

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique*

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

**THEME :**

**UTILISATION DES EAUX ÉPUREES DE LA  
STATION D'ÉPURATION DE THENIA EN  
IRRIGATION (W.BOUMERDES)**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup> MOKHTARI SIDALI**

**DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>M<sup>r</sup> M.MESSAHEL</b>	<b>M C</b>	<b>Président</b>
<b>M<sup>r</sup> T.BENKACI</b>	<b>MA.B</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>me</sup> H.BOUCAMA</b>	<b>MA.A</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>me</sup> S.MAZOUZI</b>	<b>MA.B</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>r</sup> Y.BOUNAH</b>	<b>MA.B</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>me</sup> H.MEDDI</b>	<b>M C.B</b>	<b>promotrice</b>


**Mars-2014**


# DEDICACES

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


- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti pour que je réussisse ;*

*Je le dédie également à:*

 *mes sœurs et toute la famille pour leur soutien inconditionnel.*

 *A tous mes amis surtout: Hamza, Ahmed, Adel, Mohamed, Said , Yahya, Sofiane, Nabil, Abd latif, Zaki, Ramzi et Noura.*

 *Mes amis de l'ENSH.*

 *Mes partenaires de QNET*

 *Tous les gens qui ont contribué ma réussite de près ou de loin*

**S.MOKHTARI**

# Remerciements

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

*Puis, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à ma promotrice M<sup>me</sup> H.MEDDI pour son enthousiasme, sa disponibilité et sa confiance en mes compétences pour mener à bien ce travail.*

- ✚ Toute ma gratitude pour mes parents, mes sœurs pour leur soutien moral et financier.*
- ✚ Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, surtout Mme BAHBOUH, M. MESSAHEL et Mme AZEIZ, Mme LEULMI et Mme HARKAT.*
- ✚ Que les membres de jury trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance pour avoir bien voulu juger ce travail.*
- ✚ Je tiens aussi à remercier mes amis et mes partenaires de QNET qui m'ont aidé pendant la réalisation de ce projet.*

**SID ALI**

في هذه بلدية الثنية بولاية بومرداس بالمياه انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة بلدية. كيفية تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط 50 هكتار الواقع في لهذا الغرض قمنا بدراسة عامة لمختلف خصائص المنطقة من حيث المناخ و من حيث الخصائص المتعلقة بنوعية التربة لك نوعية المياه. قمنا أيضا بتحديد احتياجات النباتات للماء ، كما قمنا أيضا بتحديد مختلف أبعاد شبكة التزويد بمياه السقي من المحطة إلى المحيط.

## Résumé

L'objectif de ce projet est la conception d'un réseau d'irrigation pour alimenter en eaux épurées un périmètre de 50 ha à partir de la station d'épuration de la ville de THENIA à la Wilaya 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.

Nous avons aussi estimé les besoins en eau des cultures et dimensionner notre réseau d'irrigation.

## Abstract

The aim of this project is the conception of the irrigation network may nourish in purified wastewaters the perimeter of 50 ha localized in the town of THENIA in city of BOUMERDES from the station of purification that is situated in the same town.

Therefore, we have made a general study on the climatic features as well as the characteristics of soil, of the region and the quality of water.

We have also estimated the needs of plants in water, and defined the dimensions of the irrigation network.

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION GENERALE:

## CHAPITRE I: RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES

INTRODUCTION .....	1
I.1 OBJECTIFS DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES .....	2
I.2 HISTORIQUE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES .....	2
I.2.1 Aux Etats Unis .....	2
I.2.2 Le bassin méditerranéen .....	2
I.2.3- L'Europe du Nord .....	3
I.2.4 En Algérie.....	3
I.3 Les avantages et les inconvénients de la reutilisation des eaux usées .....	4
I.3.1 Les avantages.....	4
I.3.2 Les inconvénients.....	5
I.4 La reutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation .....	6
I.4.1. Critères physico-chimiques de la qualité des eaux pour l'irrigation .....	6
I.4.1.1 La salinité .....	6
I.4.1.2 La sodisation .....	7
I.4.1.3 Alcalinité et dureté.....	7
I.4.1.4 Fertilisants.....	8
I.4.1.5 Les MES et les graisses .....	8
I.4.1.6 Le PH .....	8
CONCLUSION .....	8

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

INTRODUCTION .....	9
II.1 Situation de la ville de THENIA dans le cadre régionale .....	9
II.2 Cadre climatique.....	10
II.2.1 Températures .....	10
II.2.2 Précipitations.....	11
II.2.3 L'insolation .....	12
II.2.4 Evaporation .....	12
II.2.5 Vitesse du vent .....	13
II.2.6 Humidité relative.....	14
II.2.7 Représentation du diagramme de GAUSSEN .....	15
II.3 Synthèses Climatiques .....	16
II.3.1- Classification du climat selon l'indice d'aridité du marton .....	16
II.3.2- Diagramme d'EMBERGER .....	17
II.4 Classification du sol de la région d'étude .....	18
II.4.1- Les sols peu évolués .....	19
II.4.2- Les sols hydromorphes .....	19
II.4.3- Les vertisols .....	19
II.5 Les caractéristiques physiques du sol .....	19
II.5.1 La texture .....	19
II.5.2 La structure .....	19

Conclusion .....	20
------------------	----

### **CHAPITRE III: DESCRIPTION DE LA STATION D'EPURATION DE LA VILLE DE THENIA**

INTRODUCTION .....	21
III.1 Assainissement de la commune de THENIA.....	21
III.1.1 Collecteurs principaux .....	21
III.1.2 Stations de relevage .....	22
III.2 Présentation de la STEP de THENIA .....	22
III.3 Origine des eaux usées.....	23
III.4 La pollution des eaux .....	24
III.4.1 Les paramètres physiques .....	24
III.4.2 Les paramètres chimiques .....	26
III.4.3 Les paramètres biologiques.....	28
III.5 Les différents procédés de traitement des eaux usées de la STEP de THENIA .....	29
III.5.1 Le prétraitement .....	31
III.5.2 Le traitement primaire et physico-chimique .....	32
III.5.3 Le traitement secondaire .....	33
III.5.4 Traitement tertiaire.....	35
III.5.5 Traitement des boues .....	35
III.6 les caractéristiques chimiques des eaux de la STEP de THENIA .....	36
III.6.1 Objectifs des analyses .....	36
III.6.2 Les paramètres analysés.....	37
Conclusion .....	40

