

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

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE  
«ARBAOUI Abdellah »**

**DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU**

# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

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

**Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et de Drainage**

## **THEME :**

**Utilisation des eaux usées épurées de la station de  
Boumerdes pour l'irrigation des vergers  
d'arboriculture**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup> : AISSANI Aissa**

**Promoteur :**

**M<sup>r</sup> : RAISSI Omar**

**Devant le jury composé de :**

**Présidente : M<sup>r</sup> T. KHETTAL**

**Examineurs : M<sup>me</sup> S. LEULMI  
M<sup>r</sup> L.S.BAHBOUH  
M<sup>me</sup> H. BOUCHAMA  
M<sup>r</sup> M. MESSAHEL**

**Octobre 2011**

## ❧ REMERCIEMENTS ❧

*Au terme de ce travail, je tien à remercier sincèrement **DIEU** de m'avoir octroyé les moyens, et mes vifs remerciements à mon promoteur Mr RAISSI Omar de m'avoir orienté et pour ses conseils judicieux ses riche enseignement et sa constante disponibilité dans le but de mener à bien ce projet de fin d'étude.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, surtout M<sup>me</sup> BAHBOUH, qui m'a aidé beaucoup, sans oublier tout le personnel de l'ENSH.*

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

*Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail*

AISSANI AISSA

## ***DEDECACES***

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

*- A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard;*

*- A mon frère ;*

*- A mes sœurs ;*

*- A toute la famille ;*

*- A mes amis.*

**AISSANI AISSA**

## ملخص

في هذا المشروع قمنا بدراسة كيفية تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط 43 هيكتار الواقع في بلدية قورصو بالمياه انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة الواقعة في بلدية بومرداس. لهذا الغرض قمنا بدراسة عامة لمختلف خصائص المنطقة من حيث المناخ و من حيث الخصائص المتعلقة بنوعية التربة و كذلك نوعية المياه.

## Résumé

L'objectif de ce projet est la conception du réseau d'irrigation qui va alimenter en eaux usées épurées le périmètre de corso 43 HA à partir de la station d'épuration de Boumerdes. Pour cela nous avons fait une analyse des caractéristiques climatiques, pédologiques de la région ainsi que la qualité de l'eau d'irrigation.

## Abstract

The objective of this project is the conception of the irrigation network that is going to nourish in worn-out waters treated the perimeter of 43 Ha localized in Corso of from the station of purification of Boumerdes.

For it we made a general survey on the climatic feature as well as the characteristic of the soils of the region and the quality of water irrigation.

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION GENERALE

### CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

Introduction .....	01
I.1.objectif de la réutilisation des eaux usées : .....	01
I.2.historique de la réutilisation des eaux usées : .....	03
I.3. La réutilisation des eaux usées en agriculture : .....	04
I.3.1 Exemple de réutilisation des eaux épurées en agriculture dans le monde : .....	04
I.4. L'expérience Algérienne dans le domaine de réutilisation des eaux usées : .....	05
I.4.1.introduction.....	05
I.4.2.statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie .....	06
A. Situation de la réutilisation des EE en Algérie.....	06
A.1 Situation des stations d'épurations.....	07
I.4.3.Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture.....	08
I.4.4. Normes actuellement en usage.....	09
I.5. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux usées épurées : .....	12
I.5.1 Risque microbiologique : .....	12
I.5.2. Risque chimique.....	16
I.5.2.1 Eléments traces.....	16
I.5.2.2. Substances nutritives.....	18
I.5.2.3. la concentration saline des eaux.....	20
I.5.2.4 Les eaux souterraines (nappes).....	20
I.6. Stockage des eaux épurées : .....	21
I.6.1 Recharge de nappes aquifères : .....	21
I.6.2 Réservoirs de stabilisation : .....	21
I.7. Les bénéfices et les contraintes de la réutilisation des eaux usées : .....	21
I.7.1. Bénéfices et avantages de la réutilisation des eaux usées:.....	21
I.7.1.1. Ressource alternative : .....	21
I.7.1.2. Conservation et préservation des ressources : .....	22
I.7.1.3. Valeur économique ajoutée : .....	22

I.7.1.4. Valeur environnementale :.....	22
I.7.1.5. Développement durable :.....	22
I.7.2. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées :.....	23
I.7.2.1. Aspects législatifs et sanitaires:.....	23
I.7.2.2. Aspects sociaux :.....	23
I.7.2.3. Aspects économiques .....	23
I.7.2.4. Aspects environnementaux et agronomiques :.....	24
I.7.2.5. Aspects technologiques :.....	24
Conclusion :.....	24

## **CHAPITRE II : EAUX USEES ET PROCEDES D'EPURATION**

Introduction :.....	25
II.1. Les différentes qualités des eaux usées :.....	25
II.1.1. Les eaux usées domestiques :.....	25
II.1.2. Les eaux pluviales :.....	25
II.1.3. Les eaux usées industrielles :.....	26
II.1.4. Les matières de vidange :.....	26
II.2. les paramètres caractéristiques des eaux usées : .....	26
II.2.1. Les matières en suspension, dissoutes, et colloïdales :.....	27
II.2.2 Les matières organiques et les matières minérales :.....	28
II.2.3. Les matières biodégradables :.....	28
II.2.4 La demande biochimique en oxygène (DBO) :.....	28
II.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) : .....	29
II.2.6. Les matières azotées :.....	30
II.2.7. Les matières phosphorées :.....	31
II.2.8. Le pH :.....	31
II.2.9. La conductivité :.....	31
II.2.10. Les matières toxiques :.....	32
II.3. Composition des eaux usées :.....	32
II.3.1. microorganisme :.....	33

Les bactéries :.....	33
Les virus :.....	33
Les protozoaires :.....	33
Les helminthes :.....	33
II.3.2. Matières en suspension et matière organique :.....	34
II.3.3. Substances nutritives :.....	34
II.3.4. Eléments traces :.....	36
II.3.5. salinité :.....	36
II.4. Le processus et les systèmes de traitement des eaux usées .....	38
II.4.1. Le relevage .....	38
II.4.2. Traitement primaire :.....	38
II.4.2.1. Le prétraitement :.....	38
a. Le dégrillage :.....	39
b. Tamisage :.....	40
c. Dilacération :.....	40
d. Dessablage-déshuilage :.....	41
II.4.3. Traitement secondaire :.....	42
II.4.3.1. Traitement physico-chimique :.....	42
II.4.3.2. Traitement biologique :.....	43
-    Epuración biologique par boues activées :.....	43
II.4.4. Le traitement tertiaire :.....	47
II.5. Les systèmes de traitement des boues :.....	48
II.5.1. La stabilisation :.....	48
II.5.2. Réduction de la teneur en eau des boues :.....	50
II.5.3. les traitements de désinfection :.....	52
II.5.4. désignation des différents types de boues :.....	52
II.6. Dimensionnement d'une station d'épuration :.....	53
II.6.1. Critère de choix de site de la STEP :.....	53
II.6.2. Choix de procédés de traitement biologique :.....	54
Conclusion :.....	54

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BOUMERDES

Introduction :	55
III.1. Présentation de la ville de boumerdes :	55
III.2.Présentation de la station d'épuration de Boumerdes:	56
III.2.1.Le système d'assainissement de la ville de Boumerdes :	56
A. Installations épuratoires.....	56
B. Réseau.....	57
C. Stations de relevage.....	57
III.2.2.Coût de l'opération :	58
III.2.3.Objectif du traitement :	58
III.2.4.Définition de l'eau à traiter :	58
III.3.Les différents étapes de traitement :	58
III.3.1.Arrivée des eaux et bassin d'orage :	58
III.3.2. Prétraitement et traitement primaire :	59
a) Dégrillage :	59
b) Dessablage, dégraissage :	60
III.3.3. Traitement secondaire :	61
a) Ouvrage de répartition :	61
b) Aération biologique : bassins d'aération :	61
c) Décantation, clarification :	62
d) Fosses de recirculation:	63
III.3.4. Traitement complémentaire :	63
a) Canal de comptage et désinfection .....	63
b) Traitement des boues :	64
III.4. Appareils et instruments de mesure au niveau de la STEP :	65

III.5. Etude physico-chimique des eaux de la STEP de Boumerdes:.....	67
III.5.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation:.....	67
III.5.2. Classification des eaux d'irrigation:.....	68
III.5.2.1. Classification mondiale de la FAO (g/l) :.....	69
III.5.2.2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory):.....	69
A- Classification selon la salinité de l'eau CE :.....	70
B- Classification selon le risque d'alcalinisation SAR :.....	70
III.5.3. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP de Boumerdes.....	71
III.5.3.1. Normes de rejets :.....	71
III.5.3.2. Résultats d'analyses et interprétation :.....	71
Conclusion :.....	75

#### **CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

IV.1. Présentation du site :.....	76
IV.1.1. Localisation :.....	76
IV.1.2 Etude hydrogéologique de la parcelle à irriguer .....	76
IV-2. Climatologie :.....	76
IV.2.1. Pluviométrie moyenne mensuelle :.....	77
IV.2.2. Températures moyennes mensuelles :.....	77
IV.2.3. Humidité relative :.....	78
IV.2.4. Vents :.....	78
IV.2.5. Insolation :.....	79
IV.2.6. Evaporation :.....	79
V.3. Classification de climat :.....	81
V.3.1. Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTON:.....	81
IV.3.2. Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER:.....	83

IV.4. Etude hydrologique :.....	84
IV.4.1. Homogénéité de la série pluviométrique :.....	84
IV.4.2. Etude des pluies moyennes annuelles :.....	87
IV.4.2.1. Ajustement à la loi de Gauss.....	87
IV.4.2.2. Test de validité de l’ajustement à la loi de Gauss .....	91
IV.5. Etude pédologique.....	93
IV.5.1. introduction.....	93
IV.5.2. classification du sol de la région d’étude.....	93
Conclusion.....	96

## **CHAPITRE V : REGIME D’IRRIGATION**

V-1- Introduction :.....	97
V-2- Définition d’un régime d’irrigation.....	97
V-3- Besoins en eau des cultures.....	97
V-3-1. Définition .....	97
V-3-2. L’évapotranspiration.....	97
V-3-2-1. Méthodes d’évaluation de l’évapotranspiration .....	98
V-3-2-1-1. Méthodes directes .....	98
V-3-2-1-2. Méthodes indirectes.....	98
V-3-2-2. Calcul de l’évapotranspiration .....	100
V-4- Détermination des besoins en eau d’irrigation .....	101
V-4-1. Définition .....	101
V-4-2. Calcul des besoins en eau d’irrigation des cultures.....	106
V.5. Calcul des débits à transiter par le réseau collectif :.....	106
V.5.1. Débits spécifiques :.....	107
V.5.2. Débits caractéristiques :.....	107
Conclusion .....	109

## **CHAPITRE VI : SYSTEME D'ARROSAGE ET CALCUL HYDRAULIQUE DU RESEAU**

VI-1- Introduction .....	108
VI –2- Définition de l'irrigation au goutte à goutte .....	108
VI-3- Principe.....	108
VI-4- Avantages et inconvénients de l'irrigation au goutte à goutte.....	109
VI-4-1-Les avantages du goutte à goutte.....	109
VI-4-2- Inconvénients du goutte à goutte .....	110
VI-5- Champ d'application du goutte à goutte .....	111
VI-6- Description d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte .....	111
VI-6-1- Groupe de pompage .....	112
VI-6-2-Filtre à sable .....	112
VI-6-3- Filtre a tamis .....	112
VI-6-4- Régulateur de pression.....	113
VI-6-5- Les goutteurs.....	113
VI-6-6- Les distributeurs.....	113
VI-6-7-Les conduites.....	113
VI-6-7-1-Les rampes.....	114
VI-6-7-2- Les porte- rampes.....	114
VI-6-7-3- Les conduites principales.....	114
VI-7- Calcul de l'installation.....	115
VI-8- Calcul hydraulique du réseau.....	116
VI-8-1- Conditions hydrauliques .....	116
VI-8-2. Calcul de la rampe.....	117
VI-8-3. Calcul du porte-rampe.....	118
VI-8-4. La conduite principale.....	119
VI-9- La pression en tête de l'installation .....	120

VI-10- Choix de la pompe.....	121
VI-10-1. Débit de la pompe.....	121
VI-10-2. Hauteur d'élévation.....	121
VI-11- Capacité du bassin d'irrigation.....	122
VI-12-Adduction .....	122
Conclusion.....	123

## **CHAPITRE VII : ESTIMATION DU PROJET**

VII-1-Introduction.....	124
VII-2-Devis du réseau d'irrigation au goutte à goutte.....	124
VII-2-1-Dépenses des équipements.....	124
VII-2-2-Dépenses des travaux.....	125
Conclusion.....	126

## **CONCLUSION GENERALE**

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I-01:</b> formes de réutilisation des eaux usées :.....	03
<b>Tableau I-02:</b> nombre de STEP à l'échelle nationale.....	08
<b>Tableau I-03:</b> Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation.....	09
<b>Tableau I-04 :</b> Normes de réutilisation des eaux usées épurées :.....	10
<b>Tableau I-05 :</b> Les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture :.....	11
<b>Tableau I-06:</b> Les virus dans les eaux usées :.....	13
<b>Tableau I-07 :</b> Les bactéries pathogènes dans les eaux usées :.....	14
<b>Tableau I-08 :</b> Les parasites pathogènes dans les eaux usées :.....	14
<b>Tableau I-09 :</b> Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes :.....	15
<b>Tableau I-10:</b> Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C :.....	16
<b>Tableau I-11 :</b> Concentration maximale d'éléments à l'état de trace recommandée pour les eaux d'irrigations :.....	17
<b>Tableau II-01 :</b> les avantages et les inconvénients de traitement physico-chimique :.....	43
<b>Tableau II-02 :</b> Avantages et inconvénients du procédé à boues activées :.....	47
<b>Tableau III-1 :</b> les Trois stations de relevage :.....	57
<b>Tableau III-02 :</b> Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes) :.....	71
<b>Tableau III-03 :</b> Les résultats des analyses obtenus à l'entrée et à la sortie de la STEP :.....	72
<b>Tableau III-04 :</b> Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP.....	72
<b>Tableau III-05 :</b> Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP et au bassin du propriétaire terrain .....	72
<b>Tableau IV-1 :</b> Caractéristiques géographiques de la station de Boumerdes :.....	77
<b>Tableau IV-2 :</b> Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm) :.....	77
<b>Tableau IV-3 :</b> Températures moyennes mensuelles en (C°) :.....	78
<b>Tableau IV-4 :</b> Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en % :.....	78
<b>Tableau IV-5 :</b> Moyenne mensuelle de la vitesse des vents (m/s) :.....	79
<b>Tableau IV-6 :</b> Insolation mensuelle moyenne en heures :.....	19
<b>Tableau IV-7 :</b> Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne :.....	79
<b>Tableau IV-8:</b> Précipitations et températures moyennes mensuelles :.....	80
<b>Tableau IV-9 :</b> Classification de climat selon MARTON :.....	81

<b>Tableau IV-10</b> : Test de Wilcoxon pour la série des données de la station de Boumeres.....	86
<b>Tableau IV-11</b> : Ajustement interannuel à la loi normale de Gauss.....	89
<b>Tableau IV.12</b> : La pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% pour une période sèche (Zone de périmètre de Corso) :.....	91
<b>Tableau IV-13</b> : résultat analytique du profil :.....	95
<b>Tableau V-1</b> : Evapotranspiration en mm/jour :.....	100
<b>Tableau V-2</b> : Besoins en eau d'irrigation pour les oranges:.....	102
<b>Tableau VI-1</b> : Caractéristiques générales du réseau :.....	115
<b>Tableau VI-2</b> : Résultats de calcul théorique du réseau :.....	118
<b>Tableau VI-4</b> : les pressions aux extrémités du réseau .....	120
<b>Tableau VI-5</b> : Fiche technique de projet (l'adduction et le bassin d'accumulation).....	122
<b>Tableau VII-1</b> : Facture des pièces de réseau d'irrigation localisée.....	124
<b>Tableau VII-2</b> : Calcul de terrassement.....	126

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I-01</b> : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines :.....	02
<b>Figure II-01</b> : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède :.....	38
<b>Figure II-02</b> -Dégrilleur manuel :.....	39
<b>Figure II-03</b> -Grille mécanique :.....	40
<b>Figure II-04</b> : Schéma d'un dessableur-déshuileur :.....	41
<b>Figure II-05</b> : Racleur des graisses :.....	42
<b>Figure II-06</b> : Schéma de principe de l'épuration par boues activée :.....	44
<b>Figure II-07</b> : Épaississement des boues par flottation :.....	51
<b>Figure II-08</b> : la technique des lits de séchage :.....	52
<b>Figure III-01</b> ... schéma directeur d'assainissement de BOUMERDES.....	56
<b>Figure III-02</b> : L'arrivée de l'eau.....	59
<b>Figure III-0 3</b> : Dégrilleur de la STEP de Boumerdes.....	60
<b>Figure III-04</b> : Dessableur-dégraisseur de la STEP de Boumerdes.....	61
<b>Figure III-05</b> : Bassin d'aération De la STEP de Boumerdes :.....	62
<b>Figure III-06</b> : Aération dans un bassin biologique.....	62
<b>Figure III-07</b> : Décanteur secondaire –clarificateur De la STEP de Boumerdes.....	63
<b>Figure III-08</b> : Ouvrage de désinfection de la STEP De Boumerdes.....	64
<b>Figure III-09</b> : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes.....	67
<b>Figure IV-01</b> : Diagramme Ombrothèrmique de Gaussen.....	81
<b>Figure IV-02</b> : Diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....	83
<b>Figure IV-03</b> : Graphique d'ajustement interannuel des pluies moyennes (1985-2010) à la loi normale Station de BOUMERDES.....	90
<b>Figure V-01</b> : Zone du sol humidifié.....	104
<b>Figure VI-01</b> : la pression à chaque extrémité du réseau.....	121
<b>Figure VI-02</b> : pompe monobloc .....	122

## **LISTES DES PLANCHES**

PLANCHE I : PLAN DU RESEAU PROJETE

PLANCHE II : PLAN DE SITUATION

PLANCHE III : PLAN D'OCCUPATION DU SOL

## INTRODUCTION GENERALE

En raison de la rareté croissante des ressources naturelles en eau conventionnelle et étant donné la concurrence entre les secteurs du développement économique de point de vue demandent en eau, la valorisation des eaux usées traitées est considérée comme une composante essentielle dans la politique de gestion intégrée des ressources hydriques. Cependant, pour qu'elle soit inscrite dans un cadre de développement durable, la mise en valeur de la réutilisation de ces eaux exige une étude prudente et intégrée qui tien compte surtout des aspects environnementaux.

En effet, ces eaux usées véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

Le défi sera alors de concevoir et d'opérer une nouvelle génération de systèmes de gestion de l'eau qui soient en mesure de satisfaire la demande alimentaire dans un contexte de rareté de l'eau, tout en respectant les exigences de l'environnement.

Dans ce cadre, on a mené cette étude sur un périmètre d'une superficie de 43 Ha, localisé dans la région de Corso. Il s'agit de concevoir un réseau d'irrigation sur ce périmètre afin d'éviter toute évolution négative sur le milieu récepteur. En effet, les eaux de la station d'épuration de Boumerdes seront mobilisées dans ce domaine Pour cela, il est envisagé des analyses physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux pour une éventuelle utilisation dans l'irrigation.

Ce travail rentre dans l'économie d'eaux de première main et la protection de l'environnement, dans le cadre de développement durable.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

### Introduction :

On appelle réutilisation des eaux usées l'emploi nouveau des « eaux de deuxième main » pour un usage différent de celui de son premier emploi grâce à des actions volontaires.

La réutilisation peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

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

La définition stricte de la réutilisation exclut donc le recyclage. Il s'agit, dans ce cas d'une réutilisation interne des eaux dans un cycle de production dans le but du contrôle de pollution et de l'économie des ressources en eau. Le recyclage est en conséquence l'affaire de l'utilisation initiale.

La réutilisation des eaux sert à des usagers nouveaux par rapport aux usagers initiaux. Le nouvel usage nécessite en général un traitement des eaux pour les ramener à une qualité satisfaisante et compatible avec l'usage envisagé. [13]

### I.1. Objectif de la réutilisation des eaux usées :

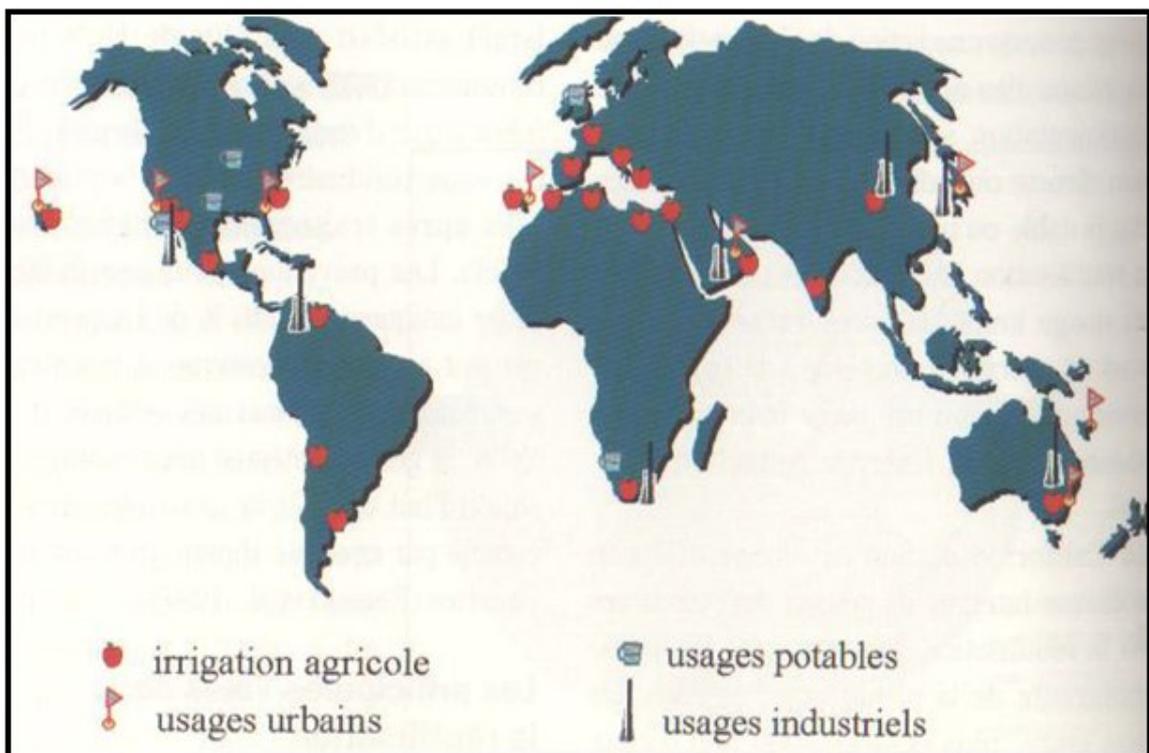
L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de Réutilisation peuvent être définies :

- ✓ Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel.
- ✓ Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvre respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau [3].

La figure suivante résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud.



**Figure I-01** : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

**Tableau I-01:** formes de réutilisation des eaux usées

Formes de réutilisation	Application
Production de l'eau potable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production indirecte d'eau potable</li> <li>- Production directe d'eau potable</li> </ul>
Irrigation en agriculture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Culture maraîchère ou fourragère                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbres fruitiers</li> <li>- Culture industrielle</li> <li>- Aquaculture</li> </ul> </li> </ul>
Activité récréative	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation des cours d'eau pour le pêche, natation</li> </ul>
Utilisation industrielle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eau de refroidissement</li> <li>- construction</li> <li>- papeterie</li> <li>- industries textiles</li> </ul>
L'utilisation urbaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Irrigation de parcs, écoles</li> <li>- Golfs, résidences</li> <li>- Protection incendie</li> <li>- Recyclage en immeuble</li> <li>- Lavage de voirie</li> </ul>

Source : [3]

### **I.2- Historique de la réutilisation des eaux usées :**

Les effluents urbains, ont été depuis longtemps, utilisés pour la production agricole (champ d'épandage du 19<sup>e</sup> siècle, en Angleterre, Allemagne, les régions parisiennes).

A partir de 1910 sous l'influence de l'extension urbaine, les nuisances générées par l'épandage d'eaux brutes, la pratique est entrée en régression sans que ce déclin soit dû à des considérations sanitaires objectives et précises [1].

Au milieu du siècle, une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et physico chimiques qui préside au processus de l'évolution et de la dégradation de la matière

organique, a favorisé, dans les pays industrialisés, de techniques épuratoires, qui avaient pour but de protéger le milieu naturel et en particulier, les cours d'eau récepteurs. [1]

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 les états 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-chimique et biologique.

Aux états unis, un milliard de mètre cube était recyclé annuellement en 1975, dont 60% pour l'agriculture (7 milliards pour l'année 2000). En Californie environ 180 millions de mètre cube par an était réutilisés dans l'agriculture en 1975.

Des pays du bassin méditerranéen ont suivi rapidement l'exemple : Espagne, Chypre, Grèce, Palestine, Tunisie (2000ha irrigués à partir des eaux usées épurées près de Tunis) [1]

### **I.3. La réutilisation des eaux usées en agriculture**

#### **I.3.1 Exemple de réutilisation des eaux épurées en agriculture dans le monde**

Les projets se concentrent autour de bassin méditerranéen et en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie. Certains pays comme la Tunisie ont une véritable politique nationale de réutilisation des eaux usées épurées.

- La **Tunisie** a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. A partir des années quatre-vingt, une politique de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6.400 ha de terres agricoles étaient irrigués avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30.000 ha dans les années suivantes.

Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 [3].

- **Israël** mène aussi une politique de réutilisation à l'échelle nationale. Le projet de la région de

Dan concerne 1,3 millions de personnes. Les eaux usées de Tel Aviv et des municipalités environnantes sont récupérées, traitées puis infiltrées par percolation dans une nappe phréatique.

Le prélèvement pour l'irrigation se fait par pompage dans la nappe. La réutilisation des eaux usées épurées est donc indirecte. Le passage dans la nappe est à la fois un stockage et un moyen de traitement [3].

- **États-Unis**, 34 états disposent de réglementations concernant l'usage agricole des eaux usées. La Californie fait office de précurseur. Sa réglementation sur la qualité des eaux et leur utilisation, dénommée «Title 22 », est une référence au niveau international. Respectivement 63 % (570.000 m<sup>3</sup>/j) et 34 % (340.000 m<sup>3</sup>/j) des eaux usées épurées des états de Californie et de Floride sont réutilisées pour l'agriculture. 70 % des effluents sont réutilisés pour l'irrigation agricole après un traitement type Titre 22 (filtration tertiaire et désinfection)[3].

Au **Mexique**, en 1996, les eaux usées brutes (non traitées) de Mexico étaient utilisées pour irriguer 85 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates, dans ce qui constituait le plus grand plan d'irrigation au monde. Les critères sanitaires de la réglementation ont depuis changé, ce qui est heureux au vu de l'étude épidémiologique réalisée dans cette région mettant en évidence une augmentation des maladies intestinales liées à l'irrigation par ces **eaux brutes** (Puil, 1998).

Des pays comme la **Grèce**, le **Portugal**, l'**Italie**, l'**Espagne** ont des programmes plus ou moins avancés de REUE pour l'agriculture. En Europe du nord, l'**Allemagne** et la **Hongrie** utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle.

Notons que, mis à part le cas exceptionnel de Mexico, aucun des rapports concernant ces différents cas de réutilisation ne fait état de problèmes sanitaires. [3].

## **I.4. L'expérience Algérienne dans le domaine de réutilisation des eaux usées :**

### **I.4.1.Introduction :**

Le degré de vulnérabilité d'un pays pour l'eau dépend de la quantité d'eau, de sa répartition dans le temps, de sa qualité, et du niveau de la consommation et de la demande. Alors que le climat est le facteur principal déterminant la quantité d'eau et sa répartition dans le temps, la population et le développement économique sont les influences prépondérantes pour la qualité et la demande.

Quand les ressources internes renouvelables en eau sont inférieures à 1000 m<sup>3</sup> par habitant, le manque d'eau est alors considéré comme un grave frein au développement socio-économique et à la protection de l'environnement. (FAO, 1993)

D'après les statistiques de disponibilité en eau de quelques pays (année 2000), établis par la FAO sur la base de données de la banque mondiale et d'autres organismes, l'Algérie était sous la barre des 1000 m<sup>3</sup> par an et par habitant, avec des ressources internes renouvelables estimées à 570 m<sup>3</sup>/an/habitant.

#### **I.4.2. statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie**

Etant donné que les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m<sup>3</sup>, dont 3.938 milliards destinées à l'irrigation (65%) (FAO.1999. étude sur l'agriculture en Algérie).

Et pour mieux analyser la situation, on citera les statistiques suivantes présentées par le Directeur de l'Hydraulique Agricole au Ministère des Ressources en Eau, dans le cadre d'une communication présentée à Rabat, du 09 au 12 juillet 2007, sous le titre « la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie ».

##### **A. Situation de la réutilisation des EE en Algérie:**

- ✓ Surface Agricole Utile (SAU) : 8,5 millions ha soit 3,3 % de la superficie géographique.
- ✓ Potentiel de croissance à moyen terme : 01 million d'hectares.
- ✓ Superficie Irriguée (2006) : 900.000 ha soit 10,5 % de la SAU. [19]
- **Irriguées principalement à partir des eaux souterraines soit 78%**
  - 674.000 ha irrigués à partir de :
    - 42.400 forages,
    - 132.000 puits,
    - 5.300 sources,
- **Eaux superficielles (13%):**
  - 109.000 ha irrigués à partir de :
    - 59 barrages totalisant une capacité de 440 hm<sup>3</sup>,
    - 318 retenues collinaires totalisant une capacité de 33,4 hm<sup>3</sup>,
    - 9.500 prises au fil d'eau,
    - 77.000 ha irrigués à partir de 1.120 points d'eau (Épandages de crues, foggaras, etc.)

- **Irrigation avec les eaux épurées :**

- ✓ Superficie irriguée en 2006: 410 ha.
- ✓ Superficie en projet: 12.000 ha.
- ✓ Superficie à irriguer à terme: 60.000 ha

### **A.1 Situation des stations d'épurations**

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau a entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation et la réhabilitation de STEP.

Les STEP conçues, répondent aux critères imposés par le Ministère des Ressources en Eau et qui consistent à :

- Protéger les eaux des retenues existantes contre la pollution et l'eutrophisation
- Protéger le littoral et les zones de baignades.

- **Eaux usées produites**

- volume annuel : 730 hm<sup>3</sup>/an
- volume annuel à l'horizon 2020: 01 milliard de m<sup>3</sup>/an.

