7	5,9	0,5	3,9
21/04/2011	25,6	22,6	7,55	7,79	12400	10320	7,2	5,9	0,63	4,23
24/04/2011	25,3	22	7,66	7,99	11160	10200	6,4	5,8	0,57	5,4
26/04/2011	24,5	21,4	7,64	8,05	12500	10170	7,2	5,8	5,3	4,29
28/04/2011	25,2	22,7	7,6	8,16	12410	10160	7,2	5,8	0,48	6,51
02/05/2011	25	22,9	7,45	8,19	12280	10440	7,1	5,9	0,35	8,92
04/05/2011	25,5	22,2	7,47	8,23	12550	10370	7,3	5,9	0,78	5,69
05/05/2011	26,2	24	7,56	8,21	9460	10380	5,4	5,9	0,62	7,16
09/05/2011	26,6	23,6	7,54	8,12	8190	10430	4,6	5,9	0,69	5,64
11/05/2011	26,2	22	7,51	8,32	8390	10410	4,7	5,9	0,4	5,75
12/05/2011	26,4	23,1	7,55	8,32	10590	10450	6,1	6	0,59	4,75
15/05/2011	27,4	24,1	7,47	8,06	11450	10510	6,6	6	0,99	5,06
17/05/2011	25,4	23	7,64	8,01	9000	10500	5,1	6	0,55	2,96
19/05/2011	26,3	23,1	7,52	8,06	13770	10420	8,1	5,9	0,72	2,11
22/05/2011	25,3	21,6	7,62	8	12270	10520	7,1	6	0,78	2,83
24/05/2011	26	23,2	7,62	7,98	12080	10520	7	6	0,9	1,92
25/05/2011	26,7	24	7,62	7,89	11120	10470	6,4	6	0,73	6,91
26/05/2011	26,6	24,6	7,64	7,83	10580	10425	6	6	0,74	4
Moyenne	28,7	21,6	7,6	7,9	10995,8	10331,6	6,3	5,9	0,9	4,9

(Source : STEP d'Ouargla)

Tableau V.4: Suite d'analyses des eaux de la STEP

Dates	DBO5 (mg/l)		Rendement (%)
	Eau brute	Eau traitée	
06/03/2011	180	24	86,66
13/03/2011	160	20	87,5
20/03/2011	180	20	88,88
27/03/2011	180	24	86,66
03/04/2011	100	24	76
10/04/2011	125	14	88,8
17/04/2011	120	26	78,33
24/04/2011	120	28	76,66
01/05/2011	110	75	31,81
15/05/2011	140	20	85,71
22/05/2011	105	20	80,95
Moyenne	138,2	26,8	78,9
Dates	DCO (mg/l)		Rendement (%)
	Eau brute	Eau traitée	
06/03/2011	307,23	91,45	70,2
13/03/2011	332	86,29	74
20/03/2011	357,33	90,48	74,67
27/03/2011	357,33	93,7	73,77
03/04/2011	432	84,5	80,43
10/04/2011	212,5	85,16	60
17/04/2011	266,66	71,83	73
24/04/2011	245,68	100,16	72,79
01/05/2011	251	110	72,35
08/05/2011	586,6	110,87	81,1
15/05/2011	403,33	87,93	78,2
Moyenne	341,1	92,0	73,8
Dates	MES (mg/l)		Rendement (%)
	Eau brute	Eau traitée	
13/03/2011	154	52	66,23
20/03/2011	111	47	57,65
27/03/2011	139,4	49	64,84
03/04/2011	106	51	51,88
10/04/2011	145,8	58	60,21
17/04/2011	158	90	43,03
22/04/2001	134,4	62	53,86
01/05/2011	136,4	71	47,95
08/05/2011	315,6	75	76,24
15/05/2011	264,4	92,4	65,05
22/05/2011	134,4	63	53,13
Moyenne	163,6	64,6	58,2

(Source STEP d'Ouargla)

Du tableau passé on remarque que les traitements ont des rendements très variables à cause de la pollution et leur variation.

Tableau V.5: Résultats d'analyses de (N) des eaux brutes et traitées (2011)

NO₄⁺			
Dates	Ammonium		Rendement (%)
	Brute	Traitée	
06/03/2011	42	50,58	-20,42
20/03/2011	48,2	52,92	-9,79
03/04/2011	49,2	37,14	24,51
08/05/2011	50,5	42,63	15,58
22/05/2011	48,5	45,26	6,68
Moyenne	47,680	45,706	3,31
NO₂⁻			
Dates	Nitrite		Rendement (%)
	Brute	Traitée	
06/03/2011	0,169	0,093	44,97
20/03/2011	0,124	0,0232	81,29
03/04/2011	0,095	0,0103	89,15
17/04/2011	0,107	0,221	-106,54
Moyenne	0,124	0,087	27,22
NO₃⁻			
Dates	Nitrate		Rendement (%)
	Brute	Traitée	
06/03/2011	0,984	0,552	43,90
20/03/2011	0,9	0,904	-0,44
03/04/2011	2,36	1,104	53,22
17/04/2011	0,528	0,575	-8,90
Moyenne	1,193	0,784	21,94

(Source STEP d'Ouargla)

Les rendements (-) peut être aussi de la variation de la quantité des pollutions entrés à la STEP.

Tableau V.6: Comparaison entre les analyses de (2010 et 2011)

Paramètres	MARS		AVRIL		MAI	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Rendement DB05 %	85,7	77,19	80,4	76,02	75,4	74,96
Rendement DCO %	78,7	74,15	78,7	70,46	84,1	75,18
Rendement MES %	53,3	62,91	19,6	52,25	27	65,63
Moyen Conductivité (µs/cm)	9258	10141	9144	10361	9399	10448
Moyen Salinité (S‰)	5,2	5,72	5,1	5,8	5,3	5,9
Moyen température (°C)	20,1	19	20,4	21,75	20,3	23,1
Moyen PH	7,94	7,85	7,78	7,81	7,86	8,08
Moyen oxygène dissous (mg/l)	8,1	5,9	5,43	4,39	4,73	4,66

Généralement les résultats de traitement des eaux usées épurées de cette année sont mieux de l'année passée, peut être à cause de degré de pollution à l'entrée, ou de la variation des conditions climatiques, ou autre des motifs.