### **CHAPITRE IV: ETUDE HYDROLOGIQUE.**

Introduction.....	41
IV.1 L'homogénéisation de la série pluviométrique .....	41
IV.2 Ajustement de la série pluviométrique .....	43
IV.3 Calcul de la précipitation de l'année de calcul .....	45
Conclusion .....	45

### **CHAPITRE V: ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES**

Introduction.....	46
V.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle.....	46
V.2 Calcul de la pluie efficace .....	47
V.3 Calcul des besoins en eau des cultures .....	47
V.3.1 Choix des cultures .....	48
V.3.2 Calendrier culturel.....	49
V.2.3 Les besoins en eau de chaque culture.....	49

a) L'olivier.....	49
b) Le pommier.....	49
V.3.4 Les besoins mensuels et annuels totaux en eau des cultures.....	49
V.4 L'occupation du sol.....	50
V.5 Calcul du débit spécifique.....	50
Conclusion .....	50

## CHAPITRE VI: DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION

Introduction .....	51
VI.1 Classification des réseaux d'irrigation .....	51
VI.1.1 Selon la construction.....	51
VI.1.2 Selon la réalisation.....	51
VI.1.3 Selon la distribution de l'eau sur le périmètre.....	51
VI.1.4 Selon le fonctionnement durant la période d'irrigation.....	51
VI.2. Choix du type de réseau d'irrigation .....	52
VI.3 Les techniques d'arrosage.....	52
VI.3.1 L'irrigation gravitaire .....	52
VI.3.1.1 Avantages .....	53
VI.3.1.2 Inconvénients.....	53
VI.3.2 L'irrigation goutte à goutte.....	53
VI.3.2.1 Avantages .....	53
VI.3.2.2 Inconvénients.....	54
VI.3.3 L'irrigation par aspersion .....	54
VI.3.3.1 Avantages .....	54
VI.3.3.2 Inconvénients.....	54
VI.4 Choix de la technique d'irrigation convenable.....	54
VI.5 Choix du type de matériau des conduites .....	55
VI.6 Processus d'humidification du sol.....	55
VI.7 Composition du système goutte à goutte .....	56
VI.7.1 Les portes rampes .....	56
VI.7.2 Les rampes .....	56
VI.7.3 Les distributeurs.....	56
VI.8 Dimensionnement du système d'irrigation goutte à goutte .....	57
VI.8.1 Données générales .....	57
VI.8.2 Besoins des cultures en irrigation localisée.....	57
VI.8.3 calcul de l'installation.....	61
VI.8.4 Calcul hydraulique du réseau.....	62
VI.8.5 dimensionnement de la conduite d'approche .....	65
VI.9 Dimensionnement de la conduite principale .....	66
VI.9.1 Les données .....	66
VI.9.2 Calcul du diamètre de la conduite principale .....	66
VI.10 Adduction.....	67
VI.10.1 Types d'adduction .....	67
VI.10.2 Choix du tracé.....	67
VI.10.3 Schéma hydraulique du réseau .....	68
VI.10.4 Calcul du volume de réservoir de stockage .....	68
VI.11 Pompage.....	69
VI.11.1 Calcul de la hauteur d'élévation .....	69

VI.11.2 Choix du nombre et type de la pompe .....	70
VI.11.3 Choix du moteur électrique .....	70
VI.11.4 détermination de la hauteur admissible d'aspiration .....	71
VI.11.5 Dimensionnement de la conduite de refoulement .....	71
VI.11.5.1 Choix de la gamme des diamètres .....	72
VI.11.5.2 Calcul des pertes de charges .....	73
VI.11.5.3 Calcul de la hauteur manométrique totale .....	74
VI.11.5.4 Puissance absorbée par la pompe .....	75
VI.11.5.5 Énergie consommée par la pompe .....	76
VI.11.5.6 Frais d'exploitation .....	77
VI.11.5.7 Frais d'amortissement.....	78
VI.12 Dimensionnement de la conduite ( STEP- bache de stockage).....	80
<b>VI.13 Calcul du volume de la bache de stockage .....</b>	<b>81</b>
Conclusion .....	81

## **CHAPITRE VII: ASPECT ECONOMIQUE**

INTRODUCTION .....	82
VII.1 devis du réseau d'irrigation.....	82
VII.2 Coût de la culture à projeter .....	83
Conclusion .....	83

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**



# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau N°II.1:</b> Moyennes mensuelles et annuelle des températures (1995-2010).....	10
<b>Tableau N°II.2 :</b> Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (1980-2011) .....	11
<b>Tableau N°II.3 :</b> Moyennes mensuelles et annuelles de l'ensoleillement(1995-2010).....	12
<b>Tableau N°II.4 :</b> Moyennes mensuelles et annuelles d'évaporation (1995-2010).....	12
<b>Tableau N°II.5 :</b> Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (1995-2010).....	13
<b>Tableau N°II.6 :</b> Moyennes mensuelles de l'humidité relative en air (%). (1995-2010) .....	14
<b>Tableau N°II.7 :</b> Les précipitations mensuelles et la température (1995-2010) .....	15
<b>Tableau N°II.8 :</b> Classification du climat selon De Marton.....	16
<b>Tableau N°III.1:</b> Les caractéristiques des stations de relevage. ....	22
<b>Tableau N°III.2:</b> Concentration des micro-organismes dans les eaux usées .....	29
<b>Tableau N°III.3 :</b> Les normes de rejets des eaux urbains. ....	36
<b>Tableau N°III.4 :</b> relation entre la conductivité et l'effet sur les cultures. ....	37
<b>Tableau N°III.5:</b> Les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute. ....	37
<b>Tableau N°III.6:</b> Les résultats des analyses obtenus pour les eaux épurées. ....	37
<b>Tableau N°III.7 :</b> Le rendement de la station d'épuration .....	40
<b>Tableau N°IV.1 :</b> Homogénéisation de la série pluviométrique avec la méthode de Wilcoxon	42-43
<b>Tableau N°IV.2 :</b> Ajustement à la loi Normale. ....	43-44
<b>Tableau N°IV.3 :</b> Précipitation de l'année de calcul .....	45
<b>Tableau N°V.1:</b> Évapotranspiration potentielle ou de référence en mm/jours.....	46
<b>Tableau N°V.2 :</b> La pluie efficace en mm. ....	47
<b>Tableau N°V.3 :</b> Calendrier culturel des cultures choisies.....	49
<b>Tableau N°V.4 :</b> Les besoins en eau de l'olivier. ....	49
<b>Tableau N°V.5 :</b> Les besoins en eau du pommier. ....	49
<b>Tableau N°V.6 :</b> Les besoins mensuels et annuels des cultures choisies. ....	49
<b>Tableau N°V.7 :</b> Occupation du sol.....	50
<b>Tableau N°VI.1 :</b> Caractéristiques générales du réseau goutte à goutte. ....	62
<b>Tableau N°VI.2 :</b> Caractéristiques générales de la rampe.....	64
<b>Tableau N°VI.3 :</b> Caractéristiques générales des portes-rampes .....	65
<b>Tableau N°VI.4 :</b> Les caractéristiques de la conduite secondaire.....	66
<b>Tableau N°VI.5 :</b> Les dimensions du réservoir de stockage .....	69
<b>Tableau N°VI.6 :</b> Les caractéristiques générales des pompes.....	70
<b>Tableau N°VI.7 :</b> Calcul de la HMT. ....	75
<b>Tableau N°VI.8 :</b> Calcul des frais d'amortissement .....	75
<b>Tableau N°VI.9:</b> Calcul des frais d'exploitation.....	76
<b>Tableau N°VI.10:</b> Calcul des frais totales.....	76
<b>Tableau N°VI.11 :</b> Les caractéristiques de la conduite « STEP- bâche de stockage) .....	76
<b>Tableau N°VII.1:</b> Facture proforma des ouvrages et des pièces utilisés dans le réseau d'irrigation .....	78
<b>Tableau VII. 2:</b> Estimation du coût de la culture projetée dans la parcelle P1 .....	79