- **Eaux usées épurées**

- Capacité installée actuelle : 270 hm<sup>3</sup>.
- Volume actuel épuré : 150 hm<sup>3</sup>.
- Capacité installée à l'horizon 2020: 972 hm<sup>3</sup>
- Capacité installée à l'horizon 2030 :1.271 hm<sup>3</sup>. [19]

- **STEP à boues activées**

Cent une (101) STEP sont en service. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m<sup>3</sup>/j pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras) à 750000 m<sup>3</sup>/j pour la STEP de Baraki (Alger). [19]

- **Lagunage**

Quatre-vingt treize (93) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré sont en service. Les capacités installées varient de 320 m<sup>3</sup>/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (AinTemouchent) à 42 000 m<sup>3</sup>/j pour la STEP de Ouargla. [19]

**Tableau I-02 : Nombre de STEP à l'échelle nationale.**

Procédé de traitement	Etat	Nombre
Boue activée et lagunage	En exploitation dont six (6) en travaux de réhabilitation et une (1) en étude de réhabilitation	41
	En travaux	51
	En voie de lancement	33
	En travaux de réhabilitation (hors service)	7
	En étude de réhabilitation (hors service)	6
	En cours d'études	56
Total		194

Source: [MRE]

#### **I.4.3.Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture**

**Travaux :** Quatre projets totalisant une superficie de 3.000 ha

- Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.
- Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1214 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha. [19]

**Étude :** Trois projets totalisant une superficie de 9.000 ha.

- Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8100 ha.
- Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Médéa a sur une superficie de 255ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saïda sur une superficie 330 ha. [19]

**Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées :**

La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60 - année 2005). Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe que le concessionnaire (personne physique ou morale) qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation) et les différents intervenants (direction de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce) sont tenus de procéder à un contrôle régulier de la qualité des eaux distribuées afin de s'assurer en permanence, que la qualité de eaux épurées est conforme aux normes fixées par la réglementation en vigueur ( normes Organisation Mondial de la Santé (OMS) et Organisation de l'Alimentation FAO ).

**Tableau I-03: Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation.**

	2010	2015	2020	2025	2030
Volume d'eau usée intercepté (hm <sup>3</sup> /an)	501	708	972	1.208	1.271
Volume d'eau usée épurée (hm <sup>3</sup> /an)	257	399	561	705	762
Surface à irriguer par les EUE sans stockage (ha)	21.773	34.485	48.279	59.876	64.431
Surface à irriguer par les EUE avec 100% de stockage (ha)	36.288	57.476	80.466	80.466	107.385

Source : MRE

**I.4.4. Normes actuellement en usage**

➤ **Normes et critères OMS et FAO**

Les paramètres minimaux de qualité bactériologique des EE à la sortie de la STEP permettant d'assurer la protection sanitaire des agriculteurs et des consommateurs, sont ceux de l'OMS (1989, 2000 et 2006). Les paramètres de qualité physico-chimique des EE admissibles pour un usage agricole adéquat sont ceux de la FAO (1985).

**Tableau I-04 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.**

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO * (1985)	OMS ** (1989)
<b>pH</b>		6,5-8,4 *	
Turbidité	NTU	/	
CE	dS/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée >3.0 * Forte restriction	
MES	mg/l	< 70**	
DCO	mg O2 /l	< 40 **	
DBO <sub>5</sub>	mg O2/ l	<10 **	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50 **	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	< 1 **	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	< 2 **	
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	mg/l	< 0,94 **	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	500 *	
Cl <sup>-</sup>	mg/l	1065 *	
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	400*	
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	60,75 *	
K <sup>+</sup>	mg/l	50 *	
Na <sup>+</sup>	mg/l	920 *	
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction	
Coliformes totaux	UFC/100ml	< 1000CF/100ml	
Streptocoque Fécaux	UFC/100ml	1000 **	
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **	

Source: [MRE]

**Tableau I-05 : Les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.**

Catégories	Condition de réutilisation	Groupes exposés	Nématodes Intestinaux	Coliformes fécaux	Traitement recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
<b>A</b>	Irrigation sans restriction A1 pour les cultures maraichères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics.	Travailleurs, consommateurs, publics.	$\leq 0,1$	$\leq 10$	Série de bassin de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement équivalent (ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d'un lagunage tertiaire. Soit d'une filtration et d'une désinfection)
<b>B</b>	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, Fourragères, pâturage et forêt	B1 : Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), population alentour	$\leq 1$	$\leq 10^5$	Série de bassin de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent ( ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par des lagunages tertiaires, soit une filtration)
		B2 : comme B1	$\leq 1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
		B3 travailleurs dont les enfants < 15 ans. Population alentour	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A

Tableau I-05 (suite)

C	Irrigation localisée sur des cultures de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Pas de norme.	Pas de norme.	Prés traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire
---	---	-------	---------------	---------------	---

Source: [MRE]

## I.5. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux usées épurées

### I.5.1 Risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Les microorganismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte [3].

Les trois voies de contamination que l'on retrouve classiquement sont :

- **la contamination par ingestion**

C'est la plus commune. D'une part, il y a l'ingestion directe, lorsqu'il y a consommation d'eau. Celle-ci peut être volontaire lors de la consommation d'eau potable, ou involontaire, par exemple « boire la tasse » en natation. D'autre part, il y a l'ingestion indirecte, par exemple quand les eaux épurées sont utilisées pour irriguer des cultures dont les produits sont ensuite consommés ;

- **La contamination par inhalation**

Elle est moins importante et n'est pas possible pour tous les polluants. Elle se produit lors de la formation d'aérosols, dans le cas de l'irrigation par aspersion ou de l'utilisation d'un karcher ;

- **la contamination par voie cutanée**

Un simple contact peut entraîner une contamination, souvent grâce à des microcoupures sur la peau. Seule la bactérie *Leptospira* est vraiment concernée par ce mode de transmission.

**Tableau I-06: Les virus dans les eaux usées**

<b>Agent pathogène</b>	<b>Symptômes, maladie</b>	<b>Nbre pr 1L d'eau usée</b>	<b>Voies de contamination principales</b>
<b>Virus de l'hépatite A</b>	Hépatite A		Ingestion
<b>Virus de l'hépatite E</b>	Hépatite E		Ingestion
<b>Rotavirus</b>	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
<b>Virus de Norwalk</b>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<b>Adénovirus</b>	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
<b>Astrovirus</b>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<b>Calicivirus</b>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<b>Coronavirus</b>	Vomissement, diarrhée		Ingestion/ inhalation
<b>Réovirus</b>	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
<b>Entérovirus :</b>			
Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du coeur ( si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre		Ingestion

Source : Asano (1998)

**Tableau I-07 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées**

<b>Agent pathogène</b>	<b>Symptômes, maladie</b>	<b>Nbre pr 1l d'eau usée</b>	<b>Voies de contamination principales</b>
<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 : Asano (1998)

**Tableau I-08 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées**

<b>Organisme</b>	<b>Symptômes, maladie</b>	<b>Nbre pr 1l d'eau Usée</b>	<b>Voies de contamination principales</b>
<b>Protozoaires</b>			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation /Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion

**Tableau I-08 (suite)**

<i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion
<b>Helminthes</b>			
<i>Ascaris</i>	Ascariase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion/ Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie		Cutanée
<i>Tænia</i>	Diarrhée, douleurs Musculaires		Ingestion de viande mal cuite
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur Abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
<i>Strongyloïdes</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Ingestion
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

Source : Asano (1998)

**Tableau I-09 : Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes**

<b>Facteur</b>	<b>Diminution de la survie</b>
Température	Quand elle augmente
Eau	Quand l'humidité diminue
pH	Aux pH extrêmes (>12 ou < à 3)
Ensoleillement	Quand la luminosité augmente
Oxygène	Effet variable selon le type respiratoire des bactéries ; effet négatif sur les Virus
Matière organique (nutriments)	Quand la quantité de nutriments diminue
Organismes vivants	Quand l'activité biologique augmente. L'activité biologique du milieu (présence d'organisme saprophytes tels que certains champignons) diminue la résistance des organismes par compétition pour les nutriments et sans doute par prédation.

Source : OIE 1997

**Tableau I-10: Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C.**

	Temps de survie en jours			
	Dans les matières de vidange et les boues	Dans les eaux claires et les eaux usées	Sur le sol	Sur les plantes
Virus Entérovirus	< 100(< 20)	< 120 (< 50)	< 100 (<20)	< 60 (<15)
Bactéries Coliformes fécaux Salmonella	< 90 (<50) < 60 (< 30)	< 60 (<30) < 60 (< 30)	< 70 (< 20) < 70 (< 20)	< 30 (<15) < 30 (<15)
Protozoaires	< 30 (<15)	< 30 (<15)	< 20 (<10)	< 10 (< 2)
Helminthes	Plusieurs mois	Plusieurs mois	Plusieurs mois	< 60 (<30)

Source : OIE 1997

Les valeurs entre parenthèses montrent le temps de survie habituel.

## **I.5.2. Risques chimiques**

### **I.5.2.1 Eléments traces**

Les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échange d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence à terme des risques pour le développement des plantes, la santé humaine et animale;

Les métaux qui présentent les risques les plus notables sont:

- Le cadmium et molybdène, peuvent être toxiques pour les animaux et les humains, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité;
- Le nickel, zinc et cuivre sont d'abord phytotoxiques. [3]

**Tableau I-11 : Concentrations maximales d'éléments à l'état de trace recommandée pour les eaux d'irrigations.**

Élément	Concentration maximale recommandée (mg/l)	Observations
Al (aluminium)	5,0	Peut provoquer la stérilité des sols acides (pH <5,5), mais les sols sodiques précipiteront l'ion et élimineront la toxicité à pH > 7,0.
As (arsenic)	0,10	La toxicité à l'égard des plantes varie fortement, à moins de 0,05 mg/l pour le riz.
Be (beryllium)	0,10	La toxicité vis-à-vis des cultures varie fortement de 5mg/l pour le chou à 0,5 mg/l pour les haricots blancs.
Cd (cadmium)	0,01	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à de faibles concentrations (0,1 mg/l dans la solution nutritive). Des limites prudentes sont recommandées en raison des possibilités de former des concentrations, dans les végétaux et les sols, dangereuses pour l'homme.
Co (cobalt)	0,05	Toxique pour la tomate à 0,1 mg/l dans la solution nutritive. A tendance à être neutralisé par les sols à pH > 7.
Cr (Chrome)	0,10	N'est en général pas considéré comme un élément essentiel de la croissance. En raison d'un manque d'information sur ses effets toxiques, on recommande des limites prudentes.
Cu (cuivre)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations comprises entre 0,1 et 1,0 mg/l, dans la solution nutritive.
F (fluor)	1,0	Neutralisé par les sols à pH > 7.
Fe (Fer)	5,0	Pas toxique pour les plantes dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la baisse de la disponibilité du phosphore et du molybdène essentiels. Peut provoquer, en aspersion "haute", des dépôts peu esthétiques sur les plantes, l'équipement et les bâtiments.
Li (Lithium)	2,5	Toléré par la plupart des cultures jusqu'à 5mg/l, mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à des concentrations faibles (<0,075 mg/l). Agit comme le bore.

**Tableau I-11 (suite)**

Mn (manganèse)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes, à partir de quelques dixièmes de mg/l à quelques mg/l, mais en général seulement dans les sols acides.
Mo (molybdène)	0,01	Non toxique pour les cultures à des concentrations normales dans le sol et l'eau. Peut être toxique pour le bétail lorsque le fourrage pousse sur des sols à forte concentration en molybdène disponible.
Ni (nickel)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations variant de 0,5 mg/l à 1,0 mg/l, toxicité réduite avec un pH neutre ou alcalin.
Pb (plomb)	5,0	Peut inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations très élevées
Se (sélénium)	0,02	Toxique pour les cultures à des concentrations aussi faibles que 0,025 mg/l et toxique pour le bétail si le fourrage est cultivé sur des sols avec un niveau relativement élevé de sélénium apporté. Essentiel aux animaux mais à des concentrations très basses.
Sn (étain)	---	Exclu efficacement par les plantes; tolérance spécifique inconnue.
V (vanadium)	0,10	Toxique vis-à-vis de nombreux végétaux à des concentrations relativement faibles.
Zn (zinc)	2,0	Toxique pour de nombreuses plantes à des concentrations très variables, toxicité réduite à pH > 6,0 et dans les sols à texture fine ou organiques.

Source : OIE 1997

### **I.5.2.2. Substances nutritives**

Ces impacts sont d'importance particulière puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement des terres.

- **L'azote**

En quantité excessive peut :

- ✓ Perturber certaines productions,

- ✓ Retarder la maturation de certaines cultures, abricots, agrumes;
- ✓ Altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucres des fruits ;
- ✓ Accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales,

Limiter le développement des jeunes racines. [18]

#### ▪ Les nitrates

L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais et les eaux d'épuration. L'azote n'est pas absorbé par les plantes, volatilisé, ou emporté par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate. [24]

#### ✓ **Méthémoglobinémie: une maladie causée par un excès en nitrate**

La condition clinique se produisant à partir de la conversion de l'hémoglobine en méthémoglobine, qui est incapable de relier ou de transporter l'oxygène. La méthémoglobine est formée lorsque le fer de la molécule d'hémoglobine est oxydé de  $Fe^{2+}$  en  $Fe^{3+}$ .

#### • Le potassium

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium et une augmentation des pertes par drainage en sols légers. [18]

#### • Le phosphore

Le principal problème causé par le phosphore est l'eutrophisation des milieux aquatiques, notamment des lacs.

L'eutrophisation est "l'asphyxie des eaux d'un lac ou d'une rivière" due à un apport exagéré de substances nutritives - notamment le phosphore - qui augmente la production d'algues et de plantes aquatiques.

La décomposition et la minéralisation de ces algues, lorsqu'elles meurent, consomment de l'oxygène dissous. Autrement dit, plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène, particulièrement dans les eaux du fond. En dessous d'un certain seuil, on parle généralement de 4 mg d'oxygène par litre, les conditions de vie deviennent difficiles pour la faune et la flore. [18]

### 11.5.2.3. la concentration saline des eaux

Au cours des irrigations successives, la plante prélève l'eau qui lui est nécessaire et abandonne dans le sol une large fraction des sels apportés. Ces résidus s'accumuleront et la salinité propre du sol s'élèvera en même temps que les volumes d'eau appliqués. Les eaux d'irrigation doivent, donc renfermer des quantités de sel notable inférieures au niveau de salinité de la solution de sol considéré comme dangereux. Dans le cas contraire, il faut pratiquer des irrigations supérieures aux besoins de la culture de manière que l'eau en excès entraîne en profondeur hors de portée des racines les éléments solubles.

Les risques de salinisation peuvent être minorés de 10 à 30% si la fraction de lessivage correspond à celle d'une irrigation bien réalisée (10 à 20% de lessivage).

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). [19]

#### ➤ Le Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation; le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui conduit à une structure compacte lorsque cette dernière est sec et excessivement imperméable à l'eau.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'adsorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation. [19]

Le SAR (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/L) :

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

### I.5.2.4 Les eaux souterraines (nappes)

- Les nappes libres (nappes qui ne possèdent pas de couche imperméable au-dessus permettant leur protection) sont les plus exposées à la contamination par l'infiltration des eaux usées épurées après irrigation, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. [18]

- Les nappes captives (nappes qui ont une couche imperméable au-dessus qui empêche l'eau et donc les polluants de s'infiltrer) sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué. [18]

## **I.6. Stockage des eaux épurées**

### **I.6.1 Recharge de nappes aquifères**

Il y a deux possibilités de recharger des nappes aquifères :

- Déversement direct des eaux épurées après un haut degré de traitement par un forage.
- l'infiltration-percolation: cette technique utilise les capacités épuratrices des sols en combinant l'épuration complémentaire et recharge de nappes.

### **I.6.2 Réservoirs de stabilisation**

Ce sont des réservoirs de profondeur variable de 5,5 à 15 mètres, le stockage des eaux épurées dans ces réservoirs sur de longues durées (de quelques jours à quelques semaines voir des mois) constitue un véritable traitement complémentaire; il permet la diminution des matières en suspension, l'azote (nitrates) et les micro-organismes.

Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau d'entrée et la conception du réservoir (en particulier sa profondeur). [18]

## **I.7. Les bénéfices et les contraintes de la réutilisation des eaux usées :**

La Réutilisation des eaux usées peut être un atout important dans la politique d'aménagement du territoire des collectivités locales. Les avantages et les bénéfices les plus importants de la réutilisation de ces eaux, ainsi que les défis et les contraintes les plus fréquemment rencontrés dans l'exécution et l'exploitation de tels projets, sont les suivants:

### **I.7.1. Bénéfices et avantages de la réutilisation des eaux usées:**

#### **I.7.1.1. Ressource alternative :**

- Augmenter la ressource en eau et la flexibilité d'approvisionnement tout en diminuant la demande globale ;
- Différer le besoin de mobilisation d'autres ressources en eau ;
- Assurer une ressource fiable, disponible et indépendante des sécheresses pour l'irrigation et les usages industriels ;
- Dans certains cas, une exécution rapide et plus facile que la mobilisation de nouvelles ressources en eau de première main ;

- Garantir une indépendance vis-à-vis du fournisseur d'eau potable (par exemple pour des raisons politiques). [25]

**I.7.1.2. Conservation et préservation des ressources :**

- Economiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques ;
- Contrôler la surexploitation des ressources souterraines. [25]

**I.7.1.3. Valeur économique ajoutée :**

- Eviter les coûts du développement, du transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau fraîche ;
- Dans certains cas, éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées ;
- Réduire ou éliminer l'utilisation des engrais chimiques en irrigation ;
- Assurer des revenus complémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits dérivés ;
- Assurer des bénéfices économiques pour les usagers grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse ;
- Favoriser le tourisme dans les régions arides ;
- Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués. [25]

**I.7.1.4. Valeur environnementale :**

- Réduire les rejets de nutriments et de polluants dans le milieu récepteur ;
- Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse ;
- Eviter les impacts négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs, etc... ;
- Améliorer le cadre de vie et l'environnement (espaces verts, etc.) ;
- Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux sensibles (zones de baignade ou conchylicoles, Réserves naturelles, etc.) ;
- Profiter des nutriments apportés par l'eau d'irrigation pour augmenter la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts. [25]

**I.7.1.5. Développement durable :**

- Réduire les coûts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement, etc.

- Assurer une ressource alternative à faible coût pour les régions arides, la protection des milieux sensibles et la restauration des zones humides ;
- Augmenter la production alimentaire en cas d'irrigation.

### **I.7.2. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées :**

#### **I.7.2.1. Aspects législatifs et sanitaires:**

- Problèmes de santé publique liés aux pathogènes éventuels dans les eaux usées non traitées ;
- Absences de réglementation et des incitations à la réutilisation ;
- Droit sur l'eau: qui possède l'eau recyclée et qui récupère les revenus ;
- Exploitation inappropriée et/ou qualité non-conforme. [25]

#### **I.7.2.2. Aspects sociaux :**

- Malgré les réticences psychologiques à utiliser les EUE, la rareté de l'eau et les réalités économiques poussent les agriculteurs de certaines régions à la REU;
- Il faut établir un système de surveillance de la qualité des EUE pour instaurer une confiance entre le distributeur et l'utilisateur;
- En vertu de l'incertitude des risques liés à la REU, des stratégies nationales de réutilisation des eaux usées pourraient s'orienter uniquement vers les espaces verts et l'agroforesterie (ex : Egypte). [25]

#### **I.7.2.3. Aspects économiques :**

- Considérer la REU comme faisant partie de la trilogie : assainissement, épuration et réutilisation. Cette trilogie devrait s'insérer dans des stratégies nationales;
- Le coût de la réutilisation doit être comparé au coût de l'inaction qui a des impacts environnementaux, sanitaires et qui augmente le coût de traitement de l'eau potable
- Le coût de la réutilisation doit aussi être comparé à d'autres alternatives comme le dessalement;
- La réutilisation est devenue une nécessité et peut contribuer au développement de certains secteurs économiques (tourisme et loisirs);
- Le coût de la réutilisation varie d'un bassin hydrologique à un autre et en fonction de l'usage final souhaité. [25]

**I.7.2.4. Aspects environnementaux et agronomiques :**

- La présence de beaucoup de sels, bore, sodium et autres micropolluants peut avoir des effets négatifs sur certaines cultures et les sols. [25]

**I.7.2.5. Aspects technologiques :**

- Une grande fiabilité d'exploitation est requise.
- Importance du choix de la filière de traitement. [25]

**Conclusion :**

A travers ce chapitre, nous avons vu que la réutilisation des eaux usées est une pratique ancienne très répandue. Elle connaît une révolution ces dernières années surtout dans les pays à déficit hydrique. Des recommandations internationales et locales sont adoptées à cette pratique en vue de minimiser les risques sanitaires et environnementaux.

## **CHAPITRE II : EAUX USEES ET PROCEDES D'EPURATION**

### **Introduction :**

Dans un pays semi- aride comme l'Algérie, où l'eau constitue un élément précieux, il est indispensable de :

- Protéger le peu des eaux souterraines qui existent encore, contre toutes contaminations surtout par les eaux usées.
- Traiter les eaux usées épurées avant leur rejet au milieu récepteur.
- Procéder à la réutilisation des eaux épurées.

De ce fait, il existe plusieurs procédés de traitement des eaux usées.

Tous les types de traitement requièrent un prétraitement de dégrillage, dessablage et éventuellement déshuilage.

En général, il existe de grandes modes de traitement, physico-chimique et biologique.

### **II.1. Les différentes qualités des eaux usées :**

Quatre types de pollution sont généralement définis contre lesquels des moyens de lutte doivent être mis en œuvre :

- la pollution traditionnelle des eaux usées domestiques ;
- la pollution drainée par les eaux pluviales ;
- la pollution des industries implantées dans la commune ;
- la pollution des matières de vidange issues de l'assainissement autonome des habitations non raccordées au réseau d'assainissement collectif.

#### **II.1.1. Les eaux usées domestiques**

Constituant généralement l'essentiel de la pollution, elles se composent :

- des eaux vannes d'évacuation des toilettes,
- des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain.

Les déchets présents dans ces eaux souillées sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. [23]

#### **II.1.2. Les eaux pluviales**

Les eaux de ruissellement peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie

- lessivage des sols, des surfaces imperméabilisées,
- remise en suspension des dépôts des collecteurs,...

Les eaux pluviales sont de même nature que les eaux domestiques et peuvent contenir en plus, des métaux lourds et des toxiques :

- plomb,
- zinc,
- hydrocarbures, ...

Suivant le contexte local, des dispositions devront être prises pour en limiter l'impact : bassins d'orage, bassins d'étalement, chaussées filtrantes. [23]

### **II.1.3. Les eaux usées industrielles**

Les caractéristiques des eaux usées d'origine industrielle sont bien évidemment directement liées aux types d'industries implantées sur la commune.

La pollution de ces eaux peut être organique, minérale, toxique.

Le branchement des établissements commerciaux, industriels ou artisanaux au réseau public n'est pas obligatoire.

Toutefois ceux-ci pourront être autorisés à déverser leurs eaux industrielles dans le réseau public pour qu'elles soient épurées avec les eaux usées domestiques, à condition qu'elles soient compatibles avec les techniques d'épuration traditionnelle. [23]

### **II.1.4. Les matières de vidange**

Dans toutes les communes, il existe des habitants non raccordés ou non raccordables à l'égout public. Or, toute fosse septique (ou appareil équivalent) produit obligatoirement des matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières domestiques font partie intégrante de l'assainissement. [23]

## **II.2.les paramètres caractéristiques des eaux usées :**

La pollution c'est la présence d'une ou plusieurs substances modifiant la composition ou l'état d'une eau, dans la mesure où :

- La vie aquatique est perturbée, voire impossible,
- Les utilisations envisagées de l'eau sont restreintes ou même interdite.

Ces substances ou polluants sont nombreux et d'origine très variée, on peut les différencier en fonction :

- De leur aspect physique (matières en suspension, matières dissoutes) ;
- De leur composition chimique (matières organiques, matières minérales) ;

- De leur évolution dans la nature (matières rapidement biodégradables, matières difficilement biodégradables, matières non biodégradables) ;
- De leur impact sur les espèces vivantes (matières toxiques, matières non toxiques). [23]

Les principaux paramètres de mesure de la pollution de l'eau sont les suivants :

### **II.2.1. Les matières en suspension, dissoutes, et colloïdales :**

La distinction porte sur la taille des composés contenus dans l'eau :

- La taille  $> 1$  micron : ce sont les matières en suspension, responsables essentiellement de troubles de l'eau : les plus lourdes sédimentent rapidement et constituent les matières décantables.
- Taille  $< 1/1000$  micron : ce sont les matières dissoutes ou liquides, certains de ces liquides (huiles, hydrocarbures,....) ne se mélangent pas à l'eau. Disposés en fines gouttes, on dit qu'ils forment alors des émulsions.
- La taille intermédiaire correspond aux matières colloïdales, qui participent au trouble et à la coloration de l'eau, ces matières colloïdales ne sont pas décantables. [21]

#### **❖ Les matières en suspension :**

Les matières en suspension représentent la quantité de particules non dissoutes présentes dans l'effluent qu'elles soient décantables ou non (organique et minérale : poussière, sable, argile, graisse,...) les matières se subdivisent en deux catégories : les matières fixes et les matières volatiles.

En effet, une partie des MES se volatilise lorsqu'elles sont chauffées à haute température ( $600^{\circ}\text{C}$ ) ; cette partie constitue la fraction organique, principalement biodégradable et est appelée matières volatiles sèches (MVS).

Les teneurs en MES sont obtenues par deux techniques :

- la méthode par filtration puis séchage à  $105^{\circ}\text{C}$ ,
- la méthode par centrifugation puis séchage à  $105^{\circ}\text{C}$ .

### **II.2.2 Les matières organiques et les matières minérales :**

Les matières organiques proviennent des être vivants (matières végétales ou animales, excréments, urines,...).

On retiendra que les matières organiques sont principalement composées par: de l'hydrogène, de l'oxygène, du carbone, de l'azote, du phosphore, du soufre.

A haute température (plus de 500°C), les matières organiques brûlent et se transforment en fumée.

Les matières minérales (gravier, sable, métaux, sels minéraux,...) sont pour la plupart des composés qui évoluent peu dans les conditions naturelles. Elles constituent les résidus(ou cendres) obtenus après calcination à 550°C. [21]

### **II.2.3. Les matières biodégradables :**

Les matières biodégradables représentent l'ensemble des composés transformables par des organismes vivants, essentiellement des bactéries. Cette transformation peut se réaliser en présence d'oxygène de l'air : on parle de « dégradation aérobie ». Elle peut également survenir en absence d'oxygène « dégradation anaérobie ». La plupart des matières biodégradables proviennent des matières organiques.

On notera enfin que certaines matières sont très rapidement biodégradables, tels les sucre, l'alcool,... . D'autres de composition chimique plus complexe, nécessitent plus de temps et sont donc difficilement biodégradables. Il s'agit, par exemple, des graisses, du bois, du tissu. [21]

Les matières organiques sont estimées par la quantité d'oxygène nécessaire à leur dégradation. Deux analyses sont utilisées :

- La DCO.
- La DBO5

### **II.2.4 La demande biochimique en oxygène (DBO) :**

La détermination de la demande biochimique en oxygène est une façon indirecte d'évaluer la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau.

La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable sur une période définie. En effet, une période allant de 21 à 28 jours serait nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la totalité de pollution biodégradable. Il a été déterminé qu'une période de 5 jours correspondait à l'assimilation de la pollution biodégradable carbonée (oxydation) à une température standard de 20°C, et qu'ensuite les micro-organismes assimilaient la pollution biodégradable azotée (nitrification).

Pour des raisons pratiques, on prend en compte pour cette analyse la première phase de 5 jours que l'on notera DBO5

#### ❖ **Mesure de la DBO5 :**

Cette analyse est effectuée selon la norme NF EN 1899 de mai 1998 et NF EN ISO 9408 d'octobre 1999.

L'échantillon d'eau à analyser est dilué dans une eau saturée en oxygène. Après mélange, on mesure la concentration initiale T0 en oxygène avant de fermer la bouteille et de la placer dans une enceinte à 20°C à l'obscurité. Après 5 jours, la mesure de la concentration finale T1 en oxygène est effectuée. La valeur de la DBO5 correspond à la différence des concentrations C0 et C1. ( $DBO5 = C0 - C1$ ).

UNITE : mg O2 / l

Les valeurs usuelles de DBO5 pour une eau usée urbaine sont de l'ordre de 150 à 300 mg O2/l

- ✓ [DBO5] eau brute moyenne = 250 mg O2/l
- ✓ 60 g DBO5/EH/j zone urbaine
- ✓ 54 g DBO5/EH/j zone rurale. [21]

#### **II.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :**

La DCO appelée aussi "oxydabilité" représente la quantité d'oxygène consommée par oxydation chimique de la totalité des matières organiques et minérales dissoutes dans l'eau. Elle est basée sur la mesure de la quantité d'oxygène apportée par un réactif chimique (oxydant) pour détruire toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables. [21]

#### ❖ **Mesure de la DCO :**

Cette analyse est réalisée selon la Norme NFT 90-101 de février 2001.

On mélange à l'eau à analyser une quantité volontairement excessive de réactif oxydant

(Bichromate de potassium). Pour que la réaction soit rapide et complète, on ajoute de l'acide sulfurique et on chauffe pendant deux heures. La DCO correspond à la différence entre la quantité d'oxydant initiale et celle subsistant après deux heures de réaction. UNITE : mg O<sub>2</sub>/l. Dans une eau usée urbaine, la concentration en DCO est usuellement de l'ordre de 300 à 700 mg O<sub>2</sub>/l.

[DCO] eau brute moyenne = 600 mg O<sub>2</sub>/l  
120 g DCO/EH/j. [21]

❖ **Rapport DCO/DBO<sub>5</sub> :**

- la DCO est toujours supérieure à la DBO<sub>5</sub>.
- la DBO est une fraction de la DCO.

Plus cette fraction est importante, plus les bactéries seront efficaces dans la dégradation de la pollution. Pour vérifier cette caractéristique, on calcule le rapport entre la DCO et la DBO<sub>5</sub>, appelé rapport de biodégradabilité :  $DCO/DBO_5 = \text{rapport de BIODEGRADABILITE}$ .

- ✓ Pour une eau usée urbaine, ce rapport est de l'ordre de 2 à 3. L'effluent est considéré alors comme biodégradable.
- ✓ Pour les effluents d'industries agro-alimentaires, il est de l'ordre de 1,5 à 2. Cela traduit donc une meilleure biodégradabilité : un traitement biologique est parfaitement adapté pour ce type de pollution.
- ✓ Un rapport supérieur à 3 traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. Dans ce cas, le traitement biologique seul risque d'être inadapté (adaptation de souches, traitement physico-chimique).[21]

**II.2.6. Les matières azotées :**

On distingue 5 formes d'azote dans l'environnement :

- Azote organique, constituant les cellules vivantes végétales ou animales ;
- Azote ammoniacal NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, qui provient de la décomposition par les bactéries de l'azote organique (Ammonification) ou des rejets directs d'animaux (urines, excréments) ;
- Les nitrites NO<sub>2</sub>, Ils sont souvent en quantité très faible car c'est une forme chimique très instable.
- Les nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (on parle aussi de l'azote nitrique). C'est une forme chimique stable.
- Azote gazeux N<sub>2</sub>, ce gaz est très peu soluble dans l'eau.

