

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

Faculté De Technologie
Département D'hydraulique

Projet de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master en Hydraulique
Option : Technologies de Traitement Des Eaux

Thème

**Etude de la Faisabilité de Réutilisation des Eaux Usées
Issues de la STEP de Chlef à des Fins Agricoles**

Par : M^r BECHLAGHEM Aissa

Devant les membres du jury

M^r A. GHENIM
M^r B. ROUSSAT
M^{me} F. BOUCHELKIA
M^{me} C. BOUKLI HACENE
M^r M. BOUMEDIENE

Président
Examineur
Examinatrice
Encadreur
Encadreur

Année Universitaire : 2012-2013

Remerciements

Nous commençons par remercier dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements vont à M^{me} C. Boukli Hacène et M^r M. Boumediene pour avoir accepté d'encadrer ce sujet, ainsi pour leurs orientations, leurs judicieux conseils et leur disponibilité tout au long de l'évaluation de notre projet. Nous tenons à remercier également les membres de jury : M^r A. Ghenim, M^r B. Rouissat et M^{me} F. Bouchelkia pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos vifs remerciements aux responsables et personnel de l'office national de l'assainissement de Chlef (ONA) surtout à Mr Kellouche Abdelhakim, Melle Kraouche Fadhila, Melle Mayouf Asma Mme Belmadahi Amina et Mr Mahmoudi Tahar.

A tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à notre formation.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma très chère mère qui m'a toujours apportée

Son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragé, conseillé et

Soutenu dans mon travail

*Ma très chère sœur, qui ma aidée énormément dans ce
travail*

Mes frères et mes sœurs

*Mes camarades de la promo d'hydraulique option
Technologie et Traitement des Eaux*

De 2011/2013

Mes très chers amis

Je dédie ce modeste travail.

Aïssa

Résumé

Les eaux usées épurées peuvent être considérées comme une source en eau non négligeable pour être réutilisées par l'homme dans différents domaines (l'irrigation, l'industrie...). Elles peuvent constituer en même temps une solution pour diminuer l'exploitation intensive des ressources limitées et mal réparties de la terre et par conséquent, protéger les cours d'eau, les plans d'eau, voire les eaux souterraines...

En Algérie, l'agriculture connaît de plus en plus de sérieuses difficultés en matière d'irrigation. L'eau destinée à cet effet est donc presque rare et le recours à des solutions adéquates afin de parer à ce phénomène est indispensable. La réutilisation des eaux usées en irrigation ne constitue pas seulement un intérêt économique et écologique, mais aussi une préparation technique, pratique, et sociale. Dans ce cadre, l'idée d'initier cette étude de faisabilité sur la réutilisation des eaux usées urbaines issues de la STEP de Chlef à des fins agricoles semble d'un grand intérêt pour les gestionnaires de l'eau à Chlef. Après une étude bibliographique sur le thème, problématique de la ressource en eau à Chlef (en particulier celle destinée à l'irrigation), et à travers des analyses physico-chimiques (teneur en particules solides, en éléments fertilisants majeurs NPK, ..) et bactériologiques (bactéries, virus, etc....), on a mis en évidence tous les points positifs pour la réalisation de tel projet en indiquant bien sur les problèmes qui entravent et les solutions à proposer.

Mots clés : Eaux usées – Irrigation - Station d'épuration – Réutilisation - Performances épuratoires

Abstract

The purified waste water can be considered a significant source water to be reused by humans in different areas (irrigation, industry). They can be at the same time a solution to reduce the intensive use of limited resources and unevenly distributed of the land and therefore, protect waterways, water bodies or the groundwater...

In Algeria, agriculture has more and more serious problems in irrigation. Water used for this effect is almost rare and the use of appropriate solutions to deal with this is essential. The reuse of wastewater irrigation is not only an economic and ecological, but also technical preparation benefit, practice, and social. In this context, the idea to initiate this feasibility study on the reuse of urban wastewater from the waste water treatment plant (WWTP) of Chlef for agriculture seems great interest to water managers in Chlef. After a literature review on the topic, the problem of water resources in Chlef (especially for irrigation) and through physic-chemical analysis (solids particles, major NPK elements ...) and biological (bacteria, virus, etc), we showed all the positives for the realization of such project clearly indicating the problems that impede and to propose solutions.

Key words: Wastewater - Irrigation - Sewage Treatment Plant - Reuse - purifying performance

ملخص

تعتبر مياه الصرف الصحي المعالجة مصدرا مهما يمكن استخدامه في العديد من المجالات (الصناعة، الري..)

إنها تشكل في الوقت ذاته حلا للتقليل من الاستخدام المكثف للموارد المحدودة و الغير متساوية التوزيع وبالتالي الحفاظ على الممرات المائية، المسطحات والمياه الجوفية.

تعرف الزراعة في الجزائر العديد من المشاكل خاصة في مجال الري، حيث أن المياه المخصصة لهذا الغرض نادرة، ما يوجب إيجاد حلول فعالة. إعادة استعمال مياه الصرف الصحي لغرض الري بالإضافة إلى فائدته الاقتصادية والبيئية، فله أيضا غرض تقني، واجتماعي.

في هذا السياق تندرج الفكرة لدراسة مدى جدوى إعادة استعمال المياه في المناطق الحضرية والناطقة عن المحطة المتخصصة لولاية الشلف.

فإننا بالاستعانة بالعديد من المراجع التي تصب في سياق هذا الموضوع، وطرح إشكالية قلة المياه بولاية الشلف (خاصة للري)؛ ومن خلال التحليل الفيزيائي

والكيميائي (احتوائه على المواد الصلبة..) والبيولوجي (البكتيريا، الفيروسات..)، تمكنا من إبراز مدى ايجابيات تحقيق هذا . كذلك أهم العراقيل و تقديم بعض الحلول.

كلمات البحث: مياه الصرف الصحي - الري - محطة معالجة مياه الصرف الصحي - إعادة استخدام المياه - أداء تنقية

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	01
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées urbaines	
I.1. Introduction	03
I.2. Définition des eaux usées	04
I.3. Origine et Composition des eaux usées	04
I.3.1. Origine des eaux usées :	04
I.3.1.1. Les rejets domestiques	04
I.3.1.2 Les rejets industriels	05
I.3.1.3. Les Eaux de ruissellement	05
I.3.2. Compositions des eaux usées	06
I.3.2.1. Les micro-organismes	06
I.3.2.1.1. les bactéries	06
I.3.2.1.2. les virus	07
I.3.2.1.3. les protozoaires	08
I.3.2.1.4. les helminthes	08
I.3.2.2. Composition physicochimique des eaux usées	09
I.3.2.2.1. les M.E.S	09
I.3.2.2.2. Les micropolluants organiques et non organiques: une pollution multiple et complexe	09
I.3.2.2.3. les éléments de traces	09
I.3.2.2.3.1. les métaux lourds	09
I.3.2.2.3.2. les micropolluants organique	09
I.3.2.2.4. les substances nutritives	10
I.3.2.2.5. Salinité	11
I.4. Conclusion	11

Chapitre II : Différents procédés de l'épuration des eaux usées

II.1.Introduction	12
II.2.Epuration des eaux résiduaires	12
II.2.1.définition de l'épuration	12
II.2.2.Rôle d'une station d'épuration	12
II.2.1.Prétraitements	12
II.2.1.1.Le dégrillage :	13
II.2.1.2.Le dessablage :	13
II.2.1.3.Déshuilage dégraissage	14
II.2.2.Les traitements physiques et chimiques	14
II.2.2.1.Procédés de décantation physique	14
II.2.2.1.1.La décantation	14
II.2.2.2.Procédés de décantation chimique	15
II.2.2.3.L'élimination de la pollution carbonée	16
II.2.3. Traitements biologiques	16
II.2.3.1.Les procédés biologiques extensifs	17
II.2.3.2. Procédés biologiques intensifs	18
II.2.3.2.1.Lits bactériens	18
II.2.3.2.2. Disques biologiques	19
II.2.3.2.3. Boues activées	19
II.2.3.2.3.1.Principe	19
II.2.3.2.3.2.Paramètres de fonctionnement	20
II.2.3.2.3.2.1.Charge massique (C_m) ou facteur de charge	20
II.2.3.2.3.2.2.Charge volumique (C_v)	21
II.2.3.2.3.2.3.Age des boues	21
II.2.3.2.3.2.4.Indice de MOLHMAN	21
II.2.4.Avantages et inconvénients des différentes filières intensives	22
II.2.5.Les Traitements Complémentaires	23
II.2.5.1.Elimination de l'azote et du phosphore	23
II.2.5.2.La désinfection	25
II.3. Conclusion	27
Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurées	
III.1.Introduction	28
III.2.Historique	28

III.3.Utilisation dans le monde	29
III.4.Utilisation en Méditerranée	29
III.5.La réutilisation des eaux usées épurées (REUE)	30
III.5.1.usage industriel	30
III.5.2.usage domestique et municipal	30
III.5.3.usage agricole	30
III. 6.Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées	32
III. 7.Inconvénients de la réutilisation des eaux usées traitées	32
III.8.les risques de la réutilisation des eaux usées épurées	33
III.8.1.les risques sanitaires	33
III.8.2.les risque pour le sol et les cultures	33
III.9.Les références réglementations dans le monde	33
III.9.1.Bilan mondial	33
III.9.2.Les nouvelles recommandations de l'OMS	34
III.9.3. Situation actuelle de la R E U E et perspectives pour l'irrigation en Algérie	36
III.10. Conclusion	39
Chapitre IV : Présentation de la STEP de Chlef	
IV.1. Introduction	40
IV.2.Localisation du site de la station d'épuration	40
IV.3.Principe de fonctionnement	41
IV.4. Description des ouvrages de traitement (Filière Eaux)	42
IV.4.1.Dégrilleur et local des pompes de relevage	42
IV.4.1.1.Dégrilleur	42
IV.4.1.2.Local des pompes de relevage	43
IV.4.2.Déssableur - Déshuileur	43
IV.4.3.Bassins d'aération	44
IV.4.4.Décanteur secondaire	45
IV.5. Description des ouvrages de traitement (filière boues)	45
IV.5.1.Épaississeurs	45
IV.5.2.Lits de séchage	46
IV.6.Conclusion	46

Chapitre V: Matériel et méthodes

V.1. Introduction	47
V.2. Matériel et Méthodes d'analyses	47
V.2.1. Température	47
V.2.2. pH	47
V.2.3. Conductivité	48
V.2.4. Total des solides dissous (TDS)	48
V.2.5. Matières en suspension (MES)	48
V.2.6. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	49
V.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)	49
V.2.8. Nitrates (N-NO ₃)	50
V.2.9. Azote Ammoniacal (N-NH ₃)	50
V.2.10. Azote total	50
V.2.11. Analyses bactériologiques	50

Chapitre VI: Résultats et Interprétations

VI.1. Introduction	51
VI.2. Les paramètres physico-chimiques	51
VI.2.1. La température	51
VI.2.2. Le pH	52
VI.2.3. Conductivité électrique	52
VI.2.4. Total des sels dissous (TDS)	53
VI.2.5. Matières en suspension (MES)	53
VI.2.6. Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	54
VI.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)	55
VI.2.8. Azote total (N-T)	55
VI.2.9. Azote ammoniacal (N-NH ₃)	56
VI.2.10. Nitrates (N-NO ₃)	57
VI.3. Analyses microbiologiques	57
VI.4. Conclusion	58

Chapitre VII: Proposition et calcul du réseau d'irrigation

VII.1. Introduction	59
VII.2. Périmètre d'irrigation proposé	59
VII.2.1. Région d'étude	60
VII.3. Caractéristiques du milieu naturel	61

VII.3.1. Hydrographie et hydrologie	61
VII.3.2. Climatologie	61
VII.3.2.1. Température de l'air	61
VII.3.2.2. Pluviométrie	62
VII.3.2.3. Humidité relative	62
VII.3.2.4. Le vent	63
VII.3.2.5. L'évaporation	63
VII.3.2.6. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	64
VII.3.2.6.1. Méthode de calcul de l'ETP	64
VII.3.2.6.1.1. Méthodes directes (méthode des bacs)	64
VII.3.2.6.1.2. Méthode indirectes (formules empiriques)	64
VII.3.3. Géologie	65
VII.3.4. Hydrogéologie	66
VII.3.5. Ressources en eau	68
VII.3.5.1. Les ressources superficielles	68
VII.3.5.2. Ressources en eau souterraine	69
VII.3.5.3. Qualité des eaux des barrages	70
VII.3.5.3.1. La salinité	70
VII.4. Choix des cultures à pratique	73
VII.4.1. Calcul des besoins en eau	74
VII.4.1.1. Evapotranspiration potentielle	75
VII.4.1.2. Ruissellement	75
VII.4.1.3. Infiltration	75
VII.4.1.4. Besoins théoriques	76
VII.4.1.5. Détermination des volumes d'eau mensuels	78
VII.4.1.6. Doses et fréquence des arrosages	79
VII.4.1.7 Fréquence des arrosages	80
VII.4.1.8 Signalisation des équipements du réseau d'irrigation dans le cadre de l'utilisation des eaux usées épurées	81
Conclusion générale	82
Bibliographie	
Les annexes	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (pour plus de précisions sur leurs effet pathogènes)	06
Tableau I.2: Les virus dans les eaux usées (pour plus de précisions sur leurs effets pathogènes)	07
Tableau I.3 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées	08
Tableau II.1 : Efficacité épuratoire de la décantation.	15
Tableau II.2: Avantages et inconvénients des filières intensives	22
Tableau III.1: répartition de l'eau utilisée par usages	37
Tableau III.2 : Volumes d'eau usée rejetée en Algérie	37
Tableau.III.3: Besoins, affectation des ressources en eau d'irrigation et réutilisation des eaux usées dans les différentes régions.	38
Tableau IV.1: les valeurs limitent de l'étude du processus	42
Tableau IV .2 : les valeurs de bases des données de le STEP de CHLEF	42
Tableau VI.1: Résultats des analyses Bactériologiques des eaux épurées prélevées à la sortie de la STEP	58
Tableau VII.1: Températures moyennes mensuelles dans le moyen cheliff	62
Tableau VII.2: Valeurs des précipitations moyennes mensuelles dans le moyen Chélif	62
Tableau VII.3 : valeurs des précipitations moyennes mensuelles pour les 25 ans derniers (mm)	62
Tableau VII.4: Humidité relative dans le moyen Cheliff	63
Tableau VII.5: Vitesses du vent dans le moyen Cheliff	63
Tableau VII.6 : Evaporation mensuelle dans le moyen Chélif	64
Tableau VII.7: Evapotranspiration mensuelles et annuelles calculé par 3 formules	65
Tableau VII.9: Les superficies irriguées par les deux barrages	69
Tableau VII.10 : Classement des eaux d'après la conductivité électrique	71
Tableau VII.11 : Composition chimique et la qualité d'eau de barrage destinai à l'irrigation	72
Tableau VII.12 : Caractéristiques de la variété d'oliviers choisie	74
Tableau VII.13 : Eléments du bilan hydrique mensuel moyen (1987-2012) calculés par méthode de Thorntwaite	77
Tableau VII.14 : Détermination des volumes moyens mensuels	78
Tableau VII.15 : Détermination des besoins théoriques et des volumes d'excès	79
Tableau VII.16 : Valeurs moyennes de la densité et humidité.	80
Tableau VII.17 : Détermination des doses et fréquence des arrosages	81

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Intégration des eaux usées traitées dans le cycle général des ressources en eau	03
Figure II.1 : Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.	16
Figure II.2 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien	18
Figure II.3 : Synoptique d'une station d'épuration Comportant un disque biologique	19
Figure II.4 : Schéma de principe d'un disque biologique	19
Figure II.5 : Schéma de base du procédé de boues activées	20
Figure II.6. Schéma général d'une station d'épuration	26
Figure III.1: Volume moyen journalier des eaux usées recyclées en quelques pays de la Méditerranée (données pour les années 2000-2003)	34
Figure IV.1: Vue de la STEP de Chlef	40
Figure IV.2: Localisation de station d'épuration des eaux usées (STEP) de Chlef	41
Figure IV.3: Schéma général du process à la STEP de Chlef	41
Figure IV.4: Photo d'une grille mécanisée (ONA.2012).	43
Figure IV.5: Photo du déssableur-déshuileur (ONA.2011).	44
Figure IV.6 : Photo du bassin d'aération (ONA.2011).	44
Figure IV.7: Photo du bassin de clarificateur (ONA.2011)	45
Figure IV.8: Photo d'un Epaississeur (ONA.2011).	46
Figure IV.9: Photos de lits de séchage (ONA.2013)	46
Figure V.1: Photo du pH mètre HACH utilisé	47
Figure V.2: Photo du conductimètre HACH 54500-18	48
Figure V.3: Photo du DBO mètre HACH 26197-91	49
Figure V.4: Phot du bloc chauffant	49
Figure V.5: Photo du spectrophotomètre DR 2500	49
Figure VI.1: Variation journalière de la température de l'eau épurée	51
Figure VI.2: Variation journalière du pH de l'eau épurée	52
Figure VI.3: Variation journalière la conductivité électrique de l'eau épurée	52
Figure VI.4: Variation journalière de la concentration des TDS de l'eau épurée	53
Figure VI.5: Variation journalière de la concentration des matières en suspension dans l'eau épurée	54
Figure VI.6: Variation journalière de la concentration en demande biologique en oxygène	54
Figure VI.7: Variation journalière de la demande chimique en oxygène dans l'eau épurée	55
Figure VI.8 : Variation journalière de l'azote total dans l'eau épurée	56
Figure VI.9: Variation journalière de la concentration de l'azote ammoniacal dans l'eau épurée	56
Figure VI.10: Variation journalière de la concentration de l'azote nitrique dans l'eau épurée	57
Figure VII.1: Localisation du périmètre irrigué par les eaux usées traitées	59
Figure VII.2 : Localisation de la région d'étude	60
Figure VII.3 : Carte géologique du Moyen-Chélif occidental	67
Figure VII.4 : La carte des nappes du Moyen-Chélif occidentale	67
Figure VII.5 : Carte des coupes hydrogéologiques	68
Figure VII.6 : Carte piézométrique	70
Figure VII.7 : Schéma explicatif de calcul	73
Figure VII.8 : conduite de transport	81

Liste des Abréviations

ADE : algérienne des eaux

°C : Degré Celsius.

Ca : Calcium.

CE : Conductivité Electrique

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

OD : oxygène dissouts

EE : Eau Epurée.

EUT : Eau Usée Traitée

FAO : Food and Agronomique Organisation

MES : Matière En Suspension.

NO₃: Nitrate.

NT: Azote Total.

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

ONA : Office National d'Assainissement.

ONID : Office National de l'irrigation et du drainage.

ABH : Agence du bassin hydrographique.

GPI : Grands périmètres irrigués.

PMH : Petite et moyenne hydraulique.

pH : Potentiel Hydrogène.

REUE : Réutilisation des Eaux Usées Epurées.

SAR : Taux d'Absorption du Sodium.

STEP : Station d'Epuration.

T : Température.

TDS : Total de Sel Dissous.

INTRODUCTION

Introduction générale

Les eaux épurées d'origine urbaine sont classiquement rejetées dans le milieu naturel, principalement dans les cours d'eau, et la mer pour les zones côtières. Le niveau de qualité atteint pour les eaux épurées doit permettre d'étendre leur réutilisation, moyennant des traitements complémentaires à adopter en fonction des usages envisagés.

Les eaux usées épurées peuvent être considérées comme une source en eau non négligeable pour être réutilisées par l'homme dans différents domaines (l'irrigation, l'industrie...). Elles peuvent constituer en même temps une solution pour diminuer l'exploitation intensive des ressources limitées et mal réparties de la terre et par conséquent, protéger les cours d'eau, les plans d'eau, voire les eaux souterraines... Pendant les dix dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées.

En Algérie, l'agriculture connaît de plus en plus de sérieuses difficultés en matière d'irrigation. L'eau destinée à cet effet est donc presque rare et le recours à des solutions adéquates afin de parer à ce phénomène est indispensable.

La réutilisation des eaux usées en irrigation ne constitue pas seulement un intérêt économique et écologique, mais aussi une préparation technique, pratique, et sociale. C'est dans ce sens que s'inscrit notre travail qui vise à étudier la faisabilité de réutiliser les eaux usées urbaines issues de la STEP de Chlef pour irriguer une surface de 71 ha.

Une proposition de plantations est faite par la suite, en se basant sur les résultats d'analyse des eaux épurées à la sortie de la STEP de Chlef et les différentes données liées au périmètre proposé pour l'irrigation. Ce travail semble d'un grand intérêt pour les gestionnaires de l'eau à Chlef.

Le travail est organisé de la manière suivante :

- Une partie bibliographique dans laquelle on a présenté au premier chapitre, des notions sur l'origine, la composition et la nature des eaux usées ainsi que les différents paramètres de pollution. Le deuxième chapitre présente les différents procédés utilisés pour l'épuration de l'eau (prétraitement, traitements physico-chimiques, traitements biologiques), les traitements complémentaires (élimination de l'azote et du phosphore, désinfection) et les paramètres de fonctionnement d'une station d'épuration. Des notions sur la réutilisation des eaux usées épurées (historique, utilisation dans le monde, utilisation dans le bassin méditerranéen, Avantages et inconvénients, risques liés à la réutilisation,...) et la réglementation qui s'applique à cette pratique sont données dans le troisième chapitre. Un aperçu sur la

réutilisation des eaux usées dans le monde et spécialement en Algérie a été également présenté.

- Une partie expérimentale regroupant quatre chapitres: le chapitre 4 donne une présentation et une description sommaire de la station d'épuration (STEP) de Chlef sur laquelle le travail sur les eaux épurées a été fait. Le cinquième chapitre présente, avec plus de détail, le matériel et les méthodes d'analyse des paramètres de pollution (physique, chimique et bactériologique) de l'eau auxquels des analyses ont été effectuées. Le sixième chapitre a été réservé aux résultats expérimentaux trouvés ainsi qu'à leurs interprétations. Vu les résultats encourageants sur la faisabilité du projet, un calcul de dimensionnement d'un réseau pour l'irrigation d'un périmètre à partir des eaux usées épurées de la STEP de Chlef est proposé dans le septième chapitre. Sont détaillés dans ce chapitre:

- Les caractéristiques du périmètre d'étude ;
- Les ressources en eaux dans la plaine du Moyen-Chélif ;
- Le choix de culture pour le périmètre d'étude ;
- Les éléments de calcul pour l'irrigation et l'importance du bilan hydrique ainsi que la faisabilité de la réutilisation pour le périmètre proposé.

Enfin une conclusion qui met l'accent sur une telle étude et ses extensions futures est donnée au terme de ce travail. L'étude en question est une contribution visant la maîtrise de la réutilisation en agriculture des effluents de la station d'épuration de Chlef, notamment par le choix d'espèces végétales tolérantes à la charge bactérienne de ces effluents, et ne constituant pas un danger alimentaire aux consommateurs.

PARTIE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES EAUX USEES URBAINES

Chapitre I : Généralités sur les Eaux Usées

I.1. Introduction

Dans les régions souffrant de pénurie d'eau, les eaux usées ne sont plus considérées comme déchets à éliminer mais comme partie intégrante des ressources potentielles en eau. D'après la figure I.1, la valorisation des eaux usées passe obligatoirement par deux étapes essentielles. La première étape est la collecte des eaux usées. Cette étape nécessite l'installation d'un réseau d'égouts couvrant les différents secteurs urbains. En effet, la nature et les volumes des eaux usées collectées sont les facteurs les plus déterminants pour le choix du procédé de traitement et bien entendu, pour le dimensionnement des stations d'épuration. Ainsi, l'installation des stations d'épuration constitue la deuxième étape du schéma général de valorisation des eaux usées, bien que dans certains pays en voie de développement, ces eaux sont encore réutilisées à l'état brut. Les effluents une fois traités, au lieu d'être déversés dans le milieu naturel, vont être réutilisés pour différents usages. Dans certains pays où les normes de réutilisation sont drastiques, ces eaux usées vont subir des traitements supplémentaires pouvant aller jusqu'à la désinfection. En effet, c'est la finalité d'usage qui définit le niveau de traitement complémentaire [1].