# LISTE DES FIGURES

- Figure N° I.1** : La réutilisation intentionnelle des eaux usées. .... 1
- Figure N° II.1** : la commune de Thenia (source : Google earth)..... 9
- Figure N° II.2** : Moyennes mensuelles et annuelle des températures. .... 10
- Figure N° II.3** : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations..... 11
- Figure N° II.4** : Moyennes mensuelles et annuelles de l’ensoleillement. .... 12
- Figure N° II.5** : Moyennes mensuelles et annuelles d’évaporation..... 13
- Figure N° II.6** : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent. .... 14
- Figure N° II.7** : Moyennes mensuelles de l’humidité relative en air (%). .... 14
- Figure N° II.8** : Diagramme de GAUSSEN. .... 15
- Figure N° II.9** : Diagramme d’emberger. .... 18
- Figure N° III.1** : Photo aérienne de la station d’épuration de THENIA ..... 22
- Figure N° III.2** : Etapes de traitement des eaux usées en générale. .... 30
- Figure N° III.3** : Dégrilleur ..... 32
- Figure N° III.4** : Déssableur-Dégraisseur. .... 32
- Figure N° III.5** : Epaisseur des boues. .... 35
- Figure N° III.6** : Séchage thermique des boues..... 36
- Figure N° III.7** : Variation des MES pendant la période janvier 2013 à juin 2013 ..... 32
- Figure N° III.8** : Variation de la DBO<sub>5</sub> pendant la période janvier 2013 à juin 2013. .... 32
- Figure N° III.9** : Variation de la DCO pendant la période janvier 2013 à juin 2013..... 35
- Figure N° III.10**: Variation de la conductivité électrique pendant la période janvier 2013 à juin 2013.. .... 36
- Figure N° IV.1** : Ajustement à la loi normale. .... 44
- Figure N° VI.1** : Schéma du bulbe d’humidification dans un sol grossier(a) et dans sol fin(b).56
- Figure N° VI.2** : Schéma Porte rampe et un goutteur..... 57
- Figure N° VI.3** : Shémas d’un goutteur..... 57
- Figure N° VI.4** : Schéma hydraulique du réseau d’adduction..... 68

# LISTE DES PLANCHES

**PLANCHE N°I :** Plan de situation de la zone d'étude de THENIA (W.BOUMERDES)

**PLANCHE N°II :** Occupation du sol du périmètre de THENIA (W.BOUMERDES)

**PLANCHE N°III :** Plan du réseau d'irrigation de la parcelle P1 du périmètre de THENIA (W.BOUMERDES)

**PLANCHE N°IV :** Profil en long de la conduite principale vers le périmètre de THENIA (W.BOUMERDES)

**PLANCHE N°V :** Profil en long de la conduite de refoulement vers un réservoir de stockage de la ville de THENIA (W.BOUMERDES).

**PLANCHE N°VI :** Plan d'adduction et de pompage pour l'irrigation de périmètre de THENIA (W.BOUMERDES)

# Introduction générale

## Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle indispensable et irremplaçable dans notre planète, et pour cela il faut que l'être humain doit la protéger. Ces dernières années l'eau devenue un sujet de préoccupation à l'échelle mondiale a cause du déficit hydrique, en particulier les pays d'Afrique de nord qui apparait comme la zone la plus menacée au monde.

L'Algérie a connu ces dernières années une précipitation très faible et mal répartie qui a provoqué une sécheresse même dans les régions les plus humides, et pour cela nous allons faire des analyses climatiques (précipitations, humidité, le vent...etc) et pédologiques de la ville de THENIA (W.BOUMERDES)

La pollution des ressources en eau par les rejets menace la survie de l'homme et toute vie sur la planète, cette menace est très sérieuse sur tout dans les pays qui ont des pénuries d'eau comme l'Algérie.

La réutilisation des eaux usées est une ressource alternative qui peut réduire les problèmes du déficit et de la pollution de l'eau en Algérie. Cette réutilisation se fait en général en agriculture qui est le secteur le plus consommateur d'eau, mais toujours il y'a un risque sur les cultures et la survie de l'homme donc nous analyserons les eaux usées brutes et épurées de la station d'épuration qui se situe dans la même ville de la région d'étude pour choisir les cultures convenables et la technique d'irrigation.

Enfin on va aussi estimer les besoins en eau des cultures et dimensionner notre réseau d'irrigation ainsi que l'adduction et le pompage.

**CHAPITRE I :**  
**Rappel bibliographique sur la réutilisation des**  
**eaux usées**

### Introduction :

La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale. Elle présente, en effet, l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative à moindre coût permettant de limiter les pénuries d'eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau. La réutilisation des eaux usées recouvre deux notions complémentaires : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées. Les eaux usées sont les eaux rejetées par l'agglomération et les industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les utilise généralement dans le domaine d'irrigation à des fins agricoles.