L'azote dans les eaux usées urbaines brute est très présent sous forme d'azote organique et ammoniacal. On constate le plus souvent l'absence de nitrite et de nitrate. Les formes

minérales de l'azote, telles que l'ammoniac, les nitrites et nitrates sont en totalité en solution alors que les formes organiques peuvent se retrouver en suspension dans l'effluent.

Une analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal. Cette analyse est notée AZOTE KJELDAHL (NK) :  $NK = N_{org} + N-NH_4$ . [21]

### II.2.7. Les matières phosphorées :

On distingue :

- Le phosphore organique en solution ou en MES, résidu de la matière vivante.
- Le phosphore minéral, essentiellement constitué d'orthophosphates ( $PO_4^{3-}$ ) qui représente 50 % de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines. Les orthophosphates constituent, au même titre que les nitrates, des agents fertilisants susceptibles de provoquer le phénomène d'eutrophisation.

Dans l'eau usée urbaine, Les concentrations sont de l'ordre de 10 à 20 mg P/l. Le Phosphore total décantable correspond à 0 à 10 %. [21]

### II.2.8. Le pH :

Le pH ou " potentiel hydrogène" est l'indice d'acidité du milieu. Le pH d'un effluent urbain classique est légèrement alcalin, de l'ordre de 7,5 et 8. Celui des effluents industriels peut être, par contre, extrêmement variable. Ainsi, A titre d'exemple, le pH d'un rejet de laiterie Habituellement légèrement basique en valeur moyenne, peut passer de 4 à 10 en moins d'une Heure à la suite du nettoyage à la soude des cuves de stockage. Ces variations peuvent affecter le bon fonctionnement de l'épuration biologique.

La régulation du pH en tête de bassin d'aération peut être réalisée par :

- Ajout d'acide et base complémentaire,
- Auto neutralisation dans un bassin tampon. [21]

### II.2.9. La conductivité :

La conductivité est une mesure de la capacité d'une solution à laisser passer un courant électrique. Cette capacité dépend des sels solubles dans l'eau et de la température de mesure.

Unité : Siemens/cm ou mho/cm.

La conductivité des eaux usées est très variable d'une région à l'autre :

- ✓ Pour des eaux usées domestiques, on peut citer des valeurs moyennes de 900 à 1 300 m mho/cm. Il faut de plus noter que les traitements physiques ou biologiques n'ont que peu d'incidence sur ce paramètre.

- ✓ Des conductivités plus faibles peuvent être du à des eaux d'infiltration ou à des eaux pluviales.
- ✓ Des conductivités plus élevées peuvent être dues à l'infiltration d'eaux de mer, des raccordements industriels (fabrique d'anchois, de salaison ...), au salage des rues (dégel). [21]

#### **II.2.10. Les matières toxiques :**

On appelle "toxiques" les matières capables de bloquer l'activité des espèces aquatiques vivantes, d'empêcher leur existence soit partiellement, soit totalement. L'effet de la toxicité peut se traduire immédiatement, entraînant une mortalité brutale : c'est la toxicité directe. Mais, il peut aussi intervenir sous un certain délai, après accumulation de composés toxiques dans l'organisme : c'est la toxicité indirecte. Tout est donc une question de dose et de temps de contact. [21]

Il existe une infinité de composés susceptibles d'être toxiques. On peut sommairement citer :

- Les métaux tels le chrome, le cadmium, ...
- Les cyanures,
- Les désinfectants,
- Certains détergents,
- Les hydrocarbures,
- Les produits trop acides ou trop basiques.

La majorité des éléments toxiques proviennent des activités industrielles et artisanales.

#### **II.3. Composition des eaux usées :**

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (Industrielle, domestique, etc.), elle dépend :

- essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes) ;
- de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques ;
- de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le Réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées. La réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux

usées épurées, déterminés par les taux de concentration de ces microorganismes. Il est donc nécessaire de rappeler des notions élémentaires à leur sujet.

### **II.3.1. microorganismes**

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. [13]

#### ➤ **les bactéries**

Les eaux usées urbaines contiennent environ  $10^6$  à  $10^7$  bactéries/100 ml. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de  $10^4$ /l. parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ; ce sont les coliformes thermotolérants. [13]

#### ➤ **Les virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries et que leurs faibles dimensions soient à l'origine de leurs possibilités de dissémination. [13]

#### ➤ **Les protozoaires**

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*. Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. [13]

#### ➤ **Les helminthes**

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et  $10^3$ /l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*.

Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. 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 [13].

### **II.3.2. Matières en suspension et matière organique :**

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. C'est une étape simple dans la réduction de la charge organique des eaux usées et de la teneur en germes pathogènes. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation [13].

La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent à la surface du sol [13].

### **II.3.3. Substances nutritives :**

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

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

Dans certaines circonstances, ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire afin d'en tenir compte lors du calcul des besoins en fertilisants des cultures irriguées. [13]

#### **II.3.3.1. l'azote**

L'usage d'eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés. Cet excès se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée, et d'autre part, aux risques de pollution des nappes phréatiques sous-jacentes.

En effet, dans certains cas défavorables, un apport d'azote excédentaire par rapport aux besoins des cultures, peut provoquer dans un sol très perméable la contamination des eaux souterraines. Il est donc souhaitable que les apports d'azote ne soient pas disproportionnés à l'assimilation par la culture. Il est clair que la présence d'une nappe phréatique utilisée pour l'alimentation en eau des populations ou des animaux impose des contraintes qu'un projet de réutilisation d'effluents urbains doit prendre en compte.

L'azote en quantité excessive peut, dans des mesures qu'il ne faut pas exagérer, perturber certaines productions, retarder la maturation de certaines cultures, abricots, agrumes, vigne par exemple, altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves, accentuer la sensibilité des cultures aux maladies et limiter le développement des jeunes racines. [13]

#### **II.3.3.2. le phosphore**

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en  $P_2O_5$ ), à moins que l'élimination du phosphore ne soit assurée durant le traitement.

La teneur en phosphore dans les eaux usées est habituellement trop faible pour modifier le rendement, mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation, cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore. [13]

#### **II.3.3.3. le potassium**

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de  $K_2O$ ) et permet donc de répondre partiellement aux besoins.

#### **II.3.4. Eléments traces :**

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. [13]

#### **Eléments toxiques organiques**

Une grande variété de composés organiques de synthèse peut se retrouver dans les effluents de provenance d'eaux de lessivage ou de rejets industriels. Certains se forment aussi lors des traitement de désinfection des effluents par le chlore (haloformes). [13]

#### **II.3.5. salinité**

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. On estime que la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques 200 mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement ou lors de collecte d'eaux industrielles. Cette augmentation n'est pas susceptible, à elle seule, de compromettre une irrigation.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

- les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements cultureux,
- les dommages causés aux cultures. [13]

##### **II.3.5.1 salinisation**

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage ; ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire.

Le choix de mode d'irrigation doit tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage.

L'irrigation à la raie est déconseillée ; au contraire, l'irrigation par submersion ou l'irrigation localisée donnent de bons résultats. [13]

### II.3.5.2 chlore et sodium

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres.

Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers et le haricot, les fraisiers et, d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux sont sensible à des concentrations relativement faible en Na.

La plupart des arbres et autre plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faible dose, alors que la plupart des cultures annuelles le sont moins, les cultures très sensibles peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol.

Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. C'est particulièrement vrai pour le Cl et le Na. Les risques sont moindres avec des irrigations nocturnes.

Quand les eaux réutilisées ont été chlorées et que le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par aspersion. Mais le chlore résiduel libre (HOCl, OCl ; Cl<sub>2</sub>) est très réactif et instable dans l'eau ; il suffit alors de stocker l'eau quelques heures dans un réservoir ouvert pour l'éliminer. Une teneur en chlore résiduel inférieur à 1mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieur à 5 mg/l serait hautement dommageable, la plupart des projets d'irrigation ne devraient pas rencontrer ce problème s'ils utilisent un réservoir de stockage intermédiaire ; mais il est important de redoubler de précaution si ce réservoir est cours calculé et que l'effluent est directement utilise. [13]

### II.3.5.3. le bore

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. à des concentration très faibles, le bore est indispensable à la croissance des végétaux, ces besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées ; mais lorsque sa concentration excède 1 mg/l, il peut être toxique pour les plantes les plus sensibles.

### II.3.5.4. sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols.

Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcanlino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe absorbant provoque une défloculation des argiles, une destruction du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du

sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne provient plus jusqu'aux racines. D'autres parts, à proportions égales de sodium et d'alcalino terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (sodium adsorption ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée. [13]

## II.4. Le processus et les systèmes de traitement des eaux usées

### II.4.1. Le relevage :

Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait généralement par gravité, sous l'effet de leur poids. Une station de relèvement permet d'acheminer les eaux usées dans la station d'épuration lorsque ces dernières arrivent à un niveau plus bas que les installations de dépollution. Cette opération s'effectue grâce à des pompes ou à des vis d'Archimède. [13]

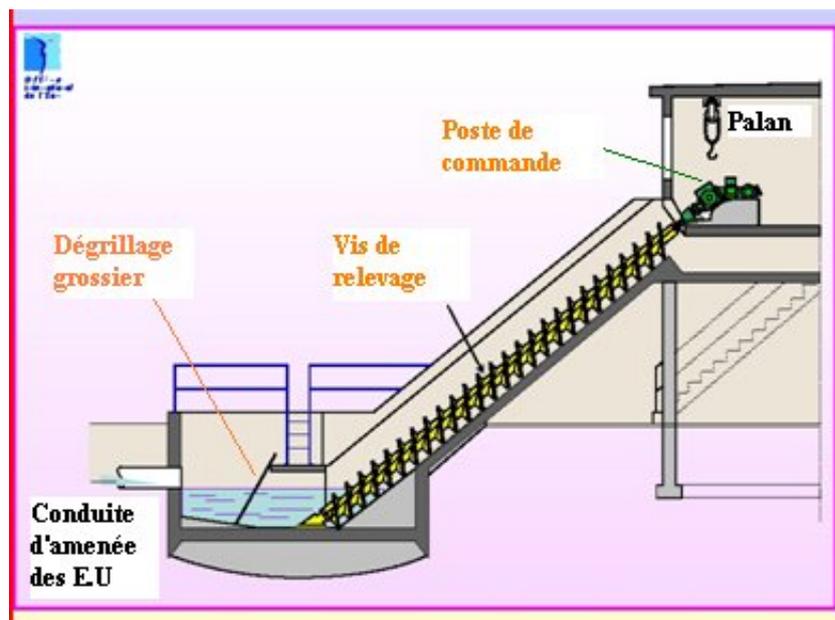


Figure II-01 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède

### II.4.2. Traitement primaire :

Les procédés du traitement primaire sont physiques, Ils sont réalisés souvent en deux parties : le prétraitement et une décantation primaire.

#### II.4.2.1. Le prétraitement :

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et endommager les équipements.

Il comporte :

- Le dégrillage,
- La dilacération,
- Le tamisage,
- Le dessablage,
- Le déshuilage, dégraissage,

**a. Le dégrillage**

Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille, dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.

L'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent.

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre les barreaux de la grille:

- un dégrillage : espacement de 30 à 100mm,
- un dégrillage moyen : espacement de 10 à 25mm,
- un dégrillage fin : espacement de 3 à 10mm,:

Il existe deux types de grilles, grilles manuelles et grille mécanique :

- Grilles manuelles : Elles sont réservées aux très petites installations, la grille fortement inclinée (angle de 60 à 80° sur l'horizontale) et munie d'un by-pass destiné à éviter le débordement.
- Grille mécanique : Dès que la station dépasse les 5000 habitants, on doit doter l'installation de traitement de grille mécanique. [8]

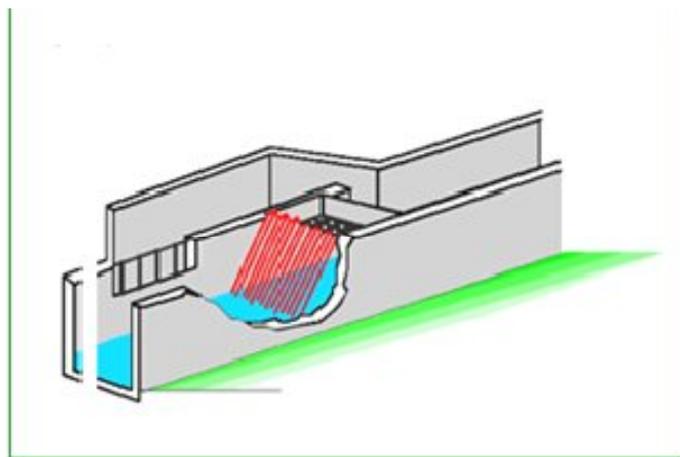


Figure II-02-Dégrilleur manuel-



Figure II-03-Grille mécanique-

### **b. Tamisage**

Le tamisage est en fait un dégrillage poussé et consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions (0,1 à 4mm).

Trois principales fonctions du tamisage peuvent être mentionnées

- la récupération de déchets recyclables ;
- la protection de canalisations et des pompes ;
- la limitation des risques de dépôts et de fermentation ;

### **c. Dilacération**

Pour éviter d'avoir à éliminer la fraction fermentescible des résidus de dégrillage, il est possible de les broyer assez finement pour qu'ils puissent suivre le sort des matières décantables fines.

Enfin, les produits dilacérés risquent d'obstruer les canalisations, d'engorger les pompes de refoulement, surtout si des matériaux fibreux sont associés à des graisses. Pour toutes ces raisons, la pratique de la dilacération est en très net recul. [8]

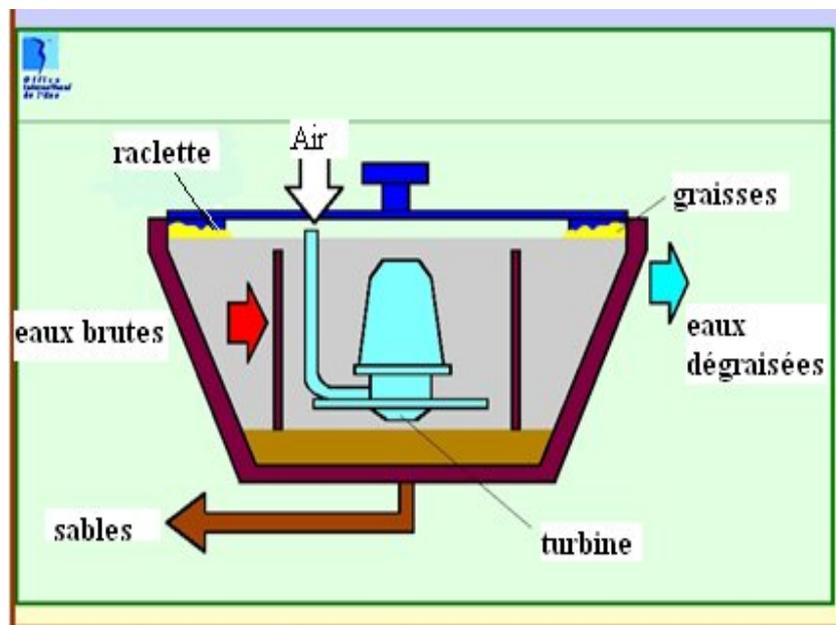
**d. Dessablage-déshuilage**

L'élimination des sables présents dans l'effluent brut est indispensable si on veut protéger les conduites et les pompes contre l'abrasion et aussi éviter le colmatage des canalisations par une sédimentation au cours du traitement, et éviter de perturber les autres stades de traitement en particulier le réacteur biologique. Le dessablage et le déshuilage s'effectue dans un même bassin. L'ouvrage regroupe dans un même ensemble conique :

- Le dessaleur dans la partie inférieure du tronc conique ;
- Le déshuileur, aéré dans sa partie centrale est raclé mécaniquement par un écumeur pour extraire les graisses.

Le dispositif de dessablage déshuilage profite astucieusement de la différence de densité entre le sable, les graisses et l'eau.

Les sables décantent, tandis que les graisses sont mises en flottation aidées pour cela par un aérateur immergé diffusant de fines bulles, (notons qu'il faut prévoir une zone de calme pour l'accumulation des écumes), les graisses sont donc évacuées en surface, les sables accumulés dans la partie conique basale sont aspirés par une pompe. [17]



**Figure II-04 : Schéma d'un dessableur-déshuileur**



**Figure II-05 : Racleur des graisses**

### **II.4.3. Traitement secondaire**

A ce niveau, le traitement permet de se débarrasser des impuretés présentes sous forme solubles ou lorsque leur taille ne permet pas d'être piégée dans le traitement primaire.

On distingue deux types de traitement :

- Le traitement physico – chimique ;
- Le traitement biologique ;

#### **II.4.3.1. Traitement physico–chimique**

Le traitement physico–chimique est le procédé le mieux adapté aux variations saisonnières de la charge polluante ou à l'existence des matières toxiques.

Le traitement physico–chimique passe par trois opérations principales :

- Une coagulation ;
- Une floculation ;
- Une décantation ou une flottation.

Le tableau qui suit donne les principaux avantages et inconvénients de traitement physico-chimique. [4]

**Tableau II-01 : les avantages et les inconvénients de traitement physico-chimique**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réponse immédiate aux variations de charge ;</li> <li>- Capacité des installations, meilleure intégration au site ;</li> <li>- Bonne élimination de la pollution toxique ;</li> <li>- Déphosphoration simultanée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus grande quantité de boues produites ;</li> <li>- Le coût élevé occasionné par les réactifs ;</li> <li>- Rendement d'épuration inférieur à l'épuration biologique ;</li> <li>- Risque de coloration (sels de fer sur eaux septiques).</li> </ul>

#### **II.4.3.2. Traitement biologique**

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est à dire nécessitant un apport oxygène. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés par boues activées.

##### **- Epuration biologique par boues activées**

Le procédé de traitement des eaux usées appelé "boues activées" est un procédé biologique aérobie intensif par cultures libres.

##### **i. Historique**

A la fin du dix-neuvième siècle, grâce aux travaux de Pasteur, les connaissances en microbiologie se développent. Le rôle des micro-organismes dans la dégradation de la matière organique est mis en évidence.

En 1914, deux anglais Adern et Locket mettent au point le premier procédé "intensif" d'épuration, un système de bassin où les boues issues de la biodégradation des effluents sont aérées. L'oxygène permet à la fois d'activer le travail des bactéries responsables de la destruction de la pollution et favoriser leur multiplication. Le principe des boues activées est né. Des brevets sont déposés et mis en œuvre aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

##### **i i. le bassin d'aération**

Une zone de contact peut être placée à l'amont immédiat du bassin d'aération. Son principe de réaliser un mélange des boues ( recirculées en général ) et de l'effluent à traiter dans une zone de faible volume.

Les bassins d'aération sont les réacteurs biologiques dans les lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies. La pollution dissoute est transformée en gaz et biomasse.

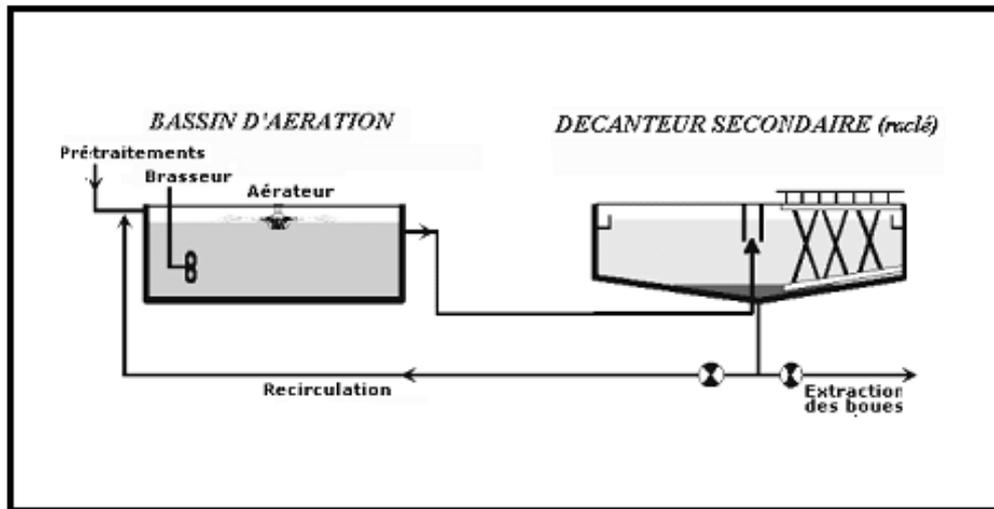


Figure II-06: Schéma de principe de l'épuration par boues activées

Ces bassins sont équipés de dispositif d'oxygénation et de brassage permettant :

- ✓ D'introduire une quantité d'oxygène déterminée dans l'eau, nécessaire à la satisfaction des besoins correspondant à l'oxydation de la pollution organique et à l'autodestruction de la masse bactérienne lors de la phase de respiration endogène.
- ✓ De brasser la suspension de boues activées pour en assurer l'homogénéité et éviter les dépôts.

Les principaux dispositifs d'oxygénation utilisés sont les aérateurs de surface :

Turbines et brosses ainsi que les systèmes d'injection d'air sur pressés en profondeur qui délivrent des grosses, moyennes ou fines bulles [8]

### iii. le clarificateur

Le clarificateur a une fonction de séparation de phase (boues / eau traitée) et une fonction d'épaississement afin de ramener la boue activée la plus concentrée dans le bassin d'aération.

Il existe deux systèmes de reprises des boues : raclage des zones annulaires centrales et périphériques. Ces sont reprises par des pompes de recirculation et d'extraction.

La recirculation permet :

- De maintenir une concentration en MES constante et correcte dans le bassin d'aération,
- D'éviter l'accumulation des boues dans Le clarificateur et le débordement du lit de boues,
- De limiter le temps de séjour dans Le clarificateur pour garantir une bonne quantité des boues,
- Ramener des boues aérées en tête de la station.

#### iv. Elimination de l'azote

##### a. Problème de l'azote dans les effluents urbains

L'azote présent dans les eaux résiduaires urbaines provient essentiellement des déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport, essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque. Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés et certains agents de surface (des assouplissant) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés.

Lors du transport des effluents jusqu'à la station d'épuration, des réactions d'ammonification ont lieu, transformant cet azote organique en ammonium, forme particulièrement nuisible pour les ressources d'eau de surface. En effet, la demande en oxygène exercée par l'ammonium est très élevée et peut conduire à l'eutrophisation des lacs et des rivières; Pour cette raison, les stations d'épuration doivent prévoir l'élimination de la pollution azotée.

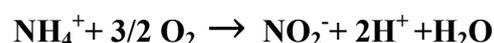
##### b. Processus d'élimination de l'azote

L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques de "nitrification".

Le principe de la nitrification consiste en l'oxydation, par des bactéries aérobies, de l'azote ammoniacal en nitrites puis nitrates. Les espèces dites "nitrifiantes" sont des bactéries autotrophes qui tirent leur énergie de l'oxydation et qui utilisent les sources de carbone minéral (CO<sub>2</sub>) pour synthétiser la matière vivante. Les bactéries responsables de la nitrification sont les Nitrosomonas et les Nitrobacter.

La nitrification s'effectue en 2 étapes:

- la nitritation, oxydation des ions ammonium en nitrites, selon la réaction simplifiée suivante :



- la nitratisation, oxydation des nitrites en nitrates, selon la réaction simplifiée suivante :



Le principe de la dénitrification est une réduction des nitrites et nitrates en azote gazeux, qui se dégage dans l'atmosphère, selon la réaction suivante:



## v. Elimination du phosphore

### a. Problème du phosphore dans les effluents urbains

L'origine du phosphore dans les eaux usées est multiple. Il provient :

- Du métabolisme humain : un homme excrète entre 1 et 2g de P par jour,
- Des produits lessiviels et de nettoyage : 1 à 2 g de P par jour et par habitation
- Des rejets industriels : effluents industriels agro-alimentaires, d'abattoirs, de laveries industriels, d'industries de traitement de surface.

La présence de phosphore dans les cours d'eau et les lacs est responsable de leur eutrophisation, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes, et notamment pour les poissons. Les stations d'épuration doivent donc traiter le phosphore.

### b. Traitement biologique du phosphore

La déphosphatation biologique repose sur l'accumulation du phosphore à l'intérieur des bactéries qui sont évacuées avec les boues en excès.

La biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobie.

En condition anaérobie, les bactéries déphosphatantes synthétisent un produit de réserve, les poly-β-alcanoates (PHA), à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libéré par l'hydrolyse intracellulaire de polyphosphate. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.

En condition aérobie, les PHA et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leur stock de polyphosphate et croissent.

## vi. Charge d'une installation

On définit la charge massique comme étant le rapport de la pollution entrante par unité de masse de population bactérienne chargée de son élimination, la masse bactérienne étant

évaluée par le poids de MVS.

$$C_m = \text{DBO}_5 \text{ (entrée (kg/j))} / \text{kg MVS dans l'aérateur.}$$

On distingue les systèmes :

- Aération prolongée .....  $0,05 < C_m < 0,1$
- à faible charge (kgDBO5/kg boues .j) .....  $0,1 < C_m < 0,2$
- à moyenne charge (kgDBO5/kg boues .j).....  $0,2 < C_m < 0,5$
- à forte charge (kgDBO5/kg boues .j).....  $0,5 < C_m < 1$
- à très forte charge (kgDBO5/kg boues .j).....  $1 < C_m < 5$

Ces limites sont évidemment approximatives et variable avec les auteurs [16].

**Tableau II-02 : Avantages et inconvénients du procédé à boues activées [8]**

Avantages	Inconvénients
<p>Le procédé à boues activées permet de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- réduire le temps de séjour de la pollution ainsi que les surfaces du terrain utilisé</li> <li>- Il offre l'avantage d'une recirculation de la culture bactérienne ce qui conduit à un enrichissement du bassin par les micro-organismes épurateurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les installations à boues activées sont très coûteuses en raison de l'équipement qu'elles comportent (ouvrages en béton, ouvrages métalliques, appareillages électromécaniques...).</li> <li>- L'exploitation de ce type de station exige un personnel qualifié et une vigilance permanente, le bon rendement repose sur le bon fonctionnement des aérateurs.</li> </ul>

**II.4.4. Le traitement tertiaire**

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

La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, la désinfection peut également s'effectuer avec l'ozone ou le brome. Il y a aussi le lagunage naturel tertiaire qui assure l'exposition des microorganismes pathogènes aux rayonnements solaires ou la désinfection par Ultraviolets.

L'eau à désinfecter transite dans un chenal ouvert dans lequel sont placées des lampes émettant un rayonnement ultraviolet qui a la propriété d'agir directement sur les chaînes moléculaires (ADN-ARN) des cellules des micro-organismes, ce qui interrompt le processus de vie et de reproduction de ces pathogènes. L'eau désinfectée peut ainsi rejoindre le milieu naturel sans risque pour la santé des individus.

Le coût excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce coût ne représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements mais aussi celui d'un personnel hautement qualifié. [9]

## II.5. Les systèmes de traitement des boues

Les boues se présentent avant le traitement sous forme liquide avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement, c'est-à-dire une suite organisée de procédés qui agissent de façon complémentaire. On distingue trois grands types de traitement :

- des traitements de **stabilisation**, dont l'objectif est de réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs,
- des traitements de **réduction de la teneur en eau** des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou à améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment),
- des traitements de **désinfection** qui visent à éradiquer la charge en microorganismes pathogènes. Ils ne sont mis en œuvre que dans des contextes particuliers. [2]

### II.5.1. La stabilisation

La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane.

- **La stabilisation aérobie des boues**

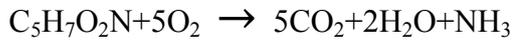
Elle consiste en une oxydation prolongée des boues fraîches sans recyclage de biomasse et à fort temps de séjour (de l'ordre de 10 jours).

Durant ce séjour prolongé, les micro-organismes passent en phase endogène après avoir épuisé toutes leurs réserves.

La proportion d'organismes encore vivants devient très faibles.

Une partie notable des matières organiques est transformée en CO<sub>2</sub>. Celles qui subsistent sont en grande partie sous forme de déchets d'enveloppes bactériennes, riches en polysaccharides et difficilement biodégradables donc stabilisées. [20]

Ce mécanisme de la respiration endogène est schématisé par la relation suivante :



- **La digestion anaérobie des boues**

La digestion anaérobie est une fermentation en l'absence d'oxygène qui permet de stabiliser les matières organiques en les transformant le plus complètement possible en gaz méthane et gaz carbonique.

Un premier groupe bactérien, formé par les bactéries productrices d'acides, est responsable de la transformation des composés organiques complexes en composés organiques plus simples (acide acétique, propionique, butyrique) qui deviennent une source de nourriture pour un second groupe : les bactéries méthaniques.

Ces dernières sont strictement anaérobies, se développent lentement et sont sensibles aux variations de températures et de pH du milieu ambiant.

La digestion des matières organiques s'effectue généralement à l'aide de bactéries mésophiles qui maintiennent leur activité jusqu'à 37°C.

Une production importante d'acides volatiles conduit à une baisse du pH qui freine l'activité biologique de la digestion. Une alcalinité bicarbonatée élevée peut avoir un effet tampon bénéfique.

Le gaz produit est composé essentiellement de méthane CH<sub>4</sub> et du gaz carbonique CO<sub>2</sub> dans les proportions suivantes :

CH<sub>4</sub> : 65 à 70%

CO<sub>2</sub> : 25 à 30%

D'autres éléments peuvent être présents en faible proportion oxygène O<sub>2</sub> (0 à 0,3%), oxyde de carbone CO (2 à 4%), Azote N<sub>2</sub> (1%), Hydrocarbures (0 à 1,5%), Dihydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S. [11]

- **La stabilisation chimique**

La stabilisation chimique bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 12. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-pressé où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide.

La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides.

Pour être précis, il est utile de souligner que souvent chaulage et compostage se pratiquent sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Ils constituent en quelque sorte un traitement complémentaire de stabilisation. [2]

### **II.5.2. Réduction de la teneur en eau des boues**

A la sortie du traitement des eaux usées, la teneur en eau des boues est très élevée, de l'ordre de 99 % de la matière brute. Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide. Ils utilisent des flocculants organiques de synthèse (appelés polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium).

Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau. Ce procédé est toutefois rarement utilisé en raison des difficultés d'emploi et d'un coût prohibitif.

**L'épaississement** vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue (un épaississement permet de réduire de 3 à 6 fois le volume de boue). Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne et se situe plutôt vers 5 à 6 %.

Généralement, les boues épaissies gravitairement ne sont pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3 ou 3,5 %. Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration, de taille inférieure à 2000 équivalent-habitants.

L'épaississement dynamique (ou mécanique) devient plus fréquent pour les stations de taille comprise entre 2000 et 5000 équivalent-habitants.

Ces valeurs sont simplement indicatives car les situations observées sur le terrain restent fort diverses. [2]



**Figure II-07 : Épaississement des boues par flottation**

**La déshydratation**, correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

Les filtres à bandes et les centrifuges ( à noter que les centrifuges donnent selon leur réglage des boues liquides ou pâteuse ) donnent des boues plutôt pâteuse en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20% de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25% de siccité pour la seconde.