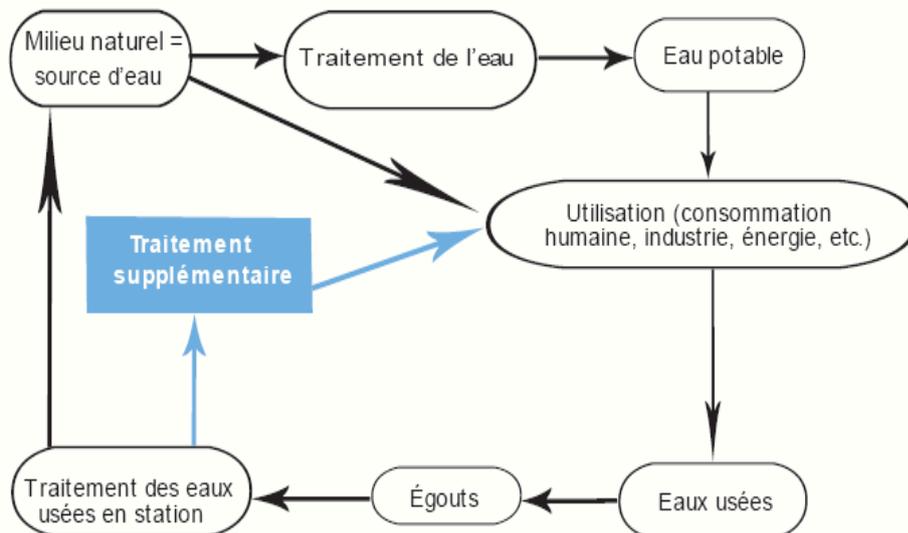


Figure I.1 : Intégration des eaux usées traitées dans le cycle général des ressources en eau

La réutilisation agricole constitue la principale filière de réutilisation des eaux usées à travers le monde. Cette réutilisation trouve sa motivation en trois points essentiels :

- 1) la nécessité de réserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable ;
- 2) la préservation des milieux naturels ;
- 3) l'économie d'engrais chimiques en exploitant le pouvoir fertilisant de ces eaux ;

La connaissance de la composition des eaux usées est une étape primordiale pour la prévention des risques inhérents à leurs diverses utilisations. Au cours de ce chapitre, la composition des eaux usées est tout d'abord présentée. Par la suite, un aperçu est donné sur la réutilisation des eaux usées traitées ainsi que sur les aspects juridiques et techniques à l'échelle nationale et internationale. Enfin, les différents impacts sur le milieu récepteur que peut engendrer la pratique de la réutilisation des eaux usées traitées sont considérés surtout sur le plan physico-chimique [1].

I.2. Définition des eaux usées

Les eaux usées, appelées aussi eaux polluées, sont toutes les eaux qui sont de nature à contaminer les milieux dans lesquelles elles sont déversées. Ces eaux sont en général le sous-produit d'une utilisation humaine soit domestique soit industrielle. Les eaux usées sont des eaux altérées par les activités humaines à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être traitées [2].

I.3. Origine et Composition des eaux usées

I.3.1. Origine des eaux usées :

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

- les eaux domestiques ;
- les eaux industrielles ;
- les eaux de ruissellement.

I.3.1.1. Les rejets domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement [3]:

- les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes ;
- les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable, et dépend de trois facteurs :

- la composition originelle de l'eau potable, qui elle-même dépend de la composition de l'eau utilisée pour produire l'eau potable, de la qualité du traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature des canalisations, etc. ;
- les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi-infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure, colle, etc.
- les utilisateurs eux-mêmes qui vont rejeter de la matière organique dans les égouts (urines et fèces). La matière organique est le polluant majoritaire des eaux domestiques. Ce type de rejets apporte également des micro-organismes et des contaminants divers (médicaments), etc.

I.3.1.2 Les rejets industriels

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. le déversement de ces eaux dans les égouts publics n'est pas un droit et doit être préalablement autorisé par la collectivité.

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- soient ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- soient ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel. Ce dernier cas ne nous intéresse pas dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées [3].

I.3.1.3. Les Eaux de ruissellement

Ce sont les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées, en général en zone urbaine. Les eaux de pluie peuvent être récupérées avant d'atteindre le réseau ou le milieu naturel pour être utilisées à des fins diverses. L'utilisation des eaux de pluie ou (UEP)

est, au même titre que la réutilisation des eaux usées épurées ou (REUE), est une forme de recyclage de l'eau [3].

I.3.2. Compositions des eaux usées

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.

I.3.2.1. micro-organismes: Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries ; les virus ; les protozoaires et les helminthes [3].

I.3.2.1.1. les bactéries : Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . Les eaux usées contiennent en moyenne 10^7 à 10^8 bactéries/l. Parmi les plus détectées sont retrouvées, les *Salmonellas*, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux.

Les bactéries pathogènes d'origine hydrique sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde [4].

Tableau I.1 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (pour plus de précisions sur leurs effets pathogènes)

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre/ litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

Source: adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hcsc.gc.ca)

I.3.2.1.2. les virus : Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 /L.

L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Dans le tableau I.2. sont recensés la plupart des virus que l'on peut trouver dans les eaux usées, avec les symptômes de la maladie qui leur est associée, éventuellement le nombre moyen de virus que l'on trouve dans un litre d'eau usée et la voie de contamination principale [3].

Tableau I.2: Les virus dans les eaux usées (pour plus de précisions sur leurs effets pathogènes)

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, diarrhée conjonctivite, vomissement,		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire, diarrhée		Ingestion
Entérovirus			
Poliovirus	Paralysie, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, fièvre		Ingestion

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

I.3.2.1.3. les protozoaires : Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. 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 [3].

I.3.2.1.4. les helminthes : Les helminthes sont des parasites intestinaux, Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 germes L^{-1} . Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. Le tableau I.3 regroupe les principaux protozoaires et helminthes que l'on trouve dans les eaux usées, avec les pathologies qui leur sont associées, éventuellement le nombre moyen de parasites que l'on trouve dans un litre d'eau usée et la voie de contamination principale du pathogène [5].

Tableau I.3 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre/ litre	Voies de contamination
Protozoaires			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	100 000	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	28-52	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose: ganglions, faible fièvre	0,3 à 122	Inhalation /Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, diarrhée		Ingestion
<i>Microsporidium</i>			Ingestion
Helminthes			
<i>Ascaris</i>	Ascariadiase : diarrhée, troubles Nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion / Cutanée
<i>Tenia</i>	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale		mal cuite
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Strongyloïdes</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée,		Ingestion
<i>Hymenolepis</i>	nervosité, troubles digestifs		Cutanée

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

I.3.2.2. Composition physicochimique des eaux usées

I.3.2.2.1. les M.E.S : Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES (FAO, 2003). Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires [6].

I.3.2.2.2. Les micropolluants organiques et non organiques: une pollution multiple et complexe: Les micropolluants 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. La crispation actuelle de l'opinion publique à leur sujet, et le manque de connaissances sur leurs effets à long terme incite à analyser avec soin la nature et la présence de ces micropolluants dans les eaux usées [3].

I.3.2.2.3. les éléments de traces

I.3.2.2.3.1. les métaux lourds: Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple: ils proviennent «des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » [7].

I.3.2.2.3.2. les micropolluants organique : Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvant, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou

même des traitements de désinfections des effluents par le chlore. La concentration moyenne des micropolluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l [5].

I.3.2.2.4. les substances nutritives: Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages. Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes [8].

D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire traitée de 100 mm peut apporter à l'hectare de terre agricole environ:

- de 16 à 62 kg d'azote, • de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore, • de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium [5].

A. Le potassium : Est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l. Il peut donc couvrir une partie des besoins des plantes [5].

B. Les phosphates : Sont présents dans les effluents secondaires à hauteur de 6 à 15 mg/l. Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement, et en cas d'excès, les phosphates se fixent dans le sol. Ils peuvent alors être entraînés par l'érosion et participer au phénomène d'eutrophisation [5].

C. Les nitrates: 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, etc. ;
- 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.

[3]

I.3.2.2.5. Salinité

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Elle est exprimée soit par la valeur de la conductivité électrique (CE) ou par le résidu sec (RS). La CE de l'eau, peut être estimée à partir de la concentration en RS exprimé en g/l, en utilisant à titre indicatif les relations approximatives suivantes :

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

D'une manière générale, la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable [5].

Conclusion

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation par exemple. D'un point de vue sanitaire, la quantité de contaminants qui parvient dans l'environnement se nomme la charge excrétée. Sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées, et notamment de la proportion d'individus infectés et des conditions d'hygiène. Elle peut être considérablement réduite par un traitement adéquat. Ce dernier est donc impératif dans le cas d'une réutilisation des eaux usées.

CHAPITRE II

DIFFERENTS PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES

Chapitre II : Différents Procédés d'Épuration des Eaux Usées

II.1. Introduction

Le traitement des eaux résiduaires urbaines représente la moitié des activités de traitement de l'eau dans le monde. Avec l'évolution démographique, le développement économique, ou encore l'extension et l'intensification de l'urbanisme, le volume des eaux résiduaires ne cesse de croître.

Conjugué à une exigence renforcée en matière de respect de l'environnement au travers de la réglementation et de confort de vie, le traitement des eaux usées représente un véritable défi environnemental pour les collectivités. Epurer des eaux usées de plus en plus polluées représente également un défi technologique et économique dont l'objectif commun est de préserver la biodiversité et protéger les ressources en eau, tout en garantissant le confort des riverains.

Pour accompagner les collectivités locales dans leur développement, nous concevons des filières de traitement plus ou moins complexes, en fonction de la qualité des effluents à dépolluer et de la sensibilité du milieu récepteur [9].

II.2. Épuration des eaux résiduaires

II.2.1. définition de l'épuration

L'épuration des eaux usées a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent, afin de rendre au milieu aquatique qui est le milieu récepteur une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs. Dans une STEP l'épuration des eaux passe par différentes étapes ; dont on va les présenter ci-dessous : les prétraitements suivis des traitements physicochimiques puis les traitements biologiques et enfin les traitements d'affinage [10].

II.2.2. Rôle d'une station d'épuration

Le rôle d'une station d'épuration est d'éliminer la plus grande partie des substances contenues dans les eaux issue des industries et des collectivités. Les procédés utilisés sont physico-chimiques ou biologiques [12].

D'une manière générale une station d'épuration comporte les étapes suivantes :

II.2.1. Prétraitements

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Il comprend quatre principaux modes de traitement des eaux usées : le dégrillage, pour retenir les déchets

volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation et éviter l'abrasion des équipements, le dégraissage et le déshuilage, pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras [12].

II.2.1.1. Le dégrillage :

A l'entrée de la station d'épuration, les effluents doivent subir un dégrillage (voire un tamisage). Ainsi, les matières volumineuses (flottants, etc.) sont retenues au travers de grilles. Cette opération est en général réalisée avant la station de relevage, afin de protéger les pompes ou les vis d'Archimède. Ce prétraitement se décline en trois sous-catégories : le pré-dégrillage (de 30 à 100 mm), le dégrillage moyen (de 10 à 30 mm) et enfin le dégrillage fin (les barreaux sont espacés de moins de 10 mm). Les grilles peuvent être verticales, mais elles sont le plus souvent inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale [11].

Pour le dimensionnement hydraulique, on se base sur la vitesse de passage à travers la grille, qui doit être suffisante pour obtenir l'application des matières sur la grille sans pour autant provoquer une perte de charge trop importante, ni entraîner un colmatage en profondeur des barreaux ou un départ des matières avec l'effluent. Généralement les vitesses moyennes de passage admises sont de l'ordre de 0,6 m/s à 1,40 m/s au débit de pointe.

Il existe plusieurs types de grilles :

- Les grilles manuelles nécessitant un nettoyage manuel à l'aide d'un râteau
- Les grilles automatiques
- La dilacération qui a pour but de déchiqueter les matières solides décantables fines qui peuvent continuer à suivre le circuit de traitement. On évite ainsi l'évacuation des déchets de dégrillage.
- Le tamisage permettant quant à lui la récupération de particules plus fines en suspension. [11].

II.2.1.2. Le dessablage :

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille sont relativement importantes, supérieure à 0,2 mm de diamètre, et qui pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement les pompes, on élimine ces matériaux facilement décantables dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires [13].

II.2.1.3 Déshuilage dégraissage

Le déshuilage est une extraction liquide-liquide tandis que le dégraissage est une extraction solide-liquide. On peut considérer que le déshuilage dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de nature très diverses (huiles, hydrocarbures, graisses...) [10].

Les graisses sont des produits solides d'origine animale ou végétale. Elles sont présentes dans les eaux résiduaires urbaines et dans certaines eaux résiduaires industrielles, essentiellement agroalimentaires. Elles sont difficilement biodégradables en l'état et peuvent poser divers problèmes au cours du traitement: boues graisseuses, diminution des transferts d'oxygène, apparition de bactéries filamenteuses. Ces graisses sont également très dommageables pour les équipements et notamment pour les pompes, elles font donc l'objet d'un prétraitement. Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale de graisses et un dépôt minimal de boues. On peut noter qu'une injection d'air au fond de la bêche de séparation permet de récupérer les graisses par flottation. Cette préparation des effluents facilite l'épuration des effluents en aval, en réduisant le colmatage et en évitant une certaine inhibition des processus biologiques [12].

II.2.2. Les traitements physiques et chimiques

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation primaire et la décantation secondaire [13].

II.2.2.1. Procédés de décantation physique

II.2.2.1.1. La décantation

La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. C'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration. La décantation a un rôle épuratoire non négligeable c'est ce que représente le tableau suivant. Il apparaît néanmoins vis-à-vis des MES, DCO et DBO₅ [10].

Tableau II.1: Efficacité épuratoire de la décantation.

Paramètres	MES	DCO	DBO ₅	NTK	Hydrocarbures	Pb
Réduction de la pollution (%)	80 à 90	60 à 90	75 à 90	40 à 70	35 à 90	65 à 80

Source: J.K. EUAHN et all. Colloids Surface. (1992) (www.univ-ubs.fr)

II.2.2.2. Procédés de décantation chimique

Les procédés physico-chimiques de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation ou de floculation-clarification. Les processus de coagulation et de floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente pour obtenir une clarification efficace [11].

La turbidité et la coloration de l'eau sont dues à la présence de particules colloïdales de taille trop faible pour sédimenter. La première phase du traitement consiste donc à faire croître ces particules pour les amener à un niveau de taille où elles pourront facilement être séparées par décantation ou filtration. Cette phase de croissance est appelée «coagulation-floculation». Les réactifs introduits dans les eaux usées ont un pouvoir adsorbant : autrement dit, ils ont pour effet de neutraliser les charges électriques portées par les substances colloïdales, charges qui, par répulsion électrostatique, maintiennent les particules à l'état dispersé. En outre, ils favorisent leur coagulation, accroissant ainsi la taille et la densité de gros amas ; désignés sous le nom de floccs.

La vitesse de chute des particules étant proportionnelle au carré de leur diamètre, on conçoit qu'il est intéressant de réunir les plus petites d'entre elles pour en former une grosse. Le processus par lequel ces substances coagulent s'appelle la « coalescence ». Les réactifs employés sont d'origine minérale (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, chaux) ou organique et libèrent des ions positifs qui neutralisent le colloïde et précipitent en formant des floccs : c'est la floculation.

Les procédés physico-chimiques présentent l'avantage d'une mise en route rapide (10 heures environ) et d'une adaptation immédiate aux variations de débit de la charge des effluents à traiter [11].

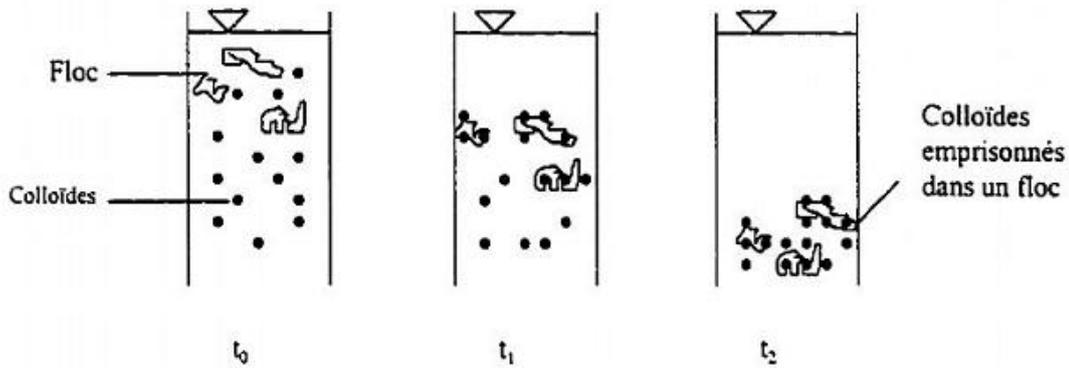


Figure II.1 : Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation.

Source : Dégrèvement. Mémento technique de l'eau (1998).

II.2.2.3. L'élimination de la pollution carbonée

Généralement le taux d'épuration exigé pour le rejet des effluents dans le milieu naturel n'est pas atteint par une simple épuration préliminaire et primaire. Les traitements secondaires, conçus à l'origine essentiellement pour l'élimination de la pollution carbonée et des matières en suspension, ont pour objet de poursuivre l'épuration de l'effluent provenant du décanteur primaire ou issu d'un prétraitement. Il s'agit de transformer, par voie biologique le plus souvent, ces eaux décantées en amont, dans des limites permettant d'assurer l'imputrescibilité de l'effluent grâce à la stabilisation des matières organiques. A ce stade de stabilisation définitive, on évacue tous les déchets, les boues et les gaz.

Les procédés les plus couramment utilisés aujourd'hui mettent en œuvre des installations biologiques, tant pour l'épuration des eaux usées urbaines que pour celles de certaines eaux résiduaires industrielles. On les classe généralement en :

- Procédés biologiques naturels ;
- Procédés biologiques artificiels.

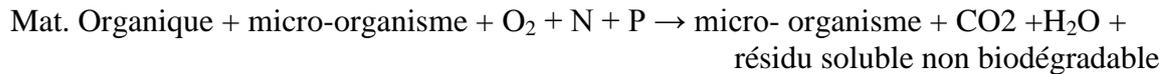
En dehors de ces procédés d'épuration par la voie biologique on peut aussi avoir recours aux moyens chimiques et aux procédés physico-chimiques [12].

II.2.3. Traitements biologiques

Les traitements biologiques reproduisent, artificiellement ou non, les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. Elle regroupe l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution. Son principe est de provoquer une prolifération de micro-organismes aux dépens des matières organiques apportées par l'effluent, en présence ou non d'oxygène [10].

Il s'agit en fait d'un véritable transfert d'une forme non préhensible (matières colloïdales et dissoutes) en un élément manipulable (suspension de micro-organismes). Le

résultat de cette dégradation est un accroissement de la masse épuratrice, et le rejet de déchets dans l'eau.



Selon que l'oxydation se produit grâce au gaz oxygène dissous dans l'eau (processus aérobie) ou qu'au contraire le processus se fasse sans oxygène (processus anaérobie), la nature des déchets sera différente: CO_2 , H_2O , NH_3 ou NO_3 en aérobie, CO_2 , CH_4 et acides gras en anaérobie. Le moteur de décomposition (aérobie ou anaérobie) des substances organiques est constitué par des enzymes catalyseurs organiques sécrétés par les organismes. On distingue les enzymes extracellulaires qui provoquent la destruction des structures moléculaires trop complexes pour pénétrer au sein de la cellule, les enzymes intracellulaires qui assurent l'assimilation et, par conséquent, sont à l'origine des phénomènes vitaux provoquant la prolifération des cellules. Les traitements biologiques sont bien adaptés pour éliminer la pollution carbonée, mais également les pollutions azotées et phosphorées. En traitement biologique on distingue des procédés extensifs et d'autres intensifs [10].

II.2.3.1. Les procédés biologiques extensifs

Les procédés biologiques extensifs réalisent l'épuration par le sol, où grâce à l'énergie solaire, les matières organiques polluantes (biomasse du milieu « eau») sont dégradées. En pratique, ils se présentent sous trois aspects et peuvent servir de traitements complémentaires des effluents d'une station d'épuration biologique artificielle, afin de parfaire l'élimination de substances indésirables comme l'azote et le phosphore. Ils comprennent l'épandage sur le sol, le bassin de lagunage et la filtration par le sol [12].

Une lagune aérée utilise le même principe que le lagunage simple dans lequel, l'apport d'oxygène est augmenté par la mise en place d'aérateurs mécaniques. Une lagune aérée est assimilée à un vaste bassin aérobie. Il existe deux types de lagunes aérées :

- ✚ Les lagunes aérobies dans laquelle on maintient une concentration en oxygène dissous dans tout le bassin.
- ✚ Les lagunes facultatives dans laquelle l'oxygène n'est maintenu que dans la partie supérieure du bassin. Une zone anaérobie est donc présente au fond du bassin [10].

Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80% à 90% de la DBO, 20% à 30% de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année [10].

II.2.3.2. Procédés biologiques intensifs

Les procédés biologiques artificiels comprennent des dispositifs qui permettent de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques, tels qu'ils se produisent en milieu naturel.

On utilise trois grands types de procédés : les lits bactériens, un procédé mettant en œuvre le principe des boues activées, et la bio-filtration ou filtration biologique accélérée [12].

II.2.3.2.1. Lits bactériens

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO₅ [10].

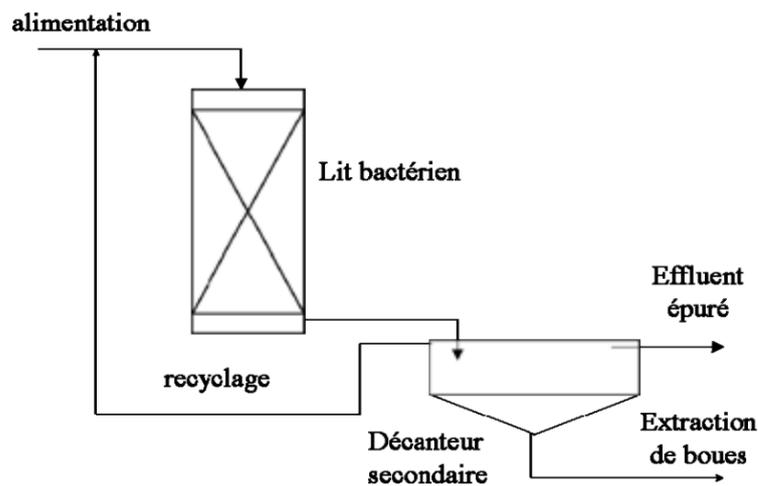


Figure II.2 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

Source : département de CHARENTE (www.cg16.fr)

II.2.3.2.2. Disques biologiques

C'est une technique faisant appel aux cultures fixées est constitué par les disques biologiques tournants où se développent les micro-organismes et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée [10].

Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer :

- ✓ De la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe),
- ✓ Du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes) [14].

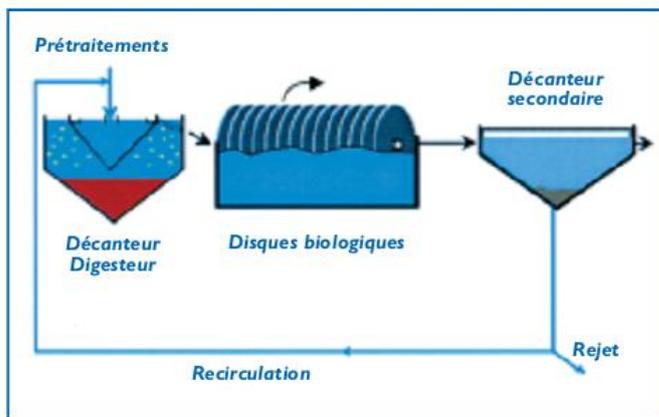


Figure II.3 : Synoptique d'une station d'épuration
Comportant un disque biologique

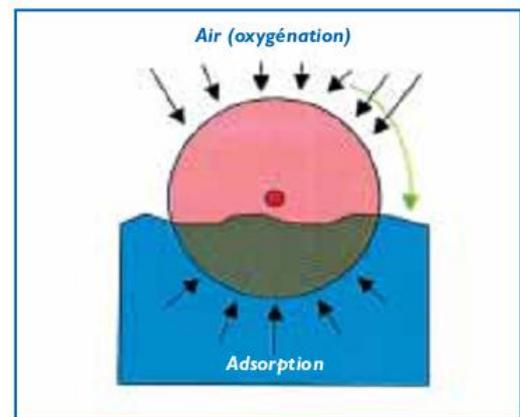


Figure II.4 : Schéma de principe
d'un disque biologique

Source : d'après site internet de Cartel (<http://www.cartelau.org> -rubrique guide des services)

II.2.3.2.3. Boues activées

II.2.3.2.3.1.Principe

Le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester. Ce procédé consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées. Ce traitement a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables (solides, colloïdales ou dissoutes) contenues dans une eau usée par l'action de micro-organismes, essentiellement des bactéries, en présence d'oxygène dissous. De plus il peut transformer l'azote ammoniacal et organique en nitrates (nitrification) [15].

En pratique, le procédé consiste à alimenter un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) avec l'eau à épurer (effluent préalablement prétraité voir décanté). Au sein d'un courant continu d'eau usée, les bactéries aérobies sont soumises à l'action prolongée d'une forte oxygénation obtenue par introduction d'air régulièrement répartie dans l'effluent; ces

bactéries absorbent la matière organique et forment de gros floccs (bio flocc) qui décantent, lesquels à leur tour, constituent des boues ou des masses flocculeuses dites « boues activées ». Le mélange eau usée + bio flocc forme une liqueur mixte.