1.2 Résultats d'analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP

Tableau V.7: Paramètres bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP (2011)

Les germes	Colif. T	Colif. F	Strept.T	Strept.F	Clostr.	Salm.	Staph.
Premier prélèvements le : 12-04-2011							
Eau brute	>2380gs /100ml	Abs.	Abs.	M.M.	Prés.	Abs.	Abs.
Eau traitée	1200gs /100ml	Abs.	Abs.	M.M.	Prés.	Abs.	Abs.
Deuxième prélèvements le : 09/05/2011							
Eau brute	-	-	-	-	M.M.	-	-
Eau traitée	18 gs /100ml	-	750/100ml	Abs.	M.M.	Abs.	Abs.
Troisième prélèvements le : 05/09/2011							
Eau brute	>2380gs /100ml	24gs /100ml	28gs /100ml	-	M.M.	Abs.	-
Eau traitée	1200gs /100ml	12gs /100ml	750gs /100ml	-	M.M.	Abs.	-

2 Résultats analytiques et interprétations

Les résultats des principaux paramètres sont enregistrés dans le **tableau V.8**.

Tableau V.8: Paramètres mesurés des eaux usées a la sortie de la STEP

Paramètres	Unité	Valeurs moyennes des analyses	Valeurs admissibles (OMS)	Notes
DB0 ₅	mg/l	26,8	40	Dans les normes
DCO	mg/l	92	120	Dans les normes
MES	mg/l	64,6	30	Pas dans les normes
CE	µs/cm	10331	3000	Pas dans les normes
Salinité	S‰	5,9	-	Pas dans les normes
T	°C	21	30	Dans les normes
PH	-	7,9	6,5 < pH < 8,5	Dans les normes
O ₂ dissous	mg/l	4,9	-	-
Ammonium NO ₄ ⁺	mg/l	45,7	-	-
Nitrite NO ₂ ⁻	mg/l	0,087	-	-
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/l	0,784	-	-
Azote totale (N)	mg/l	48	30	Pas dans les normes
Phosphates PO ₄ ⁻³	mg/l	2,1	2	Presque admissible
Chlorure (Cl)	még/l	Présence	10	Dans les normes
Colif. T	gs /100ml	1200	10 ⁴	Dans les normes
Colif. F	gs /100ml	12	10 ³	Dans les normes
Strept.T	gs /100ml	750	-	Dans les normes
Strept.F	gs /100ml	Absence	-	Dans les normes
Clostr.	gs /100ml	Présence	-	Dans les normes
Salm.	gs /100ml	Absence	-	Dans les normes
Helminthe	Œuf /l	Absence	0,1	Dans les normes

a) Paramètres physiques

Les résultats des analyses des paramètres physiques des effluents épurés de la STEP de Ouargla, qui enregistrés au niveau du laboratoire, d'eux quelques paramètres ne sont pas dans les normes, comme les MES faut améliorer le taux d'élimination par vérification du procédé de traitement ou par un autre traitement, pour la conductivité électrique aussi, elle est très importante à cause de beaucoup des sels solubles dans l'effluent, il faut faire aussi des autre traitements pour diminuer les concentrations de ces sels (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , HCO^{-3} , SO^{-4} et Cl^-).

La température et le potentiel hydrique sont dans les normes.

b) Paramètres chimiques

D'après le tableau V.8., la demande chimique en oxygène et la demande biochimique en cinq jours sont aux normes et les rendements de traitement de la STEP sont bons.

Le rapport DCO/DBO₅ donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactérie champignons) :

- ▲ Si $\text{DCO/DBO}_5 \leq 2$: Le traitement se fait biologiquement.
- ▲ Si $2 < \text{DCO/DBO}_5 < 3$: Le traitement biologique avec adaptation de souches.
- ▲ Si $\text{DCO/DBO}_5 > 3$: Traitement physico-chimique, l'eau est pratiquement non traitable par voie biologique.

On peut donc calculer le rapport : $\text{DCO/DBO}_5 = 3,43 > 3$

De la valeur de ce rapport on peut dire que le traitement est que physico-chimique et l'eau est non traitable par voie biologique.

D'autre coté, les éléments chimiques qui restes peu élevés à part le Chlorure (Cl), et on peut dire que le Phosphate (PO_4^{-3}) est admissible par une valeur presque égale à 2 mg/l.

c) Paramètres bactériologiques

L'analyse microbiologique dans les eaux permet d'apprécier le risque dû à des micro-organismes pathogène (bactérie, virus, protozoaire). Susceptible d'être trouve dans les eaux utilisées par l'homme, et ce fait de provoquer des maladies.

En cas de risque jugé inacceptable pour une situation donnée, l'utilisation agricole d'une eau devrait être interdite.

Dans divers textes réglementaires, il existe des interdictions exige que l'eau réutilisée ne doit pas contenir de micro-organismes pathogènes, l'OMS se borne à la spécification de critères microbiologiques ; une eau destinée à l'irrigation ne doit pas contenir plus de 0,1 Œuf d'helminthe par litre, 1000 coliformes fécaux par 100 ml et 10.000 coliformes totaux par litre.

Pour nos résultats, des agents pathogènes (Streptocoque) sont existantes, mais le (Salmonella) est absent.

La présence des coliformes totaux dont le nombre est aux normes de l'OMS.

Il y a des coliformes fécaux dont le nombre est aux normes aussi.

La présence de Clostridium sulfito-réducteurs dont le nombre est aux normes.
L'absence des œufs d'helminthes.

De ces résultats permet de classer notre eau de moyenne qualité microbiologique.

Conclusion

Pour les éléments qui ne sont pas à la norme, il faut additionner un traitement tertiaire pour améliorer la qualité des eaux sorties de la STEP.

On peut améliorer la qualité des eaux épurées par construction des bassins de stockage à l'aval de la STEP.

Les bassins de stockage sont caractérisés par des grandes superficies pour l'amélioration biologique qui fait par les rayonnements solaire qui dégrade beaucoup des germes.

Les bassins de stockage peuvent éliminer des éléments par décantation, et il est facile d'exploiter les eaux épurées pour l'irrigation à partir de ces bassins.