Les filtres-presses produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35% de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Ces plus coûteux et contraignants d'emplois que les filtres à bande et les centrifugeuses. Des perfectionnements technologiques sont régulièrement enregistrés.[2]

**Le séchage** élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage) se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1 m<sup>3</sup> pour 4 à 5 habitants raccordés.

Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

Le **séchage thermique** permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95% ). Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés. [2]



**Figure II-08: la technique des lits de séchage**

### II.5.3. les traitements de désinfection

Les traitements de désinfection résultent souvent d'une conduite particulière des traitements de stabilisation : des boues correctement chaulées, séchées thermiquement peuvent être considérées comme des boues désinfectées. Cette liste de traitement n'est pas limitative.

Une boue est considérée comme désinfectée quand, à la suite d'un traitement, elle satisfait aux exigences définies dans le tableau ci-dessous [2]

<b>salmonelles</b>	<b>Entérovirus</b>	<b>Œufs d'helminthes pathogènes viables</b>
< 8 NNP/ 10 g MS	< 3NPPUC/ 10 g MS	< 3/10 g MS

NNP : Nombre le plus probable

NPPUC : Nombre le plus probable d'unités cytopathiques

MS : matière sèche

### II.5.4. désignation des différents types de boues :

L'appellation des différents types de boues résulte de la combinaison de plusieurs critères :

- Nature de l'effluent (urbain, laiterie, abattoir, papeterie,...)
- Caractéristique du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique),
- Procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage),

- Etat physique des boues (liquide, pâteux, solide, pulvérulent, granulé),
- type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugeuse, table d'égouttage,...).

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre de types de boues. Les principaux types de boues proposés au recyclage en agriculture sont les suivants :

- boues liquides issues de traitements aérobies,
- boues pâteuses issues de traitements aérobies ou anaérobies, boues chaulées, pâteuses ou solides,
- boues compostées,
- boues physico-chimiques (très souvent il s'agit aussi de boues chaulées),
- boues de lits de séchage,
- boues de lagunage (catégorie particulière de boues liquides ; le traitement de ces boues se fait de façon extensive, selon un mode anaérobie, au fond des bassins). [2]

## **II.6. Dimensionnement d'une station d'épuration**

### **II.6.1. Critère de choix de site de la STEP**

Le choix d'un éventuel site pour l'implantation d'une station d'épuration doit tenir compte de divers critères parmi lesquels les plus importants sont :

#### **1. Réseau de la collecte existant**

Pour optimiser économiquement le projet d'épuration, il est important d'éviter le relevage des eaux usées afin de réduire les investissements supplémentaires relatifs à l'installation de pompage et les frais de fonctionnement.

#### **2. Caractéristique du site**

- Hauteur de la nappe phréatique.
- Pente.

Ces caractéristiques conditionnent le choix des techniques de construction lors de la réalisation du projet (stabilité des berges latérales des bassins) avoir une pente générale convenable pour assurer un écoulement normale entre différents bassins.

Il est souhaitable que le site d'implantation de la station présente un profil permettant de limiter les travaux du terrassement et de génie civil, il faut tenir en compte aussi de la nature du sol.

### **3. Protection du site contre les inondations**

C'est un critère auquel il faut donner beaucoup d'intérêt, afin d'éviter son envasement au cours d'une éventuelle inondation.

### **4. Choix d'un milieu récepteur pour les eaux épurées.**

Même si une réutilisation des eaux usées traitées est effectivement possible, cette solution ne permet pas une réutilisation totale des eaux traitées pendant toute l'année. De ce fait, il faut que soit l'exutoire acceptera une dilution conforme aux normes, soit procéder à une épuration complémentaire, si la nature du sol et la profondeur de la nappe l'exige, en vu de garantir la préservation de l'environnement et la qualité du milieu récepteur. le niveau d'acceptabilité du milieu conditionnera le choix du procédé d'épuration à retenir [15]

## **II.6.2. Choix de procédés de traitement biologique**

La liste des critères qui devraient intervenir dans le choix de la filière de traitement (Eau et boue) est :

- le niveau de traitement requis (rendement, concentration)
- la capacité d'installation
- la destination des boues
- la surface au sol disponible
- la variation saisonnière de la charge polluante
- les contraintes environnementales
- le coût d'investissement
- le coût d'exploitation
- la qualité du terrain (lagune notamment)
- la fiabilité de la filière (sensibilité du milieu et traitement tertiaire spécifique). [15]

### **Conclusion :**

Vu la composition des eaux usées brutes, leur rejets direct dans le milieu naturel accroît les risques de pollution ainsi que 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.

Un traitement adéquat est impératif, selon le niveau de qualité exigé. Cela passe en première étape par la caractérisation de la pollution des eaux usée afin d'assurer les performances du procédé d'épuration choisi.

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BOUMERDES

### Introduction :

L'eau collectée par les égouts est conduite à une usine de traitement appelée couramment

Station d'épuration. Les plus efficaces emploient des techniques nombreuses et parfois coûteuses.

L'eau est d'abord filtrée par des grilles de plus en plus fines, qui retiennent tous les déchets solides. Les déchets en suspension (petites particules dans l'eau) ou solubles (produits entièrement mélangés à l'eau) doivent être séparés par d'autres méthodes : décantation, floculation, traitement par des bactéries.

Le choix d'un éventuel site pour l'implantation d'une station d'épuration doit tenir compte de divers critères parmi lesquels les plus importants sont :

- Réseau de la collecte existant (il est important d'éviter le relevage des eaux usées) ;
- Caractéristique du site (nature du sol, hauteur de la nappe phréatique, pente) ;
- Protection du site contre les inondations (digue protectrice) ;
- Choix d'un milieu récepteur pour les eaux épurées en excédent ;
- La disponibilité du terrain (paramètre plus important où le procédé est de type extensif).

### III.1. Présentation de la ville de boumerdes :

La Wilaya de Boumerdes correspond à une région côtière du centre du pays et s'étend sur une superficie de 1 456,16 Km<sup>2</sup> avec 100 Km de profil littoral allant du cap de Boudouaou El Bahri à l'Ouest à la limite Est de la commune de Afir.

Au plan géographique, la Wilaya de Boumerdes est limitée :

- au Nord, par la mer Méditerranée
- à l'Est, par la wilaya de TIZI-OUZOU
- au Sud-est, par la wilaya de BOUIRA
- au Sud- Ouest, par la wilaya de BLIDA
- à l'Ouest, par la wilaya d'ALGER.

### III.2. Présentation de la station d'épuration de Boumerdes:



Echelle : 1/50000

Figure III-01... schéma directeur d'assainissement de BOUMERDES

#### III.2.1. Le système d'assainissement de la ville de Boumerdes :

Le système d'assainissement de ville de Boumerdes se compose de :

##### A. Installations épuratoires :

La station d'épuration qui assure le traitement des eaux usées des communes de Boumerdes, de Corso et Tidjelabine, est située à environ deux Km de la ville, en rive gauche de l'oued TATAREG, elle a été mise en service en janvier 2001

Sa capacité est de 75000 eq.habitants, pour un volume journalier de 15000 m<sup>3</sup>.

Le principe de traitement est épuration biologique à boues activées à faible charge avec déshydratation mécanique des boues.

**B. Réseau :**

Le réseau d’assainissement est de type unitaire, les collecteurs principaux s’orientent vers la station d’épuration en régime gravitaire et forcé dans le cas morphologique défavorable où des stations de relevage sont réalisés.

Le réseau principale développe une distance d’environ 12 km et se compose :

- ✓ Conduite gravitaire : commune de Tidjelabine –station de relevage 01 = 1463 ml en Ø600BA ;
- ✓ Conduite gravitaire : commune de Tidjelabine – station d’épuration = 2354 ml en Ø500BA ;
- ✓ Conduite de refoulement : station de relevage N°1- regard de dissipation = 150 ml en Ø300A/C ;
- ✓ Conduite gravitaire : regard de dissipation- station de relevage N°3=744 ml en Ø600BA ;
- ✓ Conduite de refoulement : station de relevage N°2- regard de dissipation = 963 ml en Ø400A/C ;
- ✓ Conduite gravitaire : regard de dissipation-station de relevage N°3 = 350 ml en Ø600BA ;
- ✓ Conduite de refoulement : station de relevage N°3-station d’épuration 2180 en Ø600A/C. [22]

**C. Stations de relevage :**

**Tableau III-1** : les Trois stations de relevage

Désignations	caractéristiques
SR01	Débit unitaire 37 l/s HMT= 10m Nombre de pompes=4
SR02	Débit unitaire 48 l/s HMT= 31 m Nombre de pompes=4
SR03	Débit unitaire 151 l/s HMT= 41 m Nombre de pompes=4

Source : [ONA] Boumerdes

### III.2.2.Coût de l'opération :

Le coût de l'opération s'élève à 820 millions de dinars y compris les stations de relevage et les collecteurs inter stations. [22]

### III.2.3.Objectif du traitement :

L'objectif ciblé et requis en sortie est le suivant

- DBO<sub>5</sub>            30 mg/l
- DCO                90 mg/l
- MES                30 mg/l
- NTK                40 mg/l. [22]

### III.2.4.Définition de l'eau à traiter :

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes

- Volume journalier    15000 m<sup>3</sup>
- Débit moyen 24 h    625 m<sup>3</sup>/h
- Débit de pointe temps sec   1063 m<sup>3</sup>/h
- Débit de pointe temps pluie   1944 m<sup>3</sup>/h
- DBO<sub>5</sub> journalière    4080 Kg
- MES journalières   5250 Kg. [22]

## III.3.Les différents étapes de traitement :

### Principe du traitement d'eau:

- Arrivée des eaux, by pass et bassin d'orage
- Dégrillage
- Dessablage et dégraissage
- Aération biologique
- Décantation de l'eau traitée

### III.3.1.Arrivée des eaux et bassin d'orage :

Une partie des effluents sont envoyées par pompage directement dans le canal d'alimentation du prétraitement d'une part et par gravité dans la bache de relèvement, ceci par deux conduites de diamètre de 600 mm

Ce poste de prélèvement permet :

- L'alimentation du prélèvement en aval

- Le by-pass total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station
- Un déversoir alimente un bassin d'orage de total débit supérieur au débit accepté par l'installation suivant le nombre de bassins d'aération en service. Deux pompes submersibles permettent de relever ces eaux vers le prétraitement sur la base de la vidange du bassin plein, laissant ainsi rapidement le volume disponible pour réguler le débit entrant, sans toute fois surcharger le traitement ultérieur.



**Figure III-02** : L'arrivée de l'eau

### **III.3.2. Prétraitement et traitement primaire :**

Le prétraitement a été mis au point pour éliminer les grosses particules véhiculées par les eaux afin de protéger les ouvrages de la station du colmatage et des dépôts de boues. Le prétraitement comporte :

#### **a) Dégrillage :**

L'ensemble de dégrillage comporte : un dégrilleur automatique à champ courbé, avec espacement entre barreaux de 20 mm et un dégrilleur manuel.

Le dégrillage grossier ayant déjà été assuré dans les stations de pompage en amont

Les refus sont évacués par convoyeur vers tous les dispositifs de stockage.

En cas d’avarie ou d’entretien sur le dégrilleur automatique il est prévu un canal de by-pass équipé d’un dégrilleur de secours à champs droit à nettoyage manuel et espacement entre barreaux de 20 mm, il est isolé par le batardeaux en Aluminium à commande manuelle.

Tous les canaux de dégrillage sont isolables par le même dispositif batardeaux manuel en Aluminium.



**Figure III-03** : Dégrilleur de la STEP de boumerdes

**b) Dessablage, dégraissage :**

Les ouvrages circulaires ont pour but de :

- Eliminer par décantation une grande partie de sables à dimensions supérieur à 150 – 200  $\mu\text{m}$
- Eliminer une grande partie de matières flottantes (graisses, écumes) en partie supérieure des ouvrages.

Caractéristiques hydrauliques

❖ Charge hydraulique

- Au débit de pointe de temps sec  $16.8\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$

❖ Temps de séjour

- Au débit de pointe de temps sec 8 minutes et 18 secondes

La rétention des particules sableuses contenues dans l’eau résiduaire urbaine est indispensable, car elle permet d’éviter :

- les surcharges dans les étapes suivantes du traitement, notamment en cas de pluie, où la quantité journalière de sable arrivant sur la station peut être multipliée de 3 à 7 fois,
- l'accumulation de sable dans les étapes ultérieures du traitement
- l'abrasion des engins mécaniques.

- La Quantité de sable piégé est de l'ordre : 15 - 40 mg/l

L'élimination des graisses permet :

- D'améliorer la qualité visuelle de la surface des ouvrages ultérieurs
- Limiter la quantité de flottants et de graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner ou de flotter dans les ouvrages situés en aval, pouvant causer des problèmes de fermentation.

- La Quantité de graisses piégée est de l'ordre: 5 - 15 (mg/l)



**Figure III-04 : Dessableur-dégraisseur de La STEP de Boumerdes**

### III.3.3. Traitement secondaire :

#### a) Ouvrage de répartition :

Un ouvrage permet d'aguiller l'eau à traiter vers les files de traitement par l'intermédiaire de batardeaux, une lame de surverse sert de by-pass en cas de surdébit.

#### b) Aération biologique (bassins d'aération) :

Les eaux prétraitées sont dirigées vers Trois bassins d'aération munis de trois turbines type (acti-rotor) permettent l'aération prolongée et la culture bactérienne à l'origine du traitement.

Les bassins reçoivent la « liqueur mixte » constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs finaux.

- Nombre de bassins : 3
- Volume unitaire : 3600 m<sup>3</sup>
- Profondeur : 4.5 m
- Nombre d'aérateurs : 9



**Figure III-05:** Bassin d'aération  
De la STEP de Boumerdes



**Figure III-06 :** Aération dans un  
bassin biologique

### c) Décantation, clarification :

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs de diamètre de 24 m, la base de dimensionnement étant de 0.8 m/h par pointe de temps sec, la surface requise est de 1330 m<sup>2</sup>.

Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bache de recirculation attenante aux bassins d'aération.

Une petite partie est recirculée en tête d'aération sous le nom de « liqueur mixte », et une partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur.

Les eaux décantées sont recueillées par surverse dans une rigole-périphérique pour être dirigées vers la désinfection et de canal de comptage.



**Figure III-07 : Décanteur secondaire –clarificateur  
De la STEP de Boumerdes**

**d) Fosses de recirculation:**

Une bêche de recirculation attenante aux réactions contient deux pompes de recirculation des boues appelées liqueurs mixtes, ainsi que la pompe d'extraction des boues vers l'épaisseur.

**III.3.4. Traitement complémentaire :**

**a) Canal de comptage et désinfection :**

L'eau clarifiée transite vers un ouvrage en béton comportant un certain nombre de canaux en chicanes. Un premier canal permet la mesure au débit d'eau traitée.

Une série de chicane permet d'assurer un contact prolongé entre l'eau à désinfecter et l'eau chlorée.

Caractéristiques générales :

- Largeur des canaux : 1m
- Volume totale 385 m<sup>3</sup>
- Temps de séjours : au débit de pointe de temps sec 20 minutes

La dose de chlore prévue est de 9.5 g/m<sup>3</sup> et est assurée par un ensemble de chloration à partir de chlore gazeux



**Figure III-08 : Ouvrage de désinfection de la STEP De Boumeres**

**b) Traitement des boues :**

Le traitement des boues issues de la décantation clarification comporte deux étapes

- Un épaissement statique,
- Une déshydratation mécanique

**1. L'épaissement des boues**

Avant transfert en déshydratation, il est nécessaire d'épaissir aux maximums, les boues dans le but essentiellement de traiter de plus faibles volumes et donc d'avoir des ouvrages et équipements plus compacts.

L'épaississeur n'est pas le « dépotoir » final du traitement de l'eau mais l'ouvrage intermédiaire indispensable entre la chaîne de traitement des boues.

Son but est de :

- Soulager le traitement de l'eau en captant au maximum les boues produites par cette chaîne de traitement en lui restituant une surverse pu changée dite « claire » afin d'éviter tous les stockages préjudiciable de boues dans les ouvrages de traitement d'eau.
- Fournir à la chaîne de traitement des boues, un « produit » rassemblant le maximum de qualité tant en concentration qu'en « fraîcheur » afin d'assurer les conditions optimales de déshydratation.

L'épaisseur doit être considérée comme un ouvrage à part entière remplissant les mêmes fonctions qu'un décanteur (qu'il soit primaire ou secondaire), c'est-à-dire qu'il réalise une séparation solide liquide.

Caractéristiques fonctionnelles

- Charge massique :  $30\text{kg/m}^2/\text{j}$
- Concentration de sortie moyenne :  $20\text{g/l}$  minimum
- Volume journalier à transférer en déshydratation  $792\text{ m}^3$

L'eau, mélangée à la boue formée dans le bassin d'aération est évacuée vers le clarificateur, ce mélange est séparé par décantation et les boues sont récupérées par une pompe qui les envoie vers l'épaisseur, où elles décantent encore une fois pour être plus épaisses et plus denses. L'eau qui reste à la surface est renvoyée vers le début de la station pour subir les mêmes traitements que l'eau brute.

La boue épaissie est dirigée vers une machine, où elle est séparée de la petite quantité d'eau qui reste, puis elle est essorée sous un rouleau, pour enfin passer entre deux tapis où elle sera aplatie (forme pâteuse) puis évacuée à l'extérieur vers un camion qui la rejette dans une décharge publique pour être traitée avec le reste des ordures ménagères.

Le schéma ci-dessous représente les différents ouvrages de la STEP de Boumerdes par lesquels passent les eaux usées pour le traitement.

#### **III.4. Appareils et instruments de mesure au niveau de la STEP :**

La STEP dispose d'un laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau à l'entrée et à la sortie, à l'aide de plusieurs appareils comme :

##### **Mesure électrométrie du pH**

- pH mètre (Réf : pH/OXI 340i/SET).
- Electrode de pH combinées.

##### **Détermination des matières en suspension (MES)**

- Four (Etuve UNIVERSELLE PRO LABO).
- Centrifugeuse (HETTICH UNIVERSAL).
- Dessiccateur.
- Balance électrique.
- Bols en céramique.

##### **Détermination des matières volatiles en suspension (MVS)**

- Four (Mark : Naber – Industrie of enbau).

- Dessiccateur.
- La coupelle en porcelain.

**Détermination de l'azote totale (NTK)**

- Digesteur (BUCHI K – 424).
- Distillateur (BUCHI B – 324).
- Titracteur.

**Détermination de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) :**

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à  $\lambda = 655 \text{ nm}$ .

**Détermination des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :**

- Etuve universelle MEMMERT (incertitude  $\pm 5.79^\circ\text{C}$ ).
- Fiole 25 ml.
- Bécher 25 ml.
- Spectrophotomètre UV visible.

**Détermination des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :**

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à  $\lambda = 543\text{nm}$ .

**Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) :**

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à  $\lambda = 880\text{NM}$

**Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) :**

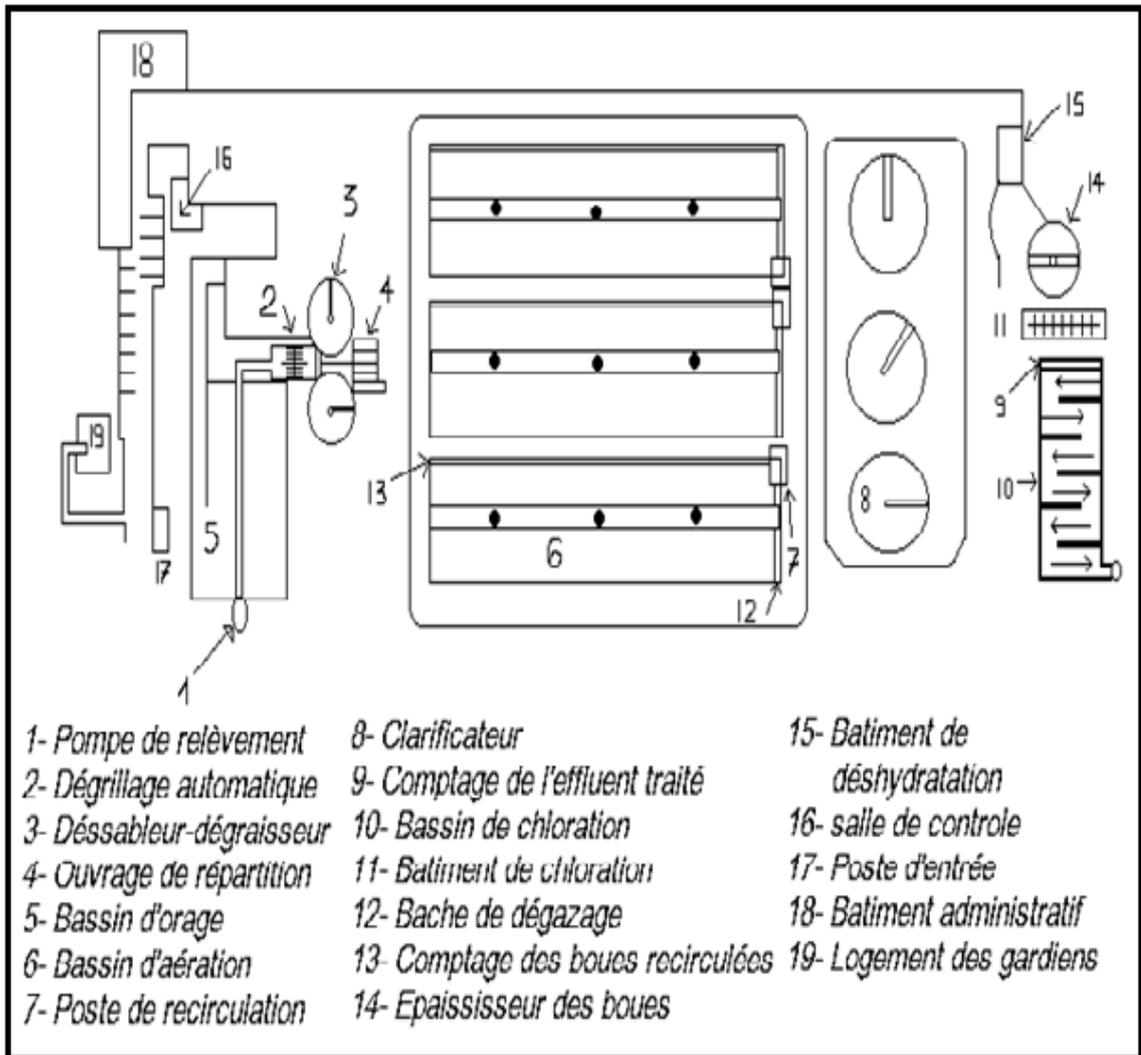
- DCO mètre.
- Burette de précision.
- Régulateurs d'ébullition (billes en verre)

**Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :**

- DBO mètre avec OXITOP                      référence : TS606 – 6 / 2    mark WTW
- Enceinte thermostatique (T = 20°C).
- Plaque jaune (agitateur).
- Bareau magnétique.
- Flacon échantillon brun (volume nominale 510 ml)

**Détermination des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

- Spectrophotomètre.



**Figure III-09 :** Les ouvrages de la STEP de Boumerdes

### III.5. Etude physico-chimique des eaux de la STEP de Boumerdes:

#### III.5.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation:

Étant une pratique particulière, l'irrigation avec les eaux usées traitées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (microorganismes Pathogènes, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc.).

Rien ne nous empêche de procéder à différent test de contrôle et de surveillance. La notion de « surveillance continue » implique des mesures quantitatives périodiques de certains paramètres physiques et chimiques dans des échantillons d'eau prélevée à la station d'épuration.

Les indices de qualité de l'eau qui doivent être mesurés sont interprétés à base des différentes organisations et laboratoires parmi lesquelles :

- United State Salinity Laboratory ;
- ✓ **Guide de l'U.S Salinity Laboratory :**

L'eau utilisée pour irriguer contient toujours des quantités mesurables de substances dissoutes qui, selon une terminologie collectivement admises sont appelés sels, on y trouve en quantités relativement faibles mais ayant des effets importants.

Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient. Avec une eau de qualité médiocre on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques, il faut alors mettre en oeuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole.

Les problèmes qu'entraîne l'utilisation d'une eau de médiocre qualité varient tant en nature qu'en gravité, les plus communes sont les suivantes :

Salinité ; perméabilité ; toxicité.

Un guide pour l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques, est représenté sous forme d'un tableau (voir Tableau III-2)

- ✓ **Contraintes chimiques :**

Selon les recommandations du Conseil Supérieure de l'Hygiène Publique de France la qualité chimique à laquelle doivent répondre ces eaux est la suivante:

Les effluents à dominante domestique [(le rapport **DCO/DBO5 < 2,5**, **DCO < 75mg/l** et **NTK (Azote total Kjeldhal <100 mg/l)**] Peuvent être utilisés, après épuration, pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. L'utilisation d'effluents à caractère non domestique, du fait de la présence possible (en quantité excessive) de micropolluants chimiques minéraux ou organiques, reste assujettie à un examen particulier de leur qualité chimique; dans certains cas, elle pourra être interdite.

### **III.5.2. Classification des eaux d'irrigation:**

Parmi les différents paramètres physico-chimiques d'une eau d'irrigation la salinité en constitue l'aspect le plus important. L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sels entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement, parallèlement un excès de sodium peut engendrer l'alcalinisation et la dégradation de la structure du sol. Deux paramètres permettent d'apprécier, pour une étude sommaire les risques dus à la salinité :

- Conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm) ;

- Le SAR (% de Na échangeable).

✓ **Définition de la salinité d'une eau :**

La salinité d'une eau est un terme utilisé pour faire référence à la concentration totale d'ions inorganiques majeurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  et  $\text{Cl}^-$ ) dissous dans cette eau. Elle exprime la concentration totale des cations ou anions en solution et non la somme des concentrations de ces cations et anions.

Pour des raisons de commodité analytique, un indice pratique de salinité électrique  $C_e$  exprimée en decisiemens par mètre (**ds/m**) ou en **mmhos/cm**.

La mesure de la salinité d'une eau se fait comme celle d'un extrait saturé à l'aide d'un conductimètre à une température standard de 25°C.

Les eaux d'irrigations, en fonction des dangers que peuvent entraîner leur utilisation, sont réparties en plusieurs classes. Plusieurs auteurs s'étant intéressés de très près à la qualité des eaux d'irrigations ont proposé différentes classes d'eau salée comme nous allons voir.

**III.5.2.1. Classification mondiale de la FAO (g/l) :**

Pour  $C_e$  égal ou compris entre :

1g/l → bonne pour l'irrigation

1-3g/l → faiblement salée

3-5g/l → moyennement salée

5-10g/l → fortement salée

>10 g/l → extrêmement salée

Si le sol et l'eau d'irrigation sont pauvres en calcium (Ca), une alcalinisation du sol peut se produire du fait de l'adsorption de  $\text{Na}^+$  par le complexe adsorbant du sol surtout dans les proportions dépassant 3-1 g/l. Généralement au delà de 1 g/l il est nécessaire d'avoir un bon drainage du sol, un régime de lessivage et une technique élevée des travaux agro-techniques du sol.

**III.5.2.2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory):**

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation. Proposée par le laboratoire de Riverside (RICHARDS 1954), elle est basée essentiellement sur 2 paramètres :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux pouvant être destinées à l'irrigation

C'est-à-dire :

✚ Conductivité électrique exprimée en  $C_e$  (mmhos/cm) ;

✚ Le SAR (% de Na échangeable).

**A- Classification selon la salinité de l'eau CE :**

Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique CE<sub>25°C</sub>, on distingue cinq(5) classes :

- **C2** :  $0,25 < CE < 0,75$  mmhos/cm : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.
- **C3** :  $0,75 < CE < 2,25$  mmhos/cm : l'eau à forte salinité, inutilisable pour les sols à drainage restreint.
- **C4** :  $2,25 < CE < 5$  mmhos/cm : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- **C5** :  $CE > 5$  mmhos/cm : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers).

**B- Classification selon le risque d'alcalinisation SAR :**

Le risque d'alcalinisation d'un sol par l'eau d'irrigation est apprécié selon le sodium adsorbable par ce sol. Ainsi, selon le taux adsorbable de sodium (SAR) d'irrigation, on distingue quatre (4) classes :

- **S1** :  $SAR < 10$ : L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- **S2** :  $10 < SAR < 18$ : Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol. Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- **S3** :  $18 < SAR < 26$ : Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps.
- **S4** :  $SAR > 26$ : Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique.

✓ **Commentaire :**

Ces types de classification et d'autres sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas

compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée.

La qualité d'une eau d'irrigation doit être évaluée en fonction des conditions spécifiques dans lesquelles elle est utilisée c'est à dire la nature des cultures, le type de sol, les modes d'irrigations, les pratiques culturales et les conditions climatiques. En raison de toutes ces réserves les classifications existantes doivent être utilisées comme indicateurs et être vérifiées en fonction des conditions locales d'utilisation.

**III.5.3. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP de Boumerdes :**

**III.5.3.1. Normes de rejets :**

Pour une meilleure protection de l'environnement, aquatique, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet; qui sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III-02 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)**

paramètre	unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
pH	-	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O <sub>2</sub> /l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO <sub>5</sub>	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO <sub>4</sub> )	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100mL

Source : ANRH (ALGER)

(\*) : OMS

**III.5.3.2. Résultats d'analyses et interprétation :**

Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques suivant :

Température, Conductivité, pH, DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et PO<sub>3</sub><sup>-4</sup>.

Pour la température et le pH, la mesure a été réalisé in- situ par contre les autres paramètres tels que DCO, DBO<sub>5</sub>... etc. la mesure a été effectuée au laboratoire tout en tenant compte du mode de conservation de l'échantillon, afin d'éviter l'évolution de l'effluent entre le moment de prélèvement et celui de l'analyse.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

**Tableau III-03 :** Les résultats des analyses obtenus à l'entrée et à la sortie de la STEP

Paramètres physico-chimique	Eau brute	Eau épurée
Température	18.86 C°	19.12 C°
PH	7.35	7.33
MES	227.84 mg/l	14 mg/l
DBO <sub>5</sub>	325 mg/l	24.5 mg/l
DCO	538.25 mg/l	38.75 mg/l
Azote totale NTK	36.53 mg/l	12 mg/l
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	30.95 mg/l	8.83 mg/l
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	8.21 mg/l	1.56 mg/l
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	4.67 mg/l	1.31 mg/l
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.067 mg/l	0.135 mg/l
CE	1569 µS/cm	1432 µS/cm

Source : ONA (Unité de Boumerdes. Avril 2011)

**Tableau III-04 :** Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP

Minéralisation globale	Unité	Valeurs obtenues
Calcium	mg/l	104
Magnésium	mg/l	33
Sodium	mg/l	135
potassium	mg/l	16
Chlorure	mg/l	125
Sulfate	mg/l	186
Bicarbonates	mg/l	305
Carbonates	mg/l	0

Source : ANRH (Blida)

**Tableau III-05 :** les résultats des analyses chimique obtenus à la sortie de la STEP et au bassin du propriétaire terrain

N° ordre	N° échant	Analyse par spectromètre d'absorption teneur mg/l									
		Pb	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Fe	Cd	Ag
1	Bassin flici	< 0,1	<	<	0,012	<	<	<	0,06	<	<
			0,04	0,01		0,06	0,05	0,05		0,01	0,001
2	STEP Boumeres	< 0,1	<	<	<	<	<	<	<	<	<
			0,04	0,01	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,01	0,001

Source : ONA (Unité de Boumerdes)

✓ **Interprétation :**

D'après les résultats du tableau **III-03** on constate que :

- ✓ La température et le pH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet :

L'influence de pH est indiscutable sur le rendement d'élimination de la pollution organique, et tous les travaux effectués montrent que l'activité optimale du nitrobacter a lieu pour une plage de pH (6.5 - 8.4). Pour le processus de précipitation du phosphore, c'est plutôt d'un pH acide qui donne un meilleur rendement d'élimination.