Après un temps de contact suffisant, permettant la fixation et l'assimilation des matières organiques. Cette liqueur mixte est renvoyée dans un clarificateur ou décanteur secondaire où s'effectuera la séparation de l'eau épurée des boues. Les boues décantées sont réintroduites en partie dans le bassin d'aération (recirculation de boues) pour maintenir un équilibre constant entre la quantité pollution à traiter et la masse de bactéries épuratrices. Les boues sont évacuées du système vers le traitement des boues (extraction des boues en excès).

Une installation de type boues activées comprend les étapes suivantes:

- ✓ Les prétraitements et, éventuellement, primaires;
- ✓ Le bassin d'activation (ou bassin d'aération);
- ✓ Le décanteur secondaire avec reprise d'une partie des boues;
- ✓ L'évacuation des eaux traitées;
- ✓ Les digesteurs des boues en excès provenant des décanteurs [15].

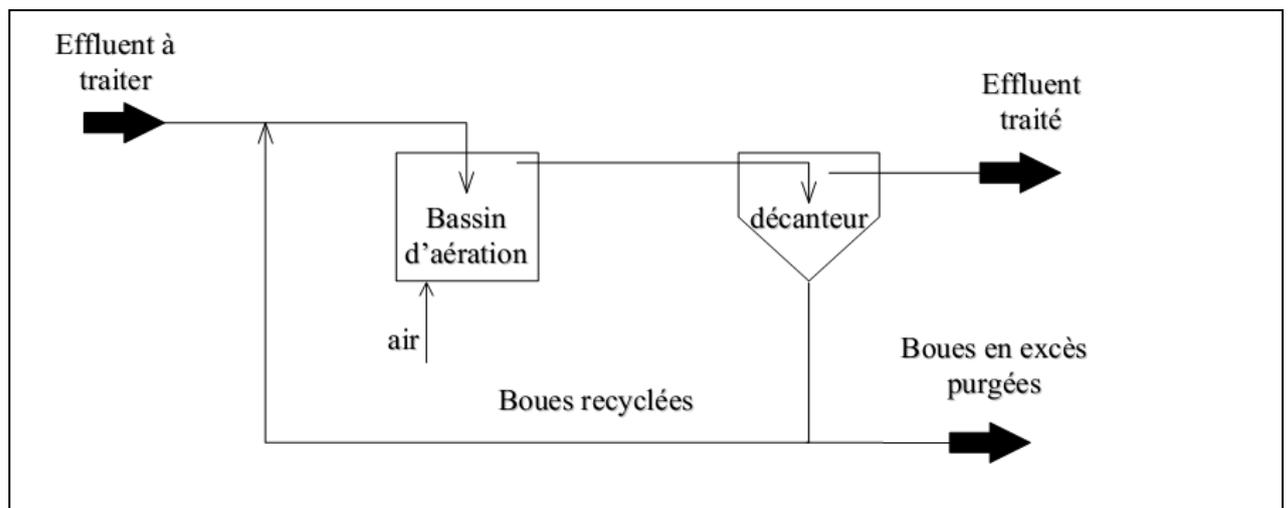


Figure II.4 : Schéma de base du procédé de boues activées
Source : www.techno-science.net

II.2.3.2.3.2. Paramètres de fonctionnement

II.2.3.2.3.2.1. Charge massique (Cm) ou facteur de charge

Elle représente la quantité de DBO_5 (en kg/j) rapportée à la masse de matières en suspension totales contenues dans l'ouvrage de volume V. Elle s'exprime en $kg\ DBO_5/(kg\ MES.j)$; la charge massique est parfois rapportée à la masse de micro-organismes ou

pratiquement de matières volatiles sèches (MVS) contenues dans l'ouvrage. Elle s'exprime alors en kg DBO₅/(j. kg MVS) ;

$$C_m = \frac{[DBO_5] \times Q_j}{V(b.a) \times MVS} \text{ en (Kg DBO}_5 \text{ Kg}^{-1} \text{MS J}^{-1})$$

Avec : Q_j : le débit journalier ;

V (b. a) : volume de bassin d'aération [15].

II.2.3.2.3.2.2. Charge volumique (C_v)

Elle correspond au quotient du poids journalier DBO₅ appliqué; rapporté au volume unitaire du bassin d'aération:

$$C_v = \frac{[DBO_5] \times Q_j}{V(b.a)} \text{ en (Kg DBO}_5 \text{ m}^{-3} \text{ J}^{-1})$$

Avec : Q_j : le débit journalier ;

V (b. a) : volume de bassin d'aération [15].

II.2.3.2.3.2.3. Age des boues

L'âge des boues (A) est un paramètre important de suivi des stations d'épuration par boues activées, car il est directement lié au rendement d'épuration du réacteur. C'est le rapport entre la masse de boues présentes dans l'aérateur et la quantité de boues extraites (donc produites) par jour.

$$A = \frac{[MES(b.a) \times V(b.a)]}{C_{bo.ex}} \text{ en (jours)}$$

Avec : V (b a) : volume de bassin d'aération ;

C_{bo. ex} : la masse des boues extrait ;

II.2.3.2.3.2.4. Indice de MOLHMAN : Il mesure la dilatibilité de la boue. C'est le volume occupé par un gramme de boue après 1/2 heure de décantation. Il est donné par :

$$IM = \frac{V}{M}$$

Avec : V: volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation d'un litre de boue activée;

M: concentration de MES de la boue activée.

Généralement, les boues sont bien décantables pour $80 < Im < 150$

Si $Im < 80$; la décantation est très bonne mais les boues sont difficilement pompables ,

Si $Im > 150$: la décantation est très lente [15].

II.2.4'. Avantages et inconvénients des différentes filières intensives

Tableau II.2: Avantages et inconvénients des filières intensives

Filière	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> *Faible consommation d'énergie ; *fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; *bonne décantabilité des boues ; *plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; * généralement adaptés pour les petites collectivités ; * résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<p>performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;</p> <ul style="list-style-type: none"> *coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; *nécessité de prétraitements efficaces ; *sensibilité au colmatage ; *ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boue activée	<ul style="list-style-type: none"> *adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; *bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N par nitrification et dénitrification) ; *adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ; *boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ; *facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> *coûts d'investissement assez importants ; *consommation énergétique importante ; *nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; *sensibilité aux surcharges hydrauliques ; *décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser ; *forte production de boues qu'il faut concentrer.

Source : d'après le site internet de Cartel (<http://www.carteleau.org>)

II.2.4. Les Traitements Complémentaires

Les traitements complémentaires constituent un complément d'épuration des eaux usées pour les adapter à l'usage que l'on veut en faire. Ainsi, la sensibilité de certains milieux récepteurs et les besoins de potabilisation d'une eau peuvent exiger des traitements épuratoires encore plus poussés [15].

II.2.4.1. Elimination de l'azote et du phosphore

Les apports en sels nutritifs, notamment, en azote et phosphore constituent une cause directe d'eutrophisation des cours d'eaux, c'est-à-dire la croissance excessive de phytoplancton et des plantes aquatiques pouvant mener, lors de la décomposition de cette végétale, à un déficit en oxygène nuisible aux autres communautés. Afin de préserver le milieu aquatique et de sauvegarder son équilibre biologique, l'élimination de ces deux éléments dans les stations d'épuration s'avère nécessaire [15].

L'élimination de l'azote repose sur la nitrification de NH_4^+ , qui est transformé en NO_3^- ; cependant en fonction de la qualité voulue de l'effluent à rejeter, et/ou de la présence d'un phosphore, il peut être nécessaire de procéder à une dénitrification, correspondant à la transformation de NO_3^- en gaz gazeux.[16].

a. La nitrification biologique

Les Nitrosomonas et Nitrobacter sont des bactéries autotrophes aérobies strictes. Elles tirent leur énergie de l'oxydation du carbone présent dans le dioxyde de carbone ; par contre, elles ont besoin d'oxygène pour leur respiration, la nitrification dépend de plusieurs facteurs, dont les principaux sont :

* **La charge massique** : le développement des bactéries autotrophes est plus lent que celui des bactéries hétérotrophes. Ainsi, pour assurer une nitrification importante, il faut favoriser l'accroissement de la biomasse nitrifiante. Cela se traduit par une faible charge massique, ou un âge de boues important (sous nos latitudes, l'âge des boues doit être supérieur à 18 jours), les deux paramètres étant inversement proportionnels [16];

* **La concentration en oxygène dissous (influence forte)** : le rendement augmente avec le taux d'oxygène dissous dans l'eau et, l'on considérerait généralement qu'une concentration d'au moins 2 mg O_2/l est souhaitable ;

* **La température** : le développement optimal des bactéries se situe autour de 30 °C, et une baisse de la température implique un temps de résidence plus long pour obtenir un même taux de nitrification, Nitrobacter serait plus sensible que Nitrosomonas à des fluctuations de température ;

* **Le pH** : en dehors de la gamme 6.0 à 9.6, le procédé de nitrification est totalement inhibé, mais il semble délicat de définir la gamme optimale de pH: certains donnent 8.0 à 9.0 d'autres 7.5 à 8.5 ou encore 7.2 à 9.0. En outre, le procédé consommant de l'alcalinité, le pH a tendance à diminuer. La solution consiste alors à stripper le CO₂ afin de limiter l'acidification du milieu [16];

* **Le phosphore** : les concentrations nécessaires varient beaucoup selon les auteurs, mais une concentration minimum de 0.5 mg/l ne serait pas limitant [16].

b. La dénitrification biologique

Il existe trois modes de réduction des nitrates : la réduction assimilative, la réduction dis-assimilative incident et la réduction dis-assimilative véritable. C'est cette dernière qui nous intéresse plus particulièrement et que l'on appelle abusivement "la respiration des nitrates", car ces derniers jouent, en anoxie, le rôle tenu par l'oxygène en aérobie. Même si beaucoup de bactéries sont dénitrifiâtes, les plus actives dans ce procédé sont essentiellement les Pseudomonas (hétérotrophes aérobies facultatives). Les principaux facteurs influençant la dénitrification sont :

* **Le substrat** : la concentration en carbone est un facteur limitant dans la mesure où un apport insuffisant entraîne une dénitrification incomplète. En outre, la qualité de l'apport carboné est primordiale car il s'est avéré que le rapport DBO₅/N à dénitrifier devient inférieur à 2 ; L'USEPA (agence environnementale américaine) préconise même une valeur minimale de 3. Idéalement, ce rapport est de 10 ;

* **La concentration en oxygène dissous** : de façon générale, l'oxygène inhibe la synthèse des enzymes nécessaires à la dénitrification. IL faut donc une absence totale d'oxygène. Cependant, s'il y a eu des conditions anoxiques favorisant cette synthèse enzymatique, l'apparition de conditions légèrement aérobies ne remet pas en cause la dénitrification ;

* **La température** : l'optimum se situe dans la gamme 25 à 30 °C, mais le processus peut avoir lieu entre 5 et 50 °C. Si une baisse de température ne constitue pas un frein à la cinétique de la réaction, une augmentation de température active la dénitrification de façon très nette ;

* **Le pH** : l'efficacité de la dénitrification diminue fortement en dehors de la gamme 6,0 à 8,0 avec un optimum se situant aux alentours de 7,0 – 7,5. En outre, on observe une augmentation de l'alcalinité, qui ne compense pas celle de l'acidité lors de la nitrification ; l'évolution de pH durant la dénitrification dépend alors du pouvoir tampon des eaux à traiter [16].

II.2.4.2. La désinfection

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique de l'effluent afin de protéger les zones sensibles (zone de baignade, zone conchylicole). Elle se faisait le plus souvent par chloration (la dose à appliquée est de 2 à 10mg/l environ), mais les dérivés du chlore sont maintenant jugés dangereux, c'est pourquoi on utilise de préférence le dioxyde de chlore ou le brome l'usage de l'ozone se répand progressivement, notamment aux Etats-Unis d'Amérique à cause de l'absence d'effets secondaires et d'une meilleure tolérance du milieu naturel. En Algérie, le réactif le plus souvent utilisé est l'eau de Javel qui nécessite pour être efficace; le maintien d'une teneur suffisante (0,1 mg/l) et un temps de contact d'environ 20 minutes [15].

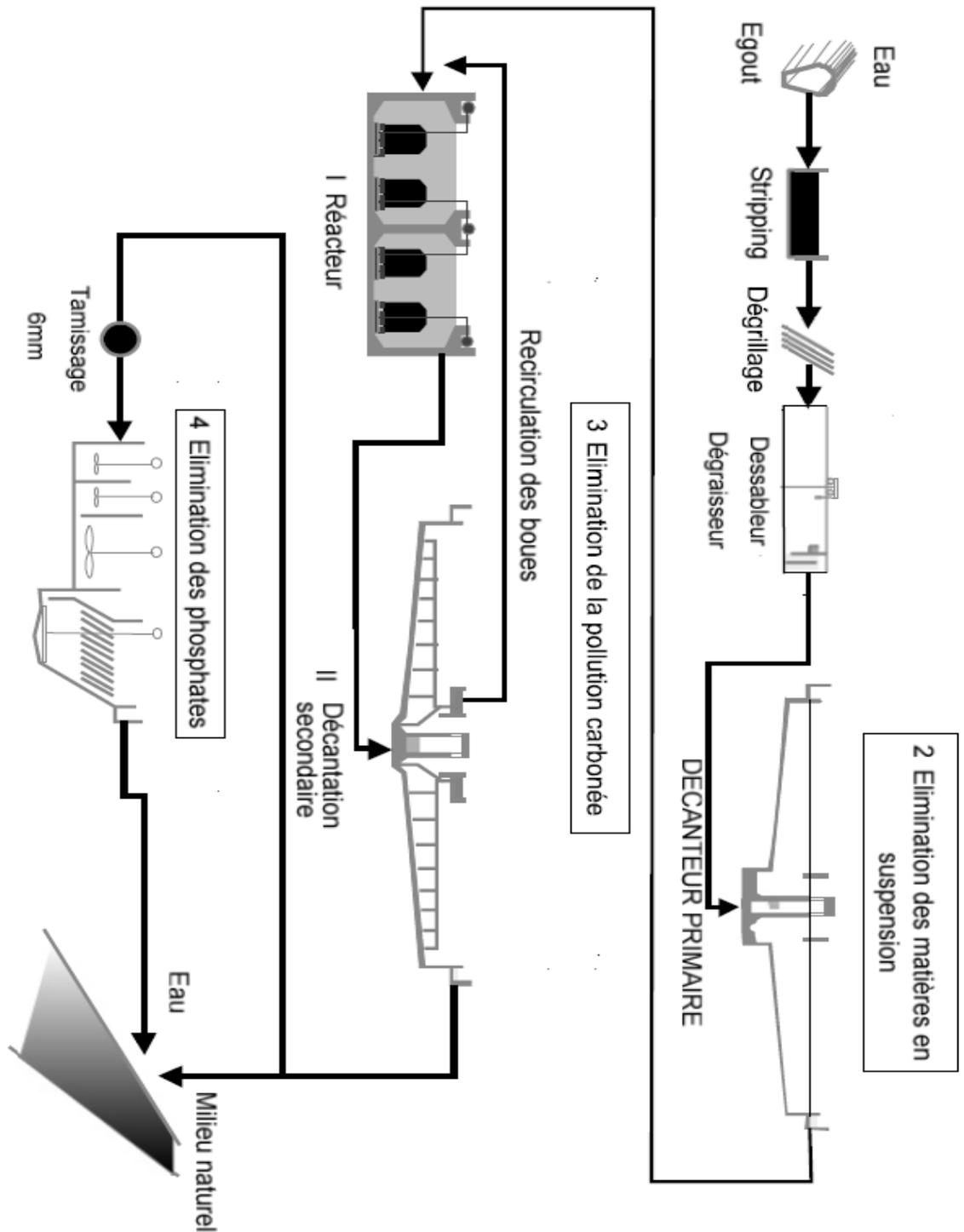


Figure II.5 : Schéma général d'une station d'épuration
 Source : usine seine amont- Siaap, 2002

II.3. Conclusion

La combinaison des différents traitements précédents permet, s'ils sont réalisés correctement, de réduire de manière tout à fait considérable la quantité de micro-organismes pathogènes.

Le niveau de contamination en micropolluants des effluents traités, peu étudié, est a priori faible. En effet, la plupart de ces éléments traces sont peu solubles et les traitements des eaux usées (décantation) sont efficaces pour les éliminer. On les retrouve donc plutôt dans les boues que dans les eaux épurées.

Pour les micro-organismes, on peut conclure que les défis à venir sont l'amélioration de l'efficacité des procédés déjà existants, l'élimination de pathogènes nouveaux ou émergents et l'intégration des nouvelles technologies dans les traitements.

CHAPITRE III

REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

Chapitre III: Réutilisation des eaux usées épurées

III.1. Introduction

La réutilisation des eaux usées, ou recyclage, consiste à récupérer les eaux usées après plusieurs traitements destinés à en éliminer les impuretés, afin de stocker et d'employer cette eau à nouveau. Le recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués. L'intérêt en est cependant limité quand il n'y a pas de tension quantitative sur la ressource en eau dans le secteur concerné.

La réutilisation de l'eau est essentiellement utilisée pour l'irrigation environ 70 %, mais aussi utilisations pour les usages industriels à environ 20 % et usages domestiques pour environ 10 % [17].

III.2. Historique

Les effluents urbains ont été, depuis longtemps, utilisés pour la production agricole (champs d'épandage du XIXème siècle, en Angleterre, en Allemagne, dans la région parisienne). A partir de 1910, sous l'influence de l'extension urbaine, des nuisances générées par l'épandage d'eaux brutes, la pratique est entrée en régression, sans que ce déclin soit du des considérations sanitaires, objectives et précises. Au milieu du siècle, une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et physico-chimique qui président aux processus de l'évolution et de la dégradation de la matière organique, a favorisé l'éclosion, dans les pays industrialisés, de techniques épuratoires, qui avaient pour but de protéger le milieu naturel et, en particulier, les cours d'eau récepteurs [18].

Ces techniques ont été ensuite, peu à peu, utilisées pour le recyclage direct ou indirect, dans les pays semi-arides, à déficit hydrique chronique. C'est ainsi que des Etats comme la Californie, l'Arizona ont développé, à partir des années soixante et, plus radicalement, ces deux dernières décennies, l'irrigation avec les eaux résiduaires, après traitement physico-biologique et la recharge des nappes après traitement avancé de type physico-chimique.

Aux Etats-Unis, un milliard de m³ était recyclé annuellement en 1975, dont 60% pour l'agriculture (7 milliards prévus en 2000). En Californie environ 180 m³/an étaient réutilisés dans l'agriculture en 1975. Des pays du bassin méditerranéen ont suivi, rapidement, l'exemple : Espagne, Chypre, Grèce, Palestine occupée, Tunisie (2000 ha irrigués à partir des eaux épurées, près de Tunis). Les Etats arabes et musulmans initient des projets de grande envergure (Arabie, Koweït, Jordanie...). Plus loin de nous, l'Australie, le Mexique, l'Inde pratiquent la réutilisation à grand échelle [18].

III.3. Utilisation dans le monde

Concernant la réutilisation des eaux usées épurées, seul 12 % sont réutilisées actuellement. Ce taux passera à 22 % en 2020 si on collecte les eaux usées déversées en mer. Il atteindra environ 100 % à l'horizon 2030 (objectif fixé par la stratégie du Développement du secteur de l'eau). L'usage de ces eaux usées traitées touche le secteur agricole (couvrant actuellement une superficie d'environ 550 hectares et atteindra 4000 hectares à l'horizon 2020, l'arrosage des golfs et des espaces verts, la recharge des nappes et le recyclage en industrie [19].

Quant au niveau faible de l'utilisation des eaux usées en agriculture, il y a lieu de constater que malgré l'intérêt manifesté très tôt par le département de l'Agriculture pour la réutilisation des eaux traitées à des fins agricoles, les efforts n'ont pas été suivis pour un passage rapide de l'expérimentation à l'application à grande échelle. Cette faiblesse de célérité peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment à la difficulté de mise en place d'un arsenal institutionnel et juridique accepté par l'ensemble des intervenants ainsi que des règles de partage des coûts de traitement des eaux usées entre les municipalités (producteurs) et les utilisateurs (agriculteurs).

Pour lever ces contraintes en vue de promouvoir l'utilisation de ces eaux en agriculture, et compte tenu des enjeux économiques, sociaux, environnementaux, sanitaires de la REUT, et du contexte de raréfaction grandissante des ressources en eau, le Ministère de l'Agriculture a lancé en 2011 une étude (délai d'exécution 15 mois) pour élaborer un plan directeur de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation afin de faire le point sur l'état des lieux de la réutilisation des eaux usées en irrigation, inventorier le potentiel des ressources en eaux usées traitées susceptibles d'être utilisées à des fins d'irrigation, inventorier les terres irriguées et potentiellement irrigables par la REUT et élaborer une boîte à outils pour permettre aux services concernés du département d'encourager et de suivre les projets de réutilisation des eaux usées traitées [19].

III.4. Utilisation en Méditerranée

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé sur le pourtour sud de la Méditerranée. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie d'eau est particulièrement ressentie. La Tunisie est le premier pays de l'Ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau [20]. On compte environ 6400 hectares irrigués par les eaux usées traitées dont presque 70% sont situés autour de Tunis (grand centre urbain), lieu de production des eaux usées. Les cultures

irriguées sont les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires etc.), les vignobles, les fourrages (luzerne, sorgho), le coton, etc [20].

III.5. La réutilisation des eaux usées épurées (REUE)

La réutilisation des eaux usées épurées propose de récupérer directement ces eaux, de les traiter éventuellement une nouvelle fois et de s'en servir pour toutes sortes d'usages [21].

III.5.1. usage industriel

L'eau résiduaire après traitement peut être une source d'eau tout à fait adaptée aux besoins industriels en particulier pour le refroidissement et les lavages. Très souvent, une élimination poussée de la pollution organique est nécessaire et le traitement biologique est alors suivi d'un traitement de finition. L'eau, après un traitement tertiaire très complet, comprenant entre autre une étape de déminéralisation, peut être utilisée pour l'alimentation de chaudières de basse pression [22].

III.5.2. usage domestique et municipal

La réutilisation des eaux usées traitées au domicile de l'habitant ou à l'échelle de la ville est possible à différents niveaux de qualité et suivant plusieurs schémas :

- Recyclage partiel à l'intérieur d'immeubles ;
- L'alimentation des réseaux municipaux de lavage (rues, camions) et des réseaux d'incendies ;
- Réalimentation partielle des nappes d'eaux souterraines;
- Constitution des barrières hydrauliques souterraines empêchant l'introduction d'eau de mer dans les aquifères côtiers [20].

III.5.3. usage agricole

L'agriculture consomme à elle seule globalement plus de 70 % des ressources hydriques exploitées, et de plus en plus de villes entrent en compétition avec l'agriculture pour s'acquérir cette denrée rare. L'irrigation est donc 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. Certains pays devant faire face à de graves pénuries d'eau ont développé en ce sens une politique à l'échelle nationale [4].

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les 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 oligo-éléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont

bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES 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. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais; pour cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants, qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique. 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.
- Mais il faut faire attention à ne pas apporter ces éléments fertilisants en excès.

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 et 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. On retiendra enfin que l'irrigation, qui suit un rythme saisonnier, nécessite en général de grands volumes de stockage [4].

III. 6. Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées

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

- la réutilisation des eaux usées traitées peut compenser la rareté des ressources. Leur affectation à l'usage agricole permet de consacrer les eaux de meilleure qualité aux consommations domestiques;
- elle contribue à réduire les pollutions du milieu et de protéger l'environnement;
- les eaux usées traitées permettent, lorsqu'elles sont utilisées en irrigation, de réduire et même d'éliminer le recours aux engrais chimiques [4].

III. 7. Inconvénients de la réutilisation des EUT

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

- le risque sanitaire lié à la présence de germes dans les eaux usées traitées aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur;
- en raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut en résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui peut entraîner une chute de la production végétale et même une stérilité des sols par accumulation de sel;
- l'apport en quantité importante des doses d'azote et de phosphore peut nuire à la production agricole et contribue à la pollution des nappes;
- Le contrôle des eaux réutilisées doit être rigoureux et permanent. Il exige donc des moyens importants, techniques et humains, ce qui est souvent difficile à obtenir dans les pays arides et semi-arides.

Le contrôle indispensable est rendu encore plus délicat à assurer correctement en raison de la multiplicité des intervenants au niveau de la collecte, du traitement et surtout au niveau des utilisateurs;

- les sites d'utilisation doivent se trouver à proximité des stations d'épuration, c'est-à-dire dans les zones périurbaines peuplées.
- la réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposées sont de faibles rentabilités économiques.

- les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions [4].

III.8. Risques de la réutilisation des eaux usées épurées

III.8.1. Risques sanitaires

Pour les populations avoisinantes et les consommateurs de produits agricoles. Suivant l'état sanitaire endémique local, les méthodes culturales, les habitudes de vie et les conditions climatiques, les risques sont très différents. Cependant, on peut considérer que de façon générale l'utilisation d'eaux résiduaires sur ou à proximité de végétaux à consommer crus est à écarter. La gestion de période d'arrêt de l'épandage ainsi que de séchage de la récolte réduit ces risques [23].