La figure ci-dessous représente la réutilisation intentionnelle des eaux usées.

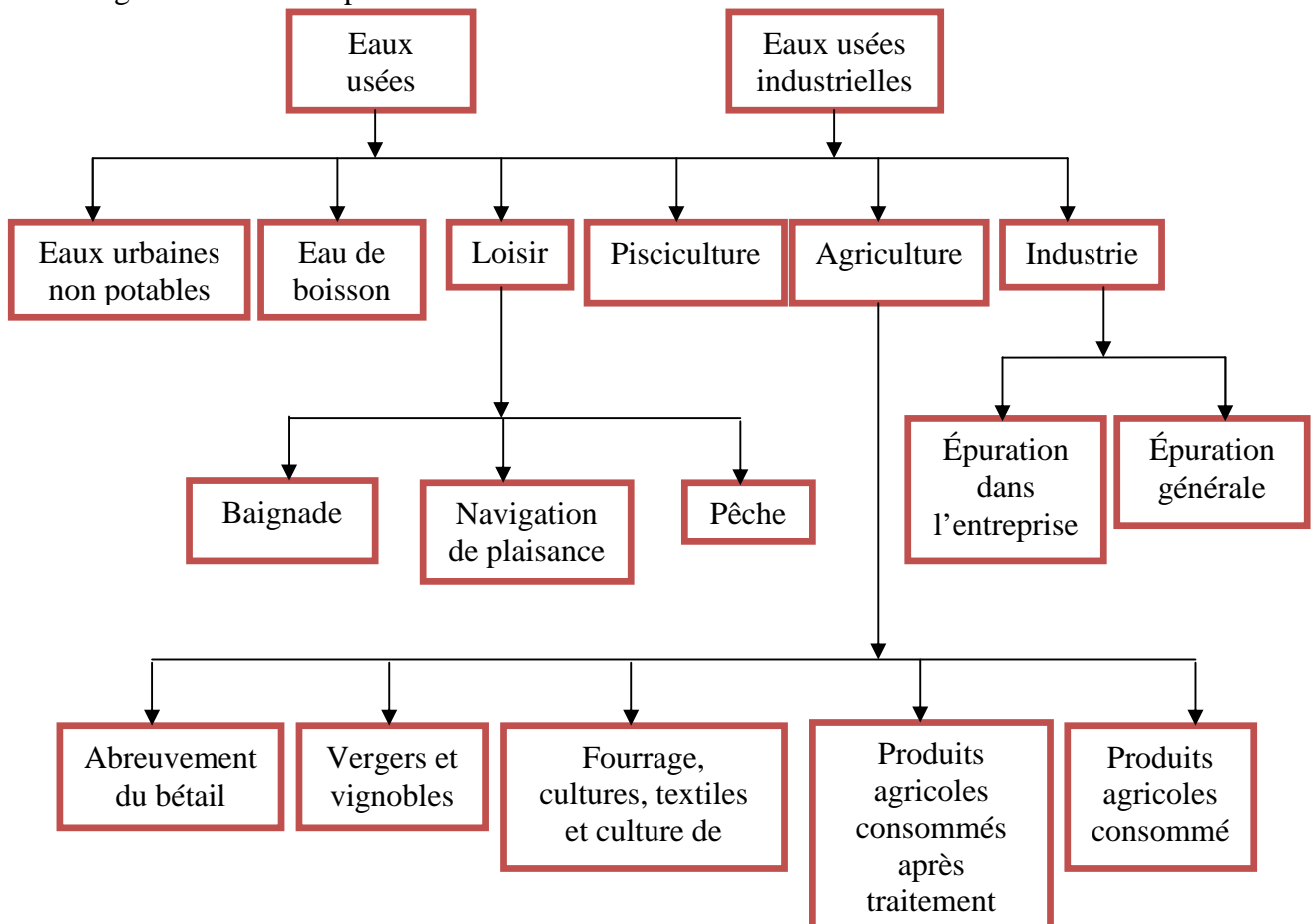


Figure N° I.1 : La réutilisation intentionnelle des eaux usées.

## **I-1 Les objectifs de la réutilisation des eaux usées épurées :**

L'objectif principal de la réutilisation des eaux épurées est la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler le déficit hydrique et de trouver des ressources d'eau alternatives pour l'irrigation, et de protéger l'environnement et la santé publique.

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

La réutilisation des eaux usées est une pratique relativement ancienne. Au milieu du 19<sup>e</sup> siècle, plusieurs villes d'Amérique du Nord et d'Europe ont adopté l'irrigation des cultures comme moyen d'éliminer leurs eaux résiduaires.

### **I-2-1 Aux États-Unis: [1]**

La réutilisation des eaux usées est pratiquée depuis 1955 aux États-Unis pour l'arrosage des parcs, des parcours de golf, de jardins publics et pour la création de lacs artificiels alimentés en tout ou en partie par des eaux usées épurées. Des études publiées en 1994 ont montré que les traitements poussés des eaux usées par des procédés à membranes étaient appropriés pour respecter les réglementations imposées par l'organisation mondiale de la santé (OMS).

Sur le continent américain, cette pratique est également réalisée dans plusieurs pays d'Amérique du Sud ainsi qu'au Mexique. Par exemple, la ville de Mexico utilise les effluents traités par ses 16 stations d'épuration pour l'irrigation des parcs, des jardins publics et des équipements de loisirs. Il faut souligner que seulement 6% des eaux usées brutes sont épurées. En 1996, les eaux usées brutes de Mexico étaient encore utilisées en irrigation agricole et notamment dans le cadre du plus grand plan d'irrigation du monde (irrigation de 85000 hectares de maïs, d'orge et de tomates).

Mais les critères sanitaires de la législation mexicaine concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture ont été modifiés et reprennent désormais les recommandations de l'OMS.

### **I.2.2- Le bassin méditerranéen :**

A l'échelle méditerranéenne, la REUE pour l'irrigation sur des surfaces agricoles reste l'usage prépondérant et en fort développement car le secteur agricole prélève une part très importante des ressources en eau conventionnelles (65 % en moyenne à l'échelle de l'ensemble des pays méditerranéens, et plus de 80 % dans les pays du Sud et de l'Est), d'une part, et que la proportion d'eaux usées épurées au regard du volume total potentiellement réutilisable reste à ce jour minime pour la plupart des pays, d'autre part. Par ailleurs, pour les pays ayant un faible niveau d'équipement d'assainissement, l'irrigation d'eaux usées (brutes)

est une pratique très ancrée, donc le risque de rejet d'égout de pratiques de REUE (qui assure des garanties sanitaires supérieures) est moindre. Enfin, le potentiel fertilisant est important.