A cause de manque des appareils de mesure les éléments toxiques (métaux lourds) on n'a pas des résultats sur leur concentrations malheureusement leur importance dans le développement de la végétation. On a les normes de ces éléments par suivre:

Tableau V.9: Limites recommandées en éléments traces (mg.L⁻¹) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003)

<i>Paramètre</i>	<i>Long terme^a</i>	<i>Court terme^b</i>
<i>Aluminium</i>	<i>5.0</i>	<i>20.0</i>
<i>Arsenic</i>	<i>0.1</i>	<i>2.0</i>
<i>Béryllium</i>	<i>0.1</i>	<i>0.5</i>
<i>Bore</i>	<i>0.75</i>	<i>2.0</i>
<i>Cadmium</i>	<i>0.01</i>	<i>0.05</i>
<i>Chrome</i>	<i>0.1</i>	<i>1.0</i>
<i>Cobalt</i>	<i>0.05</i>	<i>5.0</i>
<i>Cuivre</i>	<i>0.2</i>	<i>5.0</i>
<i>Cyanures</i>	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>
<i>Fluor</i>	<i>1.0</i>	<i>15.0</i>
<i>Fer</i>	<i>5.0</i>	<i>20.0</i>
<i>Phénols</i>	<i>0.002</i>	<i>0.002</i>
<i>Plomb</i>	<i>5.0</i>	<i>10.0</i>
<i>Lithium</i>	<i>2.5</i>	<i>2.5</i>
<i>Manganèse</i>	<i>0.2</i>	<i>10.0</i>
<i>Mercur</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>
<i>Molybdène</i>	<i>0.01</i>	<i>0.05</i>
<i>Nickel</i>	<i>0.2</i>	<i>2.0</i>
<i>Selenium</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>
<i>Vanadium</i>	<i>0.1</i>	<i>1.0</i>
<i>Zinc</i>	<i>2.0</i>	<i>10.0</i>

Avec :

^a : pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

^b : pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalin.

Introduction

Le présent chapitre a pour but de quantifier le volume total des besoins en eau des cultures existantes dans la partie nord-est de la ville d'Ouargla (zone d'étude), aptes à être irriguées avec les eaux usées épurées de la STEP et le comparer avec le volume total annuel produit par la STEP à différents horizons 2015 et 2030.

1 Activités agricoles

La production de dattes constitue l'activité agricole principale de la population d'Ouargla à ses origines. Jusqu'en 1925, la production reste en autoconsommation, à partir de cette date, on note des exportations de dattes de qualité grâce aux transports automobiles se développant entre le sud et le nord.

En 1949, il y avait 680000 palmiers dont 320000 en production qui variait de 60000 à 75000 quintaux annuellement. A partir des années 60, l'agriculture a été partiellement délaissée pour les activités pétrolières et administratives liées au développement de la ville. Actuellement, les agriculteurs d'Ouargla exercent souvent une double activité.

Les difficultés d'exploitation de la palmeraie par le niveau élevé de la nappe phréatique combiné à l'existence d'autres revenus familiaux entraînent un délaissement et un mauvais entretien des palmiers.

Il faut cependant noter que dans le cadre des subventions accordées au développement agricole dans les provinces du sud de nouvelles palmeraies sont en cours d'implantation à l'est de la route d'évitement au Nord-est de l'agglomération d'Ouargla. Ces nouvelles superficies couvrent plusieurs dizaines d'hectares.

2 Occupation du sol

2.1 Milieu urbain

Dans un premier temps, le développement des services, des administrations et des habitats s'est réalisé autour du ksar point central historique de la ville d'Ouargla. Ensuite un autre axe de développement urbain s'est effectué autour des palmeraies et des activités agricoles.

A partir du développement des activités pétrolières d'Hassi Messaoud, la ville d'Ouargla a connu un flux migratoire très positif et le développement urbain s'est accéléré en direction du Sud-est occupant l'espace entre les palmeraies à l'Est du chott et à l'Ouest de la sebkha de la route de Ghardaïa. La ville d'Ouargla s'est étendue dans les agglomérations voisines également telles que Rouissat, Aïn Beïda et Chott. Pour faire face à l'accroissement démographique important, la ville de Ouargla a ouvert de nouvelles zones à l'urbanisation notamment celle de Bamendil, située à l'ouest sur la route de Ghardaïa avec un tissu urbain moderne et structuré.

Le périmètre urbain est cependant circonscrit à l'intérieur du canal de drainage périphérique.

La répartition de l'occupation du sol au niveau de la ville d'Ouargla est la suivante :

- Zone de territoire urbain (Ouargla, Rouissat et Aïn Beïda) : 3 100 hectares
- Palmeraies : 1 300 ha ; elles sont en cours d'élargissement par des projets de récupération des terrains désertiques au niveau de la route d'évitement près de la STEP.
- Zones arides et dunaires : 800 ha
- Espace Sebkha-Chott : 500 ha

2.2 Occupation du sol au niveau de la cuvette d'Ouargla

Une grande partie des superficies de la cuvette d'Ouargla sont à l'état naturel excepté les zones d'urbanisation et de palmeraies qui résultent des activités anthropiques.

2.2.1 Les ergs à dunes

La cuvette est limitée à l'Ouest et à l'Est par des ergs à dunes. Ces dunes peuvent être classées de dunes hautes épaisses à dunes basses peu épaisses suivant leur importance. Ces ergs constituent une limite non franchissable en véhicule léger et même en 4X4 pour les plus hautes.

Ces dunes sont généralement dépourvues de végétation. La présence de rejets salés comme l'exutoire des eaux de drainage de N'Goussa favorise ponctuellement le développement de végétation halophile.

Des zones de dunes plus petites existent également. Elles ne sont pas végétalisées, sont occupées parfois par des palmiers en bour. Ces dunes restent également difficilement franchissables.

2.2.2 Les affleurements structuraux

Le relief de la cuvette de Ouargla fait apparaître quelques éléments structuraux que sont les surfaces structurales du mio-pliocène, les terrasses et les talus. Ces reliefs plus marqués marquent les limites Est, Sud et Ouest de la cuvette.

2.2.3 Les chotts ou sebkhas

La plaine alluviale de l'oued Mya se compose de plusieurs « biefs » se terminant chacun par une cuvette terminale qui prend la forme d'un chott. Ces chotts constituent les points bas exutoires naturels des eaux pluviales.

Sur l'ensemble de la cuvette existent 5 chotts :

- Chott de Bamendil
- Chott de Aïn Beïda
- Chott de Oum Er Raneb
- Chott de N'Goussa
- Chott de Safioune.

Les chotts constituent des surfaces d'évaporation intense qui par capillarité évapore la nappe phréatique affleurant. L'évaporation entraîne une cristallisation des sels en surface et dans les couches superficielles. Les sels sont à caractère gypseux, chlorés et sulfatés.

3 Modèles d'assolements proposées et données climatiques

On propose un modèle d'assolement a été définie dans la culture des palmerais, en tenant compte de l'importance de cette culture dans cette zone.

Les calculs des besoins en eau se fait à partir les données climatiques, le **tableau VI.1** résume les données climatiques faut connaître pour les calculs.