III.8.2. Risque pour le sol et les cultures

Colmatage du sol, accroissement de salinité, apport des toxiques, les propriétés physiques du sol peuvent être modifiées par les pratiques d'épandage. La structure peut, en particulier, être détruite par un apport excessif de sodium et une absence de lessivage (en particulier dans les zones à trop faible pluviométrie) [23].

III.9. Références réglementations dans le monde

A l'échelle mondiale, il n'existe pas une réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie et de la géographie, du type de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays. Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel l'état de Californie, l'OMS, la FAO, etc... La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités [1].

III.9.1. Bilan mondial

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe, aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre impressionnant de 1,5 - 1,7 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple en Californie, en Floride, au Mexique et en Chine [24]. La figure III.1 illustre l'ampleur de la valorisation des eaux usées dans différents pays du monde (Jiménez et Asano, 2007) [25].

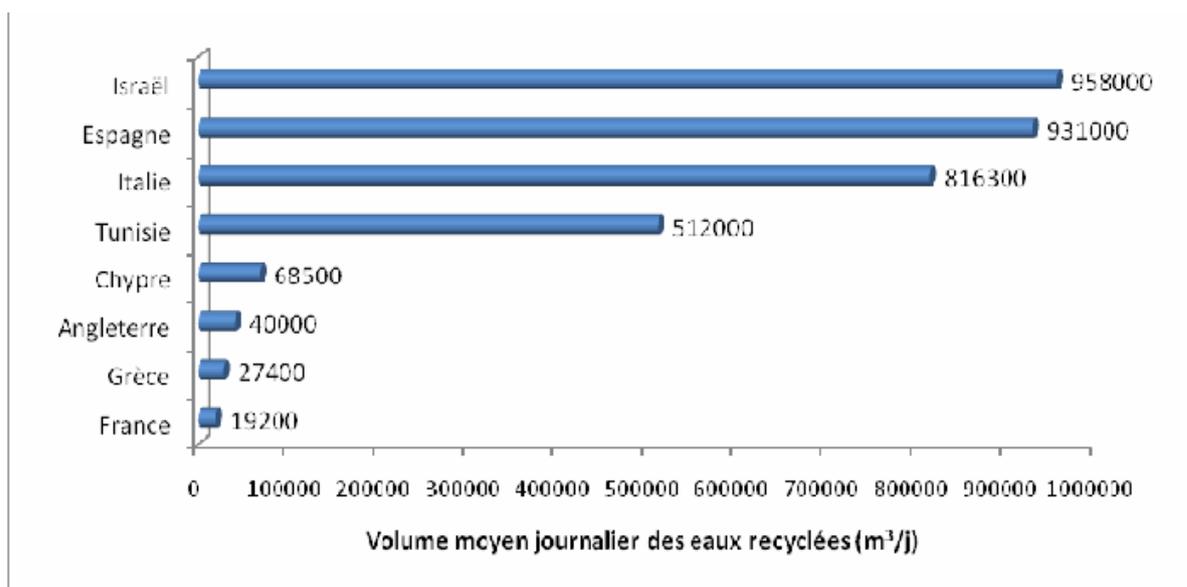


Figure III.1: Volume moyen journalier des eaux usées recyclées en quelques pays de la Méditerranée (données pour les années 2000-2003, adaptées de Jiménez et Asano, 2007).

Il est bien évident, que la réutilisation des eaux usées (rejets bruts ou traités) a connu une promotion à travers le monde entier, sur la base de vraies expériences. En Amérique Latine, environ 400 m³/s d'eaux usées brutes s'écoulent dans les eaux de surface et presque 500 000 hectares de terres agricoles sont irrigués avec des eaux usées, essentiellement sans conditionnement (Mexique-350000, Chili-16000, Pérou-5500 et Argentine-3700). Au Mexique, l'irrigation avec les eaux usées a débuté depuis 1926 pour l'irrigation de différents types de cultures. Ainsi, après plus de 80 ans, il existe 40 départements qui réutilisent les eaux usées, dont uniquement 11% sont traitées, pour l'irrigation des terres agricoles avec une surface totale de 350 milles hectares. Dans la Vallée d'Amezquital se trouve le plus grand projet de réutilisation des eaux usées au monde avec 83 000 hectares irrigués avec des eaux usées brutes [25].

III.9.2. Les nouvelles recommandations de l'OMS

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 [24].

Un autre principe essentiel adopté par l'OMS est de proposer des recommandations qui assurent le même niveau de protection qu'il s'agisse de l'alimentation en eau potable, de la réutilisation des eaux usées ou de la baignade. Le risque maximum lié à l'usage de l'eau, considéré comme admissible, est celui qu'une personne sur 100.000 contracte, pendant la durée de sa vie, un cancer. Chaque année, une personne sur 1.000 soit affectée d'une diarrhée. Ce risque est très faible si on le compare à l'occurrence de ces maladies : par exemple, le risque annuel de contracter une diarrhée sans lien avec la réutilisation des eaux usées est actuellement en Australie de 0,8 à 0,92 soit près de 1.000 fois plus grand.

Dans le cas de l'irrigation de produits consommés crus (ou réutilisation sans restriction), une réduction de 6 (dans le cas d'une laitue) à 7 (dans le cas des oignons) unités logarithmiques de la concentration en pathogènes est recommandée entre l'eau usée brute et l'eau qui demeure sur le légume ou le fruit consommé. Cette réduction peut être envisagée soit comme obtenue en cumulant l'effet du traitement, de l'abattement naturel des germes dans l'environnement et du lavage des produits consommés, soit en comptant uniquement sur le traitement de l'eau usée, soit par les effets cumulés du traitement et de l'irrigation localisée ou d'autres combinaisons encore. Dans le premier cas, le traitement doit permettre d'atteindre une désinfection telle que la concentration en E.coli soit inférieure à une valeur comprise entre 10^4 et 10^3 UFC/100 mL et, dans le cas d'un traitement seul, entre 10 (pour la laitue) et 1 (pour les oignons) UFC/100 mL. On voit ainsi que selon que l'on compte ou non sur l'abattement naturel des germes pathogènes dans le milieu naturel et sur diverses mesures de contrôle de la contamination, le niveau de désinfection que le traitement doit garantir diffère considérablement. Ces nouvelles recommandations de l'OMS couvrent uniquement l'irrigation agricole. L'irrigation des terrains de golf et des espaces verts n'y est pas prise en compte. L'aspersion n'est que rapidement évoquée; elle n'a pas fait l'objet d'évaluation quantitative des risques, faute de références relatives aux doses infectantes par voie respiratoire et de données suffisantes pour une évaluation quantitative de l'exposition au risques [24]. L'Algérie a publié dans ce cadre un décret ministériel fixant les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (voir annexe).

III.9.3. Situation actuelle de la REUE et perspectives pour l'irrigation en Algérie

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³, en 1995, 630 m³, en 1998, 500 m³ elle ne sera que de 430 m³ en 2020. La disponibilité en eau potable en Algérie en m³/Habitant/An dépassera légèrement le seuil des 400 m³/ha (norme OMS) [26].

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

Il faudrait disposer entre 15 et 20 milliards de m³ par an, en réservant 70% à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante. C'est un défi titanesque lorsqu'on sait qu'on mobilise à peine au plus 5 milliards de m³ d'eau par an. La pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau.

Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto entre les différents utilisateurs des conflits sérieux qui nécessiteront inmanquablement des arbitrages malaisés pour les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en alimentation en eau potable (AEP) seront multipliés par 2,5 environ en vingt cinq ans et qu'ils représenteront pratiquement 40 % des ressources mobilisables vers l'an 2025. Le 21^{ème} siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau, particulièrement dans les régions occidentales du pays en dépit du recours à d'autres formes de mobilisation de l'eau [26].

Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du nord. Ce chiffre passerait à près de 1.150 millions de m³ à l'horizon 2020 [27].

La réponse, c'est l'épuration des eaux usées et leur réutilisation. On a recours à cette activité pour différents motifs:

- Absence d'exutoire;
- Déficit en eau;
- Souci de protéger l'environnement [27].

Le volume total prélevé en 2006 est estimé à 6,5 millions de m³, dont 52% destinés à l'irrigation [26].

Tableau III.1: répartition de l'eau utilisée par usages

	Utilisation (millions de m ³ /an)	2030 (en millions de m ³ /an)
Usage domestique et industriel	3,1	4,2 - 4,6
Irrigation (Grands et petits périmètres)	3,4	7,8 – 8,2
total	6,5	12 – 12,8

Source : MRE 2006

L'agriculture irriguée occupe environ 11% des surfaces cultivées et globalement 40% de la production agricole nationale lui sont imputables. Les superficies irriguées se subdivisent en grands périmètres irrigués (GPI) et en petite et moyenne hydraulique (PMH). Les GPI ont une superficie équipée de 215 000 ha environ dont 150 000 ha sont estimés irrigables à partir des eaux de surface régularisées par des grands barrages. La superficie irriguée en PMH était évaluée en 2007 à près de 907 000 ha et est constituée de périmètres de taille très variable dont l'alimentation en eau provient à 78% des eaux souterraines (forages, puits, sources et retenues collinaires) [26].

Tableau III.2 : Volumes d'eau usée rejetée en Algérie

Type d'agglomération	Volume d'eau usée rejeté en millions de m ³	
	1995	horizon 2020
Côtières	169	282
Amont des barrages	48	122
Proximité des périmètres	62	143
Autres	149	352
20 000- population -50 000	122	251
Total	550	1 150

Source : MRE (2003)

Ainsi, seulement 240 millions de m³ sont potentiellement utilisables en irrigation en raison de la localisation des points de rejet. Pour ce qui est des ouvrages de traitement et d'épuration des eaux, il existe à ce jour 75 stations d'épuration des eaux dont 10 sont en exploitation, 30 en travaux et les autres doivent être réhabilitées et 30 bassins de décantation qui reçoivent les eaux usées domestiques (lagune) [28]. La contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation est de 13,37 % dans le cas de la région hydrographique

Chelif Zahrez, de 21,4 % dans la région hydrographique Constantine Seybouse Mellegue, et de 34,92 % dans région hydrographique Oranie-Chott-Chergui. cette dernière étant nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du Nord algérien (400 mm/an environ). La composante réutilisation des eaux usées en irrigation devient même prépondérante avec un ratio de 45 % voire 100 % dans le cas du périmètre de Mleta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien (tableau III.2) [28].

Tableau.III.3: Besoins, affectation des ressources en eau d'irrigation et réutilisation des eaux usées dans les différentes régions.

Région hydrographique	désignation	Besoins (millions m ³)	Affectation (millions m ³)	Réutilisation des eaux usées (millions m ³)	Réutilisation des eaux usées / affectation (%)
Chelif -Zahrez	Haut Chelif	153	151,7	14	9.22
	Amra Abadia	72	65	10	15,40
	Bougara	7	9	4	44,45
	Moyen Chelif	200	15.1	17	10,89
	Mina	111	107.8	20	18,55
	Bas Chelif	152	122.6	8	6,53
	dahmoumi	10	16	11	68,75
Oranie – Chott-Chergui	Tafna Isser	45	49	13	26.53
	Maghnia	32	39.4	6	15.23
	Ghriss/Mascara	60	37	7	18.92
	Bordjias	26	46.9	20	42.64
	Mléta	30	30	30	100
	PMH Tlemcen	84	51.4	8	15.56
	PMH Sidi Belabbes	23	24.02	13	54.12
Constantine – Seybousse - Mellegue	Jijel Taher	32	92.9	3.9	4.2
	PMH /Mila	26	26.1	7.3	27.97
	PMH /Batna	52	50.9	23	45.19
	PMH/ Khenchla	29	21.1	7.2	34.12
	PMH/ O.E Bouaghi	23	26.5	4.8	18.11

Source: Hartani (2004)

Un programme d'équipement est en train d'être mis en place pour un certain nombre de stations dont quelques unes sont déjà fonctionnelles. Cette nouvelle stratégie a pour objectif d'élargir la réutilisation des eaux usées traitées et d'enlever les restrictions imposées dans le cas de l'irrigation.

Une centaine de stations d'épuration et de recyclage des eaux usées existantes ou en voie de réhabilitation permettront l'utilisation d'un volume de 102 hm³/an au profit de l'irrigation ou de l'industrie [28].

III.10. Conclusion

La dimension stratégique et vitale de l'eau caractérisée par la rareté et la pénurie impose une politique de mobilisation maximale et d'exploitation rationnelle de cette ressource. Les défis à relever dans ce domaine sont liés à la sécurité de la population et de l'économie du pays dont il importe de pourvoir aux besoins tant il est vrai que la sécurité hydrique est intimement liée à la sécurité économique, sanitaire et écologique et à la sécurité alimentaire en particulier.

Les changements et les imprévus climatiques vont rendre la gestion de l'eau de plus en plus difficile. Une action rapide destinée à adapter le secteur au changement climatique sera beaucoup moins coûteuse que les dommages qui résulteront de ce phénomène. En ce qui concerne les effets pour lesquels les projections sont suffisamment fiables, l'adaptation doit donc commencer dès maintenant.

PARTIE II

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

PRESENTATION ET DESCRIPTION DE LA STEP DE CHLEF

Chapitre IV: Présentation et Description de la STEP de Chlef

IV.1. Introduction

La station d'épuration des eaux usées de Chlef, de type boues activées à moyen charge, est implantée dans la commune de Chlef sur une superficie de 9 hectares. Elle a été mise en service en 2006. Cette station (Figure IV.1) a été conçue pour épurer les eaux usées domestiques de la ville de Chlef ainsi que et les eaux pluviales. La capacité de traitement de la STEP est de 36405 m³/j. Actuellement elle traite environs 4100 m³/j (soit un taux d'utilisation de capacité de 11,26 %).



Figure IV.1: Vue de la STEP de Chlef

IV.2. Localisation du site de la station d'épuration

Le site retenu pour la réalisation de la STEP de Chlef, d'une superficie d'environ 9 ha, se trouve sur l'extrémité du groupement urbain de la ville de Chlef, à proximité de la Route Nationale RN04 (Alger - Oran) et au bord de l'Oued Chellif. Ses limites sont :

1. A l'est, la prison de la ville de Chlef et une cité d'habitation.
2. Au sud, un talus sur lequel se griffe des habitations derrière lequel se trouve la RN 04.
3. Au nord, l'oued Chellif.
4. A l'ouest, un talus sur lequel se griffe des habitations (figure IV.2).



Figure IV.2: Localisation de station d'épuration des eaux usées (STEP) de Chlef
(Source: Google earth.29/03/2011)

IV.3. Principe de fonctionnement

La STEP de Chlef fonctionne avec le procédé boues activées à moyen charge avec aération prolongée dit: carrousel 2000. Le schéma du process est indiqué sur la figure IV.3 suivante:

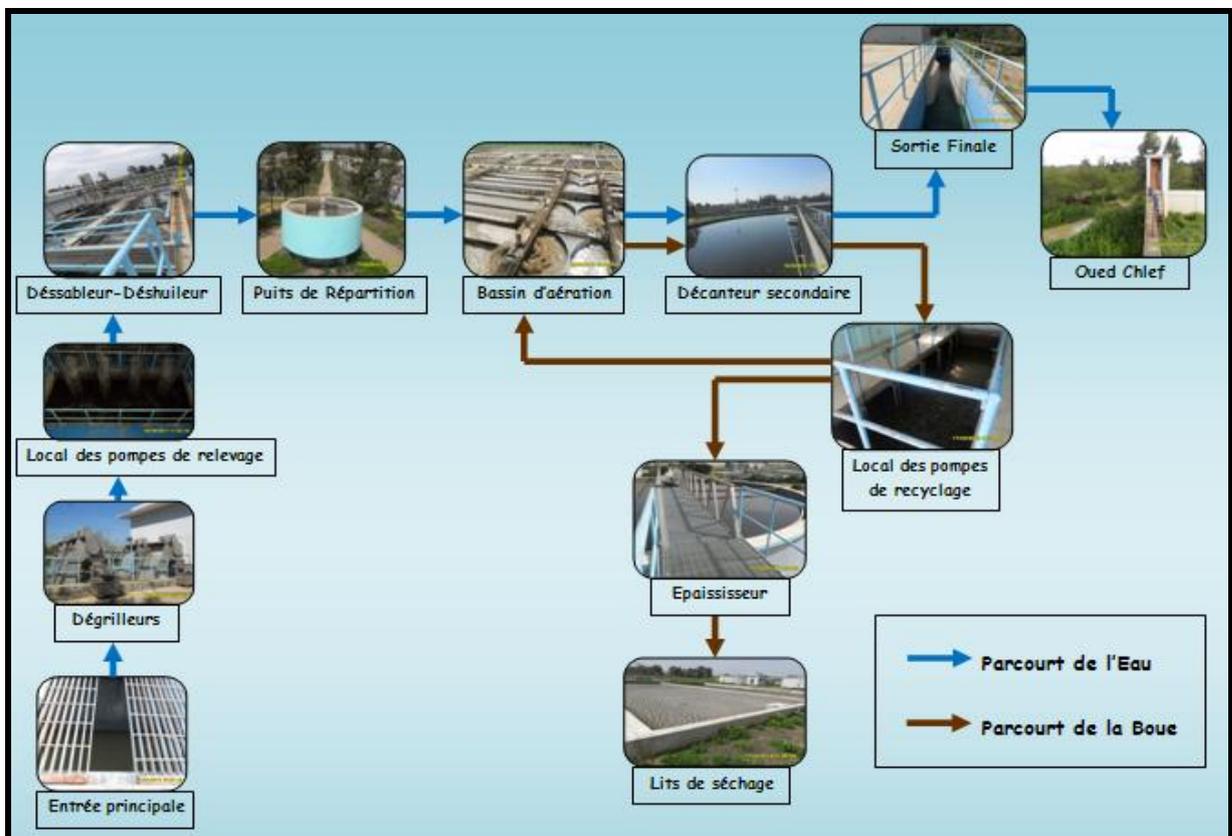


Figure IV.3: Schéma général du process à la STEP de Chlef

Dans le traitement biologique, les bactéries aérobies provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

Les données de base et la qualité du rejet sur lesquelles la station a été dimensionnée sont indiquées sur les tableaux IV.1 et IV.2.

Tableau IV.1: Valeurs de bases des données de le STEP de Chlef

Paramètres	Unités	Valeurs
Nombre d'Equivalent Habitant	E.H	227 528
Volume moyen journalier des eaux usées	m ³ /j	36 405
Débit moyen par horaire	m ³ /h	1 517
Débit de point de temps sec	m ³ /h	2 460
Concentration de l'effluent en MES	mg/l	730
DBO ₅	mg/l	562
DCO	mg/l	120
Concentration de l'effluent en NTK	mg/l	138

(Source: ONA, 2006)

Tableau IV.2: Caractéristiques de l'eau après traitements prévus par l'étude

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Matières en suspension (MES)	mg/l	30
DBO ₅	mg/l	20
DCO	mg/l	120
Azote (N-NH ₃)	mg/l	3-5
Azote (N-NO ₃)	mg/l	8-10
Azote total (N-T)	mg/l	15
Gras végétal	mg/l	20
Coliformes totaux	Unités	< 20 000/100
Coliformes fécaux	Unités	<12 000/100

(Source: ONA, 2006)

IV.4. Description des ouvrages de traitement (Filière Eaux)

IV.4.1. Dégrilleur et local des pompes de relevage

IV.4.1.1. Dégrilleur

On trouve deux canaux de dégrillage. Un en service et l'autre en réserve. Le dégrillage est assuré par les deux canaux de manière alternative. Le dégrilleur (figure IV.4) est mis en marche alors que les pompes de relevage sont démarrées.



Figure IV.4: Photo d'une grille mécanisée (ONA.2012).

Le temps de fonctionnement des dé-grilleurs est en fonction de la qualité des déchets présents dans les eaux usées à l'entrée.

IV.4.1.2. Local des pompes de relevage

Quatre pompes de relevage, par conception, trois en service, une en réserve. Vu le débit faible des eaux usées entrantes, afin d'assurer une certaine continuité de débit, on peut maintenir le débit entrant de 400 à 600 m³/h par le moyen du réglage de la vanne by-pass.

Au moment où un débit se présente on démarre une seule pompe de relevage alors que les autres pompes se mettent en marche alternativement. En cas de fort débit, on peut fermer la vanne by-pass de sorte que la pompe fonctionne à un débit de 800 m³/h.

IV.4.2. Déssableur-Déshuileur

L'aérateur Roots utilisé dans la STEP, se met en marche en parallèle avec la pompe de relevage. Le rôle de l'aérateur Roots consiste à maintenir les matières organiques en suspension. Le sable se frotte avec l'eau, ce qui permet de séparer les matières organiques collantes de la surface du sable. Par la suite, le sable se décante sur le fond alors que les matières grasses restent flottantes en surface de l'eau. Ces dernières seront enlevées par le système de raclage. Au moment de fonctionnement, on veille sur la quantité d'aération, qui doit être maintenue entre 0.1 à 0.3 m³ d'air/m³ d'eau. Le sable est évacué du bassin au moyen d'une pompe suceuse.



Figure IV.5: Photo du déssableur-déshuileur (ONA.2011).

IV.4.3. Bassins d'aération

La STEP de Chlef comporte quatre bassins de type carrousel 2000 (A, B, C, D) dont chacun est composé d'une partie aération et une partie anoxie. La capacité de chaque bassin est de 6640 m^3 . Actuellement, seuls les bassins C et D sont mis en service. Le fonctionnement d'un bassin d'aération est: anaérobie/aérobies (le mode A/O).



Figure IV.6 : Photo du bassin d'aération (ONA.2011).

Dans la partie aération, les trois premiers canaux dont la capacité totale s'élève à environ 2000 m^3 sont des zones dites anaérobie (OD à environs 0.5 mg/l). Le quatrième canal est une zone mixte (OD à environs 0.5 mg/l). En revanche; les quatre canaux dans la partie stabilisation sont tous des zones aérobies (OD à environs 2.0 mg/l).

IV.4.4. Décanteur secondaire

La STEP de Chlef dispose de deux décanteurs secondaires de forme circulaire. Actuellement, seulement un décanteur est en service (Figure IV.7). Les dimensions de chaque décanteur sont: diamètre 40 m, profondeur : 5,25m, surface: 1256 m². Le décanteur est équipé d'un pont racleur pour le raclage des boues déposées au fond de l'ouvrage. La vitesse de rotation est de l'ordre de 1,5 tr/min.



Figure IV.7: Photo du bassin de clarificateur (ONA.2011)

Les eaux clarifiées issues du décanteur sont directement rejetées dans l'Oued. Une partie des bouées décantées est envoyée en tête du bassin d'aération (recyclage des boues) tan disque l'autre partie elle est envoyée vers l'épaisseur.

IV.5. Description des ouvrages de traitement (filière boues)

IV.5.1. Épaississement

La STEP de Chlef contient deux épaisseurs. Du fait que la quantité des boues en excès est relativement faible, les deux épaisseurs se mettent en service alternativement. Les boues sont introduisent dans le bassin (figure IV.8), se décantent et s'épaississent. Au bout de deux ou trois jours et sous l'effet de la décantation et d'épaississement, la teneur en eau des boues diminue considérablement. L'eau claire surnageant s'évacue à partir du déversoir de l'ouvrage.



Figure IV.8: Photo d'un Epaississeur (ONA.2011).

L'évacuation des boues en excès à partir du décanteur se fait actuellement chaque jour. Le débit de la pompe d'extraction des boues est de $29 \text{ m}^3/\text{h}$.

IV.5.2. Lits de séchage

La station comporte soixante lits de séchage dont les dimensions de chaque lit sont : (longueur : 24.5 m, largeur: 9.6 m, hauteur:1.2 m).



Figure IV.9: Photos de lits de séchage (ONA.2013)

La hauteur maximale de réception des boues est de 40 cm. La capacité maximale de stockage des boues est de 94 m^3 .

IV.6.Conclusion

Ce chapitre nous a permis de donner une description sommaire de la station d'épuration de la ville de Chlef et les conditions de fonctionnement de cette dernière ainsi que les différents procédés de traitement des eaux usées, à savoir : les prétraitements, traitement biologique et décantation. Et d'autre part; le traitement des boues que comprend la station à savoir: l'épaississeur et les lits de séchages.

CHAPITRE V

MATERIELS ET METHODES

Chapitre V: Matériel et méthodes

V.1. Introduction

Afin de connaître la qualité de l'eau à la sortie de la station d'épuration de Chlef et envisager par lui suite la faisabilité d'un projet de réutilisation, une série de mesures d'un ensemble de paramètres de pollution de l'eau a été fait. L'échantillonnage a été effectué à la sortie de la station (eau épurée). Les analyses ont été faites au laboratoire de la STEP. Les paramètres analysés sont : le pH, la température, la conductivité, le total des solides dissous (TDS), les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO), les nitrates, l'azote ammoniacal, l'azote total et l'analyse bactériologique. Ces analyses nous ont permis en outre de contrôler le bon fonctionnement du process au niveau de cette station.