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. Par conséquent c'est l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. (PUIL C, 1998)

### **I.2.3- L'Europe du Nord :**

En Europe du nord, l'épandage des eaux usées était une tradition. Cette pratique est sur le point de disparaître avec l'avènement des nouvelles technologies de traitement des eaux.

Ainsi, en Grande Bretagne, la recharge des nappes par des eaux usées traitées constitue une forme de recyclage des eaux. L'Allemagne est également concernée par l'irrigation avec des eaux usées urbaines. Dans ce pays on utilise les eaux usées urbaines pour l'irrigation de céréales, de betteraves, de pommes de terre ou des prairies.

On peut aussi citer l'exemple de la Hongrie où 200 millions de mètres cubes d'eaux usées ont été utilisées en 1991 pour l'irrigation de diverses cultures, de prairies, de rizières et de peupleraies. (M.Trad Rais, Septembre 2003)

### **I.2.4-En Algérie : [1]**

En Algérie, un certain nombre d'actions sont entreprises pour promouvoir la réutilisation des eaux usées. Pour le cas de la ville d'Alger, grande agglomération, une station est conçue pour le traitement des effluents de la ville par la méthode conventionnelle des boues activées suivie des traitements de désinfection et de clarification par le chlore. Des traitements complémentaires sont envisagés pour permettre la pratique des cultures sans restriction.

Les autres pays du pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie, réutilisent le plus souvent leurs eaux usées urbaines sans traitement. L'arrosage de cultures maraîchères n'y est pas exceptionnel. L'Espagne se dote néanmoins progressivement, région par région, d'une réglementation et améliore la qualité des eaux réutilisées. Les réutilisations sont alors l'occasion d'un effort pour répondre à des standards sanitaires existants ou en cours d'élaboration. C'est le cas pour l'arrosage des parcours de golf ou d'espaces verts aux Canaries, à Majorque, en Catalogne espagnole.



**I-3 Les avantages et les inconvénients de la réutilisation des eaux usées : [2]****I-3-1 Les avantages :****I-3-1-1. 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.

**I-3-1-2. Conservation et préservation des ressources :**

- ❖ Économiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques.
- ❖ Contrôler la surexploitation des ressources souterraines.

**I-3-1-3. Aspects législatifs et sanitaires :**

- ❖ Anticiper la compatibilité avec les nouvelles tendances réglementaires.
- ❖ Contribuer au déploiement de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

**I-3-1-4. Valeur économique ajoutée :**

- ❖ Éviter les coûts du développement, du transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau potable.
- ❖ 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.les agriculteurs.
- ❖ 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.

**I-3-1-5. 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.
- ❖ Éviter 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.

#### **I-3-1-6. 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-3-2 Les inconvénients:**

##### **I-3-2-1.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.

##### **I-3-2-2.Aspects sociaux-légaux :**

- ❖ Acceptation publique de la réutilisation.
- ❖ Répartition des responsabilités et gestion des litiges.

##### **I-3-2-3.Aspects économiques :**

- ❖ Financement des infrastructures (traitement tertiaire et réseau de distribution) et des coûts d'exploitation.
- ❖ Recouvrement des coûts aléatoire.
- ❖ Demande saisonnière pour l'irrigation et besoin de stockage.
- ❖ Faible prix de l'eau potable (subventionnée) surtout pour les agriculteurs.
- ❖ Responsabilité pour la perte potentielle du revenu de la vente d'eau potable.

##### **I-3-2-4.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.

**I.3.2.5-Aspects technologiques :**

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

**I.4-La Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation:**

La réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles est une option réalisée pour couvrir le déficit en eau dans les pays arides et semi arides comme l'Algérie et aussi pour se conformer aux règlements relatifs aux rejets des eaux usées, en vue de la protection de l'environnement.

Si ces règlements sont correctement respectés et contrôlés, on peut avoir un impact positif sur la santé et l'environnement.

**I.4.1-Critères physico-chimiques de la qualité des eaux pour l'irrigation :**

Les principaux critères pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation sont :

- Salinité.
- Sodisation.
- Alcalinité et la dureté.
- Concentration des éléments qui peuvent être toxiques.
- PH de l'eau d'irrigation.
- Fertilisant.

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions empêchant les racines d'absorber l'eau, ces conditions provoquent une sécheresse physico-chimique, même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

**I.4.1.1- 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 quelque 200mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissements au lors de collecte d'eaux industrielles.

La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Les principaux éléments responsables de la salinité de l'eau sont le

calcium, le magnésium, les chlorures, les sulfates et les bicarbonates. Elle s'exprime en concentration pondérale (mg/l ou ppm) ou en conductivité (ms/cm).

Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les plantes. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires. (Ayers et Westcot, 1985).

#### **I.4.1.2- Sodisation:**

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation, leur problème principal avec une grande quantité de sodium peut dégrader les propriétés physico-chimiques des sols qui influent 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 provoque un sol dur et compact, lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

La perméabilité des sols sableux peut être ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsqu'on irrigue avec une eau de forte teneur en sodium. Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour les cultures sensibles comme les carottes, les haricots et les fraises. La concentration de sodium dans l'eau irriguée peut être estimée par le rapport d'adsorption de sodium (SAR). [3]

Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport au cation calcium et magnésium.

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

Le sodium et le magnésium sont **exprimes en meq/l**

#### **I.4.1.3- Alcalinité et dureté :**

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, en d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de PH, le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonate de calcium et de magnésium dissous dans l'eau, lorsque on ajoute de l'acide pour neutraliser l'alcalinité. La réaction produite de l'eau, du dioxyde de carbone qui libère dans l'air, aussi que les cations accompagnateurs ( $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ ). Donc il est très important de réduire cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante. Si on ne le fait pas, en séchant tous les carbonates se transforment automatiquement en chaux calcique et dolomitique ce qui laisse des dépôts

calcaire qui peuvent colmater les systèmes d'adsorption ou de goutte à goutte ou encore, des traces blanchâtres sur les feuilles on cas d'arrosage par aspersion.[3]

#### **I.4.1.4- Fertilisants :**

Les fertilisants sont les composés de l'eau usée qui sont indispensables à la croissance des végétaux. L'eau apporte de l'azote, phosphore et du potassium.