Pour la température l'élévation de celle-ci dans les rejets non contrôlés a pour effet d'accélérer les réactions biologiques et par conséquent l'épuisement de l'oxygène qui a pour cause la perturbation de la vie aquatique.

- ✓ Les valeurs de DCO et DBO5 répondent aux normes de rejets :

Le rendement d'élimination de la DCO est efficace (plus de 92 %) et pour la DBO5 il est de l'ordre de plus de 93%. La bonne élimination de la DBO5 s'explique par le fait du bon ajustement de pH du milieu ambiant, ainsi l'absence des matières inhibitrice, la présence des nutriments (phosphore, azote), bonne aération de l'ouvrage qui a pour conséquent la reproduction du floc bactérien.

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. Ce rapport est égal à 1.66 (538.25/325), signifie que l'effluent de la station est biodégradable.

- ✓ La valeur de MES est dans la norme, donc on n'a pas des problèmes du colmatage des distributeurs du système d'irrigation localisée. Pour des précautions, une filtration efficace préalable et adaptation des distributeurs sont recommandées.

D'après les résultats du tableau **III-04** on constate que :

- ✓ La présence de l'azote totale, en quantité dans les normes (OMS1989).

La teneur très faible en nitrates  $\text{NO}_3^-$  ne pose aucune restriction à l'usage (OMS1989).

La teneur très faible en nitrites  $\text{NO}_2^-$  ne pose aucune restriction à l'usage (OMS1989).

L'azote ammoniacal : Sa présence en grande quantité dans les eaux épurées est synonyme de contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. L'ammoniac présente une forte toxicité pour les organismes vivants lorsqu'il est sous sa forme non ionisée ( $\text{NH}_3$ ). La teneur en ammonium augmente en fonction du pH et de la température.

Selon les normes de la FAO, la teneur en azote ammoniacal doit être comprise entre 0.2 et 10 mg/L. Les eaux usées épurées de Boumerdes présentent une concentration de 8,83 mg/l, ce qui est normale pour l'irrigation.

- ✓ Le phosphore est présent dans les eaux sous forme de phosphates. Selon la FAO, la valeur admissible en phosphates pour une eau d'irrigation se situe **entre 1 et 5mg/l**.

L'évaluation du phosphate devrait être réalisée avec les analyses du sol pour bien quantifier la valeur exacte qui se trouve dans l'eau et le sol. Si cette quantité est insuffisante pour les besoins des cultures, on devra effectuer des amendements complémentaires.

La teneur moyenne en phosphates dans l'eau de la STEP de Boumerdes est de **1,31mg/l**, c'est une eau conforme aux normes, donc il est admissible pour l'irrigation.

- ✓ Le potentiel de fertilisation potassique des eaux usées est de **50mg/l**, selon la norme de la FAO.

La teneur moyenne en cet élément dans les eaux épurées de la STEP de Boumerdes est de **16 mg/l**, donc elle est dans les normes d'irrigation

- ✓ On note essentiellement la présence du sodium et du chlore, en quantité dans les normes (FAO 1985), Donc nous n'avons pas le risque des brûlures des feuilles. Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion (données de Mass). L'apport des eaux sera mieux adapté par l'irrigation localisée ou de surface. La teneur des bicarbonates (5 meq/l) fait que le degré de restriction à l'usage est léger à modéré (FAO 1985, voir tableau **I-03**).

- ✓ Le caractère le plus important est la salinité de l'eau, on enregistre une valeur forte de l'ordre de 1,253 mmhos/cm (Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977), inutilisable pour les sols à drainage restreint, et pour la (FAO 1985) cette eau a restriction légère à modérée.

- ✓ Selon office internationale de l'eau (OIE) les Concentrations d'éléments à l'état de trace Sont dans les normes

#### Calcul du SAR ajusté :

Le coefficient ajusté d'adsorption du sodium (SAR ajusté) se calcul au moyen de la formule ci-dessous :

$$\text{SAR ajusté} = \frac{\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}} * [1 + (8.4 - \text{PHc})]$$

Avec :

Na, Ca et Mg : déterminées par analyse de l'eau, exprimés en meq/l ;

PHc : calculé à l'aide de table,  $\text{PHc} = (\text{pK}_2 + \text{PKc}) + \text{P}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{P}(\text{A}/\text{K})$  :

(pK2+PKc) : s'obtient en faisant la somme de (Ca+Mg+Na) en meq/l

P(Ca+Mg) : s'obtient en faisant la somme de (Ca+Mg) en meq/l

P(A/K) : s'obtient en faisant la somme de (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>)

d'où SAR= 3.22 et (pK2+PKc) = 13.81 P (Ca+Mg) =7.95 P (A/K) = 5

**PHc = 6.9**

PHc < 8.4 indique une tendance à précipiter CaCO<sub>3</sub> du sol.

Pour la confirmation on calcule RSC

$$RSC = ([CO_3] + [HCO_3]) - ([Ca] + [Mg]) = 2.45$$

Donc :  $1.25 < RSC < 2. \implies$  Cette eau est marginale (utilisable)

On aura : **SAR ajusté = 8.1** (classe S1), pas de problème de point de vue infiltration dans le sol.

L'eau peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation (USSL).

D'après la classification de laboratoire USSL (voir l'annexe 02), l'eau épurée est de classe C3-S2 (SAR ajusté = 8,05 et Ce = 1,253 mmhos/cm).

### **Conclusion :**

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux usées épurées répondent pratiquement à toutes les normes de la FAO et OMS, ce qui encourage sa réutilisation dans les domaines cités auparavant

## CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### IV.1. Présentation du site :

#### IV.1.1. Localisation

Le périmètre à irriguer se trouve dans la wilaya de Boumerdes, avant d'arriver à la commune de Corso à 1 km c'est une propriétaire d'ALFLICI et ses frères.

La superficie de ce périmètre est de 43 hectares dont Les limites sont la route RNN°24 au sud, chemin d'exploitation à l'Est, la route MABROUK à l'Ouest.

Les coordonnées de Lambert des angles A,B,C,D du pseudo-trapèze sont :

$$\begin{array}{ll}
 A \left\{ \begin{array}{l} X= 538 \text{ km} \\ Y = 4067,85 \text{ km} \end{array} \right. & B \left\{ \begin{array}{l} X= 538,8 \text{ km} \\ Y= 4068 \text{ km} \end{array} \right. \\
 C \left\{ \begin{array}{l} X= 538,3 \text{ km} \\ Y= 4067,3 \end{array} \right. & D \left\{ \begin{array}{l} X= 538 \text{ km} \\ Y=4067,3 \text{ km} \end{array} \right.
 \end{array}$$

L'alimentation de ce périmètre est assurée par la STEP de Boumerdes mise en service en 2001, située au Sud Est du périmètre et éloignée de 5 Km à ce dernier.

#### IV.1.2 Etude hydrogéologique de la parcelle à irriguer

C'est un vaste plateau surélevé constituant au nord une falaise le long du littoral.

Ce plateau présente une formation lithostrotigraphique homogène constituée (formation) par un dépôt d'âge pliocène d'épaisseur de 30 à 35 mètre sur toute sur étendue par un mélange de sable jaunâtre et petits galets arrondis, poli blanchâtre siliceuse (mignonette)

Le tout dans une matrice argilo-limoneuse rougeâtre dont le nom donné à cette terre (TERRA ROSA), présentant une perméabilité assez élevée de l'ordre  $10^{-3}$  à  $10^{-5}$  m/s (moyenne  $10^{-4}$  m/s), bonne fertilisation.

Cette formation repose sur un substratum imperméable formé de marnes grisâtre d'âge plais ancien. Au point de vue hydrogéologique ce dépôt est constitué d'une nappe d'eau souterraine dont les potentialités en eau sont appréciable, où des forages réalisés ont donnés des débits qui varie de 3 à 6 l/s destinés pour l'industrie et à l'irrigation. Les eaux de cette nappe connaissent une décharge sur forme de sources le long de cette falaise suscitée.

### IV-2. Climatologie :

Dans l'aménagement d'un périmètre irrigué, l'étude climatologique revêt une importance capitale, car le climat est un facteur qui est déterminant pour le choix des cultures ainsi que pour l'estimation des doses d'irrigation nécessaires.

Cette étude va nous permettre de déterminer le climat de la région où se situe notre périmètre.

Pour cela nous allons nous intéresser à un ensemble de phénomènes météorologiques qui conditionne l'évolution de ce dernier.

Parmi ces phénomènes météorologiques on peut citer : les précipitations ; les variations de température, l'évapotranspiration, le vent, l'humidité relative.....etc.

Les données météorologiques utilisées dans cette étude ont été fournis par l'ANRH , certains compléments sont obtenus auprès de l'Office National de la Météorologie(ONM).

Les caractéristiques géographiques de la station sont présentées dans le tableau

**Tableau IV-1 : Caractéristiques géographiques de la station de Boumerdes**

station	Latitude (X)	Longitude (Y)	Côte (Z)	code
Boumerdes	569.15	384.4	50	020647

#### IV.2.1. Pluviométrie moyenne mensuelle :

La station pluviométrique représentative est celle de notre région d'étude, les données couvrent la période de 1985 à 2010 (voir Annexe N°1). La répartition mensuelle des pluies est donnée par le tableau suivant :

**Tableau IV-2 : Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm)**

MOIS	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Pmoy</b>	78.4	60.35	56.0	50.24	44.11	7.80	2.30	2.85	28.5	50.8	85.8	110.25
<b>%</b>	13.58	10.45	9.97	8.7	7.64	1.351	0.4	0.49	4.94	8.80	14.86	19.09

**Source : (ANRH) Blida**

- Saison pluvieuse de Novembre à Février.
- Saison sèche de Juin, Juillet et Août.
- Saison moyenne de Septembre, Octobre, Mars, Avril et Mai.

#### IV.2.2. Températures moyennes mensuelles :

Les températures extrêmes et moyennes sur une période d'observation de 10 ans (1995 à 2004) sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau IV-3** : Températures moyennes mensuelles en (C°)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T <sub>min</sub>	9.8	9.4	10.6	11.9	14.8	18.3	21.0	22.3	19.9	17.3	13.1	10.8
T <sub>max</sub>	16.4	16.4	17.6	19.3	21.5	24.8	27.4	29.1	26.5	24.6	19.9	17.4
T <sub>moy</sub>	13.1	13.0	14.1	15.6	18.1	21.5	24.2	25.7	23.2	20.9	16.5	14.1

Source : (ONM) Dar El-Beida

L'analyse de ces moyennes montre qu'au niveau mensuel, les températures diminuent pendant les trois mois d'hiver (Décembre, Janvier, Février) d'un minima de 13.0°C et elles progressent pendant les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août) d'un maxima de 25.7°C, l'écart entre ces deux extrêmes donne une amplitude thermique de 12.7°C, Quant à la température moyenne annuelle elle est de 18,3 °C.

#### IV.2.3. Humidité relative :

L'humidité relative ou état hygrométrique est le rapport en % de la tension moyenne de vapeur sur la tension maximum de celle-ci, correspondant à la température mesurée au thermomètre sec.

C'est un élément important du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente le degré de saturation de l'air en vapeur d'eau.

Les données d'humidité relative mensuelles moyennes de la région, mesurée au psychomètre sont présentées au tableau :

**Tableau IV-4** : Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en %

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Hr <sub>moy</sub> (%)	66	68	62	60	65	65	56	62	68	67	66	63	64

Source : ONM

- Le mois le plus humide est le mois de février avec 68%
- Le mois le moins humide est le mois de juillet avec 56%.

#### IV.2.4. Vents :

Le vent constitue un facteur exerçant une grande influence sur les cultures et les systèmes D'irrigations. Il est caractérisé par sa vitesse et sa direction. Son étude nous semble nécessaire pour l'orientation et l'implantation des brises vents.

Les vitesses moyenne du vent sont considérées comme « modérées » et homogènes durant toute l'année, avec une moyenne annuelle de 3,05m/s.

**Tableau IV-5 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents (m/s)**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	sep	Oct	Nov	Déc	moy
<b>V(m/s)</b>	3.6	3.4	3.3	3.1	2.8	2.5	2.8	2.6	2.8	2.5	3.4	3.8	3.05

Source : ONM

#### **IV.2.5. Insolation :**

Le phénomène d'insolation qui est défini par le nombre d'heures pendant les quelles le soleil a brillé, est enregistré durant toute l'année avec des valeurs variables, les plus importantes ont lieu en période chaude allant d'Avril au mois de Septembre, la valeur la plus élevée est celle du mois de Juillet avec (11.90 heures).

Les moyennes inférieures à 8,2 h/j (moyenne annuelle) sont enregistrées dans les six mois de la période froide, elles atteignent leurs minima au mois de Décembre avec 4.03 heures/jour.

**Tableau IV-6 : Insolation mensuelle moyenne en heures.**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Moy (heure)	155.0	188.9	225.7	257.1	271.3	298	322.7	295.7	255.5	229.6	166.1	142.4
Heure/j	5.0	6.75	7.28	8.57	8.75	9.93	10.42	9.55	8.52	7.42	5.54	4.59

Source : ONM

On lève à partir de ce tableau que l'insolation de la région est très importante. Elle est de l'ordre de 2 990 heures par an soit une moyenne de 7.7 heures par jour.

#### **IV.2.6. Evaporation :**

L'évaporation est un problème physique qui croit avec la température et la sécheresse de l'air.

La quantité d'eau évaporée pendant un temps donné dépend de plusieurs facteurs liés d'une part à l'état de l'atmosphère et d'autre part à la surface évaporant.

**Tableau IV-7 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Evp (mm)	76.4	78.8	94.6	96.9	111.7	115.7	121.2	111.3	114.5	105.6	81.1	87.3	1102.2

Source : ONM

On observe une évaporation annuelle de 1102.2 mm,

L'évaporation est maximale dans le mois de Juillet, elle atteint 121.2 mm.

❖ **Représentation du diagramme de Gaussen: (voir figure N° IV.1)**

Le diagramme de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitations et de températures en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période où l'irrigation est indispensable (période sèche).

Dans cette représentation, les mois secs sont définis comme étant les mois où le total des précipitations exprimées en (mm) est égal ou inférieur au double des températures moyennes mensuelles exprimées en (C°). Le contraire est bien sûr valable pour les mois humides.

Pour la représentation de ces graphiques on a le tableau suivant :

**Tableau IV-8:** Précipitations et températures moyennes mensuelles

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	78.4	60.35	56.0	50.24	44.11	7.8	2.3	2.85	28.5	50.8	85.8	110.25
T (C°)	13.1	13.0	14.1	15.6	18.1	21.5	24.2	25.7	23.2	20.9	16.5	14.1
2T (C°)	26.2	26	28.4	31.2	36.2	15.6	48.2	51.4	46.4	41.8	33	28.2

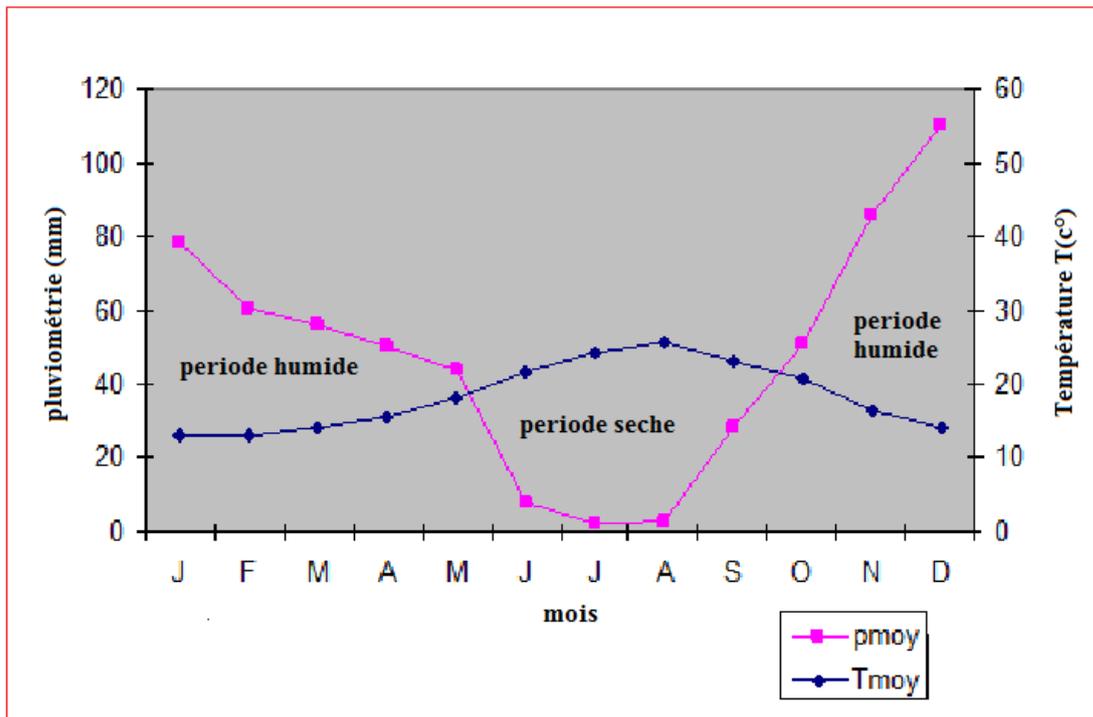
En résumé:

- Mois sec:  $P \text{ (mm)} \leq 2T \text{ (C°)}$
- Mois humide:  $P \text{ (mm)} \geq 2T \text{ (C°)}$

Nous pouvons constater de ce diagramme que nous avons deux saisons, l'une sèche qui s'étend sur plus de 4 mois, du fin Mai jusqu'au mois de Septembre, pendant cette période l'irrigation est une nécessité absolue.

L'autre saison est la saison humide, qui dure 8 mois pendant laquelle le recours à l'irrigation peut être une nécessité si on enregistre un déficit en eau.

Graphique IV-01 : Diagramme Ombrothèrmique de Gaussen



### IV.3. Classification de climat :

#### IV.3.1. Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTON:

L'indice d'aridité ou de MARTON est un paramètre qui permet la classification de climat afin de nous renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation par rapport au climat.

L'indice d'aridité est donné par l'expression :

$$I_A = \frac{T}{P} \quad (1)$$

Avec :

$I_A$  : indice de MARTON ;

P : précipitation annuelle moyenne de la région en (mm/an) ;

T : température moyenne annuelle en °C.

**Tableau IV-9** : Classification de climat selon MARTON

Valeurs de I	Type de climat	Irrigation
$I < 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Pour :

$$P_{\text{moy}} = 577.4 \text{ mm/an et } T_{\text{moy}} = 18.3$$

On aura :

$$I_A = \frac{P_{\text{moy}}}{T_{\text{moy}}} = 20.38$$

Selon l'indice d'aridité calculé  $20 < I_A = 20.38 < 30$ , on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime de climat Relativement humide, où l'irrigation est Parfois utile.

#### IV.3.2. Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER:

La méthode est fondée sur un diagramme dressé par Mr. EMBERGER qui nous renseigne sur le type de climat, ainsi que la nature d'hiver dominant d'une région. Le quotient d'EMBERGER que nous avons projeté sur le diagramme bioclimatique est le suivant :

$$Q = \frac{P}{\frac{(M + m)^2}{2}} = \frac{P}{\frac{(M + m)^2}{2}} \quad (2)$$

Avec :

Q : quotient pluviothermique d'EMBERGER ;

P : précipitation moyenne annuelle de la région (mm) ;

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en (K°) ;

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en (K°).

Pour :

$$P = 577.4 \text{ mm}$$

$$M = 29,1 + 273 = 302,1 \text{ K}^\circ$$

$$m = 9,4 + 273 = 282,4 \text{ K}^\circ$$

on aura :

$$Q = \frac{P}{\frac{(M + m)^2}{2}} = 100,29$$

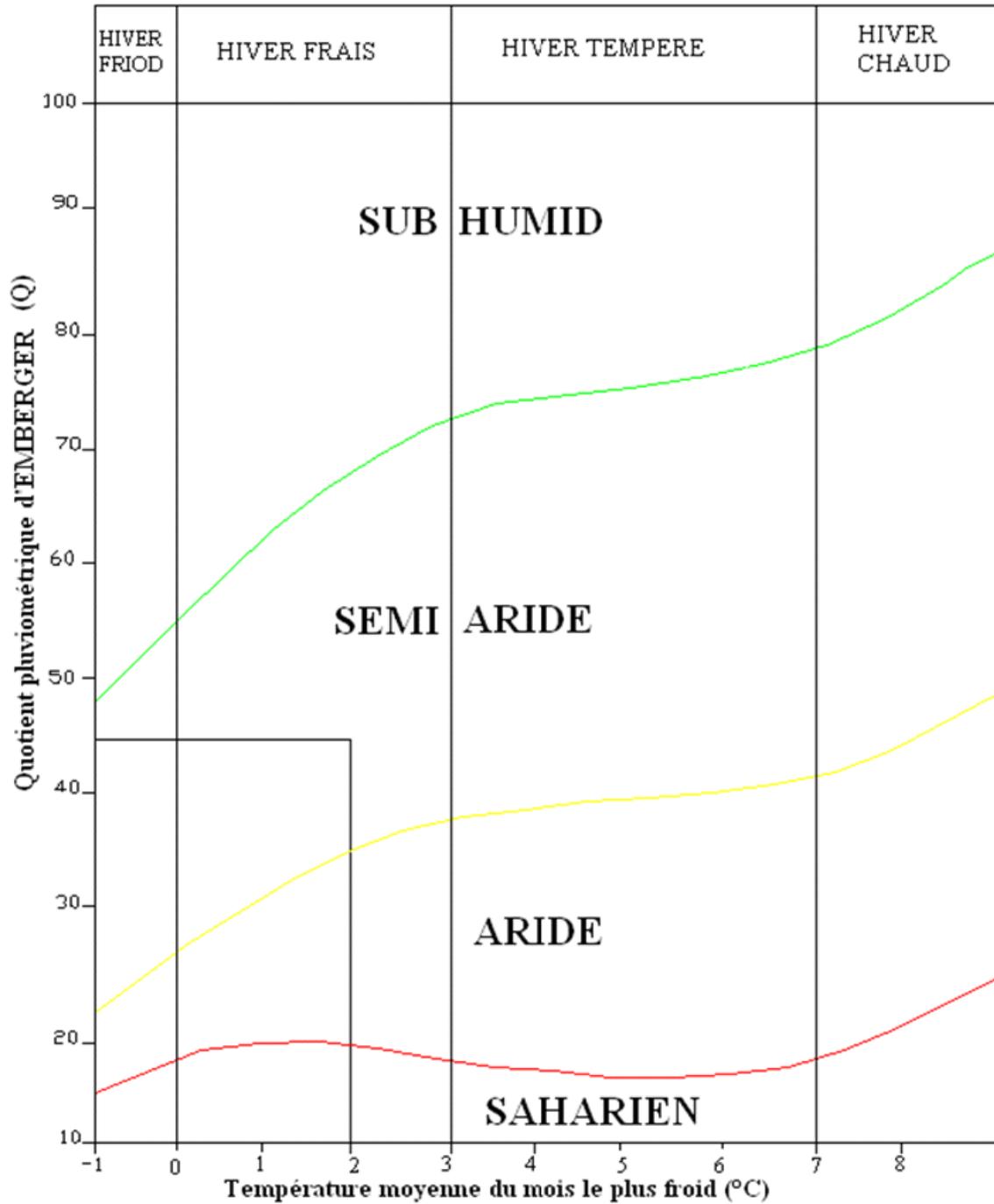


Figure IV-02 : Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

Après projection des valeurs ( $Q=100,28$  et  $m=9,4^{\circ}\text{C}$ ) dans le diagramme bioclimatique D'Emberger nous pouvons conclure que le climat de la région est sub humide à hiver chaud. Ces renseignements complètent celles obtenus précédemment par la méthode de Marton, et qui sont d'une importance majeure.

#### **IV.4. Etude hydrologique :**

An niveau de cette étude nous allons faire une analyse fréquentielle des précipitations afin de définir la probabilité d'occurrence d'une valeur théorique à partir des relevés pluviométriques sur un nombre assez long en admettant que chaque événement pluvieux prend une valeur indépendante et aléatoire lors de sa réalisation.

Cette analyse permettra de déterminer la hauteur de pluie qu'on est sûr de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation, on adopte généralement les probabilités de dépassement de 4 années sur 5 soit une fréquence de 80%.

Pour cela nous aurons dans un premier temps à faire le choix de la probabilité qui sera susceptible de s'ajuster d'une manière adéquate à notre échantillon, ce qui aura pour but d'ajuster d'une loi théorique de répartition des fréquences connues à la droite ou à la courbe expérimentale des fréquences de l'échantillon.

Dans un second temps nous aurons à estimer analytiquement ou graphiquement la valeur que prendra un événement quelconque pour une probabilité donnée et ce à partir de la loi ajustée. mais avant tout il y'a lieu de vérifier la fiabilité des données pluviométrique qui sont à notre niveau. Pour cela nous allons nous assurer de l'homogénéité des valeurs de cette série.

##### **IV.4.1. Homogénéité de la série pluviométrique :**

En générale, l'homogénéisation des données hydrologiques est indispensable, préalablement à toute exploitation hydrologique de ces dernières, car les mesures ne sont pas menées souvent avec soin. En effet, outre que la possibilité de données défectueuses ou sujette à caution, il arrive fréquemment qu'une station pluviométrique présente des interruptions dans les relevés, rendant difficile son utilisation.

La série à laquelle nous faisons allusion cette partie est la série enregistrée au niveau de la station pluviométrique de Boumerdes, les valeurs de cette série sont représentées dans l'annexe N°1.

Donc comme nous l'avons précédemment dit, nous allons dans cette partie tester l'homogénéité de cette série afin de détecter et de corriger les anomalies où les valeurs erronées qui peuvent exister. Pour cela nous allons utiliser le test de Wilcoxon.

##### **➤ Test de Wilcoxon :**

Ce test repose sur un procédé simple, permettant de tester l'homogénéité d'une série de données, sans qu'il fasse appel à une autre série pluviométrique homogène d'une station voisine, étalée sur la même période d'observation.

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique d'enregistrement complet, par

le test de Mr Wilcoxon, repose sur le procédé ci-dessous : [14]

\*On divise la série complète des pluies moyennes annuelles de référence en deux sous-séries : x et y de telle sorte que N1 et N2 représente respectivement les tailles de ces deux sous séries, (généralement on prend  $N_2 > N_1$ ).

\*On constitue par la suite, la série "X" union "Y" après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang, tout en précisant à quelle sous-séries appartient-elle. Une fois que ces opérations sont effectuées nous allons passer au test de Wilcoxon selon lequel une série est homogène avec une probabilité de 95% si :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad (3)$$

Avec :

$W_x$  : Somme des rangs de la sous série X ;

$$W_{\min} = \left[ \frac{(1+2+1) \dots (1-1)}{2} - \frac{1 \dots 2(1+2+1)}{12} \right] \quad (4)$$

$U_{1-\alpha/2}$  : représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de  $1-\alpha/2$  ( $U_{95\%} = 1.96$ )

$$W_{\max} = (N_1+N_2+1) N_1 - W_{\min} \quad (5)$$

Le tableau V-15, détaille le procédé de test d'homogénéité proposé par de Mr Wilcoxon pour la station de Boumerdes.

On a donc :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad \Leftrightarrow \quad 106,97 < 112 < 205,03$$

Après avoir vérifié la condition de Mr Wilcoxon, la série des précipitations moyennes annuelles est jugée homogène.

**Tableau IV-10** : Test de Wilcoxon pour la série des données de la station de Boumerdes

Rang	Série d'origine P (mm)	Série X (mm)	Série Y (mm)	TRI ↓ (mm)	X Union Y
1	441.5	441.5	625.2	130.8	X
2	645.5	645.5	533.1	302.5	X
3	434.3	434.3	462.4	320.5	Y
4	516.6	516.6	320.7	376.2	X
5	413.8	413.8	1005	413.8	X
6	566.4	566.4	707.4	434.3	X
7	130.8	130.8	539.6	441.5	X
8	376.2	376.2	749.2	462.4	Y
9	547.2	547.2	730.9	516.6	X
10	634.9	634.9	626.4	533.6	Y
11	302.5	302.5	639.7	539.6	Y
12	701.6	701.6	963.8	547.2	X
13	625.2	-	794.5	566.4	X
14	533.1	-	-	625.2	Y
15	462.4	-	-	626.4	Y
16	320.7	-	-	634.9	X
17	1005	-	-	639.7	Y
18	707.4	-	-	645.5	X
19	539.6	-	-	701.6	X
20	749.2	-	-	707.4	Y
21	730.9	-	-	730.9	Y
22	626.4	-	-	749.2	Y
23	639.7	-	-	794.5	Y
24	963.8	-	-	963.8	Y
25	794.5	-	-	1005	Y

$N_1$	$N_2$	$W_{\min}$	$W_x$	$W_{\max}$
12	13	106.97	112	205,03

Après avoir vérifié l'homogénéité de la série, il faudra choisir une loi de probabilité susceptible de s'ajuster d'une manière à notre échantillon. C'est à partir de loi, que l'on pourra estimer analytiquement ou graphiquement la valeur de la pluie moyenne annuelle d'une fréquence 80% avec une période de retour 5 ans, valeur à partir de laquelle nous

pourrons estimer la pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% sur la même période de retour.

**IV.4.2. Etude des pluies moyennes annuelles :**

Dans le cas de notre projet, il sera utile de connaître les variations annuelles des précipitations pour les périodes de retours de 2 ans et 5 ans (fréquence de 0.5 et 0.2 respectivement), dont le but, est de calculer les besoins en eau d'irrigation.

Pour cela, nous proposons l'ajustement des séries par la loi normale, appelée souvent loi de Gauss, qui s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles.

**IV.4.2.1. Ajustement à la loi de Gauss :**

La loi de Gauss est une loi qui admet la fonction ci-dessous comme fonction de répartition :

[14]

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du \quad (6)$$

Avec :

F(x) : fonction de répartition.

U : variable réduite de Gauss donnée par la formule :

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (7)$$

Dans l'expression (7) apparaissent deux paramètres d'ajustement :

\* P : Précipitation annuelle moyenne..