V.2. Matériel et Méthodes d'analyses

V.2.1. Température

La température est un paramètre physique de l'eau. Elle dépend largement de la source d'eau brute et de la profondeur d'enfouissement du réseau de distribution. La mesure de la température a été effectuée par l'utilisation d'une sonde thermométrique qui est trempée soigneusement dans la prise d'essai. La lecture est faite après stabilisation du thermomètre.

V.2.2. pH

C'est le potentiel d'hydrogène qui consiste à mesurer la concentration en ions H⁺ dans l'eau afin de déterminer l'acidité ou l'alcalinité de cette eau. Ce paramètre a été mesuré au moyen d'un pH mètre de marque HACH (Figure V.1).



Figure V.1: Photo du pH mètre HACH utilisé

V.2.3. Conductivité

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. Exprimée en ms/cm, sa valeur varie en fonction de la température. Elle est mesurée à 20°C et reliée à la concentration des substances dissoutes. La mesure de la conductivité a été fait en utilisant un conductimètre de marque HACH modèle 54500-18 (Figure V.2).



Figure V.2 : Photo du conductimètre HACH 54500-18

V.2.4. Total des solides dissous (TDS)

Le TDS signifie le total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques (calcium, magnésium, potassium, sodium) et de quelques matières organiques. Dans ce travail, le TDS a été mesurée au moyen du conductimètre HACH 54500-18.

V.2.5. Matières en suspension (MES)

Sont des matières fines organiques ou minérales insolubles visibles à l'œil nu et qui sont à l'origine de la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique.

Après centrifugation des échantillons, les matières en suspension ont été mesurées par pondération en utilisant l'équation suivante :

$$\text{MES (g/l)} = (P_1 - P_0) / v$$

Avec : MES : matière en suspension (g/l)

P_1 : poids du filtre après séchage (g)

P_0 : poids de filtre vide (g)

V : volume filtré (l)

Les pesées ont été effectuées en utilisant une balance électronique SARTORIUS BS 224S.

V.2.6. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique d'un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. La DBO₅ a été mesurée à l'aide d'un DBO mètre de marque HACH modèle 26197-91 (Figure V.3).

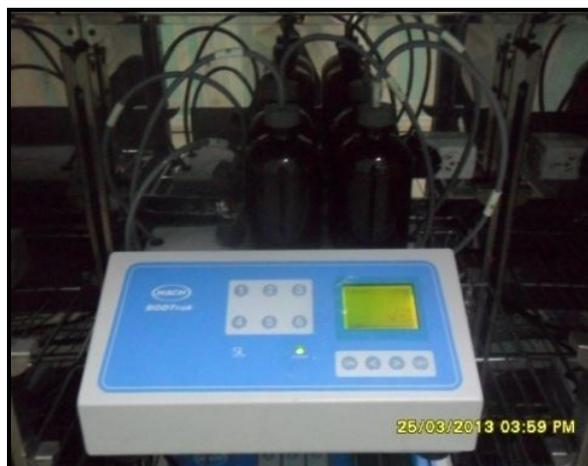


Figure V.3: Photo du DBO mètre HACH 26197-91

L'incubateur biochimique utilisé est du type BOXUN SPX-150B-Z.

V.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle se définit par la quantité d'oxydant spécifique qui réagit avec un échantillon dans des conditions définies. La quantité d'oxygène consommée est exprimée en termes de son équivalent en oxygène (mg/l de l'O₂). Après oxydation des échantillons dans un bloc chauffant (figure V.5), la DCO a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH modèle DR 2500 (Figure V.4).



Figure V.4:Photo du spectrophotomètre DR 2500



Figure V.5 : Phot du bloc chauffant

V.2.8. Nitrates (N-NO₃)

Les nitrates sont des composé inorganique non dangereux mais lorsqu'il est dégradé en nitrite (NO₂⁻) devient très toxique pour la santé humaine. Les nitrates ont été dosés en utilisant le spectrophotomètre DR 2500. L'élément nécessite l'utilisation d'un ensemble de réactif (test de Nitra Ver X Cat. N° 26053-45).

V.2.9. Azote ammoniacal (N-NH₃)

L'ammoniac (NH₃) est un gaz incolore, alcalin dans des conditions de température et de pression normale. Il est caractérisé par une odeur piquante et issu de la dégradation des matières azotées présentent dans les déchets organiques. Dans ce travail l'azote ammoniacal a été dosé avec le spectrophotomètre DR 2500 en utilisant un ensemble de réactif pour test d'ammoniac à forte concentration Am VerTM Cat. N° 26069-45.

V.2.10. Azote total

L'azote total englobe l'azote sous sa forme minéral et ammoniacal et l'azote organique. L'azote total a été analysé par la méthode colorimétrique en utilisant le spectrophotomètre DR 2500. Des solutions d'hydroxyde de nitrogène (Reagent Set. 27140-45) et d'acide nitrogène (Reagent Set. 26721-45) ont été utilisées à cet effet.

V.2.11. Analyses bactériologiques

Les analyses microbiologiques des échantillons d'eau épurée ont réalisées au laboratoire de département de biologie de l'université de Chlef. Les analyses ont été faites par une étudiante en 2012 dans le cadre de la préparation de son projet de fin d'études pour l'obtention de son diplôme de Magister.

Remarque :

Les protocoles expérimentaux de certains paramètres analysés sont présentés en annexe de ce travail.

CHAPITRE VI

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre VI: Résultats et Interprétations

VI.1. Introduction

Afin d'évaluer les performances de fonctionnement de la STEP de Chlef en matière de respect des normes de rejet et la possibilité de réutiliser ces eaux en agriculture, une série de mesures sur les paramètres de pollution de l'eau ont été effectuées à la sortie (eaux traitées) de la STEP. Le travail expérimental mené, au niveau de la STEP, a été effectué sur une période d'environ 40 jours allant du 29/01/2013 au 10/03/2013. Les paramètres ayant fait l'objet d'analyses sont: la température, le pH, la conductivité électrique, le total des sels dissous (TDS), les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote total (N-T), l'azote ammoniacal ($N-NH_3$), l'azote nitrique ($N-NO_3$). Faute de moyens d'analyses, les résultats des analyses bactériologiques nous ont été fournis par l'ONA de Chlef. Les résultats expérimentaux trouvés sont présentés ci-après.

VI.2. Les paramètres physico-chimiques

VI.2.1. La température

La figure VI.1 montre la variation de la température des eaux usées à la sortie de la STEP.

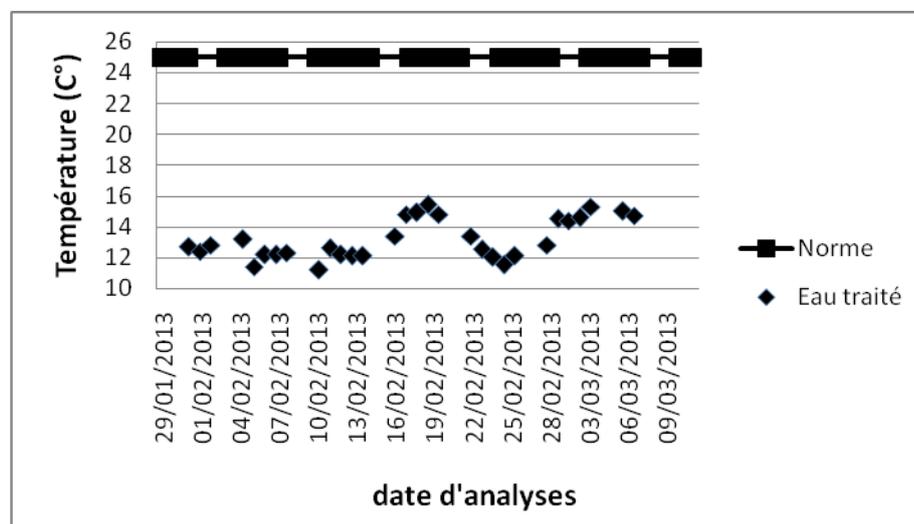


Figure VI.1: Variation journalière de la température de l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

En examinant les résultats trouvés, on remarque que les valeurs de la température des eaux traitées varient de 11,2 à 15,4°C, soit une moyenne de 13°C. La température de l'eau est largement inférieure à la limite recommandée pour l'eau d'irrigation (soit $T = 25^{\circ}C$).

VI.2.2. Le pH

La figure VI.2 montre la variation du pH des eaux traitées par la station.

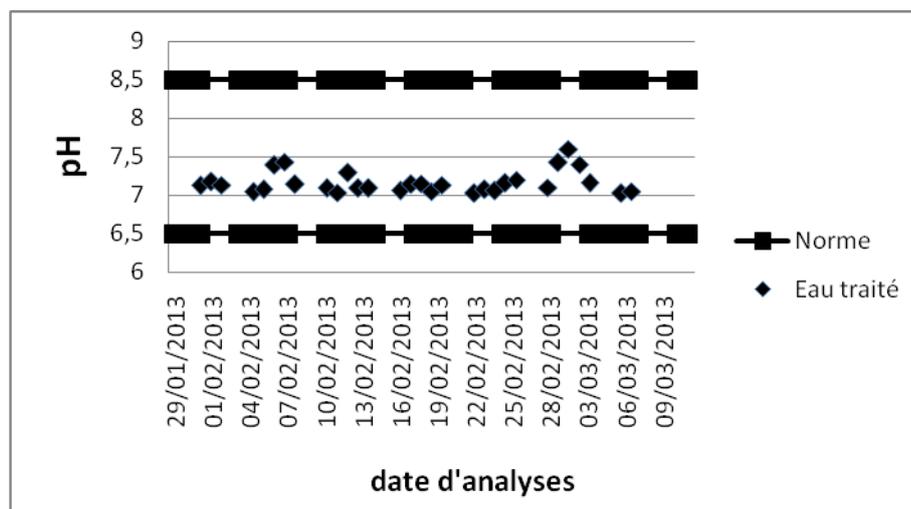


Figure VI.2: Variation journalière du pH de l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

Selon la figure VI.2, on constate que les valeurs du pH des eaux traitées sont proches de la neutralité. Elles varient de 7,02 à 7,6 et ne représentent aucun danger ni pour le sol ni pour les cultures. Les valeurs du pH recommandées pour l'eau d'irrigation sont situées dans la gamme: 6 à 8,5.

VI.2.3. Conductivité électrique

La figure VI.3 donne la variation de la conductivité électrique des eaux traitées durant la période des analyses.

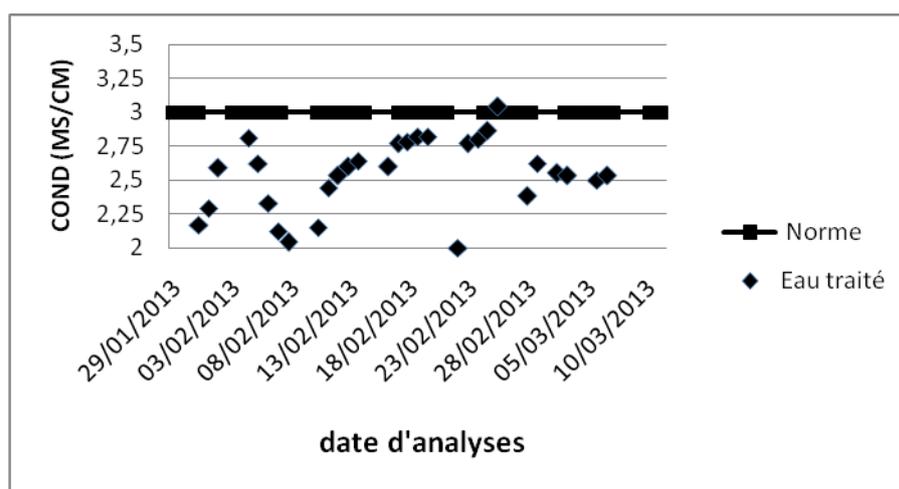


Figure VI.3: Variation journalière la conductivité électrique de l'eau épurée (Période du 29 janvier au 10 Mars 2013)

L'examen des résultats obtenus (Figure VI.3) montre que la conductivité des eaux épurées est comprise entre 2 et 3,04 ms/cm (soit une moyenne de 2,52 ms/cm). Ces eaux sont

classées dans la catégorie des eaux de forte salinité [5]. Le taux de sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l) avoisine les 1500 mg/l mais l'utilisation de ces eaux en agriculture et le maintien des rendements sont encore possibles.

VI.2.4. Total des sels dissous (TDS)

Les résultats de la variation des sels dissous des eaux traitées trouvés pour ce paramètre sont présentés sur la figure VI.4 ci- après.

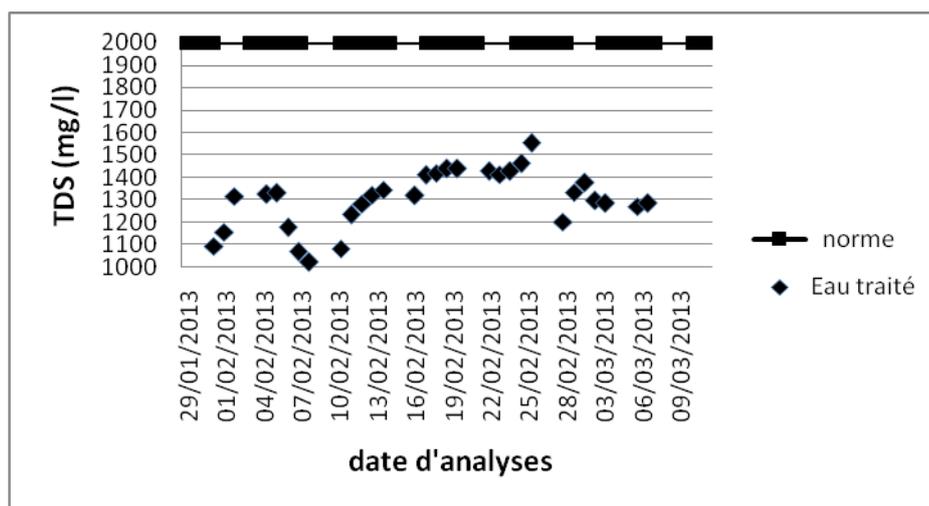


Figure VI.4: Variation journalière de la concentration des TDS de l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

D'après la figure VI.4, on remarque que, durant toute la campagne des mesures, la concentration en TDS de l'eau épurée est comprise entre 1023 et 1554 mg/l ce qui confirme les résultats obtenus lors de la mesure de la conductivité. Les valeurs des TDS dans l'eau épurée sont très inférieures à la limite fixée pour l'eau d'irrigation. Selon la FAO, les restrictions pour l'irrigation commencent à partir d'une concentration dépassant 2000 mg/l.

VI.2.5. Matières en suspension (MES)

La figure VI.5 donne la variation de la concentration des matières en suspension (MES) dans l'eau épurée durant la période de l'échantillonnage.

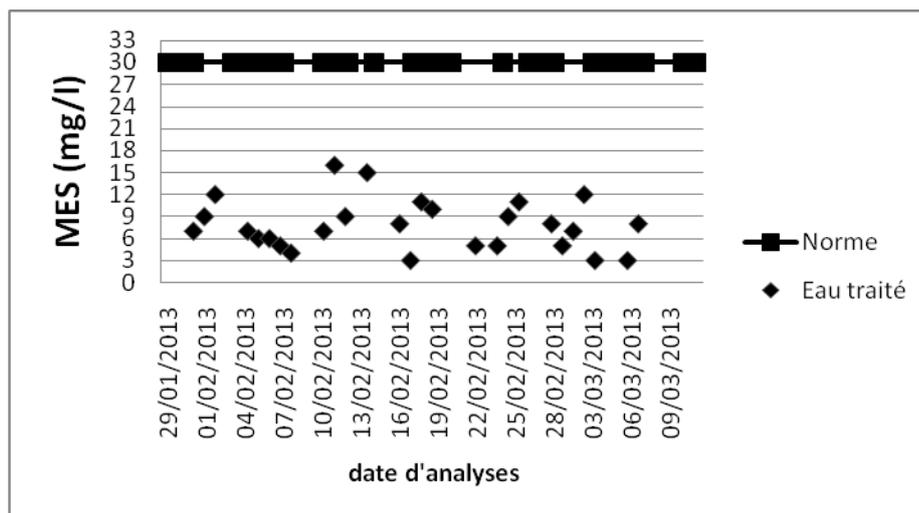


Figure VI.5: Variation journalière de la concentration des matières en suspension dans l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

L'examen de la figure VI.5 montre que la teneur en MES dans l'eau épurée est trop faible. Elle est variable de 3 à 16 mg/l, soit une moyenne de 8 mg/l. Ces résultats mis en évidence l'efficacité de la décantation après le traitement biologique. De telles concentrations n'engendrent pas de difficultés pour le transport ou la distribution de l'eau épurée el que le bouchage des systèmes d'irrigation, puisque la valeur limite admissible dans l'eau d'irrigation est de 30 mg/l.

VI.2.6. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

Dans le cas d'une eau destinée à l'irrigation, la DBO₅ ne doit pas dépasser 30 mg/l selon l'OMS et quelques états. Les résultats des analyses obtenus pour ce paramètre de pollution sont indiqués sur la figure VI.6.

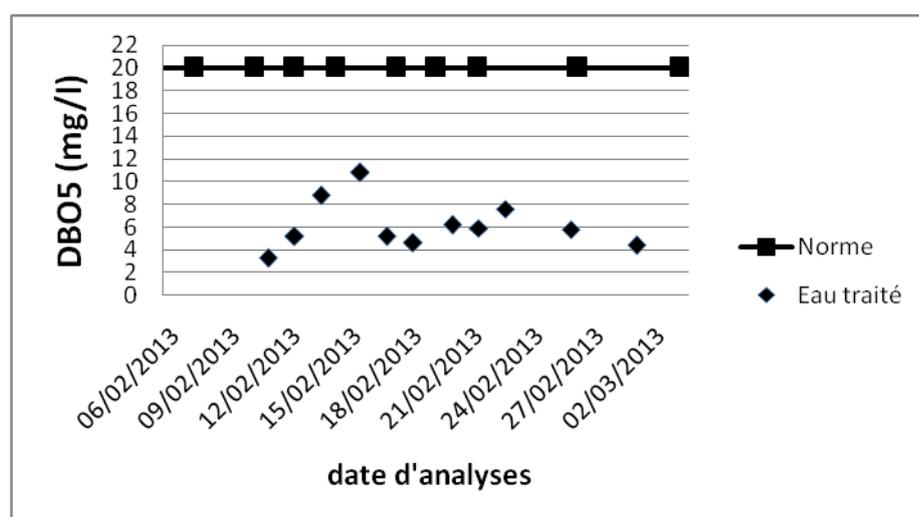


Figure VI.6: Variation journalière de la concentration en demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO₅) dans l'eau épurée (Période du 06 Février au 02 Mars 2013)

Selon les résultats obtenus (Figure VI.6), il en résulte que les valeurs de la DBO₅ de l'eau épurée issue de la STEP de Chlef, comprises entre 3,3 et 10,8 mg/l, sont largement au dessous de la limite fixée pour l'eau d'irrigation (20 mg/l). En terme de pollution organique biodégradable, l'eau traitée ne présente aucun risque pour les cultures.

VI.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO ne fait l'objet d'une réglementation dans la majorité des normes mais dans tous les cas, elle ne doit pas dépasser 120 mg/l pour l'OMS et elle doit être inférieure à 150 mg/l pour quelques états. La figure VI.7 donne les variations de la concentration de la DCO dans l'eau à la sortie de la STEP.

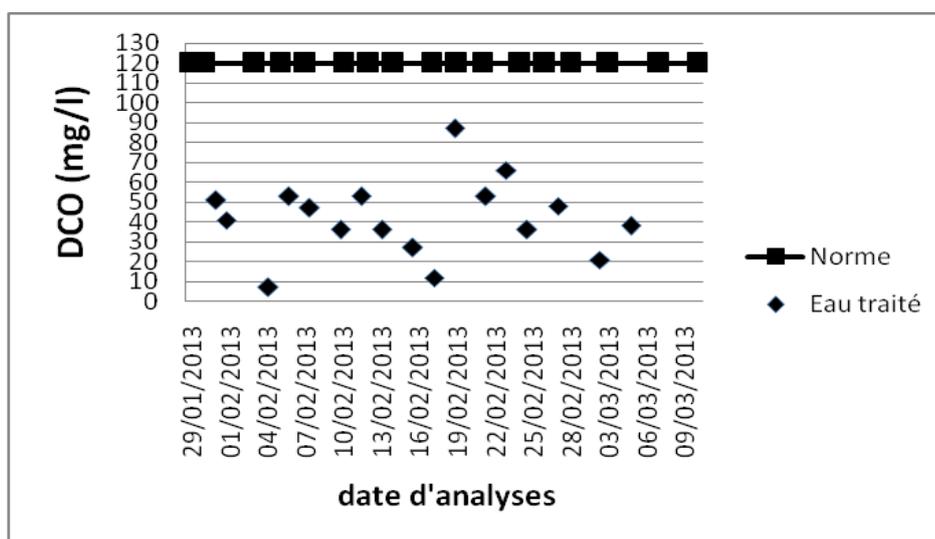


Figure VI.7: Variation journalière de la demande chimique en oxygène dans l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

D'après la figure VI.7, on s'aperçoit que la teneur de la DCO dans l'eau traitée par la STEP n'est pas stable. De grandes variations sont observées (de 7 à 87 mg/l) sans toutefois atteindre la limite maximale de 120 mg/l fixée par l'OMS pour la réutilisation. Ces variations dans la teneur de la DCO sont probablement dues aux variations dans la quantité d'oxygène dans les bassins d'aération.

VI.2.8. Azote total (N-T)

L'azote est indispensable à la vie des végétaux. Il est nécessaire pour le développement foliaire des plantes. L'azote se trouve en quantités appréciables dans l'eau usée, mais en proportions très variables par rapport aux besoins des cultures. La variation de la concentration en azote total dans l'eau traitée est indiquées sur la figure VI.8.

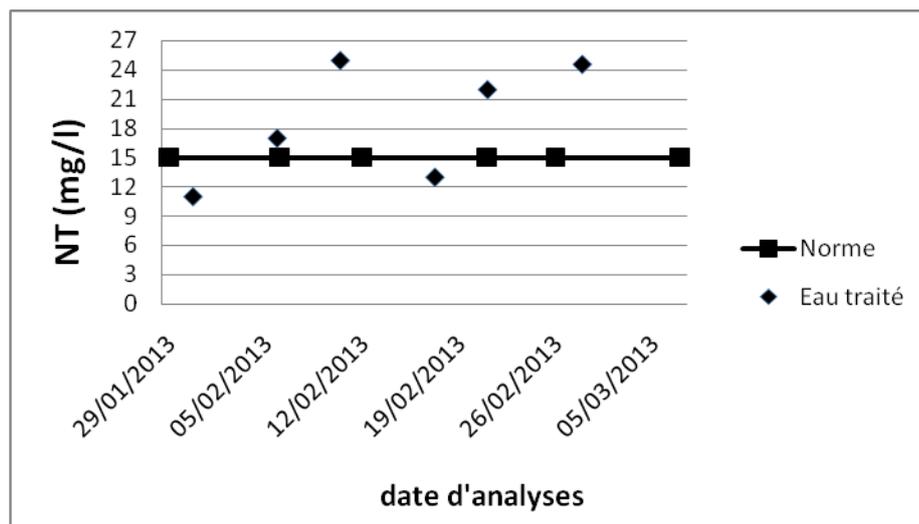


Figure VI.8 : Variation journalière de l'azote total dans l'eau épurée (Période du 29 janvier au 05 Mars 2013)

Selon les résultats indiqués sur la figure VI.8, les valeurs de la concentration en azote total (N-T) dans l'eau traitée (sortie de la STEP) varient de 11 mg/l et 25 mg/l, soit une moyenne de 18 mg/l. Quelques dépassements de la limite de 15 mg/l ont été enregistrés dans les échantillons du 12, 19 et 26 Fev 2013. Néanmoins cet excès en azote peut être assimilée par certaines cultures notamment celles fourragères.

VI.2.9. Azote ammoniacal (N-NH₃)

L'azote ammoniacal ou ammonium est une source d'azote minéral essentielle dans le fonctionnement biologique des écosystèmes aquatiques. La figure VI.9 présente la variation de la concentration de cet élément dans les eaux traitées.