#### **I.4.1.5- Les Matières en suspension(MES) et les graisses :**

La perméabilité d'un sol peut être affectée par la présence de MES et de graisses dans l'eau d'irrigation, qui peuvent colmater en surface les pores du sol.

#### **I.4.1.6- Le PH :**

Le PH est une mesure qui peut nous donner l'acidité et l'alcalinité de l'eau.

#### **Conclusion :**

Dans ce chapitre on constate que la réutilisation des eaux usées épurées est très répandue dans le monde et indispensable en particulier dans les pays où il y'a un déficit des ressources en eaux même pour protéger l'environnement et le milieu récepteur.

**CHAPITRE II**  
**PRESENTATION DE LA ZONE**  
**D'ETUDE**

**Introduction :**

La présentation de la zone d'étude est la première étape pour la réalisation de tout projet, dans ce chapitre on doit déterminer la situation dans le cadre régional, le cadre climatique ainsi que le type du sol.

**II-1. Situation de la ville de THENIA dans le cadre régional :**

La commune de Thenia est située au nord de la Wilaya de BOUMERDES, son chef-lieu est l'agglomération de Thenia qui se positionne au Centre de la commune, elle couvre une superficie de 42,3 km<sup>2</sup> avec une population de 21 439 habitants selon le RGPH 2008, Elle est située à 50 Km d'Alger et de Tizi-Ouzou et de 10 Km de Boumerdes. Elle constitue de ce fait le passage obligé de la Mitidja à la Kabylie et au Constantine grâce à sa position de carrefour.

La commune de Thenia limitée par :

**Au Nord :** Par la Mer Méditerranée ;

**A l'Est :** Par la commune de Si Mustapha et Zemmouri ;

**Au Sud :** Par la commune de Souk el Had et Beni Amrane ;

**A l'Ouest :** Par la commune de Tidjelabine et Boumerdes ;



**Figure N°II.1 :** la commune de Thenia (source : Google earth)

**II-2. Cadre climatique:**

Les paramètres climatiques sont très importants pour notre étude et pour la présentation de la zone. Ces paramètres sont basés sur les données de la station météorologique de Dar El Beida qui est la station la plus proche de la zone.

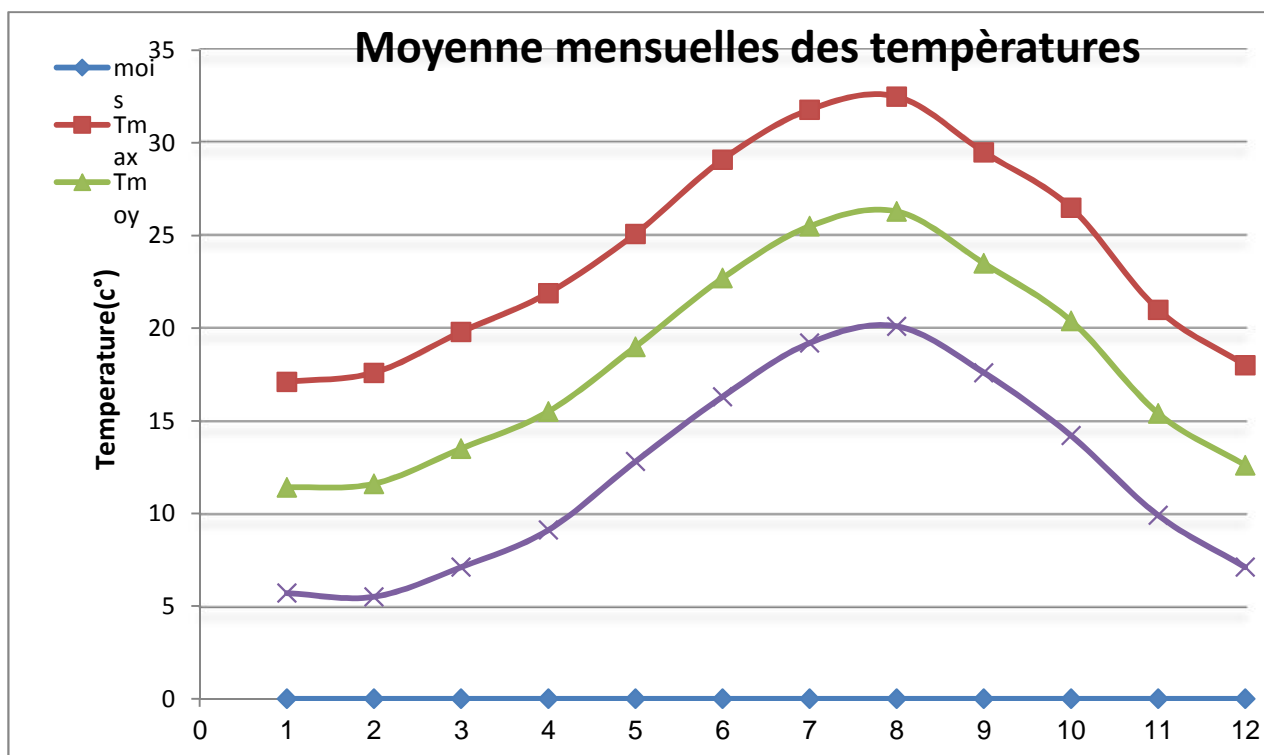
Les principaux paramètres météorologiques se présentent comme suit :

**II-2-1. La température:**

**Tableau N°II.1:** Moyennes mensuelles et annuelle des températures (1995-2010)

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	M,A
Tmax	17,1	17,6	19,8	21,9	25,1	29,1	31,8	32,5	29,5	26,5	21	18	24,16
Tmoy	11,4	11,6	13,5	15,5	19	22,7	25,5	26,3	23,5	20,4	15,4	12,6	18,12
Tmin	5,7	5,5	7,1	9,1	12,8	16,3	19,2	20,1	17,6	14,2	9,9	7,1	12,05

(Source : ONM)



**Figure N°II.2 :** Moyennes mensuelles et annuelle des températures.

- ❖ D’après le tableau ci-dessus on remarque que la température moyenne mensuelle augmente pendant les trois mois (juillet, août, septembre) et atteint le maximum de