Tableau VI.1 : Résumé des données climatiques

Mois	Température			Humidité (%)	Vent (m/s)	Evaporation (mm)	Insolation (Heure)	Précipitation (mm)
	TX (°c)	TN (°c)	TM (°c)					
Javier	18.70	5.04	11.86	59.57	2.80	102.5	246.46	13.71
février	21.20	6.82	13.93	51.93	3.25	139.07	242.09	0.90
Mars	25.69	10.29	18.17	41.71	3.83	215.93	260.18	3.72
Avril	30.01	15.08	22.66	35.57	4.44	284.07	281.27	2.28
Mai	34.76	19.87	27.49	32.43	4.81	338.64	282.64	4.18
Juin	39.52	25.06	32.92	26.43	4.62	430.36	289.82	0.51
Juillet	43.69	28.01	35.24	24.86	4.16	479.86	335.38	0.66
Août	42.92	27.39	34.24	28.00	3.98	447.21	322.69	3.98
Septembre	37.54	23.64	30.67	38.43	3.79	312.14	255.92	5.78
Octobre	31.72	17.71	25.41	46.29	3.44	235.14	259.85	11.74
Novembre	23.94	10.06	16.92	56.21	2.80	135.86	247.38	6.46
Décembre	19.24	5.97	12.25	59.57	2.72	96.34	204.85	2.32
Moyennes et cumul	30.74	16.25	23.50	41.75	3.72	3217.13	269.04	56.87

TX: Température maximale.

TN: Température minimale.

TM: Température moyenne.

4 Besoins en eau du périmètre d'un hectare de palmerais

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme dose apportée à la plante dans des moments propices, afin de mettre celle-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir son rendement maximal.

Le calcul des besoins en eau des cultures a été mené à l'aide du logiciel *Cropwat 8*. : Logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigation (service des eaux de la FAO).

4.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET₀)

C'est l'évapotranspiration d'une culture bien fournie en eau où le sol est à sa capacité de rétention, autrement dit c'est la limite maximale de l'évapotranspiration

Donc pour mieux prédire l'évapotranspiration, on a introduit une valeur de référence que l'on définit comme étant le taux d'évapotranspiration d'une surface du Gazon vert, ayant une hauteur uniforme de 8 à 15 cm, poussant activement, ombrant complètement le sol et ne manquant pas d'eau.

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de référence, les plus utilisées, sont :

- Méthodes des lysimètres.
- Méthodes des stations expérimentales.
- Méthodes directes de l'évaporation.
- Méthodes empiriques.

En ce qui concerne notre étude, le calcul des besoins en eau des cultures est effectué à l'aide du logiciel *CROPWAT* version 8, qui permet au passage, l'évaluation de l'évapotranspiration de référence, selon la méthode empirique la plus appropriée de *Penman&Monteith* modifiée.

• **Méthode de PENMAN & MOTHEIT modifiée :**

En Angleterre, précisément en 1948, *Penman&Monteith* a proposé une étude théorique de l'évapotranspiration en reliant inséparablement l'énergie solaire incidente. Cette formule est limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prend pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Les expériences ont montrés que la formule telle qu'elle est, s'applique mieux dans les régions humides, non loin de l'océan et essentiellement recouverte de végétation, que dans les zones arides ou semi-arides de faible humidité.

Pour cela, la nouvelle formule de *M^rPenman&Monteith* modifiée est adoptée, qui prend en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent compte des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

L'expérience a montrée que l'expression obtenue, prédirait de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaude et semi-aride. La formule de *M^rPenman&Motheit*, modifiée, se présentant comme suite :

$$ET_0 = C * [W * Rn + (1 - W) * F(u) * (ea - ed)]$$

ET_0 ou ETP : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

W : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différente température et altitude.

Rn : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/jour.

$F(u)$: Fonction liée au vent.

ea : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

ed : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence ($ea - ed$) constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes (**site FAO, 2011**).

• Résultats du calcul

Dans le **tableau VI.2**, représente l'évapotranspiration de référence ET_0 , calculée à l'aide du logiciel *CROPWAT.8*, selon la formule de *Penman&Monteith*.

Tableau VI.2: Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith

Mois	Temp Moy	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/jour
Janvier	11.9	60	2.8	8.2	13.2	2.22
Février	13.9	52	3.2	8.1	15.4	3.14
Mars	18.2	42	3.8	8.7	19.1	4.93
Avril	22.7	36	4.4	9.4	22.5	6.96
Mai	27.5	32	4.8	9.4	23.8	8.86
Juin	32.9	26	4.6	9.6	24.4	10.61
Juillet	35.2	25	4.2	11.2	26.5	11.08
Août	34.2	28	4.0	10.7	24.7	10.15
Septembre	30.7	38	3.8	8.5	19.5	7.82
Octobre	25.4	46	3.4	8.7	16.9	5.59
Novembre	16.9	56	2.8	8.2	13.6	3.12
Décembre	12.3	60	2.7	6.8	11.1	2.15
Moyenne	23.5	42	3.7	9.0	19.2	6.39

4.2 Evapotranspiration réelle ou de culture (ETR ou ETC)

C'est la valeur réelle de l'évapotranspiration. Le plus souvent, elle est inférieure à l'évapotranspiration de référence, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention. En plus, elle est considérée variable pendant la période de végétation.

Donc, c'est l'évapotranspiration d'une culture exempte de maladies, poussant dans un champ jouissant de conditions : agronomiques, pédologiques, et climatiques optimales, donnée par l'expression ci-dessous :

$$ETR = K_C * ET_0$$

K_C : Représente le coefficient culturelle, dépendant du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatiques qui y règnent.

4.3 Besoins net en eau du palmier

Pour mieux rationaliser la ressource, le calcul l'évapotranspiration réelle "ETR", doit être fait après avoir déterminé les coefficients cultureux " K_C ". Les besoins en eau des cultures nets, non négatifs "BEC", sont déterminés par la relation suivant :

$$Bnc = ETR - P_{eff} - RFU$$

B_{nc} : Besoins nets en eau de culture en (mm).

P_{eff} : Pluies efficaces en (mm).

RFU : La réserve facilement utilisable en (mm).

L'évapotranspiration a été calculée selon la méthode de Penman-Monteith, en prenant en considération les paramètres climatologiques suivants :

- Température de l'air,
- Humidité atmosphérique,
- Intensité du vent,
- Insolation.

Il est à noter aussi que le coefficient cultural dépend du stade végétatif de la culture et les conditions agro climatiques qui régissent sont développement.

4.4 Besoins bruts en eau du palmier

Les besoins bruts en eau sont calculés par la formule:

$$Bb = Bnc / e$$

B_{nc} : Besoin nets des cultures.

e : Efficience du système d'irrigation.