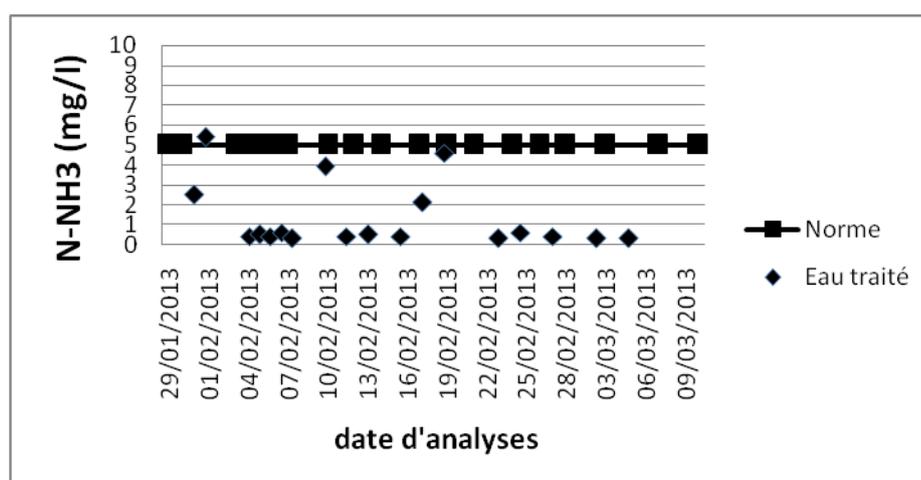


Figure VI.9: Variation journalière de la concentration de l'azote ammoniacal dans l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

La variation de l'azote ammoniacal ($N-NH_3$) pour les eaux de réutilisation ne doit pas dépasser les 5 mg/l. Selon les résultats présentés sur la figure VI.9, on remarque clairement que les teneurs de l'azote ammoniacal dans l'eau traitée sont dans l'ensemble inférieures à 5 mg/l. Une valeur, de 5,5 mg/l obtenue le 01/02/2013, est peut être due à des erreurs dans le dosage.

VI.2.10. Nitrates ($N-NO_3$)

La figure VI.10 montre la variation de la concentration en nitrates dans l'eau en sortie de la STEP. La valeur maximale tolérée pour l'irrigation est de l'ordre de 30 mg/l selon la FAO et les normes algériennes (voir annexe).

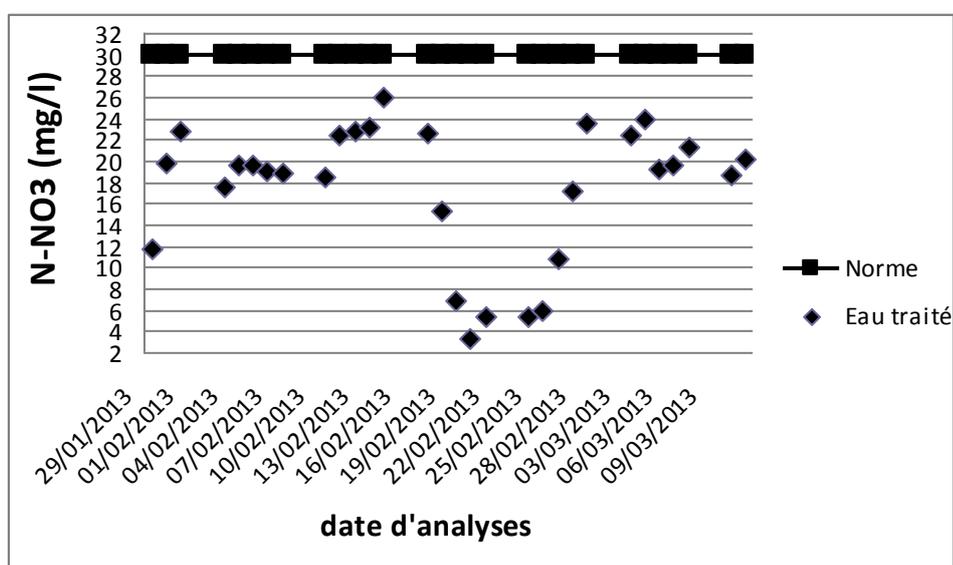


Figure VI.10: Variation journalière de la concentration de l'azote nitrique dans l'eau épurée (Période du 29 janvier au 09 Mars 2013)

Selon les résultats indiqués sur la figure VI.10, on observe que les valeurs des nitrates ($N-NO_3$) dans l'eau épurée sont largement inférieures à la limite fixée pour les eaux d'irrigation (soit 30 mg/l). Les teneurs en nitrates oscillent entre 3,4 et 26 mg/l et dépendent du rendement des bactéries de nitrification-dénitrification. En effet, un apport excédentaire de nitrate par rapport aux besoins des cultures, peut provoquer dans un sol très perméable la contamination des eaux souterraines.

VI.3. Analyses microbiologiques

L'analyse bactériologique consiste à mesurer les germes totaux contenus dans l'eau usée épurée qui va servir comme eau d'irrigation. Les résultats de l'analyse bactériologique sont indiqués dans le tableau VI.1 suivant :

Tableau VI.1: Résultats des analyses Bactériologiques des eaux épurées prélevées à la sortie de la STEP

Paramètre	Eau de la STEP	Normes OMS
Coliformes totaux à 37°C/100ml	< 200 UFC	<1000/100ml
Coliformes fécaux à 37°C/100ml	abs	
Streptocoque	2,5	
Salmonella	abs	
Vibrion.colerae	abs	
E.coli	20,47	

Selon les résultats indiqués sur le tableau , on constate que pour les coliformes totaux et les streptocoques, les résultats des échantillons de l'eau épurée mettent en évidence une teneur en germes non négligeable (<200 germes/100ml). Cependant, cette teneur reste toutefois conforme à la norme OMS et la norme algérienne édictée pour les eaux usées destinées à l'irrigation des arbres fruitiers (< 1000 CFU/100 ml). Complété par un traitement de désinfection, l'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation serait tout à fait possible.

VI.4.Conclusion

Selon les résultats des analyses obtenus, on peut conclure que les eaux épurées de la STEP de Chlef peuvent être utilisées pour l'irrigation. Tous les résultats des analyses paramètres mesurées sur l'eau usée épurée présentent en grande partie des valeurs au dessous des normes fixées pour la réutilisation de l'eau en irrigation notamment en arboriculture. Cependant, un traitement complémentaire de l'eau par une désinfection au chlore peut élargir cette pratique à d'autres types de cultures en particulier les cultures maraîchères.

Vu les résultats encourageants de cette partie d'étude, le dimensionnement d'un réseau d'irrigation pour un périmètre de 71 ha, situé à proximité de la station, est proposé dans la suite de ce travail.

CHAPITRE VII

PROPOSITION DU PÉRIMÈTRE A IRRIGUER ET CALCUL DES BESOINS EN EAU

Chapitre VII: PROPOSITION DU PÉRIMÈTRE A IRRIGUER ET CALCUL DES BESOINS EN EAU

VII.1. Introduction

L'irrigation est le consommateur principale des eaux en Algérie, cette dernière est l'un des pays qui cherche à développer des techniques d'irrigation afin d'améliorer la production agricole dans le contexte de la diminution des capacités hydriques voire la rareté de l'eau.

Pour éviter les dangers qui menacent les ressources en eau on doit développer toute activité hydraulique visant à mobiliser tous les moyens nécessaires.

Actuellement, parmi les techniques en pleine expansion, qui apportent des quantités d'eau supplémentaires, la réutilisation des eaux usées épurées occupe une place importante.

Dans ce qui suit, nous examinons les possibilités offertes pour irriguer un périmètre de 71 ha par les eaux usées épurées issues de la station d'épuration de CHLEF, mise en service en 2006.

VII.2. Périmètre d'irrigation proposé

Le périmètre proposé dans le cadre de cette étude pour l'irrigation par les eaux usées traitées de la station d'épuration de la ville de CHLEF est représenté dans la figure VII.1. Il est situé dans le Nord-Ouest de la station dans la région du Moyen-Chélif d'une superficie de 71 Ha.

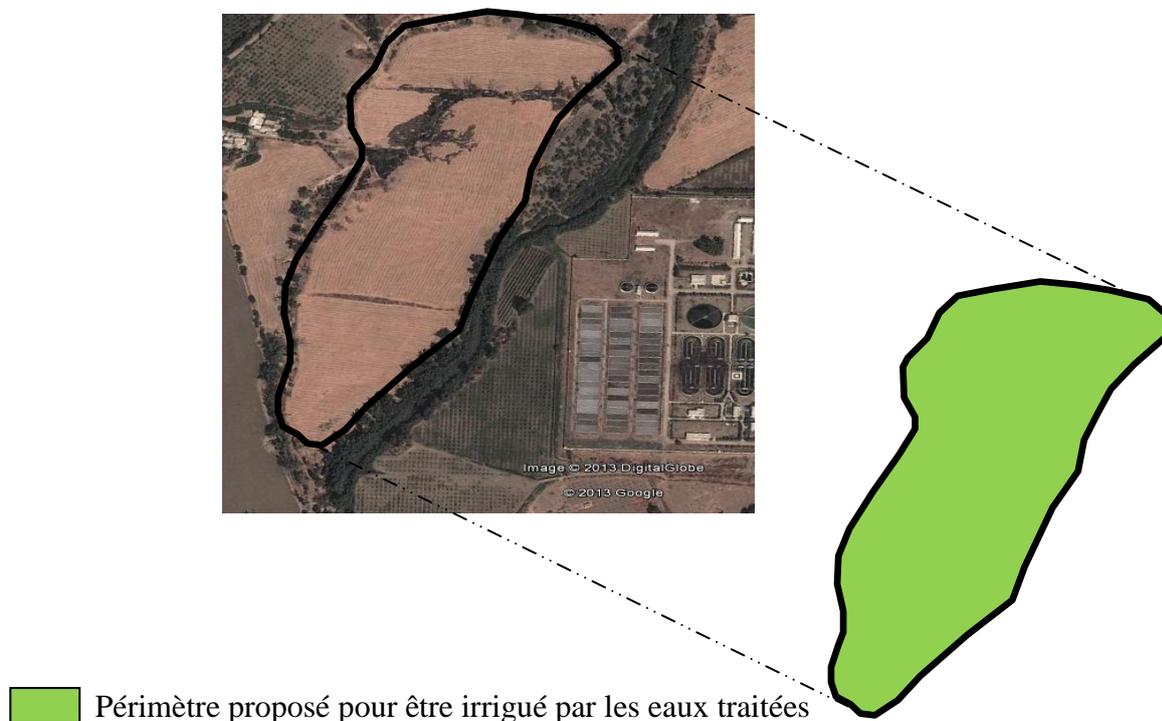


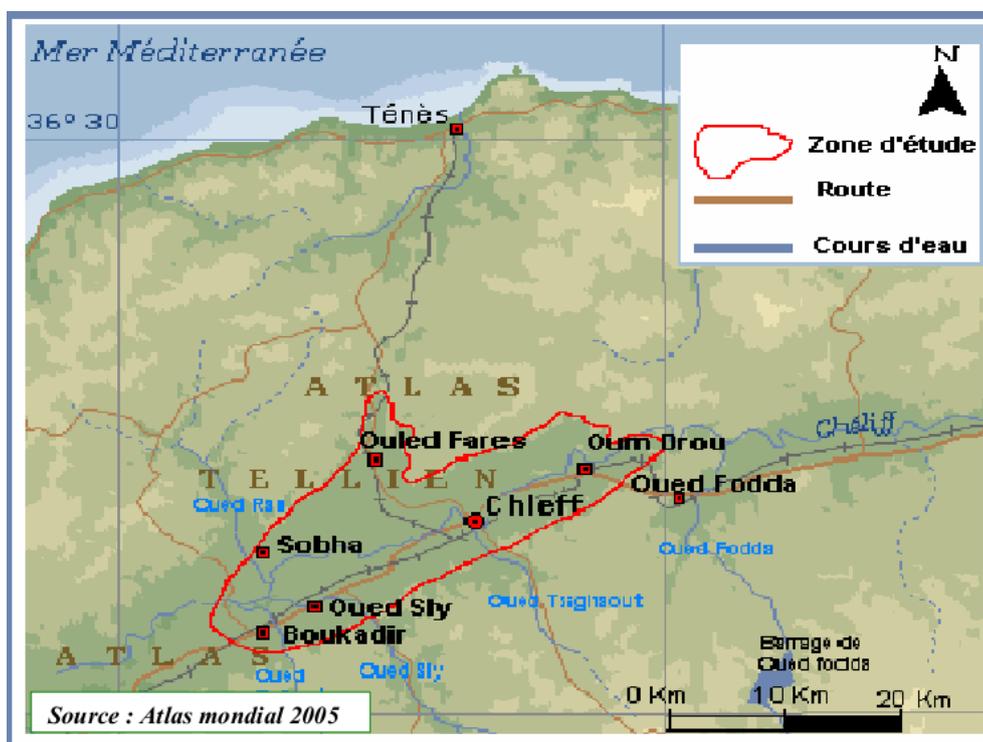
Figure VII.1: Localisation du périmètre irrigué par les eaux usées traitées

Une description détaillée des différents éléments influençant la faisabilité d'un projet d'irrigation par les eaux usées épurées s'impose pour pouvoir justifier le choix de la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Chlef à des fins agricoles. Dans les sections qui suivent la région du moyen Chéllif, où notre aire d'étude est située, est présentée sous plusieurs volets, à savoir situation, hydrographie, hydrologie.....

VII.2.1. Région d'étude

La région du Moyen-Chéllif est située au nord-ouest de l'Algérie; elle fait partie du bassin versant du Chéllif et occupe sa partie centrale. Ce même bassin constitue un sous bassin, il est le plus important, du grand bassin versant "Chéllif-ZAHREZ". La vallée du Chéllif occupe la partie nord du bassin versant Chéllif-ZAHREZ et elle est drainée par l'oued CHLEF qui la traverse sur une longueur de 750 km pour déverser dans la méditerranée près de Mostaganem. Elle est divisée en trois grandes plaines : La plaine du "Haut- Chéllif", la plaine du "Moyen-Chéllif" et la plaine du "Bas-Chéllif".

La plaine du Moyen-Chéllif occidental, objet de notre étude, se situe au centre du bassin du Chéllif (nord-ouest de l'Algérie), à environ 200 km à l'ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée, avec en son centre la ville de CHLEF.



Source : Atlas mondial 2005

Figure VII.2 : Localisation de la région d'étude

VII.3. Caractéristiques du milieu naturel

VII.3.1. Hydrographie et hydrologie

La plaine du Moyen-Chéllif occidental est drainée par un réseau hydrographique bien marqué dont les ramifications principales sont constituées par les affluents de l'oued CHLEF, il s'agit de :

- **Oued Ouahran et oued Ras**: Deux affluents situés sur la rive droite, issus des monts de Dahra, présentent des bassins versants de taille modeste et de débits nuls à l'étiage.

- **Oued Sly, oued Tsighaout et oued Fodda** : Affluents sur la rive gauche. Ils ont des bassins versants plus étendus, dont la partie supérieure est formée par les reliefs montagneux de l'Ouarsenis. Les deux oueds principaux (oued Sly et oued Fodda), qui bénéficient d'un régime hydrologique favorable, ont fait l'objet d'aménagement de leurs ressources en eau (barrages de Oued Fodda et Sidi Yakoub).

Les affluents de l'oued CHLEF sont en écoulement en hiver seulement (décembre – janvier –février), ils sont secs le reste de l'année. L'oued principal CHLEF, quant à lui, est en écoulement sur une période qui dépasse légèrement ses affluents (ONID, 2009).

VII.3.2. Climatologie

Les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture. Elles consistent surtout en la détermination de l'évapotranspiration (ETP) dans le système sol – plante, ce qui intègre un nombre important de paramètres climatiques (Température, insolation, humidité relative de l'air, vitesse de vent, ...). Dans cette étude, les données climatiques nous ont été fournies par l'Office National de météorologie ainsi que office national de l'Irrigation et de drainage de CHLEF (ONEM, 2012).

VII.3.2.1. Température de l'air

L'étude des variations de la température d'une région est nécessaire pour la détermination de son aspect climatique durant l'année ; ainsi elle est un paramètre déterminant dans le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) des plantes cultivées. Le tableau VII.1 présente les moyennes mensuelles des températures dans le moyen Chéllif.

Tableau VII.1: Températures moyennes mensuelles dans le moyen cheliff (C°)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
2012	10,6	8	14,1	15,4	22,3	29,1	30,4	32,9	26,8	22,4	16,9	13,1	20,16
2011	10,8	10,5	14,6	19,1	21,8	25,8	26,6	30,9	26	21,3	15,8	11,5	19,8
2010	11,7	13,1	14,6	17,6	20	25,1	31	29,8	25,3	19,6	14,1	11,9	19,5
2009	11,2	11,5	17,1	18,5	25,9	29,9	33,3	31,6	27,3	24,4	19,1	14,8	22,1

Source (ONID. 2012)

VII.3.2.2. Pluviométrie

La pluviométrie est un facteur climatique très important pour un projet d'irrigation. Son but est d'évaluer les besoins en eaux des plantes cultivées dans la région considérée, de même connaître la répartition inter-annuelle qui nous fait signe des périodes humides et sèches. Le tableau suivant présente les valeurs des précipitations moyennes mensuelles dans le moyen Chélif (voir tableau VII.2).

Tableau VII.2: Valeurs des précipitations moyennes mensuelles dans le moyen Chélif (mm)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
2012	34,8	140,1	30	13	10,4	0	0,4	0	2,3	57,6	113,7	13	44,6
2011	106	104,1	29,5	70,2	97,8	20,7	0	0	10,1	23,3	112,1	21,4	49,7
2010	52,2	132,4	63,7	25,6	20,4	2,2	0	40,7	6,6	77,1	73,3	34,7	44,1
2009	82,6	24,8	50,7	81,1	14	4,2	0	43	74,3	12,8	55,9	70,1	39,6

Source (ONID. 2012)

- Pour les calculs des besoins nous somme basés sur une série de 25 ans qui présenté dans le tableau suivant :

Tableau VII.3 : valeurs des précipitations moyennes mensuelles pour les 25 ans derniers (mm)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
1987-2012	49	48,1	38,9	40,3	30,1	6,6	2,7	4,7	19,9	34,5	55,1	51,3	381,2

Source (ONID. 2012)

VII.3.2.3. Humidité relative

L’humidité de l’air désignée par degré hygrométrique de l’air, qui est un élément très important, représente le rapport entre la quantité d’eau contenue dans une masse d’air et la quantité maximale d’eau que peut contenir cette masse d’air à une température considérée (ONID, 2012).

Tableau VII.4: Humidité relative dans le moyen Cheliff (%)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
2012	77	77	76	74	54	44	41	37	51	60	76	76	62
2011	84	84	68	63	63	50	43	41	54	58	78	82	64
2010	77	74	71	65	54	48	40	47	55	68	84	73	63
2009	76,5	65,6	69,3	69,3	53,5	44,3	40,7	55	56,5	55,1	56,1	66,5	62,7

Source (ONID. 2012)

VII.3.2.4. Le vent

Le vent joue un rôle essentiel sur les processus d’évaporation car c’est lui qui permet, par le mélange de l’air ambiant, de réguler au voisinage de la surface évaporant, l’air saturé par de l’air plus sec. Le vent, par le bais de sa vitesse et aussi de sa structure verticale et de ses turbulences, joue un rôle prépondérant dans le processus d’évaporation. Les turbulences permettent entre autre l’ascension de l’air humide, tandis que l’air sec descend et se charge d’humidité. Vitesses du vent dans le moyen Cheliff (m/s) sont représentées dans le tableau VII.4.

Tableau VII.5: Vitesses du vent dans le moyen Cheliff (m/s)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
2012	1,8	1,8	1,9	3,6	3	2,8	3,2	2,5	3,1	2,8	2,9	2,2	2,63
2011	2,1	2,8	3,4	3,2	3,3	2,3	3	3	2,5	2,7	2,8	1,7	2,7
2010	4	3,3	3,1	3,4	3,5	3,1	3,2	2,4	3,2	2,3	2,8	3,6	3,2
2009	3,9	3,3	3,1	2,6	3,4	3,4	2,6	3,2	2,8	2,6	3,6	2,8	3.1

Source (ONID. 2012)

VII.3.2.5. L'évaporation

Les mesures de l'évaporation peuvent se faire de différentes façons selon les buts pour suivis l'estimation de l'évaporation à partir d'un réservoir, estimation de l'évaporation potentielle. Parfois on souhaite même évaluer l'ensemble de l'évaporation et de la transpiration par le système sol-végétaux, c'est-à-dire directement l'évaporation réelle. Le tableau VII.5 montre les valeurs de l'évaporation mensuelle.

Tableau VII.6 : Evaporation mensuelle dans le moyen Chélif (mm)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
2012	31,5	30,6	44,3	64,2	157,7	251,4	257,8	311,1	168,9	150,2	64,2	53,2	133,6
2011	41	19,3	84,6	98,7	125,5	200,1	268,3	316,2	163,9	144,8	56,1	35,5	131,3
2010	538	619	745	976	1617	2728	2149	2266	1766	1082	474	699	1304,9
2009	38,1	57,1	85,1	62,4	171,3	236,5	300	246,2	161,7	148,5	124,9	60,5	141

Source (ONID. 2012)

VII.3.2.6. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Elle est définie comme étant l'évapotranspiration d'un couvert végétal bas, continu, homogène et vaste dont l'alimentation en eau n'est pas limitant, et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique.

Les valeurs d'ETP variant, pour des conditions climatiques et des sols identiques, suivant le type de la plante, les climatologues ont pris l'habitude de calculer cette ETP par rapport à une ETP de référence correspondant à évapotranspiration d'une surface de gazon vert [27].

VII.3.2.6.1. Méthode de calcul de l'ETP

L'évapotranspiration est un phénomène complexe qui non seulement résulte du processus physique tel que le potentiel efficace du sol, mais aussi peut être soumis à des incidences biologiques comme la régulation stomatique.

Plusieurs méthodes de calcul de l'ETP ont été proposées, on peut distinguer :

VII.3.2.6.1.1. Méthodes directes (méthode des bacs)

- **Bacs enterres :** Ils peuvent être de formes cylindriques. Parmi les anciens, citons le bac Colorado.
- **Bacs non enterres :** ils sont en fer galvanisé posés sur une charpente en bois.

Les plus utilisés sont les Bacs classe A. qui permet une bonne approche dans

l'expérimentation pour la détermination des besoins en eau des cultures pour une période donnée.

VII.3.2.6.1.2. Méthode indirectes (formules empiriques)

De nombreux auteurs ont cherché à établir des expressions rattachant la valeur de l'ETP à une sélection de ces facteurs climatiques. Certaines formules proposées résultent d'ajustements statistiques et peuvent de ce fait être qualifiées d'empiriques, d'autre au contraire procèdent à raisonnement physique plus rigoureux assorti de quelques hypothèses logiques :

- Formule de THORONTHWAITE.
- Formule de TURC.
- Formule de BLANEY et CRIDDLE.
- Formule de PENMAN modifiée.
- Formule de BOUCHET.
- Formule de GERBIER

Le tableau VII.6 donne l'évapotranspiration mensuelle et annuelle pour la zone considérée en utilisant les formules de calcul de Penman, Turc et Thornwaite.

Tableau VII.7: Evapotranspiration mensuelles et annuelles calculé par 3 formules (mm)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Penman	50,66	62,1	119,36	132,7	170,6	197,99	219,28	195,89	137,46	99,9	64,51	45,02	1495,56
Turc	45,58	67,3	80,63	113,43	148,58	184,33	214,92	189,9	128,7	66,2	61,2	44,03	1344,8
Thornt waite	18,03	18,61	41,3	49,11	102,16	142,14	194,29	186,23	111,46	71,12	35,18	18,22	987,85

Source : (O.N.M ,2002)

VII.3.3. Géologie

Les caractères géologiques des bassins versants des affluents rive droite et rive gauche de l'Oued CHLEF sont dissemblables car résultant d'une histoire géologique différente.

Au Sud, les bassins versants sont situés dans le massif de l'OUARSENIS qui appartient au domaine des nappes telliennes dont la mise en place date du miocène supérieur ; la structure du massif n'a pas changé depuis cette période : les terrains qui le constituent sont datés du Trias (secondaire) au miocène (Tertiaire) (ABH, 1985).

Au Nord, au contraire, les monts DAHRA sont constitués pour l'essentiel de dépôts miocènes ou pliocènes ; ces dépôts se sont accumulés dans un bassin entre les monts DAHRA primitifs et l'OUARSENIS au cours de transgressions venues du golfe d'ORAN ; la

sédimentation est active dans le bassin à cause de la subsidence ; ces dépôts se sont fortement plissés après le Miocène et la tectonique n'a pas cessé. Elle se manifeste encore de nos jours par une surélévation des monts DAHRA et une subsidence des bassins constituant la plaine du CHELIFF (ONID, 1985, ONID, 2010).