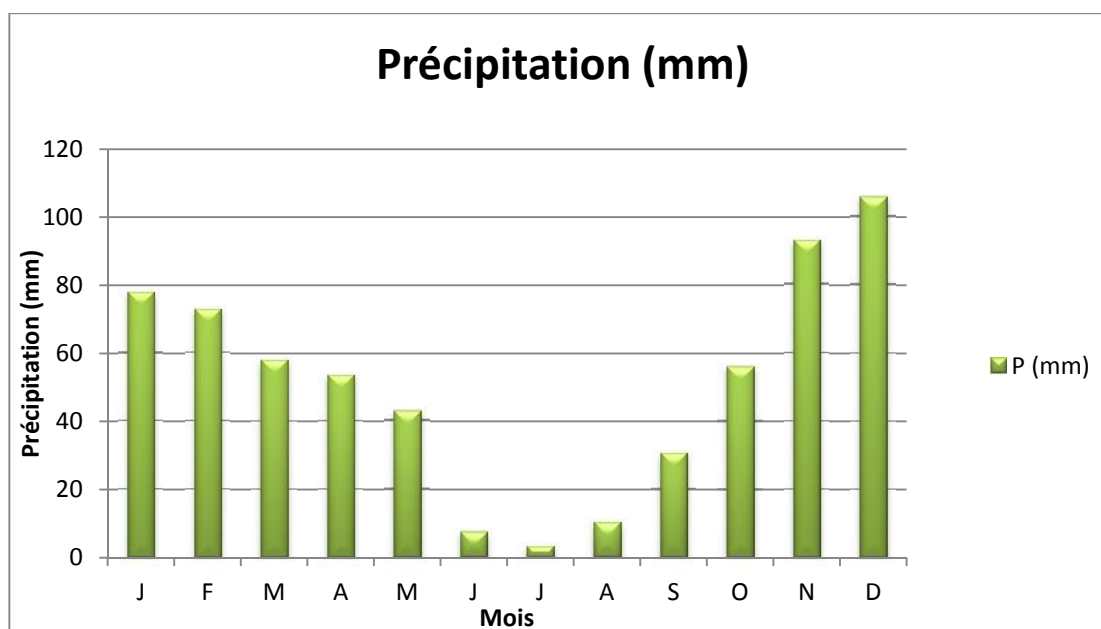
26,3°C en Août et diminue pendant les trois mois (Décembre, Janvier, Février) et atteint le minimum de 11,4°C en Janvier. La moyenne annuelle de la température est de 18,12°C.

### II-2-2. La précipitation :

**Tableau N°II.2 : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (1980-2011)**

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	P.A
P (mm)	77,7	72,7	57,94	53,44	42,84	7,41	3,33	10,07	30,57	55,92	92,94	105,78	610,64

(Source :ONM)



**Figure N°II.3 : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations.**

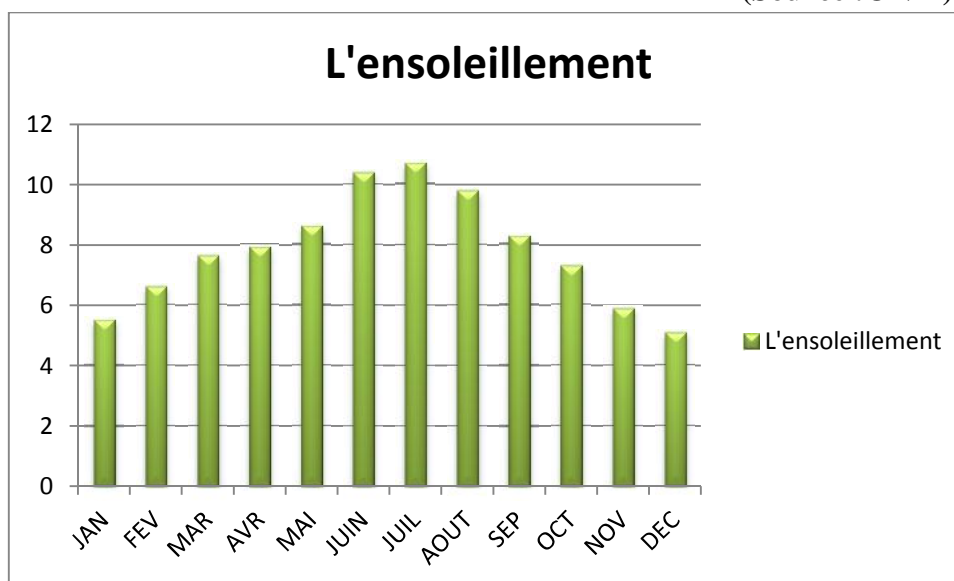
- ❖ D'après le tableau ci-dessus on remarque que la valeur maximale des précipitations est de au mois de Décembre (105,78 mm), et atteint le minimum au mois de juillet (3,33 mm). La précipitation annuelle est de 610,64 mm.

**II-2-3. L'insolation :**

**Tableau N°II.3 :** Moyennes mensuelles et annuelle de l'ensoleillement (1995-2010)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	M.A
Insolation (h/j)	5,5	6,6	7,62	7,91	8,6	10,38	10,7	9,77	8,27	7,28	5,87	5,06	7,8

(Source :ONM)



**Figure N°II.4 :** Moyennes mensuelles et annuelles de l'ensoleillement

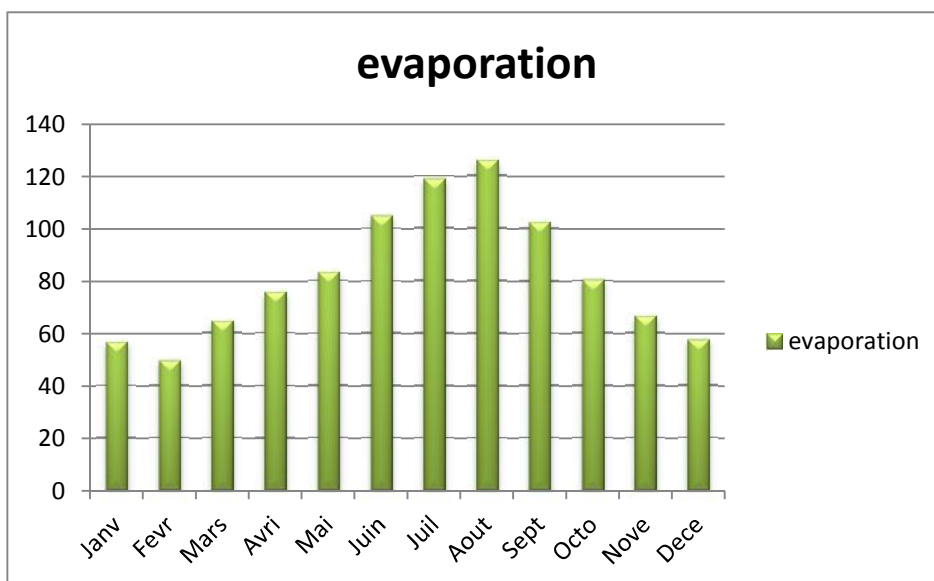
- ❖ D'après le tableau ci-dessus, on remarque que l'ensoleillement atteint le maximum au mois de Juillet (10,7 h/j) et atteint le minimum au mois de Décembre (5,06 h/j). l'insolation moyenne annuelle est de 7,8 h/j.