\* σ : Ecart type de la série de pluies moyennes annuelles.

Les pluies moyennes annuelles probables seront déterminées par la relation (8) ;

$$P = \mu + \sigma \cdot u \quad (\text{droite de Henri}) \quad (8)$$

Notre série est de taille 21 valeurs pluviométriques, qui doivent être ajustées à une loi théorique à savoir la loi de Gauss (loi normale), afin de déterminer les précipitations moyennes mensuelles en période sèche « P » qui correspondent à la fréquence P%=80%. Pour cela nous devons suivre les étapes ci-dessous :

Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant, tout en affectant un numéro d'ordre aux valeurs classées. Par la suite on calculera la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.

$$F(x) = \frac{i}{n} \quad (9)$$

Avec :

n : Numéro d'ordre.

N : Numéro d'années observées.

Calcul des caractéristiques de l'échantillon à savoir :

$$\text{La moyenne arithmétique : } x = \sum \text{---} \quad (10)$$

$$\text{L'écart type :} \quad (11)$$

$$\text{Le coefficient de variation :} \quad (12)$$

$$\text{La variable réduite de Gauss :} \quad (13)$$

Pour faire l'ajustement nous avons utilisé le logiciel « Hydrolab » développé à l'université de Nice (France) par le C.N.R.S (Centre Nationale De Recherche Scientifique). Ce logiciel nous permis également de tracer le graphique d'ajustement (voir graphique IV.3) et de déterminer les principales caractéristiques de la série pluviométrique.

Les résultats d'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station pluviométrique de Boumerdes sont représentés dans le tableau IV-11.

#### **Commentaire :**

- ❖ Nous remarquons sur le graphique IV.3 ci-dessous que toutes les valeurs observées sont toutes très proche de la droite d'ajustement (droite d'Henri). Ce que signifie que nous avons une bonne corrélation et que la loi d'ajustement considérée est bonne. Mais rien ne nous empêche de confirmer l'adéquation de la loi d'ajustement par un test de validité d'ajustement.

#### **❖ Précipitation du projet :**

La quantité de précipitations sur la quelle on peut compter quatre années sur cinq, correspond à une probabilité de **80%** et représente une année "normale" sèche. C'est la précipitation utilisée dans le dimensionnement d'un réseau d'irrigation, appelée souvent précipitation de projet. Pour cela nous allons appliquer la formule ci-dessous :

$$P_{i, \text{ moy. } 80\%} = \frac{\text{sec. } 80\%}{50\%} * P_{i, \text{ moy}} \quad (14)$$

Avec :

$P_{i, \text{ moy. } 80\%}$  : pluie moyenne du mois « i » avec une fréquence de 80% (année de calcul) ;

$P_{i, \text{ moy}}$  : moyenne de pluies du mois « i » sur une période de 21 ans ;

$P_{\text{sec. } 80\%}$  : pluie annuelle estimée pour une fréquence de 80% ( $P_{\text{sec. } 80\%} = 408.99 \text{ mm}$ ) ;

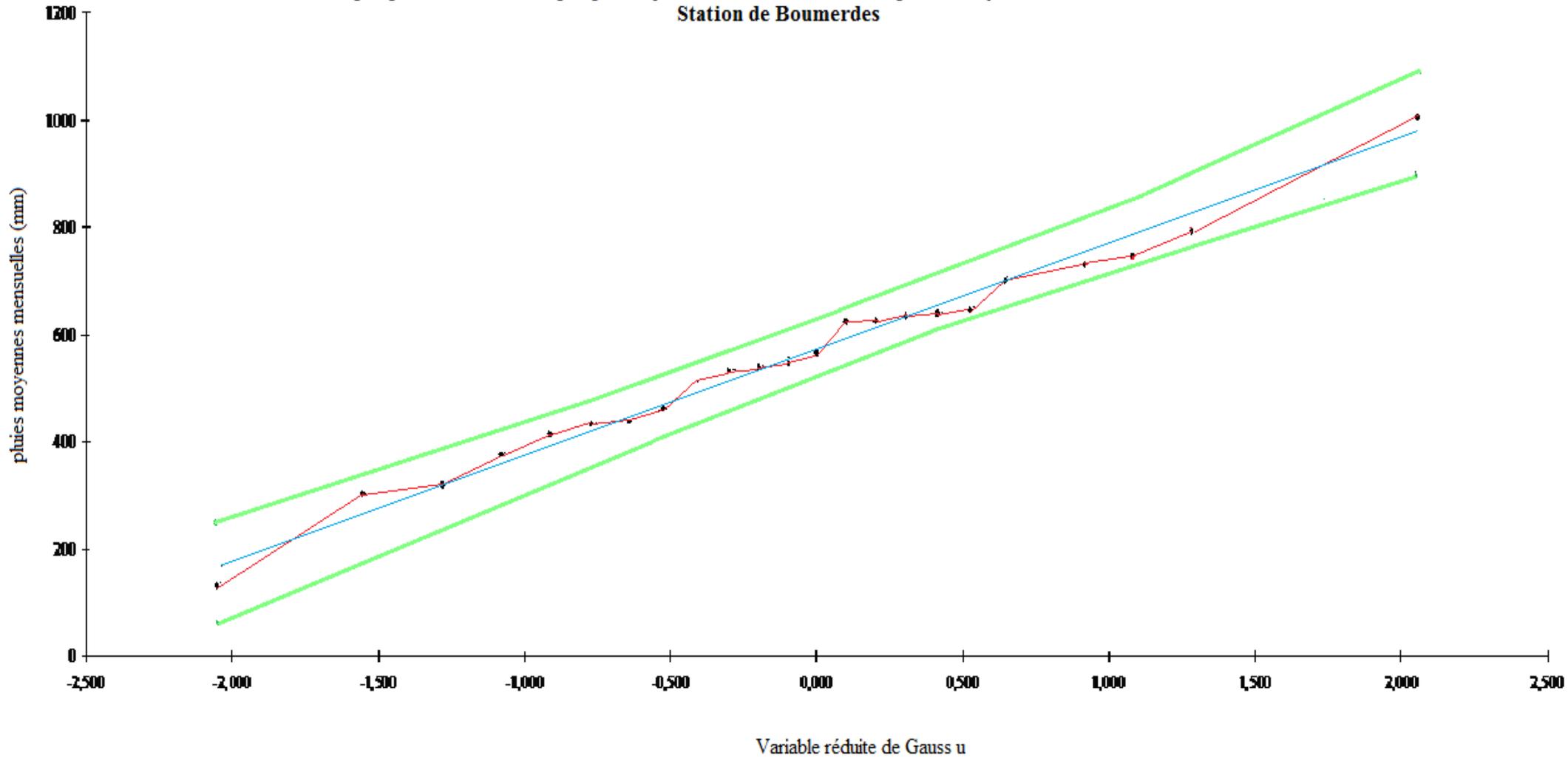
$P_{50\%}$ : pluie moyenne annuelle pour les 25 ans ( $P_{\text{moy}} = 576.37 \text{ mm}$ ).

Tableau IV-11 : Ajustement interannuel à la loi normale de Gauss.

Taille = 25		Moyenne= 576.368 Ecart-type=198.9160		I.C. à (en%)= 80 U Gauss=1.2877				
valeur de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
1005	130.8	1	0.0200	-2.054	130.8	167,756998	60.898583	246,852092
963.8	302.5	2	0.0600	-1.555	302.5	267,034372	178.16103	334,889848
794.5	320.7	3	0.1000	-1.282	320.7	321,411627	241.59440	383,905689
749.2	376.2	4	0.1400	-1.080	376.2	361,468636	287.82032	420,515477
730.9	413.8	5	0.1800	-0.915	413.8	394,307534	325.32039	450,924464
707.4	434.3	6	0.2200	-0.772	434.3	422.810708	357.52676	477,661108
701.6	441.5	7	0.2600	-0.643	441.5	448.460684	386.19758	502,033048
645.5	462.4	8	0.3000	-0.524	462.4	472.135638	412,368157	524,820988
639.7	516.6	9	0.3400	-0.413	516.6	494.409923	436,709922	546,541233
634.9	533.1	10	0.3800	-0.305	533.1	515.689753	459.692184	567,564501
626.4	539.6	11	0.4200	-0.202	539.6	536.282739	481,664757	588,177104
625.2	547.2	12	0.4600	-0.100	547.2	556.437411	502,904561	608,616064
566.4	566.4	13	0.5000	0.000	566.4	576.36802	523,64443	629,091612
547.2	625.2	14	0.5400	0.100	625.2	596.298589	544,119936	649,831439
539.6	626.4	15	0.5800	0.202	626.4	616.453261	585,171499	671,071243
533.1	634.9	16	0.6200	0.305	634.9	637.046247	585,171499	671,071243
462.4	639.7	17	0.6600	0.412	639.7	658.326077	606,194767	716,026078
441.5	645.5	18	0.7000	0.524	645.5	680.600362	627,915012	740,367843
516.6	701.6	19	0.7400	0.643	701.6	704.275316	650,702952	766,53842
434.3	707.4	20	0.7800	0.772	707.4	729.925229	675,074892	795,209234
413.8	730.9	21	0.8200	0.915	730.9	758.428466	701,811536	827,415604
376.2	749.2	22	0.8600	1.080	749.2	791.267364	732,220523	864,915673
320.7	794.5	23	0.9000	1.282	794.5	831.324373	768,830311	911,141599
302.5	963.8	24	0.9400	1.555	963.8	885.701628	905,883908	974,574964
130.8	1005	25	0.9800	2.054	1005	984.979002	905,883908	1091,83742

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	743,747214	688,083031	810,784079	743,747214	0,800	5,0
0,5	0,000	576,36802	523,64443	629,091612	576,36802	0,500	2,0
0,2	-0,841	408,988786	341,951921	464,652969	408,988786	0,200	1,3

Graphique N° IV-03 : Graphique d'ajustement interannuel des pluies moyennes (1985-2010) à la loi normale  
Station de Boumerdes



Les valeurs annuelles correspondantes aux probabilités de dépassements de : **80%**, **50%** et **20%** sont :

**P80%= 408.99mm (année sèche)**

**P50%=576.37 mm (année normale)**

**P20%=743.75 mm (année humide)**

**Application :**

- $P_{\text{sec.80\%}} / P_{50\%} = 0.71$
- Les valeurs de  $P_{i,\text{moy}}$  sont reportées dans le tableau IV-2 ;

Après un calcul simple en appliquant la formule n°(14), on obtient la série des pluies moyennes mensuelles de l'année de calcul ( $P_{i,\text{moy},80\%}$ ), représentée ci- dessous :

**Tableau IV.12 :** La pluie moyenne mensuelle de fréquence de probabilité 80% pour une période sèche

(Zone de périmètre de Corso).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>P<sub>moy</sub> 80% (mm)</b>	55.66	42.85	39.76	35.67	31.32	5.54	1.63	2.02	20.24	30.07	60.92	78.28

La pluie annuelle de fréquence 80% est de 409.95 mm/an

#### **IV.4.2.2. Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss :**

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié. L'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation.

Par ailleurs, sur un échantillon donné, plusieurs lois d'ajustement peuvent être appliquées, donnant des résultats qui divergent notablement d'une loi à une autre.

Il convient par conséquent de tester l'adéquation de telle loi choisie afin de juger l'ajustement (satisfaisant ou mauvais); l'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré " $\chi^2$ " ou test de Pearson :

On recherche sur la table de Mr Pearson la probabilité de dépassement correspondant au nombre de degré de liberté donné par la formule n° (17). Si cette probabilité est supérieure à 0,05 (un risque  $\alpha = 5\%$ ), l'ajustement est satisfaisant, sinon, il y a de fortes chances pour que l'ajustement soit mauvais, donc, il est conseillé de le rejeter.

Pour vérifier la validité de l'ajustement à la loi normale on a utilisé le logiciel HYFRAN (Pearson III méthode des moments)

- On calcule  $X^2$
- On calcule le nombre de degré de liberté  $y$
- On détermine  $x^2_{\text{théorique}}$  sur la table de Pearson III

Avec :

$$X^2_{\text{théorique}} = g(y, \alpha)$$

La loi adéquate pour une erreur  $\alpha = 0,05$  si seulement si  $X^2_{\text{Calculé}} < X^2_{\text{théorique}}$

Station de Boumerdes

$$\text{Khi carrée} = 1,04$$

$$\text{p-value} \quad p = 0,7916$$

$$\text{Degré de liberté} = 3$$

$$\text{Nombre de classes} = 7$$

D'après la table de Pearson du  $X^2$  : on a

$$X^2_{\text{théorique}} = 7,815$$

$X^2_{\text{calculé}} = 1,04 < 7,815$  donc l'adéquation de la loi de Gauss est bonne autrement dit

l'ajustement aux précipitations annuelles est bon pour une probabilité  $1-\alpha$  soit 95%.

## **IV.5. Etude pédologique :**

### **IV.5.1. Introduction :**

Le sol agricole est la partie de la couche superficielle de l'écorce terrestre qui, grâce à sa structure et sa composition physico-chimique est en mesure d'assurer un développement normal des végétaux cultivés. [7]

Cette définition pratique permet de considérer le sol soit comme un milieu de culture, soit comme le simple support des plantes cultivées, ces dernières ont besoins d'eau pour vivre. Ce besoin est mis en évidence en culture non irriguée par la différence des rendements obtenus les années sèches et les années pluvieuses. [7]

L'étude du sol – eau – plante. La combinaison sol-eau produit un milieu auquel la plante cultivée devra être adaptée. Il ne suffit pas d'apporter de l'eau aux sols pour qu'ils produisent des récoltes, il faut encore en apporter assez pour que les plantes cultivées arrivent à la maturité.

### **IV.5.2. Classification du sol de la région d'étude**

D'après la carte pédologique de Boumerdes, le sol de la parcelle à étudier est de :

Classe : sol peu évolué.

Sous classe : non climatique.

Groupe : d'apport alluvial.

Sous groupe : modal.

Famille : alluvions récentes calcaires.

Série : profond.

Caractéristiques synthétiques :

Sol profond texture ; limono-sableuse en surface éléments Grossiers ; structure fragmentaire poly édrique fine à moyenne ; fragile ; activité biologique moyenne, effervescence à l' Hcl.

### **Description du profil :**

- Profil 6 ;
- Date : 21.03.1981 ;
- Localisation : bord de l'ouest et à 20 m du village ouled ben kassen.

Coordonnées Lambert : longitude 542.3 Est.

Latitude : 4066.8 Nord

Altitude 20 m

- Topographie : pente nulle (terrasse alluviale).
- Végétation : graninées.
- Roche mère : alluvions récentes.
- classification française : sol peu évolué non climatique d'apport alluvial modal
- soil-taxonomy : typic xerochlovisol.

A<sub>11</sub> 0 - 17 cm : humide ; couleur : yellowish brown (10YR 4.5/4) ; tache jaunâtre ( 10YR 6/7), peu fréquentes ; texture limono-sableuse ; 8-10% d'éléments grossiers (graviers émoussés, cailloux arrondies) ; structure massive avec un début de structure polyédrique ; non plastique ( état humide), non collant (trempé) ; poreux ; nombreuses racelles à pénétration verticale ; activité biologique moyenne ; effervescence à l' Hcl, calcaire sous forme diffuse ; transition peu nette et régulière.

A<sub>12</sub> 17 - 38 cm : frais ; couleur : brown (10YR 4.5/3) ; texture argileuse ; structure fragmentaire polyédrique fine à moyenne ; plastique (état humide), collant (trempé) ; poreux ; racines moyennes et fines à pénétration verticale ; activité biologique moyenne ; vive effervescence à l' Hcl, calcaire sous forme diffuse ; transition distincte et irrégulière.

C<sub>1</sub> 38 - 80 cm : humide ; couleur : brown (10YR 5/3.5) ; tache rouge calcaire (10YR 6.5/7) à partir de 40 – 45 cm jusqu'à 80 cm ; texture argilo-sableuse ; 10 – 14% d'éléments grossiers (graviers de quartz, arrondies et anguleux) ; structure partilaire à fragmentaire polyédrique fine, fragile ; peu plastique (état humide), peu collant (trempé) proposité moyenne ; racines moyennes et fines à pénétration latérale ; activité biologique moyenne ; vive effervescence à l' Hcl, calcaire sous forme diffuse ; transition distincte et irrégulière.

C<sub>2</sub> 80 – 153 cm : humide ; couleur : brown (10YR 4.5/3) ; tache noire (reste de décomposition des racines) ; texture argileuse ; structure fragmentaire polyédrique grossière, fragile ; peu plastique (état humide) ; peu collant (trempé) ; peu poreux ; quelque racelles à pénétration verticales, racines moyennes à pénétration horizontale ; activité biologique faible ; effervescence à l' Hcl, calcaire sous forme diffuse.

Tableau VI-13 : résultat analytique du profil

N° Echantillon	Profond (m)	symbole	Caco <sub>3</sub>	PH1/1		c.biochimique		granulométrie					complexe adsorbant						
			%	Eau	PH	%		%					meq/100gde sol						%
			Total			C	Mo	A	L	Sf	Sg	C.T	Mo	K	Ca	Mg	S	T	V
1	0-17	A <sub>11</sub>	7.9	7.70	7.1	1.5	2.5	10.2	49.8	20.0	21.1	L.S	0.7	1.3	9.6	5.2	16.8	20	84
2	17-38	A <sub>12</sub>	7.9	8.0	7.1	1.7	2.9	45.5	30.0	10.4	11.8	A	0.6	0.2	16	4.8	21.6	24	90
3	38-80	C <sub>1</sub>	3.1	8.15	7.2	0.27	0.4	35	9.0	8.49	46.2	A.S	0.7	0.3	6.8	2.0	9.8	16	61
4	80-153	C <sub>2</sub>	10.8	8.35	7.2	1.01	1.7	34.3	33.7	20.0	10.3	A	1.6	0.3	12	11	24.9	28	89

**Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons traité les principales données qui nous aideront à connaître la nature du climat de la zone d'étude et on a déterminé les paramètres de calcul des besoins en eau du périmètre.

En résumé ;

Du point de vue topographique le périmètre possède une topographie relativement plane, la pente ne dépasse pas les 0.7% pour 90% des terres.

Le diagramme ombrothermique nous a permis de déterminer la distinction de deux saisons à savoir : la saison humide, et la saison sèche qui est la période d'irrigation.

La période pluvieuse débutera à partir du mois de Septembre et se terminera au mois de Mai. La pluviométrie atteint en moyenne 88% des précipitations totales annuelles. Les mois les plus secs sont juin, juillet et août.

D'après l'analyse statistique des données hydrologiques le périmètre est caractérisé par une pluie moyenne annuelle de 577,55 mm, la pluie de 80% est de l'ordre de 408,99 mm.

L'évaporation de la région est de 1102,2 mm, valeur nettement supérieure aux apports d'où la nécessité de l'irrigation pour palier au déficit enregistré dans la région

**CHAPITRE V : REGIME D'IRRIGATION****V-1- Introduction**

Selon l'espèce à laquelle appartient, soixante à quatre vingt dix pour cent du matériel végétal de la plante est constitué d'eau. C'est l'eau qui permet l'absorption et la translocation des sels minéraux contenus dans le sol.

C'est elle qui permet la photosynthèse en alimentant les cellules des feuilles et encore elle favorise la turbulence des fleurs pour mettre leur fécondation et ainsi donner des bonnes graines et semences.

Dans ce chapitre on va déterminer les besoins en eau de la culture ainsi que leur régime d'irrigation.

**V-2- Définition d'un régime d'irrigation**

Le régime d'irrigation est défini comme étant l'ensemble du nombre de doses d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures au cours de toute leur période de végétation dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

**V-3- Besoins en eau des cultures****V-3-1. Définition**

En termes généraux, le besoin en eau d'une culture est équivalent au niveau d'évapotranspiration nécessaire à sa croissance optimale.

De façon précise, le besoins en eau est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture indemne de maladie et poussant dans une parcelle d'une surface supérieure à un hectare dans des conditions optimales de sol. Ces dernières consistent en une fertilité et une humidité suffisantes pour atteindre le potentiel de production de la culture dans le milieu considéré. [5]

**V-3-2. L'évapotranspiration**

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en  $m^3/ha/jour$ , en  $m^3/ha/mois$  ou en  $m^3/ha/an$ . Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en  $mm/jours$  par mois ou par an. [16]

On distingue : l'évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ), L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

- **L'évapotranspiration de référence :** est définie comme « le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et

15cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive ». [16]

- **L'évapotranspiration potentielle** : est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal abondant, bien alimenté en eau, lorsque l'énergie (évaporation de l'atmosphère) est le seul facteur qui limite cette évaporation. On peut définir l'ETP comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal présentant un développement foliaire maximum (au stade de pleine croissance) couvrant bien le sol, ce dernier étant à la capacité au champ, L'ETP correspond à la « demande d'évaporation » en eau « pouvoir » évaporant de l'air. [16]

- **L'évapotranspiration réelle** : Pendant une période déterminée (jour, mois, cycle végétatif complet), chaque parcelle va perdre, par transpiration et évaporation directe, une certaine quantité d'eau appelée évapotranspiration réelle ETR : celle-ci pourra bien sûr être inférieure ou égale à l'ETP selon que les conditions de celle-ci sont réunies ou non. [16]

#### **V-3-2-1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration**

Il n'est pas question ici de présenter en détail toutes les méthodes utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures.

On distingue généralement deux types :

- Les méthodes directes.
- Les méthodes indirectes.

##### **V-3-2-1-1. Méthodes directes**

- **L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique**

Comme son nom l'indique, l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal

- **Le bac évaporant**

Cet appareil très simple permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. Sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP.

- **L'évaporomètre piche**

Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lie directement sur les graduations du tube.

##### **V-3-2-1-2. Méthodes indirectes**

Ces méthodes permettent de calculer l'ETP à partir de formules ne comportant que des données climatiques.

**1) Formule de Blaney et Criddle**

A la suite de nombreuses expérimentations, Blaney et Criddle ont estimé que la température et la durée du jour étaient les facteurs déterminants de l'évapotranspiration potentielle. Ils ont proposé la formule suivante :

$$ETP = K (0,46t + 8,13) P. \quad (18)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/jour.

t : température moyenne (en degré Celsius) durant la période considérée (généralement le mois).

P : pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la même période, par rapport à la durée moyenne du jour pour l'année.

K : Coefficient dépendant du stade végétatif de la culture et de la température moyenne (de la zone climatique).

**2) Formule de Turc**

- Si l'humidité relative est supérieure à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \times \frac{T}{T+15} \quad \text{en (mm/mois)} \quad (19)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I<sub>g</sub> : Radiation globale mensuelle (cal/cm<sup>2</sup>/jour).

**Remarque**

Le coefficient 0,40 est réduit à 0,37 pour le mois de février.

- Si l'humidité relative de l'air est inférieure à 50%. L'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \cdot \left( \frac{T}{T+15} \right) \cdot \left( 1 + \frac{50-H_r}{70} \right) \quad (20)$$

Dans laquelle :

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I<sub>g</sub> : Radiation globale en (cal/cm<sup>2</sup>/jour).

H<sub>r</sub> : L'humidité de l'air en %.

$$I_g = I_{ga} (0,18 + 0,62) \cdot \frac{h}{H} \quad (21)$$

**Avec :**

I<sub>ga</sub> : Radiation maximale théorique.

H : Durée astronomique de jour en (heure/mois)

h : durée d'insolation de la station considérée en heure/mois.

$\frac{h}{H}$  : Insolation relative en heures.

### 3) Formule de Penman

La formule donne les meilleures estimations de l'ETP, et ceci sous tous les climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important d'informations climatiques, rarement toutes disponibles sur une même station.

La formule est la suivante :

$$ETP = p'(t) \frac{Rn}{L} + \sigma \cdot \frac{Ea}{P(t) + \sigma} \quad (22)$$

Dans laquelle :

Rn : Rayonnement net « climatique ».

Ea : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air.

L : Chaleur latente de vaporisation ( $2.5 \cdot 10^6$  J/kg)

$\sigma$  : Constante psychrométrique (0,65 h la/°C)

$p'(t)$  : Valeur de dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la température de l'air T.

#### V-3-2-2. Calcul de l'évapotranspiration

La détermination de l'évapotranspiration se fait par la formule de Penman, en raison de son exactitude pour l'estimation de l'ETP.

Le calcul se fait par le logiciel Cropwat.

**Tableau V-1** : Evapotranspiration en mm/jour

Mois	Temps moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insol Heures	Radiation MJ/m <sup>2</sup> .jour	ETo-penman mm/jour
Janvier	13.1	66	3.6	5.0	8.8	2.09
Février	13	68	3.4	6.8	12.7	2.29
Mars	14.1	62	3.3	7.3	16.2	3.09
Avril	15,6	60	3.1	8.6	20.7	3.85
Mai	18.1	65	2.8	8.8	22.6	4.22
Juin	21.5	65	2.5	9.9	24.7	4.90
Juillet	24.2	56	2.8	10.4	25.0	5.83

Tableau V-1 (suite)

Août	25.7	62	2.6	9.6	22.5	5.36
Septembre	23.2	68	2.8	8.5	18.6	4.18
Octobre	20.9	67	2.5	7.4	14.1	3.14
Novembre	16.5	66	3.4	5.5	9.7	2.48
Décembre	14.1	63	3.8	4.6	7.8	2.29
Moyenne	18,3	64	3.0	7.7	16.9	3.64

#### V-4- Détermination des besoins en eau d'irrigation

##### V-4-1. Définition

Le besoin en eau d'irrigation, B, est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sûr qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau ou une fraction déterminée de celui-ci. Si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égal au besoins en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoins de lessivage) percolation profonde, inégalité de répartition...etc).[5]

##### V-4-2. Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures

Les besoins en eau des cultures sont calculés par la formule :

$$B = (ETR + D) - (P_{eff} + R_u) \quad (23)$$

##### Avec :

B : Besoins en eau d'irrigation (mm);

ETR : Evapotranspiration réelle/jour) ;

D : Le drainage ;

Ru : La réserve utile (mm) ; telle que :

$$R_u = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Z \cdot d_a \quad (24)$$

##### Avec :

Hcc : Humidité à la capacité au champ;

Hpf : humidité du sol au point de flétrissement ;

Z : Profondeur d'enracinement (m) ;

da : Densité apparente ;

Peff : Pluie efficace ;  $P_{eff} = \alpha \cdot P$  ; (25)

$\alpha$  : Coefficient tenant compte de l'efficacité des pluies.

Le calcul des besoins en eau d'irrigation se fait par le logiciel cropwat.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V-2: Besoins en eau d'irrigation pour l'orange:

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/jour	ETc mm/dec	Pluie eff. mm/dec	Besoins d'irr mm/j	Besoins d'irr mm/dec
Mar	2	Init	0.53	1.63	9.8	6.4	0,12	1.2
Mar	3	Init	0.70	2.34	25.7	10.3	1,55	15.5
Avr	1	Init	0.70	2.52	25.2	9.9	1,53	15.3
Avr	2	Init	0.70	2.70	27.0	9.5	1,74	17.4
Avr	3	Init	0.70	2.78	27.8	9.1	1,87	18.7
Mai	1	Init	0.70	2.87	28.7	9.2	1,94	19.4
Mai	2	Crois	0.69	2.92	29.2	9.1	2,01	20.1
Mai	3	Crois	0.66	2.95	32.5	6.6	2,59	25.9
Jui	1	Crois	0.63	2.97	29.7	3.2	2,64	26.4
Jui	2	Crois	0.61	2.98	29.8	0.7	2,91	29.1
Jui	3	Crois	0.58	3.02	30.2	0.6	2,96	29.6
Jui	1	Crois	0.55	3.08	30.8	0.7	3,01	30.1
Jui	2	Crois	0.52	3.10	31.0	0.3	3,07	30.7
Jui	3	Crois	0.49	3.12	30.9	0.1	3,013	30.13
Aoû	1	Crois	0.47	2.57	25.7	0.1	2,55	25.5
Aoû	2	Mi-sais	0.45	2.41	24.1	0.0	2,41	24.1
Aoû	3	Mi-sais	0.45	2.23	24.6	1.6	2,3	23.0
Sep	1	Mi-sais	0.45	2.06	20.6	3.8	1,68	16.8
Sep	2	Mi-sais	0.45	1.88	18.8	5.4	1,34	13.4
Sep	3	Mi-sais	0.45	1.73	17.3	6.8	1,04	10.4
Oct	1	Mi-sais	0.45	1.57	15.7	8.0	0,77	7.7
Oct	2	Mi-sais	0.45	1.41	14.1	9.3	0,48	4.8
Oct	3	Mi-sais	0.45	1.31	14.4	11.6	0,28	2.8
Nov	1	Mi-sais	0.45	1.21	12.1	14.2	0	0.0
Nov	2	Mi-sais	0.45	1.11	11.1	16.5	0	0.0
Nov	3	Mi-sais	0.45	1.09	10.9	18.0	0	0.0
Déc	1	Arr-sais	0.46	1.08	10.8	20.3	0	0.0
Déc	2	Arr-sais	0.53	1.21	12.1	22.4	0	0.0
Déc	3	Arr-sais	0.53	1.17	12.9	19.9	0	0.0
Jan	1	Arr-sais	0.53	1.14	11.4	16.6	0	0.0
Jan	2	Arr-sais	0.53	1.10	11.0	14.5	0	0.0
Jan	3	Arr-sais	0.53	1.14	12.5	13.5	0	0.0
Fév	1	Arr-sais	0.53	1.17	11.7	12.3	0	0.0
Fév	2	Arr-sais	0.53	1.21	12.1	11.1	0,1	1.0
Fév	3	Arr-sais	0.53	1.35	10.8	10.9	0	0.0
Mar	1	Arr-sais	0.53	1.49	14.9	10.9	0,4	4.0
Mar	2	Arr-sais	0.53	1.63	6.5	4.2	0,12	1.2
						724.4	328.1	444.9

D'après le tableau V-2; le mois de pointe est le mois de juillet  $b = 90,93$  mm

Les besoins journaliers en eau d'irrigation localisée sont calculés par la formule :

$$ETM_{loc} = K_r \cdot ETM \quad (26)$$

**Avec :**

$K_r$  : Coefficient de réduction, tel que :

$$K_r = C_s + 0,5 (1 - C_s), \text{ (Freeman et Garzoli)} \quad (27)$$

$C_s$  : Couverture du sol ; pour les agrumes  $C_s = 60\%$

$$K_r = 0,6 + 0,5 (1 - 0,6) = 0,8.$$

**D'où :**

$$ETM_{loc} = 0,8 \cdot 3,07 = 2,456 \text{ mm/j.}$$

• **Les besoins d'irrigation nets**

Le besoin d'irrigation,  $B_{net}$ , est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation théoriquement nécessaire pour obtenir une production normale sur l'ensemble de la surface cultivée (à l'exclusion des pertes et de la contribution des autres ressources). [5]

$$B_{net} = 2,42 \text{ mm/j.}$$

• **Les besoins d'irrigation bruts**

Le besoin d'irrigation brut,  $B_{rut}$  : est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation nécessaire en pratique (y compris les pertes et les besoins de lessivage mais à l'exclusion de la contribution des autres ressources). [5]

$$B_{rut} = B_{net} \cdot R_p + L \cdot R \quad (28)$$

$R_p$  : Rendement de l'irrigation à la parcelle.