L'efficience du système d'irrigation dépend de l'efficience de l'irrigation à la parcelle et du système de distribution. Au niveau de la parcelle, le système d'irrigation pratiquée est celle de Goutte à Goutte, dans ce cas l'efficience de notre système est de $e=0,90$.

• Précipitation

Les précipitations représentent un facteur essentiel dans le bilan hydrologique, sa quantification est faite au niveau de plusieurs stations pluviométriques implantées à travers le territoire algérien dans le but d'avoir une information précise sur ce paramètre.

Pour notre cas, l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau de la station pluviométrique se localisant dans les environs immédiats de la région d'étude.

Le **tableau VI.3** donne les caractéristiques de la station pluviométriques prise en considération dans l'étude.

Ces données pluviométriques recueillies au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Direction régionale Centre Ouargla) se présentent sous forme de totaux mensuels et annuels (1997-2010).

• La pluie efficace

Pour tenir compte des pertes, le programme *CROPWAT.8*, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, ... etc.

Les valeurs de précipitations de probabilité de 80% (P80%) et la pluie efficace (Peff) sont regroupées dans le **tableau VI.3**.

Tableau VI.3: pluies de projet et pluies efficaces de la station

Mois	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	13.7	11.0
Février	0.9	0.7
Mars	3.7	3.0
Avril	2.3	1.8
Mai	4.2	3.4
Juin	0.5	0.4
Juillet	0.7	0.6
Août	4.0	3.2
Septembre	5.8	4.6
Octobre	11.7	9.4
Novembre	6.5	5.2
Décembre	2.3	1.8
Total	56.3	45.0

- **Résultats des calculs des besoins nets et Bruts en eau**

Les besoins en eau d'irrigation de modèle choisie dans le périmètre d'étude sont mentionnés dans le **tableau VI.4**.

Tableau VI.4 : Besoins en eaux pour les palmiers

Mois	ET ₀ (mm/j)	K _c	B _{nc} (mm/mois)	B _{nc} (m ³ /j/Ha)	e (%)	B _b (m ³ /j/Ha)	B _b (m ³ /mois/Ha)
Janvier	2.22	0,8	46,6	15,53	90	17,26	517,8
Février	3.14	0,79	69,6	23,20	90	25,78	773,3
Mars	4.93	0,74	111,3	37,10	90	41,22	1236,7
Avril	6.96	0,69	142,5	47,50	90	52,78	1583,3
Mai	8.86	0,66	178,3	59,43	90	66,04	1981,1
Juin	10.61	0,66	208,2	69,40	90	77,11	2313,3
Juillet	11.08	0,66	224,3	74,77	90	83,07	2492,2
Août	10.15	0,66	201,1	67,03	90	74,48	2234,4
Septembre	7.82	0,64	146,3	48,77	90	54,19	1625,6
Octobre	5.59	0,63	98,9	32,97	90	36,63	1098,9
Novembre	3.12	0,74	49	16,33	90	18,15	544,4
Décembre	2.15	0,8	52,3	17,43	90	19,37	581,1

Le besoin brut maximum est enregistré au mois de Juillet avec **2492,2 m³/mois/Ha** qui correspond à un débit fictif continu unitaire de **0,961 l/s/Ha**, donc on peut dire un hectare de palmier besoin environ **1 l/s** comme un débit maximal par une irrigation localisé.

5 Capacité de la STEP

La production de la STEP enregistré pour les deux horizons (2015 et 2030) nous la voyant dans le **tableau VI.5**.

Ces données ont été tirées de l'étude de la station d'épuration de la ville d'Ouargla (Manuel d'exploitation).

La capacité de la STEP est représentée dans le **tableau VI.5** pour les horizons 2015 et 2030.

Tableau VI.5: Les débits de la STEP

Horizons	2015	2030
Débit entrant (m³/j)	56 997	74 027
Débit sortant (m³/j)	45 598	59 222

Les surfaces totales des palmiers qui on peut les irriguer à partir de la STEP dans les deux horizons sont mentionnées dans le **tableau VI.6**.

Tableau VI.6 : Les surfaces qu'on peut les irriguer à partir de la STEP
(En 2015 et en 2030)

Horizons	2015	2030
Débit sortant (m³/j)	45 598	59 222
Surface de palmier peut irriguer en (Ha)	549	713

Conclusion

Le périmètre de la ville d'Ouargla, est caractérisé par des superficies importantes cultivées par les palmiers, dont les dattes sont considérées comme l'espèce le plus adapté, et cela est dû aux raisons de manque des ressources en eaux destinés à l'irrigation et pour protection les eaux souterraines du gaspillage on réutilise les EUE en irrigation.

Une estimation des besoins en eaux totaux d'Ouargla nous renseigne que ces derniers sont en valeur assez importante en les comparant par les eaux pompées de les nappes phréatiques, donc il faut exploiter les EUE pour des fins agricole.

Les résultats tirés de la station d'épuration d'Ouargla nous renseigne aussi que la production annuelle des EUE de celle-ci peut couvrir une superficie de palmiers de **549 Ha** pour l'horizon **2015** et de **713 Ha** pour l'horizon **2030**.

Le chapitre suivant sert à projeter un système d'aménagement pour l'irrigation des palmiers à partir des eaux usées épurées de la STEP d'Ouargla et renforcer les ressources en eau du périmètre.

Introduction

En se basant sur les données existantes, cette partie permet de faire le dimensionnement de la station de pompage, la conduite du refoulement et le réservoir de distribution.

Ces derniers sont pour adduction les eaux usées épurées de la sortie de la STEP vers un point plus haut et plus près du périmètre de palmier à irriguer pour faciliter l'exploitation de ces eaux par les agriculteurs.

On peut limiter la superficie à irriguer par approximation de **365 Ha** c'est-à-dire le débit d'irrigation maximal (**en Juillet**) égale à **350,8 l/s**.

1 Dimensionnement du réservoir de distribution

Volume du réservoir

Le volume du réservoir de distribution est adopté égal au débit total qui arrive en un temps déterminé.

$$\text{On a : } Vt = Qxt$$

Vt : volume du réservoir en (m^3)

Q : débit total qui arrive au réservoir.

t : temps de stockage des eaux dans le réservoir, la durée du cycle s'échelonne entre 6 et 15 min.

Donc : on fixe $t = 15$ minutes. $Vt = 0,35 \text{ l} \times 15 \times 60 = 315,9 m^3$

Le volume total du réservoir sera $V = 315,9 m^3$

On prend pour un volume du réservoir une hauteur de $H = 3$ m

Le réservoir a une forme carrée.