VII.3.4. Hydrogéologie

Dans la série stratigraphique, les formations de nature poreuse et perméable et qui peuvent être considérées comme aquifères potentiels sont :

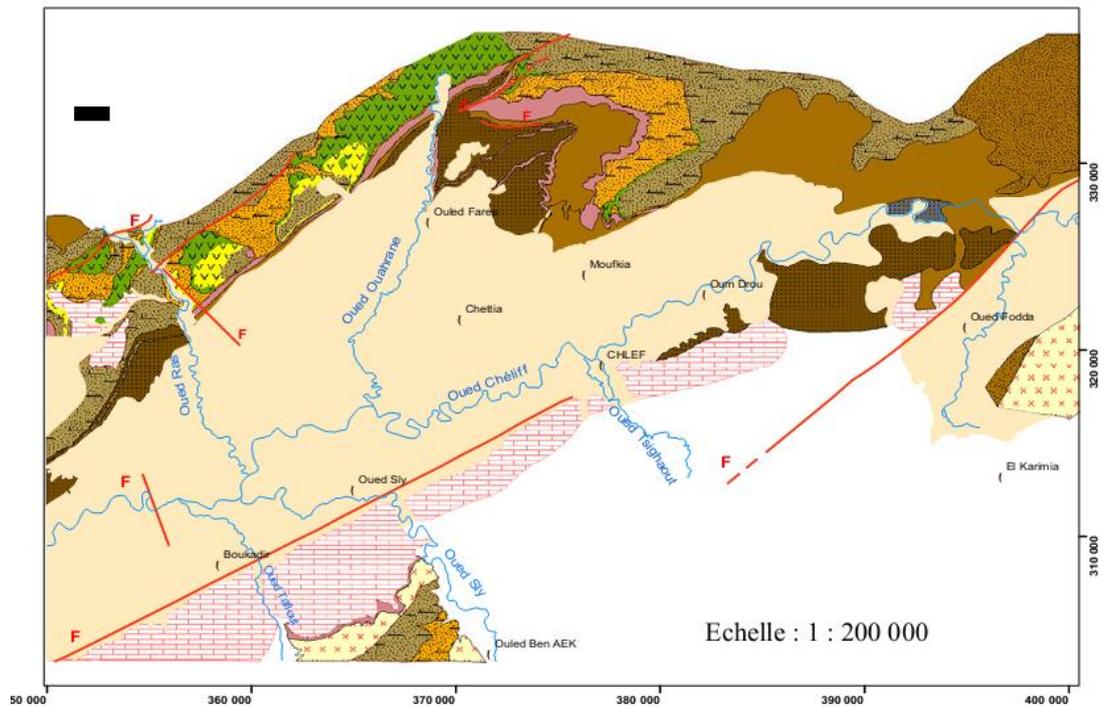
- Les calcaires jurassiques à lithothamnium.
- Les grès et marnes de base Miocène inférieur, Miocène supérieur, Pliocène marin et continental.
- Les alluvions quaternaires. La carte établie par l'ABH-CZ¹ en 2001. Les figures VII.4 et VII.5, identifie trois types de nappes dans le Moyen-Chéiff occidental

- **La nappe alluviale** : une nappe libre à multicouches avec un ou deux aquifères profonds plus productifs, constituée essentiellement d'alluvions (galets et gravier) ; sa recharge potentielle annuelle est de 12 hm³.

- **La nappe des grés et sable du Pliocène marin** : Elle présente un système aquifère à nappe libre ou captive. Sa partie libre est alimentée par le déversement de diverses sources situées dans les collines bordant la plaine du côté nord. C'est une réserve faible avec une recharge potentielle annuelle de 3 hm³ seulement.

- **La nappe du calcaire Lithothamnium** : Bordée entre la nappe Quaternaire au nord et le massif de l'Ouarsenis au sud, la nappe calcaire est considérée comme une réserve importante. Elle est à surface libre, à structure tabulaire ou plissée et/ou fracturée. La recharge potentielle annuelle est semblable à celle de la nappe alluviale 12 hm³ (ABH, 2001).

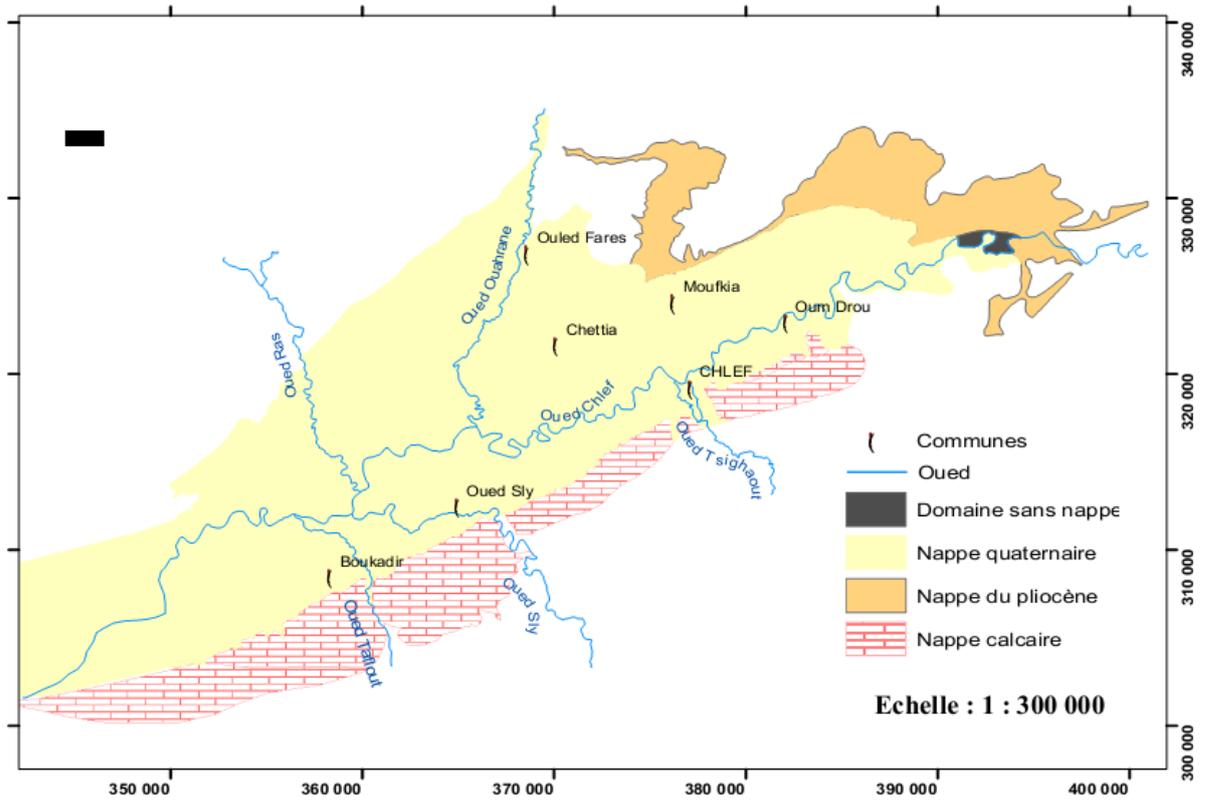
¹ Agence du Bassin Hydrographique – Chlef Zahrez



Source : (ABH, 2001)

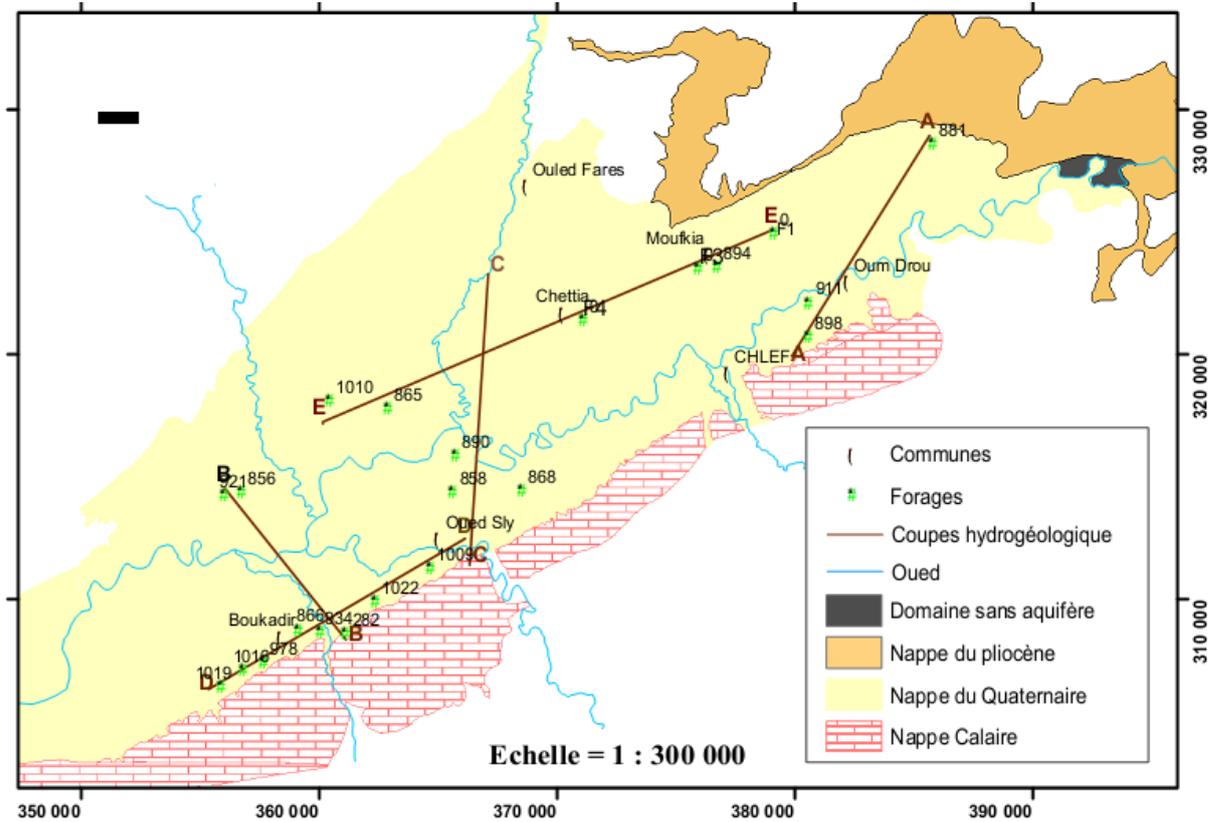
quaternaire	Quaternaire (récent – ancien)	Communes Oued Faille
Grès à Hélix	Pliocène Continental	
Grès Astiens	Pliocène Marin (Plaisancien – Astien)	
Marnes		
grès de base		
Marnes à Gypse	Miocène Supérieur (Vindobonien)	
Gypse massif		
Marnes à Tripoli		
Grès Grossier		
Calcaires Recifaux Lithothamnium		
Marnes		
Marnes	Miocène Inférieur (Burdigalien)	
Substratum Antimiocène		

Figure VII.3 : Carte géologique du Moyen-Chéiff occidental



Source : (ABH, 2001)

Figure VII.4 : La carte des nappes du Moyen-Chélif occidentale



Source : (ANB, 2001)

Figure VII.5 : Carte des coupes hydrogéologiques

VII.3.5. Ressources en eau

La plaine du Moyen-Chélif comporte des potentialités considérables en eau, malheureusement l'absence d'une politique d'aménagement et de gestion rationnelle fait que la plaine n'en profite pas.

VII.3.5.1. Les ressources superficielles

Les principales ressources superficielles du Moyen-Chélif occidental sont constituées par deux retenues implantées sur la rive droite de l'oued Chlef :

-Le barrage d'Oued Fodda, situé à 20 Km au sud-est de la ville de Chlef, construit en 1932 avec une superficie de 800 km² et une capacité de rétention de 215 hm³, cette capacité se trouve diminuée de deux tiers soit : 75hm³ en début de l'année 2000 (ANB, 2011).

-Le barrage de sidi Yakoub, implanté dans la gorge de oued Lardjam sur l'oued Sly au sud-ouest de la ville de Chlef dans la commune de Ouled Ben Abdelkader, mis en service en 1985 pour une capacité de 280 hm³, Il est alimenté par le massif de l'Ouarsenis au sud qui est constitué de calcaire perméable et augmente, par conséquent, sa dureté totale. En plus de ces deux ressources, la plaine pourrait aussi être alimentée à partir des autres ressources en eau superficielle du bassin du Chélif, telles que les eaux non régularisées excédentaires du Chélif. La surface agricole de périmètre du Moyen Cheliff irriguée par les deux barrages à partir des superficies des cultures.

Tableau VII.8: Les superficies irriguées par les deux barrages

Cultures	Barrage d'Oued FODDA (Ha)	Barrage de sidi YACOUB (Ha)
Agrumes	1 556,72	1 601,26
A.F.Divers	183,56	320,52
Oliver	75,45	100,69
C. Mar. (S)	553,37	1 020,50
C. Mar. (A/S)	393,30	6,00
C. Indus	14,40	11,25
Céréale	/	/
Culture. Four	12,7	27,20

Source (ONID. 2012)

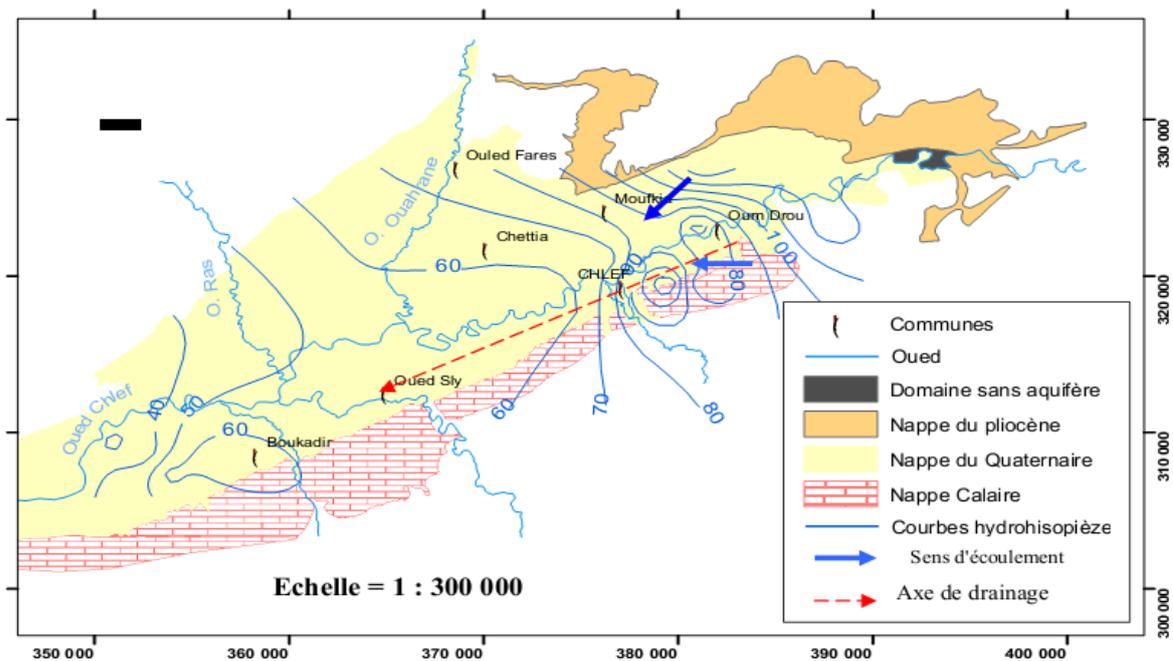
VII.3.5.2. Ressources en eau souterraine

Les trois nappes citées précédemment sont exploitées à partir de puits et forages disposés surtout le long de l'oued Chlef dans la nappe du Quaternaire (Figure VII.6). Les profondeurs varient de 5 m à 210 m avec une moyenne de 32 m. L'eau extraite est utilisée pour la consommation humaine, abreuvoir des animaux, quelques industries et surtout l'irrigation dont la qualité est résumée dans le tableau suivant (tableau VII.8).

Tableau VII.9 : Types d'eau et qualité chimique des eaux souterraines du Moyen-Chélif occidental d'après l'ABH-CZ (2011)

Nappe	Type d'eau	Résidu sec à 105°C (mg/l)	Teneur en nitrates (mg/l)
Quaternaire	Chloruré sodique	2004	50
Calcaire	Chloruré calcique et chloruré sodique	1997 à 2929	72
Pliocène marin	Chloruré calcique et bicarbonaté calcique	1700	57

La valeur élevée du résidu sec à 105°C des eaux des nappes de la région, qui dépasse les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (norme = 1500 mg/l), indique la forte concentration pour tous les éléments chimiques confondus. Les polluants d'origine agricole présentent aussi une menace du fait de la teneur des nitrates dont la teneur minimale est égale à la norme (50 mg/l).



Source : (ANB, 2004)

Figure VII.6 : Carte piézométrique

VII.3.5.3. Qualité des eaux des barrages

VII.3.5.3.1. La salinité

Parmi les différents caractères physico-chimiques d'une eau d'irrigation, la salinité constitue l'aspect le plus important. L'irrigation avec des eaux chargées en sel entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse du rendement pouvant aller jusqu'au dépérissement.

Parallèlement, un excès de sodium peut engendrer l'alcalinisation et la dégradation de la structure du sol. La connaissance de la qualité d'eau permet le choix des sols irrigables et le choix des cultures. La classification des eaux d'irrigation est basée sur deux critères principaux :

➤ **La conductivité électrique de l'eau**

La conductivité électrique (CE) mesurée à 25°. , exprimée en (µS/cm) nous rend compte de la salinité globale des eaux.

Le classement des eaux d'après la (CE) proposé par le laboratoire de Riverside est donné par la classification dans le tableau suivant:

Tableau VII.10 : Classement des eaux d'après la conductivité électrique (CE)

Classe	Mesure de CE à 25°	Type d'eau
C1	CE < 250 µS/cm	eaux non salines
C2	250 < CE < 750 µS/cm	eaux à salinité moyenne
C3	750 < CE < 2250µS/cm	eaux à forte salinité
C4	2250 < CE < 5000 µS/cm	eaux à très forte salinité
C5	5000 < CE < 20000µS/cm	eaux à salinité excessive

➤ **Le SAR (sodium absorption ration)**

L'évolution du danger d'alcalinisation du sol, par effet de l'eau d'irrigation est basée sur la valeur du coefficient d'absorption du sodium de l'eau par le sol à l'équilibre, le SAR est donné par:

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

D'où Na⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ sont les teneurs en milli valences de solution du sol, quatre classes de risque alcalin ont été définies à partir du SAR:

S1: risque faible: SAR ≤ 10: eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

S2: risque moyen 10 < SAR ≤ 18: le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et a forte capacité d'échange, surtout dans des conditions de faible lessivage, cette eau est utilisable sur les sols à texture grossière ou les sols organiques.

S3: risque élevé: $18 < SAR \leq 26$: eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, leur emploi exigera la mise en œuvre d'un aménagement spécial comme le bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques.

S4: risque très élevé: $SAR > 26$: le danger d'alcalinisation est très fort ;de telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si leur faible salinité permet l'addition du calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment [28].

Les eaux utilisables pour l'irrigation de la zone d'étude présentent des caractéristiques de salinité de qualité chimique illustrées dans le tableau suivant :

Tableau VII.11 : Composition chimique et la qualité d'eau de barrage destinai à l'irrigation selon l'ABH de Chlef.

		Oued Cheliff (Oum-Drou)
Salinité (g/l)		1,20 à 1,70
Conductivité électrique (microhms/cm)		1,7 à 2,5
Bilan ionique (mg/l)	Ca ⁺⁺	4,9 – 5,7
	Mg ⁺⁺	5,5 – 9,3
	Na ⁺	6,5 – 11,3
	Cl ⁻	6,6 – 10,2
	SO ₄ ⁻	7,7 – 11,7
	CO ₃ H	2,9 – 3,7
SAR		2,85 – 4,13

Source :(ABH de Chlef, 2011)

La connaissance de la conductivité électrique et du SAR permet d'afficher à une eau d'irrigation un couple (C.S) caractérisant sa qualité.

***C1 – S1:** bonne qualité pour l'irrigation; précaution à prendre avec les plantes sensibles

***C1-S2, C2-S1:** qualité moyenne à bonne ; utiliser avec précaution dans les sols mal drainés et pour les plantes sensibles.

***C2-S2, C1-S3, C3-S1:** qualité moyenne à médiocre, à utiliser avec précaution, nécessite un drainage avec doses de lessivage et ou apports de gypse.

***C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1:** qualité médiocre à mauvaise, encoure les plantes sensibles et les sols lourds ; utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés et avec dose de lessivage et ou apports de gypse.

*C2-S4, C4-S2, C3-S3: qualité mauvaise a n'utiliser avec beaucoup de précautions que dans les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes, risque élevé lessivage et apports de gypse indispensables.

*C3-S4, C4-S3: qualité très mauvaises, à n'utiliser que dans circonstances exceptionnelles.

*C4-S4: déconseillé pour l'irrigation.

Les eaux de l'Oued Cheliff (Oum-Drou) se trouvent dans la classe C3-S1. Les eaux de cette classe sont d'une qualité moyenne à médiocre à utiliser avec précaution, nécessite un drainage avec dose de lessivage et ou apport de gypse.

VII.4. Choix des cultures à pratiquer

Ce choix doit tenir compte de deux éléments principaux : la salinité et la toxicité. La tolérance d'une culture vis-à-vis de ces facteurs est fonction de son stade de développement. L'aptitude d'un sol à recevoir des eaux usées épurées est à la fois fonction de la nature du sol lui-même et du type d'épuration subit par l'effluent [1]. Le périmètre proposé pour l'irrigation en utilisant les eaux épurées a une surface de 71 ha (Figure VII.1).

Différentes propositions d'implantation ont été faites. Notre choix s'est porté sur la culture d'olivier. Ce dernier permet d'avoir un rendement annuel équilibré malgré les changements climatiques et les problèmes pathologiques [29].

Pour l'implantation des oliviers, un espacement entre 5 – 7 m est recommandé. Le nombre d'arbres par hectare est calculé comme suit (Figure VII.7) :

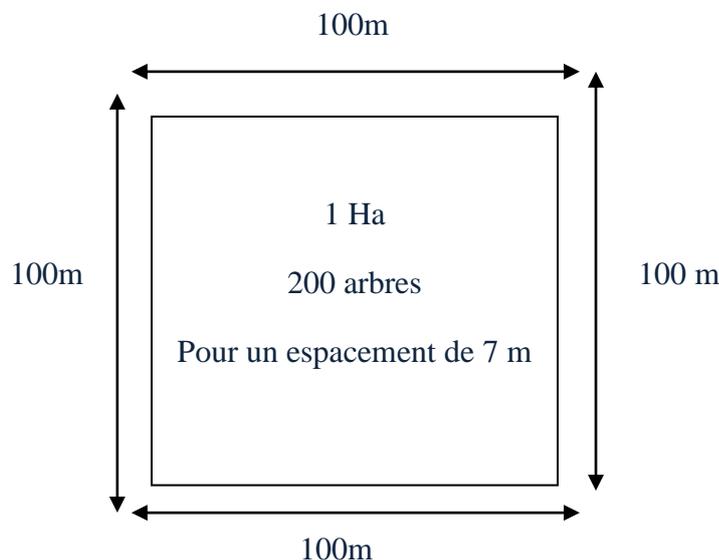


Figure VII.7 : Schéma explicatif de calcul

On a : $100/7 = 14,28 \approx 14$ arbres par ligne ;

Alors : pour un hectare, le nombre d'arbres est de $14 \times 14 = 196 \approx 200$ arbres.

Pour les 71 hectares proposés pour notre projet, le nombre d'arbres sera :

$200 \times 71 = 14200$ arbres.

Notre choix s'est porté sur la variété SIGOISE dont, quelques caractéristiques sont données dans le tableau VII.11. (Le choix a été fait en concertation avec les agriculteurs de la région).

Tableau VII.12 : Caractéristiques de la variété d'oliviers choisie

Variété	% occ sol	Socc m ²	Nar	Rdt /ar kg	Rdt total kg	PU DA	P T DA
SIGOISE	100	710000	14200	60	852000	70	59640000

Avec :

- % occ : % d'occupation sol ;
- Socc : surface occupée ;
- Nar : nb arbre/variété ;
- Rdt /ar : rendement /arbre ;
- Rdt total : rendement total ;
- PU : prix unitaire ;
- PT : prix total.

En calculant d'une façon très sommaire, le périmètre d'étude proposé peut remporter annuellement 59 640 000 DA (sans prendre en charges les frais d'entretien, d'arrosage) Supposant que les charges (tous frais confondus sont à 50%), le périmètre en question peut remporter 29820000 DA ≈ 30000000 DA

VII.4.1. Calcul des besoins en eau

Pour déterminer le volume d'eau épurée dont on a besoin pour irriguer les 71 ha annuellement on doit calculer le volume de rejet au niveau de la STEP, la précipitation moyenne annuelle et les besoins en eaux.

Les besoins en eau des oliviers sont évalués à partir de la différence entre la consommation en eau de l'olivier et les disponibilités en eau sur une période établie.

$$\text{Besoins en eau} = \text{consommation en eau} - \text{disponibilités en eau} \quad (\text{VII.1})$$

La consommation en eau de l'olivier correspond globalement à son évapotranspiration. Celle-ci est directement liée aux conditions climatiques: rayonnement solaire, température, humidité de l'air, vent...

L'évapotranspiration réelle (ETR) de l'olivier est estimée grâce au calcul suivant:

$$\text{ETR} = \text{ETP} \times \text{Kc} \quad (\text{VII.2})$$

- **ETP**: L'évapotranspiration potentielle est une donnée de référence mesurée en stations météorologiques. Elle est exprimée en millimètre d'eau. Divers organismes sont susceptibles de fournir les moyennes d'évapotranspiration potentielle.
- **Kc**: Un coefficient cultural est appliqué à l'ETP afin de déterminer l'évapotranspiration réelle de l'olivier. Ce coefficient cultural est spécifique à l'olivier et dépend de son stade de développement.