$L_R$  : Besoins supplémentaires en eau pour le lessivage du sol.

$$R_p = \frac{E \cdot cu}{100} \quad (29)$$

**Avec :**

$E$  : L'efficacité de l'arrosage, dépend de la texture du sol.

$cu$  : Coefficient d'uniformité ( $cu < 1$ ).

En première approximation, certains auteurs proposent de fixer à 10% des besoins nets la quantité d'eau supplémentaire que nécessitent le lessivage et les pertes inévitables par percolation profonde, ce qui fait que l'équation donnant le besoin d'irrigation brut devient :

$$B_{rut} = 1,1 \cdot 1,11 \cdot B_{net} \quad (30)$$

**Donc :**

$$B_{rut} : 1,1 \cdot 1,11 \cdot 2,456 = 3,00 \text{ mm/j.}$$

• **Le pourcentage du sol humidifié**

Le pourcentage du sol humidifié est déterminé soit :

- Selon l'écartement entre les rampes et la texture du sol (voir l'annexe 3).
- En appliquant la formule suivante :

$$\frac{P}{100} = \frac{n \cdot S_{pd} \cdot Sh}{Sa \cdot Sr} \quad (31)$$

**Avec :**

- P : Pourcentage du sol humidifié ;
- n : Nombre de points de distribution par arbre ;
- S<sub>pd</sub> : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre ;
- Sh : Largeur de la bande humidifiée ;
- Sr : Ecartement entre rangs d'arbres ;
- Sa : Espacement des arbres sur les rangs. [5]

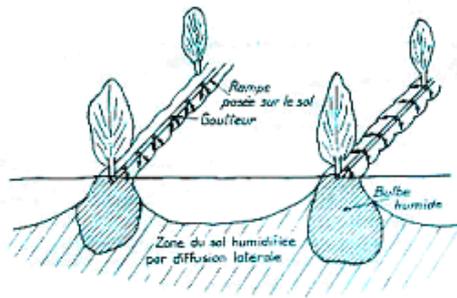


Figure V-1 : Zone du sol humidifié

**D'où :**

$$P = 100 \cdot \frac{2 \cdot 0,80 \cdot 5}{5,5} = 32 \%$$

• **Doses d'arrosage**

- Dose d'arrosage nette

La dose d'arrosage maximale nette qui peut être apportée par arrosage s'exprime comme en irrigation par aspersion, mais en tenant compte du fait que seule une partie du volume de sol est humidifiée. [3]

$$D_{nette} = (H_{CC1} - H_{pfl}) \cdot Z \cdot Y \cdot \frac{P}{100} \quad (32)$$

**Avec :**

$D_{nette}$  : Quantité (hauteur d'eau maximale à apporter par arrosage (mm)).

$H_{CC}$  : Humidité à la capacité de rétention (mm/m) ;

$H_{pf}$  : Humidité au point de flétrissement (mm/m) ;

$Y$  : Degrés d'extraction de l'eau du sol (%) ;

$Z$  : Profondeur d'enracinement (m) ;

$P$  : pourcentage du sol humidifié.

Selon la texture du sol de notre parcelle

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{limono-sableuse } H_{CC} = 14\% ; H_{pf} = 6\% \\ \text{Argileuse } H_{CC} = 35\% ; H_{pf} = 17\% \\ \text{Argilo-sableuse } H_{CC} = 31\% ; H_{pf} = 15\% \\ \text{Argileuse } H_{CC} = 35\% ; H_{pf} = 17\% \end{array} \right. \quad (\text{Voir l'annexe 04})$$

La valeur de  $Z$  dépend des cultures (voir l'annexe 5).

Donc pour les agrumes on prend  $Z = 1,2$  m

$$Ru_1 = (H_{cc1} - H_{pp1}) Z_1$$

$$Ru_1 = \frac{(14 - 6)}{100} * 170 = 13.6 \text{ mm}$$

$$Ru_2 = \frac{(35 - 17)}{100} * 210 = 37.8 \text{ mm}$$

$$Ru_3 = \frac{(31 - 15)}{100} * 420 = 67.2 \text{ mm}$$

$$Ru_4 = \frac{(35 - 17)}{100} * 400 = 72 \text{ mm}$$

$$RU = Ru_1 + Ru_2 + Ru_3 + Ru_4$$

$$RU = 13.6 + 37.8 + 67.2 + 72 = 190.6 \text{ mm}$$

$$RFU = Y * RU$$

$$RFU = 2/3 * 190.6 = 127.07 \text{ mm}$$

$$D_{nette} = (H_{CC} - H_{pb}) \cdot y \cdot Z \cdot \frac{P}{100}$$

$$D_{nette} = RFU * \frac{P}{100}$$

$$D'ou \ D_{nette} = 127.07 * \frac{32}{100} = 40.66 \text{ mm}$$

$$D_{nette} = 40.66 \text{ mm}$$

La valeur de  $Z$  dépend des cultures (voir l'annexe 05).

Donc pour les agrumes on prend  $Z = 1,2$  m.

-La dose brute.

La dose d'arrosage brute est calculée par la formule :

$$D_{\text{brut}} = \frac{D_{\text{net}}}{cu.E} = \frac{40.66}{0,9 \cdot 0,95} = 47.56 \text{ mm.} \quad (33)$$

- La durée d'arrosage :

$$d = \frac{D_{\text{brut}} \cdot S_d \cdot S_1}{Q_d} \quad (34)$$

**Avec :**

$S_d$  : L'espace des distributeurs sur la rampe ;

$S_1$  : L'écartement entre les rampes ;

$Q_d$  : Débit du distributeur en l/h.

$$d = \frac{47.56 \times 0,8 \times 5}{2 \times 4} = 23.78 \text{ h/j}$$

$$d = 24 \text{ heures.}$$

- La fréquence minimale des arrosages.

Elle représente l'espace maximal entre arrosage.

$$F_{\text{mini}} = \frac{D_{\text{nette}}}{ETM_{\text{loc}}} = \frac{40,66}{2,456} = 16,56 \quad (35)$$

$$F_{\text{mini}} = 17 \text{ jours.}$$

- L'irrigation journalière =  $\frac{24}{17} = 1.41$  heures.

- L'irrigation journalière = 2 heures.

## V.5. Calcul des débits à transiter par le réseau collectif :

### I.5.1. Débits spécifiques :

Le but est de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation doit véhiculer pour répondre à la demande en eau des cultures.

Le débit spécifique ou débit fictif continu représente le débit qui devra être véhiculé par le système d'irrigation pour satisfaire les besoins en eau des cultures durant le mois de pointe pendant un nombre fixe d'heures par jour et pour une surface d'un hectare. Ce débit est donné par la relation suivante :

$$q = \frac{B}{T * t * k * 3,6} \quad (\text{l/s/ha}) \quad (36)$$

$$q = \frac{909,3}{31.24.0.75.3,6} = 0,453 (\text{l/s/ha})$$

Avec :

B : besoins mensuels nets en eau des cultures (m<sup>3</sup>/ha) ;

T : durée de l'irrigation en jours (T = 31 jours) ;

t : durée de l'irrigation en heures par jour (t = 24h) ;

K : Coefficient correcteur du débit  $\approx 0,75$  (car l'irrigation ne se fait pas en 24h/24h).

**Remarque :** Pour le calcul des débits de pointe des modèles :

- Si  $q < 1,5 \text{ l/s/ha}$  : la valeur de débit spécifique est acceptable ;
- Si  $q > 1,5 \text{ l/s/ha}$  : on prend la valeur de débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe

### V.5.2. Débits caractéristiques :

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système de dessert aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit spécifique de pointe par la surface agricole utile, voir formule (37) :

$$Q = q * S \quad (37)$$

$Q$  : Débit caractéristique en (l/s).

$q$  : Débit spécifique de pointe d'îlots (l/s/ha).

$S$  : Surface de l'îlot (ha).

$$Q = 0,453 * 32,925 = 14,92 \text{ (l/s)}$$

### Conclusion

L'étude faite au niveau de ce chapitre nous a permis de déterminer les besoins en eau d'irrigation pour la culture de notre parcelle et de connaître les modalités de son application (dose, durée d'arrosage...etc.).

## CHAPITRE VI: TECHNIQUES D'ARROSAGE ET CALCUL HYDRAULIQUE DU RESEAU

### VI-1- Introduction

Dès l'antiquité, il fut observé que l'apport d'eau aux plantes à très faible dose et de manière répétée donnait des résultats spectaculaires. De nombreux documents attestent l'utilisation, par les anciens, de jarres poreuses en terre cuite, les cultivateurs remplissaient les jarres d'eau et celles-ci libéraient pendant plusieurs jours, par suintement, une très faible quantité d'eau, le goutte à goutte était inventé.

Si l'idée est ancienne, l'utilisation à l'échelle industrielle ne remonte qu'aux années 1960. En effet, le goutte à goutte implique un réseau dense de conduites de faible diamètre sur lesquelles sont montés des dispositifs calibrés capables de réduire la pression : les goutteurs. En maraîchage, par exemple, on peut avoir jusqu'à 6000 mètres de rampes et 15000 goutteurs à l'hectare.

C'est le développement de l'industrie des plastiques, dans la période après-guerre, qu'a permis de livrer sur le marché les éléments du goutte à goutte à un prix très compétitif.

### VI-2- Définition de l'irrigation au goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte est l'une des techniques de l'irrigation localisée (micro irrigation) qui consiste à apporter à chaque plante ou arbre, individuellement la quantité d'eau dont elle a exactement besoin, en fonction des types de sol, des spécificités du climat et de son développement, sans ruissellement appréciable. [6]

### VI-3- Principe

Dans ce procédé original, l'eau est administrée aux plantes quotidiennement, à faible dose, par le moyen de goutteurs qui délivrent, au goutte à goutte, dans la zone d'extension racinaire l'eau nécessaire qui migre par capillarité.

Il se forme ainsi, sous chaque goutteur, un bulbe d'humidité d'extension variable en fonction des caractéristiques physiques et pédologiques du sol, le temps d'irrigation ne doit pas dépasser seize heures par jour, surtout en terrain argileux, pour laisser le temps à l'air de pénétrer dans le sol entre deux irrigations et éviter l'asphyxie du système racinaire. [14]

#### VI-4- Avantages et inconvénients de l'irrigation au goutte à goutte

##### VI-4-1- Les avantages du goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte représente de nombreux avantages par rapport aux autres méthodes d'irrigation :

1- l'eau se déverse uniformément à partir de chaque distributeur adapté au tuyau latéral, même sur un terrain en pente modérée. En outre, la mise au point de distributeurs de compensation permet une irrigation uniforme sur des pentes plus prononcées et sur des distances plus importantes.

2- Des engrais peuvent être apportés directement à la racine plutôt que sur la superficie totale du champ, ce qui permet d'éviter le gaspillage des ressources.

3- La quantité d'eau apportée peut être optimisée en fonction des différents types de sols, tout en évitant l'infiltration au-delà de la racine. En outre, des sols sableux qui ne peuvent être arrosés par sillons ou par inondation peuvent être efficacement irrigués par le goutte à goutte.

4- La pousse des mauvaises herbes est réduite au minimum.

5- Entre les rangées plantées, le sol à sec permet aux agriculteurs et aux machines d'accéder aisément et en toute saison.

6- Il est possible d'utiliser une eau de piètre qualité (saumâtre ou d'effluents) car:

- L'irrigation au goutte à goutte à la différence de l'irrigation par aspersion permet l'utilisation d'eau saumâtre car le contact direct entre l'eau et les feuilles est évité, prévenant les brûlures.

- L'irrigation au goutte à goutte entraîne le lessivage permanent des sels autour de la racine, évitant l'accumulation de sels au voisinage immédiat des racines, c'est important lorsque l'irrigation porte sur des sols salins ou s'effectue avec de l'eau saumâtre.

- L'irrigation au goutte à goutte permet l'utilisation des eaux usées à peine retraitées. En effet l'eau étant délivrée à même le sol, les risques sont moindres pour la santé.

7- Des distributeurs réglés pour délivrer une quantité donnée d'eau (de l'ordre de plusieurs litres par heure) peuvent être installés avec l'espacement voulu en fonction des besoins de chaque culture.

8 - L'irrigation au goutte à goutte est la méthode d'irrigation la plus efficace en terme d'économie d'eau. Comme les distributeurs émettent l'eau directement au sol à proximité des racines qui l'absorbent immédiatement, l'évaporation est réduite au minimum. Cette caractéristique est particulièrement importante dans les zones arides.

9 - S'il est entretenu correctement, un dispositif d'irrigation au goutte à goutte de bonne qualité peut durer de quinze à vingt ans.

#### **VI-4-2- Inconvénients du goutte à goutte**

##### **a- L'obstruction des goutteurs**

L'inconvénient dans ce type d'installation est le risque de colmatage (obstruction), ce colmatage peut avoir trois causes principales :

##### **1-Colmatage physique**

Il est dû à l'introduction dans le réseau de grosses particules. Il faut un système de filtration très efficace en tête de ligne.

##### **2-Colmatage biologique**

Il est dû au développement d'algues et de bactéries dans les canalisations. L'adjonction périodique d'antiseptique (Ex : eau de javel) à l'eau d'irrigation peut se révéler indispensable.

##### **3-Colmatage chimique**

C'est le plus difficile à combattre, certaines eaux (souvent alcalins) précipitent des sels insolubles surtout des sels de calcium et de fer qui peuvent former des dépôts bruns dans les goutteurs, et les obstruer, et aussi des gels dans les filtres.

L'entartrage (l'adjonction d'héxamétaphosphate ou d'acide nitrique dilué) donne en général, assez bons résultats.

D'autre part les engrais solubles employés sans discernement peuvent être également la cause du colmatage par précipitation, le meilleur moyen de prévenir ces obstructions des goutteurs est une filtration soignée de l'eau. [12]

##### **b-Accumulation des sels**

Les eaux d'irrigation contiennent toujours plus ou moins de sels dissous, les plantes prennent l'eau et la majorité des sels restent dans le sol.

Pendant la période d'irrigation les sels sont refoulés peu à peu à la périphérie du bulbe humide, plus spécialement près de la surface du sol, une pluie légère risque alors de les entraîner vers les racines.

Certes, on peut lutter contre l'accumulation des sels en apportant un excès d'eau par rapport à la consommation de la plante : on lessive ainsi une grande partie des sels et on les déplace en dessous de la zone racinaire, mais le procédé le plus efficace, surtout dans les régions où la pluviométrie naturelle est trop faible ( $P \leq 250$  mm/an) pour assurer un lessivage suffisant, et de pratiquer des arrosages complémentaires selon une méthode classique (aspersion, ruissellement). [12]

### **c-Difficulté à déterminer le volume minimal de sol à humidifier**

Le développement racinaire se limite à la zone humidifiée, la croissance optimale de la culture globale exige l'humidification d'un volume minimum de sol. Il apparaît que les dimensions de ce volume sont liées à différentes variables et plus spécialement, au débit des goutteurs, à leur distance et à la nature du sol. [12]

### **VI-5- Champ d'application du goutte à goutte**

Le goutte à goutte est maintenant couramment utilisée pour les cultures suivantes :

- ✚ Cultures fruitières : Européennes, Méditerranéennes et Tropicales, sans aucune limitation ;
- ✚ Cultures maraîchères et florales de pleine terre : plein champ ou sous tunnels plastiques ;
- ✚ Cultures arbustives en pots ;
- ✚ Cultures hors – sol ;
- ✚ Grandes cultures : coton, canne à sucre, maïs, betteraves sucrières, tabac, bananiers, ... etc.) [14]

### **VI-6- Description d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte**

Chaque parcelle doit être équipée d'un réseau composé d'une unité de tête qui est l'élément essentiel de tout réseau d'irrigation localisée. L'installation de tête a pour but de fournir de l'eau propre, éventuellement enrichie et traitée chimiquement, sous une pression régulée, et de la distribuer successivement vers tous les secteurs à irriguer.

L'unité est mise en tête du bassin d'accumulation destiné au stockage, l'unité de tête comporte les appareils suivants :

- ❖ Groupe de pompage ;
- ❖ Vanne ;
- ❖ Filtre à sable ;
- ❖ Débit mètre : pour contrôler le débit et le régler en fonction du bassin.

Régulateur de pression : pour régler la pression

- ❖ en tête du réseau, et injecter d'engrais ;
- ❖ Porte- rampes d'arrosage ;
- ❖ Conduites principales enterrées ;
- ❖ Rampe menue des goutteurs d'un écartement fixe selon le mode de plantation des cultures. [10]

#### **VI-6-1- Groupe de pompage**

Le groupe de pompage est mis à la sortie du bassin d'accumulation, il peut être soit :

- Une pompe électrique dont les caractéristiques sont : HMT, PW, débit ...etc.).
- Un groupe motopompe

#### **VI-6-2-Filtre à sable**

Le filtre à sable est une cuve à pression remplie d'une épaisse couche de sable calibrée qui arrête les éléments solides en suspension dans l'eau qui la traverse, il est indispensable pour arrêter les éléments organiques. Le sable peut être roulé ou concassé. Le sable peut être roulé d'une seule granulométrie, permet une filtration plus homogène. Pour un bon fonctionnement, le filtre doit retenir les particules de granulométrie supérieure à 1/7 de la plus petite dimension de passage de l'eau dans le distributeur.

#### **VI-6-3- Filtre a tamis**

C'est une cuve à pression contenant une paroi filtrante au tamis en plastique ou en acier inox, dont les mailles varient de 80 à 150  $\mu$ , les particules de dimension supérieures à cette maille sont arrêtées par le tamis.

**NB :** notons que chaque filtre doit être muni de manomètres à l'amont et à l'aval de façon à pouvoir juger du moment où il doit être nettoyé, lequel correspond à une perte de charge jugée maximale pour sa traversée.

Le poste de filtration est installé au niveau de l'installation de tête du réseau d'irrigation. [26]

#### **VI-6-4- Régulateur de pression**

Il permet de contrôler la pression en tête et la conduite principale.

#### **VI-6-5- Les goutteurs**

Les goutteurs apportent l'eau à la surface du sol de manière ponctuelle.

Le rôle des goutteurs est de fournir un faible débit (quelques litres par heure). La pression de l'eau est dissipée dans le goutteur puis l'eau est évacuée à l'extérieur à pression nulle.

Au niveau de chaque poste on dénombre deux goutteurs par arbre d'un débit égal à 4 l/h pour chacun.

#### **VI-6-6- Les distributeurs**

En irrigation localisée, l'eau est transportée le long des rangs des cultures et distribuée au voisinage des plantes.

Les distributeurs apportent l'eau au niveau du sol :

- ✓ ponctuellement : les goutteurs
- ✓ en diffusion : les mini diffuseurs
- ✓ linéairement : les gaines perforées
- ✓

#### **VI-6-7- Les conduites**

La plupart des conduites en plastiques utilisées en irrigation sont fabriquées à partir des quatre matériaux suivants :

- Le chlorure de polyvinyle PVC ;
- le polyéthylène PE, de basse densité (PE<sub>BD</sub>) ou de haute densité (PEHD) ;
- le polypropylène PP ;
- l'acrylonitrile-butadiène styrène, ABS

Parmi eux, le PE<sub>BD</sub> et le PEHD sont de beaucoup les plus utilisés en irrigation localisée. En raison de sa plus grande résistance à la pression, le PVC est le plus économique dans les gros diamètres, alors que les PE (moins résistants) sont surtout utilisés en petits diamètres, pour les rampes et parfois les porte-rampes. [5]

### **VI-6-7-1-Les rampes**

La plupart des rampes sont en tuyaux PE noir de basse densité (PEBD). Ce matériau est flexible et pas trop sensible au soleil, ce qui est important car les rampes sont posées à la surface du sol.

Les diamètres intérieurs vont de 05 à 25 mm, mais les plus courants sont 10, 12, 5 et 16 mm. L'épaisseur de parois est de 03 ou 04 mm suivant la pression (la pression de l'eau dans le tuyau réduit le risque de « craquage », mais il faut faire attention pendant la pause car il est très facile d'endommager les tuyaux lors de leur déroulement).

Les craquelures des tuyaux PE constituer de plusieurs fentes longitudinales peuvent être un problème lorsqu'on utilise les raccords cannelés extérieurement, c'est le cas des distributeurs en ligne lorsque le diamètre extérieur de la cannelure du distributeur est trop grand par rapport au diamètre du tuyau utilisé pour constituer la rampe. [5]

Elles s'étendent sur toute la largeur de la parcelle et elles alimentent les postes d'arrosage avec des dimensions variables selon le poste, l'espacement des rampes est de 5m.

### **VI-6-7-2- Les porte- rampes**

Les porte- rampes sont en PE ou en PVC, de 20 à 80 mm de diamètre, la majorité entre 20 et 50 mm de diamètre intérieur, le choix du diamètre dépend en partie du calcul hydraulique en partie du type de raccordement aux rampes parfois le porte-rampe sera d'un diamètre supérieur au diamètre nécessaire du point de vue hydraulique surtout si la rampe pénètre simplement par pression dans un trou réalisé dans la paroi du porte-rampe. [5]

### **VI-6-7-3- Les conduites principales**

Elles sont semblables en irrigation localisée à ce qu'elles sont en aspersion classique, mais peuvent être plus petites et d'une classe pression inférieure en raison de l'utilisation des débits et des pressions plus faibles.

Dans les petits réseaux on peut utiliser des tuyaux PE mais il est plus fréquent de les faire en PVC. [5]

Elles relient le bassin d'irrigation au reste de l'installation au moyen des vannes. Tout au long de son parcours elle alimente les porte- rampes.

**VI-7- Calcul de l'installation**

➤ **Nombre de postes**

Le nombre de postes est calculé par :

$$N(p) = \frac{T_{\max}}{T_F} \quad (38)$$

Avec :

$T_{\max}$  : temps maximum journalier de travail ;

$T_F$  : L'irrigation journalière.

Théoriquement on prend une durée de travail de 18h ce qui donne :

$$N(p) : = \frac{18}{2} = 9 \text{ blocks.}$$

**Surface correspondant à une rampe**

Elle est donnée par :

$$Al = \text{longueur moyenne de la rampe} \times \text{espacement entre rampes.} \quad (39)$$

➤ **Nombre de rampes par poste**

Il est calculé par :

$$N(r) = \frac{\text{surface du poste}}{Al} \quad (40)$$

$$\text{Ou bien} \quad N(r) = \frac{L}{Sr} \quad (41)$$

L : longueur de parcelle ;

Sr : espacement entre rampes.

On trouve les résultats suivants

**Tableau VI-1 : Caractéristiques générales du réseau localisé**

Postes	Sous postes	Superficie (ha)	Rampes		Nbre de goutteurs	Nbre d'arbres
			Nbre	Longueur (m)		
Poste N°1,2,3,4, 5,6,7,9	Sous poste N° 01	1,875	25	150	1500	750
	Sous poste N° 02	1,875	25	150	1500	750
Poste N°08	Sous poste N° 01	1,05	14	150	840	420
	Sous poste N° 02	1,875	25	150	1500	750
total	18	32,925	439	-	26340	13170

### VI-8- Le débit d'installation

Le débit de l'installation est calculé par la formule suivante :

$$Q = \frac{S}{N} \cdot \frac{D_{brut}}{d} \cdot 10 \quad (42)$$

Avec :

Q = Débit de l'installation en m<sup>3</sup>/h ;

S = Surface totale à irriguer en ha ;

N = Nombre de parcelles ;

$D_{brut}$  = Dose brute en mm ;

d = Durée d'arrosage en heures.

Donc :

$$Q = \frac{32,925}{9} \cdot \frac{47,56}{24} \cdot 10 = 72,485 \text{ m}^3/\text{h}.$$

$$Q = 72485 \text{ l/h}.$$

### VI-8- Calcul hydraulique du réseau

#### VI-8-1- Conditions hydrauliques

La variation maximale du débit entre goutteur :

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\% \quad (43)$$

La variation maximale de la pression.

$q = K \cdot H^x$  ;  $x = 0,5$  (caractéristique du goutteur).

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = n \cdot \frac{\Delta H}{H(n)} \quad (44)$$

Avec :

q (g) : débit nominal du goutteur ;

H (n) : pression nominale.

$$0,1 = 0,5 \frac{\Delta H (\text{max})}{10}$$

$$\Delta H (\text{max}) = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ m.c.e.}$$

La répartition de la perte de charge est :

Perte de charge singulière : p.c.s = 10%\*ΔH = 0.2 m

Perte de charge linéaire : p.c.l = ΔH- p.c.s = 1.8 m

1/3 sur les porte- rampes P.d.c (pr) = 0,6 m c e ;

2/3 sur les rampes P.d.c (r) = 1,2 m c e.

### VI-8-2. Calcul de la rampe

- **Débit de la rampe**

Le débit d'une rampe est donné par la relation :

$$Q_R = N_G \cdot Q_G \quad (45)$$

**Avec :**

$Q_R$  = Débit de la rampe en l / h ;

$N_G$  = Nombre de goutteurs par rampe ;

$Q_G$  = Débit d'un goutteur en l / h.

Le débit de la rampe varie donc selon le nombre de goutteurs sur la rampe c'est à dire suivant le nombre d'arbres et la longueur de la rampe.

- **Le diamètre**

Le diamètre est calculé d'après la formule N°46

On propose que les rampes en PEBD

$$\varnothing \text{ (cal)} = \left[ \frac{\text{P.d.c (r)} \times 2,75}{0,478 \times Q(r)^{1,75} L(r)} \right]^{\frac{1}{4,75}} \quad (46)$$

Avec :

P.d.c (r) : La perte de charge dans la rampe ;

Q(r) : Le débit de la rampe en l/h ;

L(r) : La longueur de la rampe en m.

- **La perte de charge**

La perte de charge est déterminée après le choix du diamètre par la formule N°46

$$J_r = \frac{0,478}{2,75} \cdot D r^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L_r$$

Tel que :

J = Perte de charge en m ;

D = Diamètre en mm ;

Q = Le débit en l / h ;

L = Longueur en m.

### VI-8-3. Calcul du porte-rampe

- **Débit du porte-rampe**

Le débit d'un porte-rampe est calculé par la relation

$$Q_{PR} = Q_R \cdot N_R.$$

Avec :

$Q_{PR}$  = Débit du porte rampe en l / h ;

$N_R$  = Nombre de rampes ;

$Q_R$  = Débit d'une rampe en l / h.

- **Le diamètre**

Le diamètre du porte rampe est calculé par la formule N°46

On propose que les porte-rampes en PEBD

$$\varnothing (\text{cal}) = \left[ \frac{P.d.c (\text{pr}) \times 2,75}{0,478 \times Q(\text{pr})^{1,75} L(\text{pr})} \right]^{-\frac{1}{4,75}}$$

- **La perte de charge**

Elle est calculée après avoir déterminé le diamètre par la formule.

$$J = \frac{0,478}{2,75} \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L$$

- Les résultats de calcul des différents postes sont représentés dans le tableau VI-3.

**Tableau VI-2 : Résultats de calcul théorique du réseau localisé**

N°Poste	N°Sous poste	Rampes						Porte- rampes					
		D <sub>cal</sub> (mm)	D nominal (mm)	L (mm)	Q (l/h)	V (m/s)	J (m.c.e)	D <sub>cal</sub> (mm)	D nominal (mm)	L (mm)	Q (l/h)	V (m/s)	J (m.c.e)
Poste	Sous poste N° 1	13,46	16	150	200	0.276	0.529	76,37	75	250	12000	0.756	0,741
	Sous poste N° 2	13,46	16	150	200	0.276	0.529	76,37	75	250	12000	0.756	0,741

Pour le diamètre de la rampe, on choisit le 16mm en raison de commodité et disponibilité sur le marché.

#### VI-8-4. La conduite principale

##### ❖ Le débit

Le débit de la conduite principale est calculé par la formule

$$Q_{c,p} = N_G \cdot Q_G$$

$N_G$  : nombre de gouteurs totale

$Q_G$  = Débit d'un gouteur en l / h

##### ❖ La longueur :

on a :  $L_{C,P} = 630$  m

##### ❖ Le diamètre :

Le diamètre de la conduite principale est calculé D'après la formule de « Bonin »

On dimensionne la conduite pour irriguer quatre postes à la fois

Donc Le débit de la conduite principale est de :

$$Q_{c,p} = 4 \cdot 12000 = 48000 \text{ l/h}$$

##### ❖ Le diamètre :

D'après la formule de « Bonin » le diamètre de la conduite principale est :

$$\emptyset = \sqrt{Q} \tag{47}$$

$Q$  ; débit en  $m^3/s$

$$\emptyset = \sqrt{1,33 \cdot 10^{-2}} = 115 \text{ mm.}$$

On choisit un diamètre commercialisable de 125 mm.

##### ❖ La perte de charge

Elle est donnée par toujours la formule N°46

$$P.d.c = \frac{0,478}{2,75} \cdot 125 \cdot 48000 \cdot 630 = 1,87 \text{ m.c.e.}$$

Donc la perte de charge de la conduite principale  $P.d.c = 1,87 \text{ m.c.e.}$

#### La vitesses

La vitesse pour tous les éléments du réseau est donnée par :

$$Q = V \cdot S \tag{48}$$

$$V = \frac{Q}{S} ; S = \frac{\pi d^2}{4} \quad ; \quad V = \frac{4 Q}{\pi d^2}$$

$$V = 1,08 \text{ m/s}$$

**VI-9- La pression en tête de l'installation**

Elle est calculée à partir du point le plus défavorable (figure VI.1)

$$P = P_G + J(R) + J_{AB}(PR) + J_{tot} + P_{Fi} \quad (49)$$

**Avec :**

P = Pression entête de l'installation en m ;

$P_G$  = Pression d'un goutteur = 1 bar ;

$J(R)$  = perte de charge dans la rampe en m ;

$J_{AB}(PR)$  = Perte de charge dans le porte- rampe ;

$P_{Fi}$  : la perte de charge dans le filtre ;

$J_{tot}$  = Perte de charge totale ;  $J_{tot} = (1.1 \div 1.15) * J_{lin}$ .