Tableau VII.1: Dimensions du réservoir de distribution

Dimensions	
Volume (m^3)	315,9
Hauteur (m)	3
Surface (m^2)	105,27
Côté (m)	10,26

2 Dimensionnement de la station de pompage

En se basant sur les données existantes, cette partie permet de faire le dimensionnement de la station de pompage: Le choix des pompes, la définition des ouvrages et des appareillages, choix du mode de fonctionnement et la protection de l'installation.

2.1 Données de base

Les données nécessaires à l'élaboration de notre station de pompage sont les suivantes :

- Notre station reçoit un débit total qui est égale à 351 l/s à l'horizon 2030.
- le plan topographique : ce plan permet de faire le choix de l'emplacement de la station et du tracé de la conduite de refoulement avec les différentes côtes topographiques.
- la source d'énergie électrique : elle permet de faire le choix technico-économique de certains équipements.
- la nature du sol : permet de faire le choix du bâtiment de la station .et du type de matériau.

2.2 Dimensionnement de la bache de stockage

Sachant que le débit arrivé à la station est un débit total $Q = 0,351 \text{ m}^3/\text{s}$, pour notre station la bache de stockage a deux fonctions la première est de stocker les eaux épurées et la deuxième d'être une bache d'aspiration pour les pompes de refoulement.

a) volume de la bache

Le volume du réservoir de stockage de la station est adopté égal au débit total qui arrivant en un temps déterminé.

$$\text{On a : } Vt = Qxt$$

Vt : volume de la bache en (m^3)

Q : débit total qui arrivées à la station de refoulement.

t : temps de stockage des eaux dans la bache pendant l'arrêt des pompes, Pour un meilleur fonctionnement des pompes, et un bon entretien du matériel, la durée du cycle s'échelonne entre 6 et 15 min.

$$\text{Donc : on fixe } t = 10 \text{ minutes. } Vt = 0,351 \times 10 \times 60 = 210.6 \text{ m}^3$$

Le volume total de la bache sera $V = 210.6 \text{ m}^3$

b) surface de la bache :

$$\text{On a : } S = \frac{V}{H} \text{ (la forme de bache est rectangulaire).}$$

S : surface de la bache en (m^2) ; V : volume de la bache en (m^3)

H : la hauteur de la bache en (m), on fixe cette hauteur à $H = 4\text{m}$

c) Longueur et largeur de la bache :

$$\text{On a : } S = B. L \text{ (la forme de la bache est rectangulaire).}$$

L : la longueur de la bache en (m)

B : la largeur de la bache en (m)

Tableau VII.2: Dimensions de la bache d'aspiration

Dimensions	
Volume (m³)	210.6
Hauteur (m)	4
Surface (m²)	52.64
Longueur (m)	7.52
Largeur (m)	7

2.3 Détermination de la hauteur d'élévation

La hauteur d'élévation, aussi appelés Hauteur Manométrique Totale (HMT), correspond à la hauteur géométrique (différence entre le point bas et le point le plus haut) + les pertes de charges à l'aval de la pompe

$$H_{m\ t} = H_g + \sum h_p \quad (\text{m})$$

a) Hauteur géométrique

- Côte point bas = côte arrivée – 4.00 m (point le plus défavorable pour ne pas dénoyer les pompes) = 128 - 4.00 = **124 m**.
- Côte point haut = côte TN du réservoir +3 m (la hauteur de trop-plein)
 $H_{\text{haut}} = 150 + 3 = \mathbf{153\ m}$

Donc **Hauteur géométrique = 29 m**.

b) Pertes de charges

Les pertes de charges sont la somme des pertes de charge linéaires et des pertes de charge singulières.

Les pertes de charge linéaires ont été évaluées à partir de la formule universelle :

$$\sum h_{p\ l} = \frac{8 \times \lambda \times L_r \times Q^2}{g \times \pi^2 \times D^5} \quad (\text{m})$$

Avec : $\lambda = [1,14 - 0,86 \times \ln(\varepsilon / D)]^{-2}$

$L_{\text{ref}} = 3040\ \text{m}$

$Q = 0.351\ \text{m}^3/\text{s}$ (débit total arrivé à la station de pompage)

$\varepsilon = 0.001\ \text{m}$ (la conduite de refoulement est en fonte ductile)

Le diamètre de refoulement est calculé par la formule de BONIN :

$$D = \sqrt[5]{\frac{Q}{g \times \pi^2}} \quad (\text{m})$$

Alors on trouve $D = 0.59\ \text{m}$

Et en prend un diamètre normalisé $D = 0.6\ \text{m}$

$$\Leftrightarrow \lambda = \mathbf{0.023}$$

Les pertes de charge singulières représentent 10% des pertes de charge linéaire.

D'où les pertes de charge total : $\sum h_{p\ T} = \sum h_{p\ lin} + \sum h_{p\ sing} = (1,05-1,10) \times \sum h_{p\ lin}$

$\sum h_{p\ T} = 1,10 \times 9.04 = \mathbf{9,94\ m}$ $\sum h_{p\ T} = \mathbf{9,94\ m}$

La hauteur d'élévation vaut donc : **HMT = 29 + 9,94 = 38,94 m**

2.4 Choix de type et nombre des pompes

Notre station de pompage doit être équipée d'un nombre suffisant de pompes assurant le débit et la charge demandée tel que $N_{P(ins)} = N_{PP} + N_{PS}$

Où : $N_{P(ins)}$: nombre de pompes installées dans la fosse.

N_{PP} : nombre de pompes principales.

N_{PS} : nombre de pompes de secours

Le nombre de pompes de secours varié suivant le nombre total de pompes principales, pour un nombre inférieur à 4 le nombre de pompes de secours est égale à 1.

Compte tenu des exigences d'exploitation, il est conseillé de projeter le minimum de groupes possible dans la station, ce qui rendra les dimensions de la station plus raisonnables et le fonctionnement des pompes se fait avec une souplesse.

Critères du choix du nombre de pompes

- Nombre de pompes minimales
- Meilleur rendement
- NPSH requis minimum.
- Puissance absorbée minimale
- Le nombre de tours par min plus important

Nous avons besoin de refouler un débit total égal **351 l/s** sur une hauteur de **38.94m** ; Les caractéristiques des pompes disponibles sont récapitulées dans le **tableau VII.3**.

Tableau VII.3: Variantes pour le choix du nombre de pompes

N	Q (l/s)	H _{mt} (m)	Pompe choisie	η(%)	N (tr/min)	P _{abs} (kw)	(NPSH) r (m)
1	351	38.94	K 350-630/2606UG-S	74.1	960	181	3.85
2	175,5	38.94	--	--	--	--	--
3	117	38.94	K 250-370/954XNG-S	60.5	1450	73.5	2.73
4	87,75	38.94	--	--	--	--	--

D'après les critères du choix du type et du nombre de pompes on remarque qu'on a des bonnes caractéristiques pour la 3^{ème} variante.