VII.4.1.1. Evapotranspiration potentielle

- Méthode de Thornthwaite

Thornthwaite a proposé une formule basée essentiellement sur les températures de l'air [27].

$$ETP = 16 \times \left(\frac{T_m}{I} \times 10 \right)^a \times K_c \quad (\text{VII.3})$$

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm ;

T_m : Température moyenne annuelle en °C ;

K_c : Coefficient de correction.

I : somme de 12 indices mensuels (i) avec :

$$i = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514} \quad (\text{VII.4})$$

$$a = \frac{1,6}{100} \times I + 0,5 \quad (\text{VII.5})$$

Avec a = 2,18

VII.4.1.2. Ruissellement

En utilise la méthode Tixeront-Berkaloff pour calculer de ruissellement :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad (\text{VII.6})$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en m ;

ETP : évapotranspiration potentielle en m ;

R : ruissellement annuel en m ;

Donc: P= 0,381 m/an;

ETP= 1094, 59 mm/an = 1, 09459 m/an;

R= 0,641 m/an

VII.4.1.3. Infiltration

L'équation générale du bilan est de la formule suivante:

$$P = ETR + R + I \quad (\text{VII.7})$$

$$I = P - (ETR + R)$$

$$I = 0,52 \text{ m.}$$

Avec:

P: précipitation moyenne annuelle en m ;

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en m ;

R : ruissellement annuel en m ;

I : infiltration en m.

Les précipitations moyennes annuelles sont 381,2 mm/an et la valeur de la température moyenne annuelle est de 20,31°C. L'évapotranspiration potentielle est très importante : elle est de 1094,59 mm/an et présente son maximum aux mois de juillet et août et minimum aux de janvier et février. L'évapotranspiration réelle d'après les calculs est de 264,71 mm/an. Le

ruissellement ou la quantité d'eau disponible pour le ruissellement atteint 641,77 mm/an. L'infiltration est environ de 0,52 m/an.

VII.4.1.4. Besoins théoriques

On peut calculer l'ETP mois par mois pour la période de végétation active de la culture considérée en utilisant les formules citées précédemment (VII.2 ; VII.3 ; VII.4 ; VII.6 ; VII.7).

$$\text{Bth (mm)} = \text{ETR} - \text{P} \quad (\text{VII.8})$$

Avec :

Bth : Besoins théoriques ;

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm);

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en (mm)

Les calculs du bilan sont résumés dans le tableau VII.12

.

Tableau VII.13 : Eléments du bilan hydrique mensuel moyen (1987-2012) calculés par méthode de Thornthwaite

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Température T (°C)	11,075	10,775	15,1	17,65	22,5	27,475	30,325	31,3	26,35	21,925	16,475	12,825	20,31
Indice mensuel (i)	3,33	3,20	5,33	6,75	9,75	13,19	15,32	16,07	12,38	9,37	6,08	4,16	104,94
Précipitation P (x 0,8) (mm)	39,2	38,48	31,12	32,24	24,08	5,28	2,16	3,76	15,92	27,6	44,08	41,04	304,96
k coef de correction	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	1,05	0,91	/
a	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	/
ETP (mm)	13,50	11,86	25,82	38,77	86,06	149,98	213,47	230,45	158,34	98,88	44,91	22,55	1094,59
Kc Coefficient cultural	0,1	0,1	0,15	0,2	0,225	0,25	0,25	0,3	0,275	0,2	0,125	0,1	/
ETR (mm) (ETR=Kc*ETP)	1,35	1,19	3,87	7,75	19,36	37,49	53,37	69,14	43,54	19,78	5,61	2,25	264,71
Bth (mm) = ETR-P	0	0	0	0	0	32,21	51,21	65,38	27,62	0	0	0	176,42

VII.4.1.5. Détermination des volumes d'eau mensuels

En se basant une série des volumes mensuels enregistrés pour la période 2009 à 2012 (ONA, 2013), on a calculé les volumes moyens mensuels donnés dans le tableau VII.13

Tableau VII.14 : Détermination des volumes moyens mensuels

Mois	Volumes moyens mensuels (m³)
Janvier (31 j)	139475,51
Février (28 j)	110280,8
Mars (31 j)	128425,87
Avril (30 j)	120600,9
Mai (31 j)	137917,14
Juin (30 j)	79405,5
Juillet (31 j)	116481,26
Aout (31 j)	198221,44
Septembre (30 j)	188699,4
Octobre (31 j)	161034,77
Novembre (30 j)	147106,8
Décembre (31 j)	139883,16

Source : (ONA, 2013)

Tableau VII.15 : Détermination des besoins théoriques et des volumes d'excès

valeur	Volume mensuels (m ³)	Besoins mensuels (m/mois)	surface irriguée (m ²)	Besoins mensuels (m ³ /mois)	Volume Excès (m ³)
Janvier (31 j)	139475,5	0	710000	0	-
Février (28 j)	110280,8	0	710000	00	-
Mars (31 j)	128425,9	0	710000	0	-
Avril (30 j)	120600,9	0	710000	0	-
Mai (31 j)	137917,1	0	710000	0	-
JUIN (30 j)	79405,5	0,03221	710000	22869,1	56536,4
Juillet (31 j)	116481,3	0,05121	710000	36359,1	80122,2
Aout (31 j)	198221,4	0,06538	710000	46419,8	151801,6
Septembre (30 j)	188699,4	0,02762	710000	19610 ,2	169089,2
Octobre (31 j)	161034,8	0	710000	0	-
Novembre (30 j)	147106,8	0	710000	0	-
Décembre (31 j)	139883,2	0	710000	0	-

Le besoin en eau annuel pour le périmètre de 71 ha est estimé à 0,105 hm³/an, En prenant, le volume de la station dépuracion, qui est de 0,457 hm³/an, on constate que le volume de la STEP est assez suffisant pour remplir les besoins et en cours avec un volume supplémentaire de l'ordre de 0,352 hm³/an.

VII.4.1.6. Doses et fréquence des arrosages

- **Dose théorique**

Les doses d'arrosage sont les volumes administrés au sol, nécessaires et suffisants pour satisfaire la capacité utile de rétention du sol sur toute la profondeur atteinte par les racines des plantes [27].

$$D = 4,5 \times P \times Da \times He \quad (VII.9)$$

Avec :

- D : dose d'arrosage en mm ;
- P : profondeur des racines en m ;
- He : Humidité équivalente ;
- Da : densité apparente du sol en place.

- **Dose pratique**

Pratiquement l'exploitant ne devra pas attendre de voir le taux d'humidité du sol tomber jusqu'à la valeur du point de flétrissement. Il devra donc suivre les variations de ce taux d'humidité et intervenir lorsque celui-ci ne représente plus qu'un tiers de la capacité de rétention, soit en définitive [27] :

$$D \text{ (mm)} = 3 \times P \times Da \times He \quad (VII.10)$$

Chapitre VII PROPOSITION DU PÉRIMÈTRE A IRRIGUER ET CALCUL DES BESOINS EN EAU

Le périmètre qui est proposé pour les oliviers est composé par des sols limons sableux ayant une profondeur de 55 cm ; et le tableau suivant nous désigne l'intervalle de la densité apparente et humidité équivalente (ONID, 2012).

Tableau VII.16 : Valeurs moyennes de la densité et humidité [27].

Sols	Densité apparente (Da)	He % Humidité équivalente
Argiles	1,10 à 1,30	30 à 50
Limons	1,30 à 1,50	20 à 30
Limons sableux	1,50 à 1,70	8 à 20
sables	1,70 à 1,80	2 à 20

Si $p=1525 \text{ mm} = 1,525\text{m}$

$D_a = 1,6$

$H_e = 14 \%$

Alors : $D = 102,48 \text{ mm} = 102,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

VII.4.1.7 Fréquence des arrosages

Si pour un mois donné, on a trouvé un besoin (B) et si on applique à chaque arrosage la dose pratique D_p , on devra effectuer dans le mois N arrosages :

$$N = B/D_p \quad (\text{VII.11})$$

Le tableau VII.16 conduit à déterminer des doses et fréquence des arrosages pour les 71 ha proposés.

Tableau VII.17 : Détermination des doses et fréquence des arrosages

mois	surface irriguée (m ²)	Besoins mensuels (m/mois)	$D_p 10^{-3} \text{ (m)}$	N
Janvier (31 j)	710000	0	102,48	-
Février (28 j)	710000	0	102,48	-
Mars (31 j)	710000	0	102,48	-
Avril (30j)	710000	0	102,48	-
Mai (31 j)	710000	0	102,48	-
JUIN (30 j)	710000	0,03221	102,48	1
Juillet (31 j)	710000	0,05121	102,48	1
Aout (31 j)	710000	0,06538	102,48	1
Septembre (30 j)	710000	0,02762	102,48	1
Octobre (31 j)	710000	0	102,48	-
Novembre (30 j)	710000	0	102,48	-
Décembre (31 j)	710000	0	102,48	-

Chapitre VII PROPOSITION DU PÉRIMÈTRE A IRRIGUER ET CALCUL DES BESOINS EN EAU

Une dose de 102,48 mm correspond à un volume d'eau de 105648 m³ pour l'irrigation de 14200 arbres, soit 7,44 m³/arbre.

Si on fixe un temps d'arrosage de Trois heures (10800 secondes), le débit d'arrosage pour chaque arbre est de 0,68 l/s.

VII.4.1.8 Signalisation des équipements du réseau d'irrigation dans le cadre de l'utilisation des eaux usées épurées

- ✚ Sur les ouvrages des équipements, une plaque inamovible sera installée « Eau non potable et impropre à la consommation ».
- ✚ Canalisations externes transportant les eaux usées épurées doivent être marquées d'une bande rouge.



Figure VII.8 : conduite de transport

- ✚ Toutes les sorties des équipements doivent être peintes en rouge et porter sur un écriteau visible, de dimensions minimales 30 cm x 30 cm, portant la mention « Eaux usées pour l'irrigation. ».(ONID, 2007).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail nous a permis d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux épurées au niveau de la station d'épuration de Chlef. A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons dire que le rabattement des paramètres de pollution tels que la DBO₅, la DCO et les MES montre bien l'efficacité des traitements des eaux usées.

Tous les résultats d'analyses chimiques et microbiologiques de l'eau usée épurée présentent des valeurs qui sont en grande partie conformes aux normes internationales d'une eau d'irrigation (OMS). Il reste toutefois l'inconvénient de la production massive de la boue et de la forte consommation en énergie.

Les conditions de traitements secondaires permettent de garantir une qualité d'eau pouvant être utilisée pour l'irrigation des cultures non destinées à être consommées crues. La permanence d'une bonne gestion du système de traitement, est une disposition nécessaire pour prévenir d'éventuelles nuisances.

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation. D'un point de vue sanitaire, la quantité de contamination qui parvient dans l'environnement se nomme la charge excrétée. Sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées, et notamment de la proportion d'individus d'infectés et des conditions d'hygiène. Elle peut être considérablement réduite par un traitement adéquat. Ce dernier est donc impératif dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées.

Les cultures fourragères, les cultures maraîchers et les fruitiers à noyaux seraient à déconseiller si les teneurs en métaux lourds s'avéraient trop grandes. Pour des applications autres que celles envisagées en irrigation, les traitements à envisager doivent conduire à la production d'une eau ayant des qualités proches de celles exigées pour l'eau potable.

Ces résultats sont encourageants, néanmoins certains points restent encore à éclaircir à savoir le comportement des plantes en fin de cycle, et les effets de cette eau sur les cultures en plein champ ainsi que l'impact de l'utilisation de cette eau sur la qualité sanitaire du produit récolté et de la texture du sol. Le traitement de l'eau doit absolument subir un traitement tertiaire (désinfection) pour pouvoir être utilisé dans l'irrigation des cultures maraîchères. Néanmoins, d'autres études sont recommandées pour approfondir d'avantage la réutilisation des eaux usées particulièrement dans les zones arides et semi-arides du fait de la particularité des sols (sols légers et minces).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Belaid Nabil, 2010, Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué, Thèse de doctorat, université de Limoges, 236 p.
- [2] Micro stations d'épuration, Définition: Eaux Usées, Micro-station.net, definition-eaux-usees.html (Consulter le 18-12-2012).
- [3] Baumont.S, J.P.Camard, A. Lefranc, A. Franconi, Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, 2000.
- [4] Asano T., 1998, Irrigation with Reclaimed municipal waste water: California Experiences. Options Méditerranéennes. Serie A. Séminaire Méditerranéen 1. Reuse of Low Quality Water for Irrigation in Mediterranean Countries.
- [5] Faby J.A., Brissaud F., L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Office International de l'eau, 1997, 76 pages.
- [6] FAO (2003), L'irrigation avec des eaux usées traitées: Manuel d'utilisation. 73 p.
- [7] Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Derrat, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret, la réutilisation des eaux usées après épuration, Techniques, Sciences et Méthodes, 1996, 2, pp: 81-118.
- [8] Hamoda M.F. (2004), Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries, Desalination, 165, pp: 31-41
- [9] Epuration des eaux résiduaires urbaines, eaux usées-municipales, www.degremont.fr.
- [10] Mekhalif Faiza, réutilisation des eaux résiduaires Industrielles épurées comme eau d'appoint Dans un circuit de refroidissement, 2009.
- [11] Faurie. C et al. , 2003, Ecologie, approche scientifique et pratique, Ed: Tec & Doc, 5^{ème} édition, 407 p.
- [12] Deshayes M., Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés, 2008.
- [13] Belahmadi M, Seddik O, Etude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'ibn ZIAD, 2011.
- [14] Anonyme, procédés extensifs d'épuration des eaux usées, adaptés aux petites et moyennes collectivités, 1991, Waterguide.fr

BIBLIOGRAPHIE

- [15] Hatem. Dhaoudi, Traitement des Eaux Usées Urbaines Les procédés biologiques d'épuration, Université Virtuelle de Tunis, 2008.
- [16] Memotec N°24, 2006, l'élimination de la pollution azotée es eaux résiduaires urbaines, www.gls.fr
- [17] Réutilisation ou recyclage des eaux, fr.wikipedia.org. Html (consulté le 18-12-2012).
- [18] Mechebbek M.A, La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture, Etat de l'agriculture en Méditerranée, Ressources en eau, développement et gestion dans les pays méditerranéens. Bari, CIHEAM, 1993. p. 75-84 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 1(1)).
- [19] Rapport National du Maroc, 2011, Projet de Renforcement des Capacités sur l'Utilisation sans danger des Eaux Usées en Agriculture
- [20] European Commission, (2002):Euro-Mediterranean Regional Programme For Local Water Management, Guidelines for Applicants, to Call for Proposals 2001, European Commission, Euro-Mediterranean partnership.
- [21] Boumont. S. 1999, reutilisation des eaux uses épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France.176p.
- [22] Monod. J., 1989, Mémento technique de l'eau, Tome II, 1989, Dégrèvement. 9^{ème} édition, 1459 p.
- [23] Mayouf. A, Sadi M. F, 2010, effets des eaux usées épurées de la STEP de CHLEF sur le chimisme des eaux d'oued CHLEF,
- [24] Lazarova V. et Brissaud F. (2007), Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances, N° 299
- [25] Peasey A., Blumenthal U., Mara D., Ruiz-Palacios G., (2000), A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. WELL Study, <http://www.iboro.ac.uk/well/>.
- [26] Medkour M., 2003, Reutilisation des eaux usees epurees, Seminaire sur le secteur de l'eau en Algerie, Ministere des Ressources en eau, 12 p.
- [27] Mémento de l'agronome, (1999), troisième édition, ministère de la coopération.
- [28] Brouwer. C, gestion des eaux en irrigation manuel de formation n°5 méthodes d'irrigation.
- [29] Ministère de la coopération et du développement, 1991, Mémento de l'agronome, 4^{ème} édition,

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE I

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

25 Chaâbane 1433
15 juillet 2012

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41

21

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Le ministre des ressources en eau,

Le ministre de l'agriculture et du développement rural,

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la normalisation ;

Vu le décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 15 du décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer la liste des cultures autorisées pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées conformément à l'annexe jointe.

Art. 2. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012.

Le ministre
des ressources en eau

Abdelmalek SELLAL

Le ministre de l'agriculture
et du développement rural

Rachid BENAÏSSA

Le ministre de la santé,
de la population et de la réforme hospitalière

Djamel OULD ABBES

ANNEXE

LISTE DES CULTURES POUVANT ETRE IRRIGUEES AVEC DES EAUX USEES EPUREES

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (1)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (2)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

(1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

(2) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

ANNEXES

2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES

	PARAMETRES	UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercur	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

ANNEXES

SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol.

L'irrigation par aspersion est à éviter.

2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation (au moins une semaine avant la coupe).

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

ANNEXES

ANNEXE II

LES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

Détermination des matières en suspension (MES)

Mode opératoire :

- On prend deux papiers filtre (sans sandre) et on les mentionne respectivement C et D (C pour eau du bassin C et D pour eau du bassin D).
- On sèche les papiers filtres dans l'étuve à 105 °C pendant 2 heures.
- Après les 2 h, on retire les papiers filtres et on les place dans le dessiccateur pour absorber l'humidité
- Ensuite, on les pèse à l'aide d'une balance électrique, le poids obtenu est P_0 .
- On place le filtre un par un dans l'entonnoir dont on verse $v=100$ ml de l'échantillon et on réalise une filtration sous vide.
- Lorsque la filtration sous vide est achevée, on retire les filtres alourdis par le filtrat (matière en suspension) et on les place dans l'étuve à 105 °C pendant 2 heures pour séchage.
- Après les 2 heures, on retire les filtres de l'étuve et on les pèse à nouveau, le poids obtenu est P_1 .

Calcul de la matière en suspension :

$$\text{MES (g/l)} = (P_1 - P_0) / v$$

Où : MES : matière en suspension (g/l).
 P_1 : poids de filtre après séchage (g).
 P_0 : poids de filtre vide (g).
V : volume filtré (l).

Dosage de nitrate

Mode opératoire :

- Par une micropipette, on verse 1 ml de l'eau de sortie dans un tube qui contient le réactif A de nitrate.
- On mélange le tube 10 fois soigneusement, puis on règle le spectrophotomètre à 0 mg/l.
- On ouvre le tube et on verse le contenu d'un sachet de réactif B de nitrate.
- On ferme bien le tube et on l'agite doucement (la dissolution de la poudre n'est pas nécessaire) puis lance un chronomètre de 05 minutes, une coloration jaunâtre va apparaître.
- Après les 5 minutes, on effectue la lecture dans le spectrophotomètre, les valeurs s'affichent en mg/l.

ANNEXES

Dosage de l'ammoniac :

Mode opératoire :

- Ce type d'analyse concerne l'eau d'entrée et l'eau de sortie.
- On rince l'embou de la micropipette par l'eau distillée pour éviter toutes contaminations possibles.
- A l'aide de la micropipette on verse dans 03 tubes contenant le réactif de l'ammoniac :
 - Tube (1) : réactif de l'ammoniac + 0,1 ml d'eau distillée.
 - Tube (2) : réactif de l'ammoniac + 0,1 ml d'eau d'entrée.
 - Tube (3) : réactif de l'ammoniac + 0,1 ml d'eau de sortie.
- On verse dans chaque tube respectivement le contenu d'un sachet de poudre de salicylate suivi par un sachet de poudre de cyanurates.
- On agite les tubes bien jusqu'à la dissolution complètes des poudres ajoutées.
- On lance un chronomètre de 20 minutes, il ya apparition d'une coloration verdâtre en présence de fortes concentrations d'ammoniac ;
- On effectue la lecture au spectrophotomètre, les valeurs sont affichés en mg/l.

Remarque :

- L'ajout des poudres doit être dans l'ordre : salicylate puis cyanurates si non la lecture ne peut pas être effectuée.
- L'agitation des tubes après addition des poudres est indispensable pour ne pas fausser les résultats.
- Avant d'effectuer la lecture on doit nettoyer les tubes de l'extérieur pour ne pas fausser les résultats.
- En cas d'un échantillon d'eau brute concentrée, On doit dans ce cas effectuer une dilution, on remplit 50 ml de l'eau brute dans une éprouvette de 100 ml, puis compléter le volume par l'eau distillé jusqu'à l'obtention de 100 ml;

Dosage de la Demande chimique en oxygène (DCO) :

Mode opératoire :

- On utilise pour cette analyse 03 kits préparés de DCO, où on ajoute à chacun :
 - Tube (0) : 02 ml d'eau distillée.
 - Tube (1) : 02 ml d'eau brute d'entrée.
 - Tube (2) : 02 ml d'eau épurée de sortie.
- On ferme les tubes et on les agite rigoureusement, on les place dans un bloc chauffant DCO à 150 °C pendant 120 minutes.
- Après incubation, on retire les tubes, on les agite encore une fois, ensuite on les laisse refroidir 20 minutes à la température ambiante.
- A la fin, on fait la lecture au spectrophotomètre en réglant le 0 par le tube du témoin.

Remarque :

- Dans le spectrophotomètre on choisi le programme de DCO 1500 ppm pour pouvoir lire la valeur exacte.

ANNEXES

Dosage de la Demande biologique en oxygène (DBO) :

Mode opératoire :

- On prépare deux flacons ombrés spécifiques à l'appareil du DBO₅ dont le volume d'eau pris est cité dans le tableau suivant :

Echantillon	Volume prélevé (ml)
Eau Brute (entrée)	95
Eau épurée (sortie)	420

- Les flacons remplis par le volume voulu, sont laissés à la température ambiante après l'ajout d'un barreau magnétique.
- On allume l'incubateur biochimique, c'est l'enceinte qui contient le DBO mètre dont on règle la température à 20°C.
- On prend chaque flacon et on le ferme par un bouchon en plastique perforé, on colle le bouchon avec le flacon par un gras spécifique au DBO mètre.
- Dans le bouchon on verse le contenu d'un sac de poudre d'hydroxyde de lithium.
- En fin, on place les flacons dans le DBO mètre, et on le règle à 700 mg/l pour l'eau d'entrée et à 35 mg/l pour l'eau de sortie.
- Après 05 jours d'incubation, les valeurs s'affichent en mg/l dans l'écran du DBO mètre

Remarque :

- La poudre d'hydroxyde de lithium ajoutée ne doit pas toucher l'échantillon si non on doit tout refaire.
- Dans le DBO mètre chaque échantillon a des paramètres propre à lui, donc il doit être régler d'une manière indépendante.

ANNEXES

ANNEXES III

Les résultats des paramètres physicochimiques durant la période de 29/01/2013 jusqu'à le 11/03/2013

DATE		paramètre physique						paramètre chimique				
		T °C	pH	COND (MS/CM)	TDS (mg/l)	SAL (%)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	N-NH3 (mg/l)	NT (mg/l)	N-NO3 (mg/l)
29/01/2013	Entré	12,9	7,25	3,14	1610	1,6	176	382	-	34,2	33	-
	Sortie	12,7	7,12	2,17	1094	1	7	51	-	2,5	11	11,7
30/01/2013	Entré	12,7	7,35	3,18	1630	1,7	655	1035	-	34,5	-	-
	Sortie	12,4	7,17	2,29	1157	1,2	9	41	-	5,4	-	19,9
03/02/2013	Entré	19,4	7,28	2,76	1401	1,4	646	337	246	28	-	-
	Sortie	13,2	7,04	2,81	1326	1,3	7	7	3,3	4	-	17,5
07/02/2013	Entré	12,3	7,29	3	1536	1,6	176	204	88	26	29	-
	Sortie	12,3	7,14	2,04	1023	1	4	47	8,8	0,3	17	18,8
14/02/2013	Entré	13	7,2	2,82	1438	1,5	487	392	162	31,8	41	-
	Sortie	12,1	7,09	2,64	1344	1,4	15	36	4,6	0,5	25	26
26/02/2013	Entré	12,8	7,06	3,6	1857	1,9	111	492	112	31,7	62	-
	Sortie	10	7,06	2,8	1427	1,5	5	66	5,8	0,3	22	10,9
28/02/2013	Entré	15	7,52	3,86	1998	2	165	410	-	55,9	-	-
	Sortie	12,1	7,2	3,04	1554	1,6	11	36	-	0,6	-	23,5
03/03/2013	Entré	15,3	7,13	2,73	1389	1,4	228	226	314	82,3	-	-
	Sortie	12,8	7,1	2,38	1203	1,2	8	48	4,4	0,4	-	22,4
07/03/2013	Entré	18,1	7,23	2,55	1296	1,3	521	877	-	64,3	79	-
	Sortie	15,3	7,16	2,53	1284	1,3	3	21	-	0,3	24,6	21,4
10/03/2013	Entré	17,2	7,09	3,14	1610	1,6	554	688	-	46,1	-	-
	Sortie	15	7,02	2,5	1207	1,3	3	38	-	0,3	-	18,7