$J_{lin}$  = Perte de charge linéaire en m ; tel que :  $J_{lin} = J_{BF}(CP) + J_{FE}$  (50)

Tel que :

$J_{BF}(CP)$  = Perte de charge dans la conduite principale en m ;

$J_{FE}$  = Perte de charge dans la conduite reliant le bassin et la conduite principale en m ; tel que :

$$J_{FE} = \frac{0,478}{2,75} \cdot 125^{-4,75} \cdot 48000^{1,75} \cdot 5 = 0,015 \text{ m.c.e}$$

**Tableau VI-3 : les pressions aux extrémités du réseau**

Les extrémités	J(R)	J(PR)	J tot	P	P disponible
01	0,529	0,741	0,046	13,39	3,15
02	0,529	0,741	0,240	13,90	4,13
03	0,529	0,741	0,435	14,40	5,25
04	0,529	0,741	0,825	15,44	10,5
05	0,529	0,741	0,825	15,44	9,67

Avec  $P_{disponible} = \Delta H_e + \Delta H_t$

$\Delta H_e$  : le niveau de l'eau dans le bassin (m)

$\Delta H_t$  : la différence de niveau entre la tête du réseau et chaque extrémité (m)

D'après ce tableau on voit clairement que le point le plus défavorable est le point numéro 01, qui devrait avoir une pression nécessaire  $P_{néc} = 13,39 \text{ mce}$

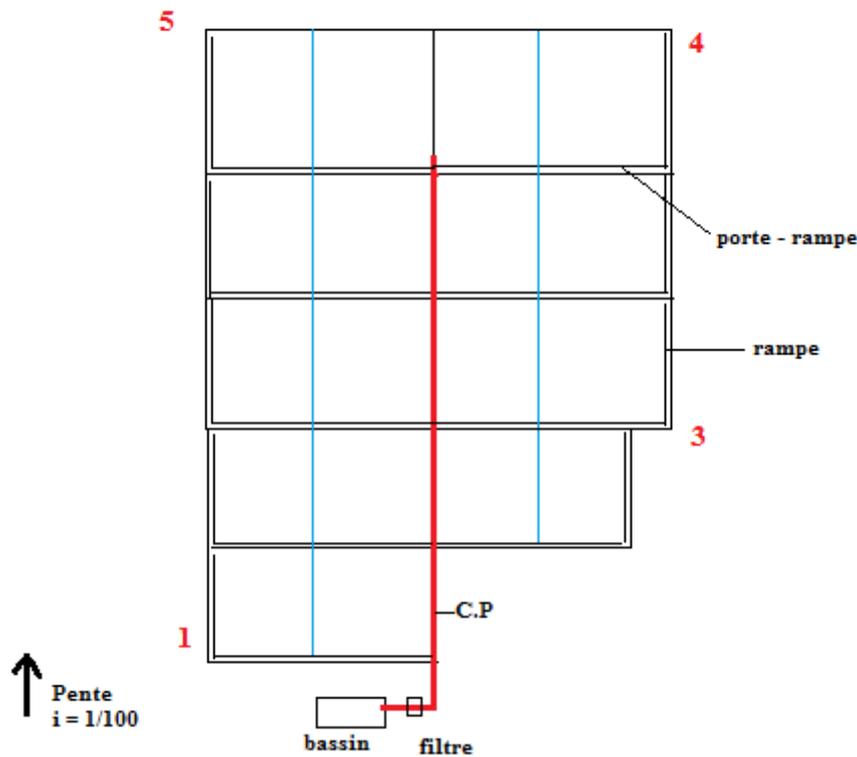


Figure V1-01 la pression à chaque extrémité du réseau

### VI-10- Choix de la pompe

Le choix de la pompe se fait selon les deux caractéristiques suivantes.

- Débit de la pompe.
- Hauteur d'élévation.

#### VI-10-1. Débit de la pompe

$$Q = 48 \text{ m}^3/\text{h}.$$

#### VI-10-2. Hauteur d'élévation

$$HMT = \Delta V_{\text{eau-sol}} + H_p + H_{p-D} \quad (51)$$

Avec :

$H_{p-D}$  : perte de charge dans la conduite reliant la pompe et la conduite d'amené

$$H_{p-D} = \frac{0,478}{2,75} \cdot 125 \cdot 48000 \cdot 2 = 0,006 \text{ m.c.e}$$

$$HMT = 0,2 + 15,44 + 0,006 = 15,65 \text{ m}.$$

D'après le Catalogue des pompes ; on trouve en fonction de (Q, HMT), (annexe 6) une pompe de type (50-125 2), la forme BS (voir l'annexe 7).



Figure VI-02 : Pompe mono bloc

- **VI-11- Capacité du bassin d'irrigation**

Le bassin d'irrigation a une capacité de 5000 m<sup>3</sup> et de dimension de 50\*25\*4

L'irrigation journalière théorique est de 2 heures, donc l'agriculteur aura besoin d'un volume de :

$$V = 105,36 \cdot 2 = 210,72\text{m}^3$$

Puisque la capacité maximale du bassin est de 5000 m<sup>3</sup>, l'agriculteur a la quantité d'eau suffisante pour irriguer les postes d'arrosage, elle peut assurer donc :

$$\frac{5000}{48} = 104,17 \text{ heures.}$$

**VI-12-Adduction**

Notre adduction relie la STEP et le bassin de l'agriculteur, cette dernière a été mis en sous pression (refoulement en charge).

On signale aussi que cette adduction est en service (elle est déjà dimensionnée et installée).

**Tableau VI-4** : Fiche technique de projet (l'adduction et le bassin d'accumulation)

Linéaire de la conduite en PEHD DN 200PN16	5002 ML
Equipement de la station de reprise	02 groupes
Débit unitaire	Q =2600m <sup>3</sup> /j
HMT unitaire	H= 40 m
Amenée d'énergie et poste transfo	P = 160 K.V.A
Réalisation d'un bassin d'accumulation	5000 m <sup>3</sup>

**Comparaison entre le volume fourni par la STEP et le volume nécessaire pour la culture**

$$B_{\text{annuels}} = \frac{* *}{*}$$

B : c'est le volume annuel d'eau (brute) nécessaire pour la culture en m<sup>3</sup>

b : les besoins annuels (nets) en mm

S : surface de la parcelle en ha

E : l'efficience du système d'irrigation

Dans notre cas on prend E = 0.9

$$B_{\text{annuels}} = \frac{, * * ,}{,} = 162734.53 \text{ m}^3$$

Le volume fourni par la STEP = 198360 m<sup>3</sup>/ an

On remarque que le volume disponible par la STEP est supérieur aux besoins annuels de la culture

donc l'agriculteur a assez de l'eau pour irriguer ses cultures

**Conclusion**

Dans ce chapitre on a fait la description sur les caractéristiques générales du réseau, et puis on a déterminé les débits, les diamètres et les pertes de charge qui nous assurent L'écoulement dans ces conduites à des diamètres normalisés

**CHAPITRE VII : ESTIMATION DU PROJET****VII-1-Introduction**

Les devis proposés à l'irrigant sont actuellement très fluctuants pour une même parcelle ; ceci est dû :

- ☞ A l'importance de l'installation de tête : filtration selon la nature des eaux et matériel de fertilisation ;
- ☞ Au coût du matériel selon les entreprises ;
- ☞ Aux services fournis par l'entreprise.

Certains devis ne comportent que la fourniture et parfois des fouilles, la pose, le montage du réseau et parfois des différentes pièces des goutteurs étant à la charge de l'exploitant.

D'autre part, prévoient non seulement une part de l'installation, mais aussi une certaine assistance de maintenance du réseau.

L'objectif de ce chapitre est donc l'évaluation du coût estimatif de notre projet.

**VII-2-Devis du réseau d'irrigation au goutte à goutte****VII-2-1-Dépenses des équipements**

Les prix unitaires des pièces et accessoires sont mentionnés dans le tableau suivant :

**Tableau VII-1-Facture des pièces de réseau d'irrigation localisée**

Pièces	Prix unitaire (DA)	Unité de mesure	Quantité	Total
Tube Ø16 PEBD	15,02	m/l	65865	989067
Tube Ø 75 PEBD	302,44	m/l	2195	663855 ,8
Tube Ø125 PEHD	490,29	m/l	630	308882,7
Coude 90° Ø125	500	Un	1	500
Bouchon Ø16	46	Un	260	11960
TE Ø125/75	600	Un	09	54000
Filtre	25926	Un	1	25926
Vanne Ø125	13877	Un	1	13877
Vanne Ø75	8342	Un	9	75078
Pompe doseuse	33377	Un	1	33377

Tableau VII-1 (suite)

Colle PVC	858	Un	1	858
Bouchon filtré Ø75	120	Un	9	1080
Bouchon filtré Ø125	200	Un	1	200
Fertiliseur	8500	Un	1	8500
Bouchon Ø16	46	Un	439	20194
Bouchon Ø75	215	Un	9	1935
Goutteur réglable	15	Un	26340	380010
Total				2589301

**VII-2-2-Dépenses des travaux**

Le prix de terrassement est égal à :

Pour le déblai :  $F_{deb} = V_{deb} \cdot K_{deb}$

$K_{deb}$  : prix de  $1 \text{ m}^3$  de déblai=300 DA

$V_{deb}$  : volume total de déblai

Pour le remblai :  $F_{rem} = V_{rem} \cdot K_{rem}$

$K_{rem}$  : prix de  $1 \text{ m}^3$  de remblai=100 DA

$V_{rem}$  : volume total de remblai

- Calcul du volume de déblai et remblai

La pose en terre des conduites s'effectue dans un tranché dont la largeur de fond B sera donnée par la formule suivante :

$$B = D + 2 \times 0,3$$

D : diamètre de la conduite (m)

La profondeur de fouille est en fonction du diamètre de la conduite, de la température du lieu (max, min) et les sollicitations des charges mobiles.

$$H \geq D + 0,8$$

$$\text{Déblai} = L \cdot H \cdot B$$

$$\text{Remblai} = \text{déblai} - \left(\pi \frac{D^2}{4}\right) \cdot L$$

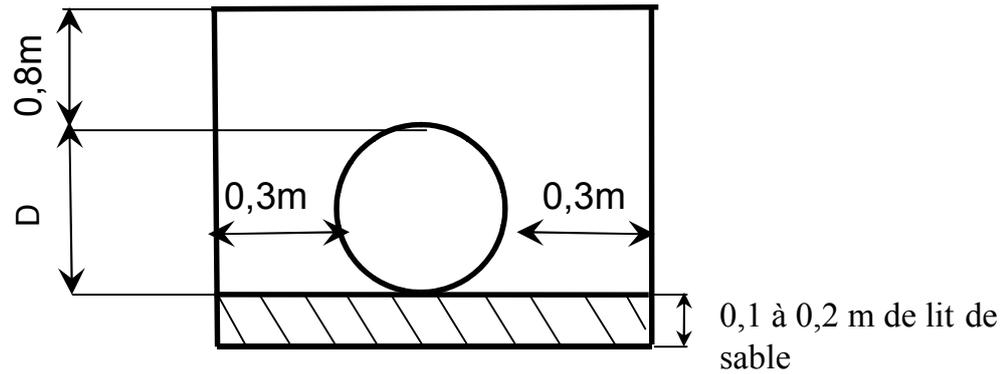


Tableau VII-3-Calcul de terrassement

Paramètres	Ø (mm)	B (m)	H (m)	L(m)	Déblai (m <sup>3</sup> )	Remblai (m <sup>3</sup> )
Conduite Principale	125	0,725	1,025	630	468,17	460,44
Les porte-rampes	75	0,675	0,975	2195	1444,58	1438,21

Donc pour le déblai:

$$F_{\text{deb}} = 1912,75 \times 400 = 765100 \text{ DA}$$

Pour le remblai :

$$F_{\text{rem}} = 1898,65 \times 100 = 189650 \text{ DA}$$

Le salaire des ouvriers est égal à 80000 DA

Les autres frais 5000 DA

Donc : le total de terrassement est de 797065 DA

Donc le totale de projet est de 3386366 DA

#### N.B

La référence des prix pour la projection du réseau d'irrigation au goutte à goutte a été fournie par le représentant commercial de S.T.P.M CHIALI

#### Conclusion

On constate que le coût de la projection du réseau d'irrigation localisée est élevé, comme c'était déjà cité cette élévation de coût est due aux équipements très chers (système de fertilisation et filtration...etc).

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est de caractériser au mieux les eaux usées de la station d'épuration de Boumerdes en vue d'une utilisation sans risque sur le périmètre de Corso .Un réseau d'irrigation à été conçu avec un dimensionnement adapté au type de culture et de débit disponible.

Les résultats analytiques ont montré que les eaux usées de la STEP de Boumerdes sont d'une bonne qualité lui permettant facilement d'être utilisées dans le domaine agricole (irrigation)

Parmi les recommandations proposées avant de généraliser cette pratique, il est important que les techniques de réutilisation des eaux usées épurées soient bien maîtrises pour cela, il serait nécessaire :

- ◆ Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées ;
- ◆ Un traitement adapté aux conditions locales ;
- ◆ Une meilleure connaissance des impacts sanitaires et écologiques de la réutilisation.

De plus cette option devra être appuyée par des campagnes d'exploitation et de sensibilisation auprès des utilisateurs.

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), École nationale vétérinaire de Nantes, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, École nationale de la santé publique (ENSP). Les germes pathogènes dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, *Guide et cahiers techniques « Connaître pour agir »*, août 1994, 89 pages
- [2] [18] Alexandre Dudkowski: L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines
- [3] Baumont S Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. E.N.S.A.T.
- [4] Boutin,B et Mercier,PN, 1984 « Traitement des eaux usées »
- [5] BULLETTIN DE FAO N°36,1983 :l'irrigation localisée, calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement, FAO. Rome ;
- [6] DANIEL VESCHAMBRE et PIERRE VAYSSE, 1980 : Mémento goutte à goutte, guide pratique de la micro irrigation par goutteurs et diffuseurs. Edition C.T.I.F.L, INRA ;
- [7] DIEHL.R ,1975 : Agriculture générale, 2<sup>ème</sup> édition J.B BALLIERRE .Paris
- [8] Gaid,A , 1984 “Epuración biologique des eaux usées urbaines Tome I Ed. OPU Alger
- [9] Gommella, C et Guerree, H,1983« Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales » Ed. Eyrolles –Paris.
- [10] GUETTALA CHAHRAZED, 2003 : Etude d'un projet d'irrigation au goutte à goutte au niveau du périmètre Djarech (110 Ha) à partir de 05 forages (W.TEBESSA), thèse d'ingénieur d'état en agronomie, université de Batna ;
- [11] Issaadi ,R, 2003/2004 cours de 4eme année d'épuration –ENSH-Blida
- [12] JEAN ROBERT TIERCELIN, 1998 : Traité d'irrigation, technique et documentation .France,
- [13] MR KOKAI : cours de réutilisation 5<sup>ème</sup> année (2010/2011)

[14] **KULKER, 1988** : La maîtrise de l'irrigation sous pression, aspersion et goutte à goutte.  
Edition NATHAN.Paris

[15] **Lahbib Eddeguesse** : Diagnostique, Mise à Niveau et Réutilisation des Eaux Usées de la Station d'épuration O.Said.

[16] **MICHEL DUCROCQ** : Les bases de l'irrigation, technique et documentation, Lavoisier, Paris. Editions scientifiques universitaires. Liban ;

[17] **Monchy,H**, 1978 "Mémento d'assainissement" Ed. EYROLLES, Paris

[18] **M.R.E., 2007** - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 2:Schéma directeur, D.A.P.E.

[19] **M.R.E., 2007** - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées, D.A.P.E.

[20] **Mr M.Nakib** : Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture : Cas des affluents urbains et de laitières.

[21] **Office International de l'Eau**. Caractérisation des eaux usées  
DFE/CNFME/L:\utilisat\JP\F07\DOCPDA~1\Caractérisation des EU.doc\05/04/2005

[22] **Office nationale d'assainissement (ONA)**, unité de Boumrdes

[23] **Rakha Pronost** : Conception et dimensionnement des stations d'épuration à boues activées

[24] <http://www.lenntech.com/fran%E7ais/nitrate.htm>

[25] [www.revue-ein.com](http://www.revue-ein.com) RÉUTILISATION DES EAUX USÉES Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France

**Annexe N°1** pluie moyenne mensuelle et annuelle (mm) observée au niveau de la station pluviométrique de Boumerdes durant la période (1985-2010)

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Pluies annuelles
1985	0	0	0	59	59,7	64,1	194,8	32,4	0	14	16	1,5	441,5
1986	17,4	58,4	72,7	203,8	84,5	148	18,5	1,7	11,8	28,7	0	0	645,5
1987	0	35,4	106,7	71,5	36,3	39,9	47,8	32,8	23,5	40,4	0	0	434,3
1988	40,2	2,9	83,3	183,2	51,4	22,5	30	82,2	10,2	5,6	0	5,1	516,6
1989	22,4	44,4	30,2	44,6	101,2	0	34,9	91,9	40,6	3,6	0	0	413,8
1990	19,2	61,4	40,9	123,8	95,7	110,3	47,8	35,9	31,4	0	0	0	566,4
1992	0	0	0	0	0	0	30,2	68,7	31,9	0	0	0	130,8
1993	19,4	39,9	61,5	201,4	0	0	0,4	53,6	0	0	0	0	376,2
1994	0	67,3	52,2	94,7	124,7	49	94,9	27,6	0	18,8	0	18	547,2
1995	16,3	50	25,3	34,7	84,3	157,9	47,8	148,2	33	32	4,2	1,2	634,9
1996	16,5	71,5	30	21,6	20,2	18,7	8,5	85,9	19	6,6	1,8	2,2	302,5
1997	31,9	76,4	119,7	102,6	34,4	70,3	43	57,8	165,5	0	0	0	701,6
1998	27,2	68,5	119,6	65,5	118,7	120,5	71,3	24,3	1,8	3,6	0	4,2	625,2
1999	17,1	28,5	207,4	184,3	9,1	1,8	21,1	12,3	70,7	0	0,8	0	553,1
2000	9,5	48,6	89,5	57,6	146,2	58,3	0	33,3	19,4	0	0	0	462,4
2001	21,9	12	68,5	65	64,6	4,7	31,2	19,4	18,1	0	0	15,3	320,7
2002	25,7	72,2	232,3	173,2	226,9	113,8	28,1	112,5	19,5	0	0	0,8	1005
2003	31,2	43,4	44,6	99,5	102	44,7	75,2	62,2	177,1	0,2	27,3	0	707,4
2004	10,6	51,1	86,9	101,3	116,5	101,9	47,8	21,9	1,6	0	0	0	539,6
2005	51,3	57,1	83,4	95,1	141,4	119,1	28,8	2,8	165,4	0	0	4,8	749,2
2006	23,8	12,8	9,3	323,9	9,9	52,2	151,5	109,2	24,8	11,6	0	1,9	730,9
2007	52,2	101,9	116,4	100,5	11,9	18,8	99,2	21,2	93,7	4,1	6,5	0	626,4
2008	29,9	35,3	171,1	130,4	133,5	21,7	75,6	0	42,2	0	0	0	639,7
2009	153,1	48,1	123,2	148,7	101,6	58,8	112,7	99,6	75,4	25,8	0,6	16,2	963,8
2010	74,4	183,1	169,5	70,4	84,1	111,8	56,9	18,3	26	0	0	0	794,5
Pluies mensuelle itraannuelle	711,2	1270,2	2144,2	2756,3	1958,8	1508,8	1398	1255,7	1102,6	195	57,2	71,2	14429,2

## ANNEXE N° 02

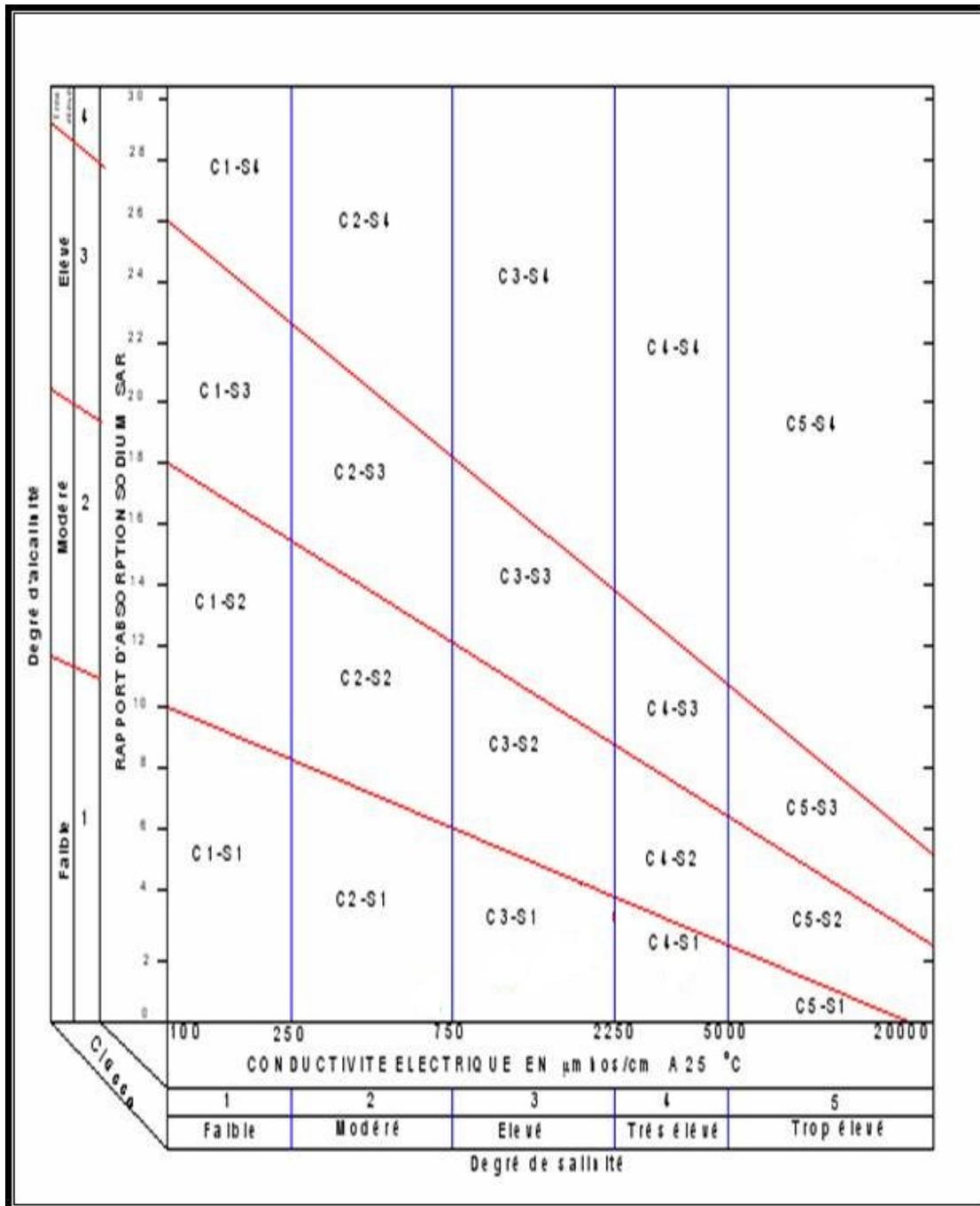


Diagramme de classification des eaux d'irrigation

**ANNEXE N° 03**  
Guide d'estimation de p

**GUIDE D'ESTIMATION DE P**

(p = pourcentage de sol humidifié pour divers débits de distributeurs et divers espacements entre rampes et entre distributeurs dans le cas d'une seule rampe, rectiligne, équipée de distributeurs uniformément espacés délivrant une dose de 40 mm par arrosage sur l'ensemble de la surface )

Ecartement entre rampes S <sub>r</sub> en m	Débit des distributeurs														
	moins de 1,5 l/h			2 l/h			4 l/h			8 l/h			Plus de 12 l/h		
	Espacement recommandé des distributeurs sur la rampe, S <sub>d</sub> en m en sol de texture grossière (G), moyenne (M), fine (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0
	Pourcentage en sol humidifié p %														
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

**ANNEXE N° 04**  
Caractéristique de quelque sol

**ANNEXE 04**  
Rapport entre le type de sol et les caractéristiques hydriques sur la base du poids de sol sec

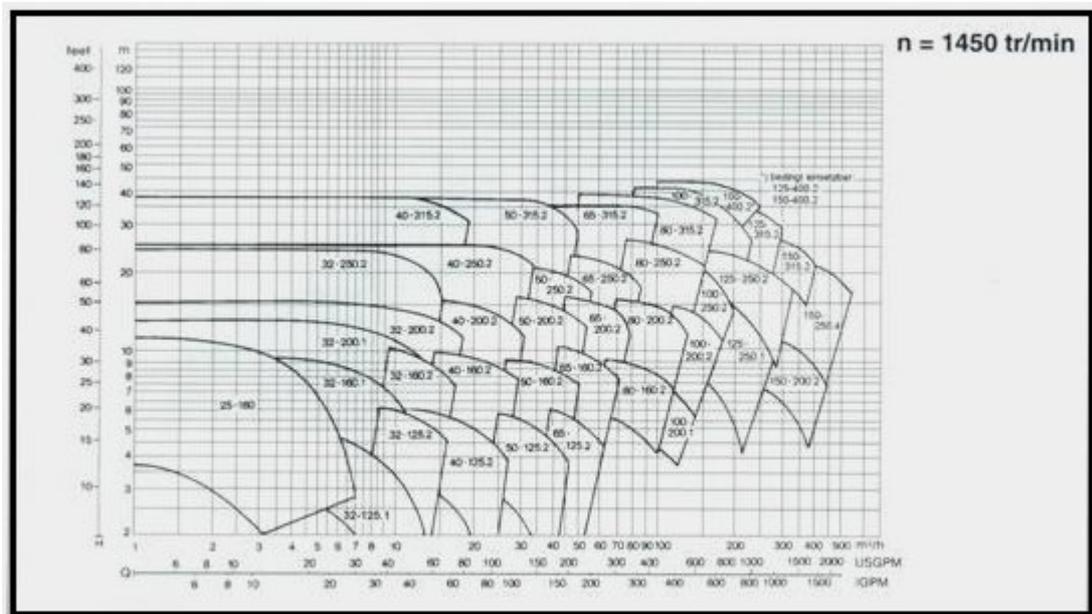
No.	Type de sol	Emplacement	Capacité de rétention	Point de flétrissement permanent	Rapport entre la capacité de rétention et le point de flétrissement permanent	Eau disponible dans une épaisseur de 30 cm exprimée en cm <sup>1</sup> /
1	Sable fin	Californie	3,29	1,33	2,47	0,86
2	Sable	Arizona	4,79	3,17	1,51	0,66
3	Limon sableux	Californie	9,69	4,17	2,17	2,03
4	Limon sableux	Californie	11,09	3,08	3,60	3,31
5	Limon sableux fin	Californie	16,80	8,93	1,88	3,20
6	Limon fin	Nouveau Mexique	17,28	8,23	2,10	3,76
7	Limon sableux	Orégon	18,79	6,61	2,85	5,06
8	Limon argileux fin	New York	21,70	5,02	4,35	6,93
9	Limon fin	Ohio	23,56	6,12	3,82	7,35
10	Limon argileux	Ohio	24,51	11,55	2,12	5,02
11	Argile	Californie	27,33	12,53	2,18	6,00
12	Limon argileux fin	Californie	28,33	12,49	2,26	6,43
13	Argile	Nouveau Mexique	30,42	16,00	1,91	6,00
14	Limon argileux	Californie	31,12	25,70	1,21	1,81
15	Limon	Orégon	37,90	19,03	1,99	7,82

### ANNEXE N° 05

Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures

Cultures	z (m)
Tomates	1 - 1,2
Cultures maraichères	0,3 - 0,6
Agrumes	1 - 1,2
Arbres fruitiers à feuilles caduques	1 - 2
Vigne	1 - 3

### ANNEXE N° 06



Courbes caractéristiques pour le choix de la pompe

## ANNEXE N° 07

Forme BS, 1450 tr/min

Type	Forme	KW	Pôles	Type du moteur	Modèle d'exécution	DN <sub>g</sub> /DN <sub>D</sub> (PN 10)	a	L	x	n f	g <sub>1</sub> g	h <sub>1</sub> h <sub>2</sub>	m <sub>1</sub> BB	m <sub>2</sub> B	n <sub>1</sub> AB	n <sub>2</sub> A	s HA	Garniture mec.	Poids kg
40-125	BS	0,55	4	80 A	B 5	65/40	80	410	112	-	120 100	112 140	100	70	210	160	14 12	20	27
40-160	BS	0,75	4	80 B	B 5	65/40	80	410	115	-	130 125	132 160	100	70	240	190	14 12	28	34
40-160	BS	1,1	4	90 S	B 5	65/40	80	460	115	-	130 125	132 160	100	70	240	190	14 12	28	37
40-160	BS	1,5	4	90 L	B 5	65/40	80	460	115	-	130 125	132 160	100	70	240	190	14 12	28	38
40-200	BS	0,75	4	80 B	B 5	65/40	100	430	78	-	140 136	160 180	100	70	265	212	14 12	28	39
40-200	BS	1,1	4	90 S	B 5	65/40	100	480	78	-	140 136	160 180	100	70	265	212	14 12	28	42
40-200	BS	1,5	4	90 L	B 5	65/40	100	480	78	-	140 136	160 180	100	70	265	212	14 12	28	43
40-200	BS	2,2	4	100 L	B 35	65/40	100	505	78	36 154	140 136	100 180	-	-	-	-	12 13	28	49
40-200	BS	3	4	100 L	B 35	65/40	100	505	78	36 154	140 136	100 180	-	-	-	-	12 13	28	51
40-250	BS	1,5	4	90 L	B 5	65/40	100	480	83	-	170 170	180 225	125	95	320	250	14 12	28	53
40-250	BS	2,2	4	100 L	B 35	65/40	100	505	83	66 154	170 170	100 225	-	-	-	-	12 13	28	59
40-250	BS	3	4	100 L	B 35	65/40	100	505	83	66 154	170 170	100 225	-	-	-	-	12 13	28	61
40-250	BS	4	4	112 M	B 35	65/40	100	515	83	54 151	170 170	112 225	-	-	-	-	12 15	28	66
40-315	BS	4	4	112 M	B 35	65/40	125	540	75	88 164	200 200	112 250	-	-	-	-	12 16	40	87
40-315	BS	5,5	4	132 S	B 35	65/40	125	621	75	68 174	200 200	132 250	218	140	256	216	15	40	94
50-125	BS	0,75	4	80 B	B 5	65/50	100	430	128	-	134 110	132 160	100	70	240	190	14 12	28	33
50-125	BS	1,1	4	90 S	B 5	65/50	100	480	128	-	134 110	132 160	100	70	240	190	14 12	28	36
50-125	BS	1,5	4	90 L	B 5	65/50	100	460	128	-	134 110	132 160	100	70	240	190	14 12	28	37
50-160	BS	0,75	4	80 B	B 5	65/50	100	430	128	-	150 130	160 180	100	70	265	212	14 12	28	39
50-160	BS	1,1	4	90 S	B 5	65/50	100	480	128	-	150 130	160 180	100	70	265	212	14 12	28	42
50-160	BS	1,5	4	90 L	B 5	65/50	100	480	128	-	150 130	160 180	100	70	265	212	14 12	28	43
50-160	BS	2,2	4	100 L	B 35	65/50	100	505	128	39 154	150 130	100 180	-	-	-	-	12 13	28	49
50-160	BS	3	4	100 L	B 35	65/50	100	505	128	39 154	150 130	100 180	-	-	-	-	12 13	28	51
50-200	BS	1,1	4	90 S	B 5	65/50	100	480	110	-	150 140	160 200	100	70	265	212	14 12	28	44
50-200	BS	1,5	4	90 L	B 5	65/50	100	480	110	-	150 140	160 200	100	70	265	212	14 12	28	45
50-200	BS	2,2	4	100 L	B 35	65/50	100	505	110	44 154	150 140	100 200	-	-	-	-	12 13	28	51