Donc il faut équiper notre station par (04) groupes électropompes submersibles (trois qui fonctionnent et l'autre de secours) marque KSB de type **Amarex KRT K 250-370/954XNG-S**.

3 Etablissement de la conduite de refoulement

3.1 Choix du matériau de la conduite

Le choix entre les différents types de matériaux des tuyaux est basé sur des critères techniques à savoir : le diamètre, la pression de service, les conditions de pose et sur des critères économiques qui englobent le prix, la fourniture et le transport. Le choix aussi doit répondre aux trois points :

- Résistance aux actions chimiques du sol.
- Bonne étanchéité (fuites d'eaux usées augmentant l'agressivité du terrain)
- Résistance aux actions mécaniques dues aux charges externes.

Pour notre projet on opte pour le matériau de la conduite de refoulement vers les tuyaux en Fonte ductile.

3.2 Calcul du diamètre

En première approximation, on détermine le diamètre économique d'après les formules ci-dessous. Par suite on le détermine par une étude technico-économique. Le diamètre approximatif est calculé par la formule de BONIN :

$$D = \sqrt{Q}$$

Où : D est le diamètre de la conduite en (m)

Q : est le débit véhiculé en (m³/s). Le débit total : Q = 0,351 m³/s. En appliquant la formule de BONIN : on trouve :

$$D = 0,59\text{m.}$$

En appliquant la formule de BRESSE on trouve : $D = 1.5\sqrt{Q}$

$$D = 0,89\text{m}$$

L'utilisation simultanée de ces deux formules fournit l'intervalle des diamètres optimaux suivant [500, 600, 700, 800,900].

3.3 Frais d'exploitation

Il faut tout d'abord déterminer les pertes de charge engendrées dans les canalisations. Connaissant la hauteur géométrique, on peut déterminer les hauteurs manométriques totales (HMT) correspondantes à chaque diamètre

$$H_g = 29 \text{ m}$$

Les pertes de charge pour chaque diamètre seront calculées par la formule de Darcy-Weisbach :

$$\sum h_p = \frac{8 \lambda L Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

Le coefficient des pertes de charge λ est évalué par la formule :

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \text{Ln}(\epsilon / \emptyset)]^2$$

ϵ : rugosité de la conduite. ($\epsilon=0.001\text{m}$) ; \emptyset : diamètre de la conduite.

On a $F_{exp} = E_a * e$

F_{exp} : frais d'exploitation

E_a : énergie consommée annuellement par l'installation de pompage en (Kwh) donnée

par : $E_a = P_t * 24 * 365$ dont $P_t = n * p$

n = nombre de pompes en fonctionnement $n = 3$

p = puissance absorbée par l'installation de pompage, donnée par la formule suivante :

$$P_p = \frac{9,81 \cdot Q \cdot HMT}{\eta_p} \text{ (Kw)}$$

Q : le débit à refouler.

HMT : la hauteur manométrique totale.

η_p : Le Rendement de pompage (0.61)

Le prix (e) d'un kWh = 4 DA (source : SONELGAZ)

Tableau VII.4: Frais d'exploitation

Diamètre D (mm)	λ	$\sum hp$ (m)	HMT (m)	P_t (kw)	E_a (kwh)	F_{exp} (DA)
500	0,024	26,17	55,17	311,42	2728039,2	10912157
600	0,023	10,08	39,08	220,60	1932546	7730184
700	0,022	4,46	33,46	188,87	1653712,8	6614851,2
800	0,021	2,18	31,18	176	1541760	6167040
900	0,020	1,15	30,15	170,20	1490952	5963808

3.4 Frais d'amortissement

Les frais d'amortissement augmentent avec le diamètre de la canalisation, on doit tenir compte de l'annuité (A) d'amortissement, qui amortit un capital investi au taux (i) pour une période en principe égale à la durée de vie du matériel (conduite) qui est égale à 25ans.

$$A = \frac{i}{(i+1)^n - 1} + i$$

i : taux d'annuité (8 à 12 % en Algérie) en fonction du type d'investissement.

n : nombre d'année d'amortissement $n = 25$ ans

$$A = \frac{0.08}{(0.08 + 1)^{24} - 1} + 0.08 = 0.09498$$

Les résultats de calcul sont groupés dans le **tableau VII.5.**

Tableau VII.5: Frais d'amortissement

Diamètre	L	Prix	Prix total	A	Fam
D (mm)	(m)	(DA/ml)	(DA)		(DA)
0,5	3040	15023,07	45670132,8	0,09498	4337749,21
0,6		17793,84	54093279,7		5137779,7
0,7		20563,84	62514079,7		5937587,29
0,8		23333,84	70934879,7		6737394,87
0,9		26103,84	79355679,7		7537202,46

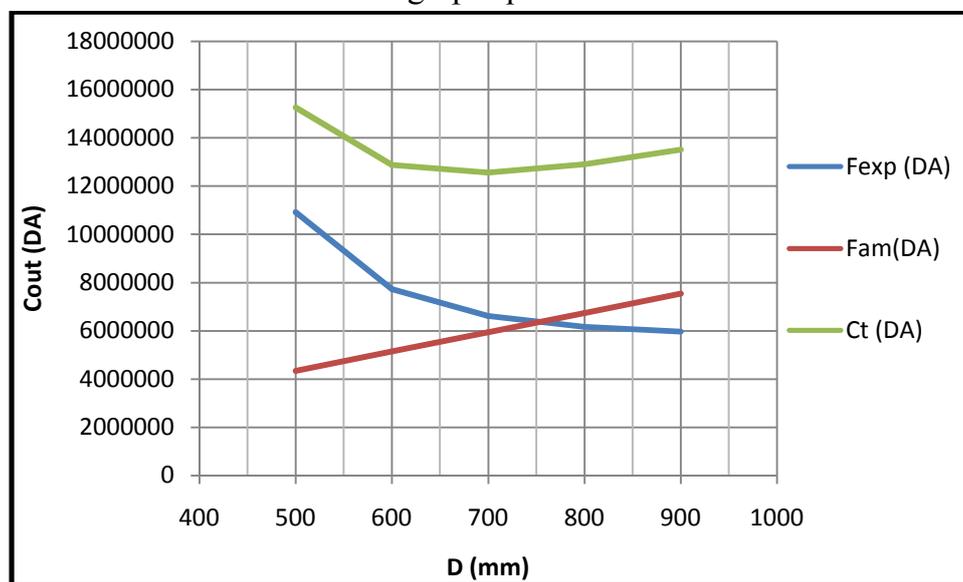
3.5 Le coût total

Le coût total est calculé par la formule suivante : $C_t = F_{exp} + F_{am}$

Tableau VII.6: Coût total

Diamètre D (mm)	Fexp (DA)	Fam(DA)	Ct (DA)
500	10912156,8	4337749	15249906
600	7730184	5137780	12867963,7
700	6614851,2	5937587	12552438,5
800	6167040	6737395	12904434,9
900	5963808	7537202	13501010,5

Pour le choix du diamètre on trace le graphique du coût total en fonction du diamètre,

**Figure VII.1:** Graphique du choix du diamètre économique

D'après les résultats de cette étude technico-économique, on constate que le bilan d'exploitation et d'amortissement est minimal pour le diamètre de la conduite principale de **700mm**.

Les dimensions de la conduite de refoulement sont représentées dans le **tableau VII.7**.

Tableau VII.7: Caractéristique de la conduite de refoulement

Forme	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Matériau
Circulaire	3040	700	Fonte ductile

Conclusion

A partir que nous avons vu dans ce chapitre, on peut dire que nous avons pu déterminer le type de pompe favorable aux conditions de refoulement ainsi que les dimensions du réservoir de distribution et la conduite de refoulement.

On peut résumer les résultats de dimensionnement dans le **tableau VI.8**.

Tableau VI.8: Résumer de dimensionnement de l'adduction

Partie d'adduction	Caractéristiques
La bêche d'aspiration	Volume = 210,6 m ³
Les pompes de la station de pompage	Type: Amarex KRT K 250-370/954XNG-S
	Qt = 351 l/s ; Qp = 117 l/s ; Hmt = 38,94 m
	Nombre de pompe = 3 + 1 pompe de secours (raccordées en parallèle)
La conduite de refoulement	Nombre de conduite = 1 conduite ; L = 3040 m ; D = 700 mm
Le réservoir de stockage	Côte = 150 m ; Volume = 315,9 m ³ ; Surface = 105,27 m ²

Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous constatons que les eaux usées représentent une ressource d'eau renouvelable qu'il faudra exploiter dans l'agriculture, l'industrie et d'autres usages municipaux, donc, constituer sans doute, demain, l'une des solutions incontournables pour notre pays qui souffrant énormément de déficit hydrique.

Cette réutilisation ne représente pas seulement une option économique compétitive mais aussi a de nombreux avantages sociaux et environnement. Ainsi cette valorisation doit être placée dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau en élaborant une stratégie nationale de valorisation des eaux usées.

Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que les eaux usées de la station d'épuration de Ouargla sont d'une qualité médiocre nécessite un traitement tertiaire qui permette de les utiliser dans le domaine agricole (l'irrigation), un stockage dans des bassins et nécessaire pour mieux affiner ces eaux.

L'enquête effectuée nous a permis de constater qu'il existe réellement des possibilités d'utilisation de l'eau épurée par la station de Ouargla, sans risque, dans le secteur agricole en améliorant par des traitements complémentaires.

Il faut noter que cette utilisation doit être rendue optimale et pour qu'il en soit ainsi, les conditions suivantes doivent être remplies :

- il faut adapter les systèmes d'irrigation à la qualité de l'eau employée ;
- il faut optimiser l'apport d'eau et ajuster la fertilisation aux besoins des cultures.

On a proposé les eaux épurées pour irriguer les palmeraies parce que les palmiers expriment la culture principale dans cette zone, d'autre coté la palmeraie a une grande résistance contre les eaux de mauvaise qualité.

On a proposé aussi que l'irrigation se fait par le système goutte-à-goutte parce que ce système d'irrigation a beaucoup des avantages et il est rependu aux conditions des zones sahariennes.

Références Bibliographiques

[1]BARLIN J.D., HATTON J.D., (1979). Tilapia a guide to biology and culture in Africa. Unit of Aquatic Pathobiology, Stirling University, 174p.

[2]BAUMONT S., (1999). Réutilisation des eaux usées épurées: risque sanitaires et faisabilité en Île-de-France. 169p.

[3]BECHAC J., BOUTES P., MERCIER B., (1983). Traitement des eaux usées. 2eme Edition.

[4]BECHAC Jean-pierre, Pierre BOUTIN, Bernard MERCIER, Pierre NUER, traitement des eaux usées 1984.

[5]BG Ingénieurs Conseils. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. « Rapport final » édition décembre 2004. p.

[6]BG Ingénieurs Conseils. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. «Avant Projet Détaillé Station d'épuration» édition juin 2004.57 p.

[7]BG, 2003. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Décembre 2003.131 p.

[8]BONDON D., PITRASANTA Y. (1994). Le lagunage écologique. Ed ECONOMICA. Paris. 112 p.

[9]COLAS René, La pollution des eaux 1^{ère} édition ,2^{ème} trimestre, Presses universitaires de France, 1962.

[10]COMPENDIUM DE NORMES ISO "Environnement qualité de l'eau Tome 2 méthodes bactériologique 1 er Ed.1997.

[11]FIGARELLA J., LEYRAL G., TREET M., (2001). Microbiologie générale et appliquée. France.285p.

[12]GAÏD Abdelkader, Epuration biologique des eaux usées urbaine tome I, office de publication universitaires, Alger, 1984.

[13]GOMELLA. C, GEURRE H, Les eaux usées dans les agglomérations urbains ou rurale Tome 2, traitement, Ed Eyrolees 1983.

[14]JEAN PAUL, BEADRY "chimie des eaux" le griffon d'argile.1992.

[15]KHATTABI.H, ALEYA. L, et J.MANIA "Lagunage naturel de lixiviat de décharge". Rev . Sci. Eau 15 (1): 411-419 année 2001.

[16]KOLLER Emillion, traitement des pollutions industrielles, Dunod, Paris, 2004.

[17]LADJAL Farid, exploitation d'une station d'épuration à boues activées niveau 2, centre de formation au métier de l'assainissement CFMA-Boumerdes.

[18]M.LADJEL Farid, Mm. BOUCHEFER Soraya Amal "Exploitation d'une station d'épuration à boue activées et d'une lagune niveau II".2008.

[19]M^r D.KOLIAI, Cours de Réutilisation des eaux usée en Irrigation .ENSH. 2011.

[20]OUALI Mohand-saïd, procédés unitaire biologique et traitement des eaux, office de publication universitaire, Alger, 2001.