**II-2-4. L'évaporation :**

**Tableau N°II.4 :** Moyennes mensuelles et annuelles d'évaporation (1995-2010)

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Annuelle
Evaporation	56,5	49,5	64,5	75,7	83,4	105	118,9	126,2	102,6	80,4	66,5	57,3	986,5

(Source : ONM)



**Figure N°II.5 : Moyennes mensuelles et annuelles d'évaporation**

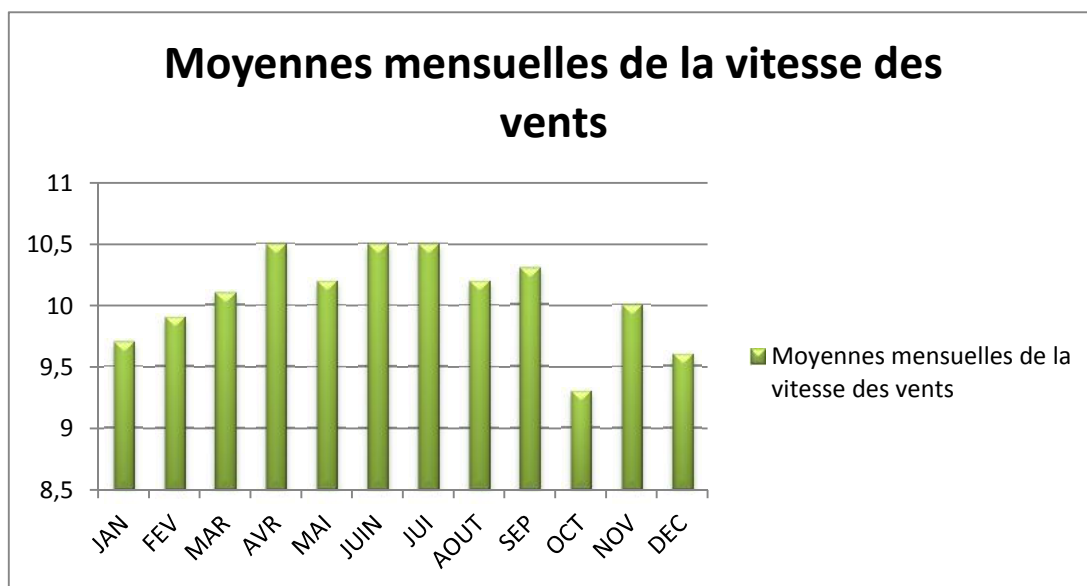
- ❖ D'après le tableau ci-dessus on remarque que l'évaporation atteint le maximum aux mois de (Juin, Juillet et Août) avec une valeur maximale de 126,2 mm au mois de d'Août, et atteint le minimum au mois de (Décembre, Janvier et Février) avec une valeur minimale de 49,5 au mois de Février. L'évaporation totale annuelle est 986,5 mm.

### II-2-5. La vitesse du vent :

**Tableau N°II.5 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (1995-2010).**

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	M,A
V de vent	9,7	9,9	10,1	10,5	10,2	10,5	10,5	10,2	10,3	9,3	10	9,6	10,06

(Source :ONM)



**Figure N°II.6 :** Moyennes mensuelles de la vitesse du vent.

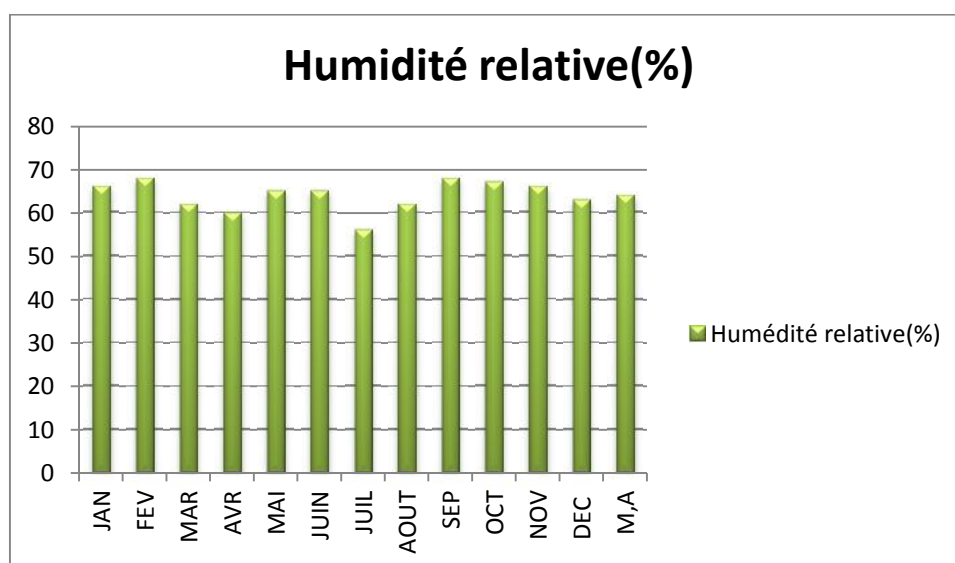
- ❖ On remarque d'après le tableau ci-dessus que la valeur moyenne annuelle de la vitesse de vent est 10,06 m/s.

**II-2-6. L'humidité relative :**

**Tableau N°II.6 :** Moyennes mensuelles de l'humidité relative en air (%). (1995-2010)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	M.A
HR <sub>moy</sub> (%)	66	68	62	60	65	65	56	62	68	67	66	63	64

(Source : ONM)



**Figure N°II.7 :** Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air (%)

- ❖ D'après le tableau ci-dessus on remarque que la moyenne annuelle de l'humidité relative est de 64%.

### II-2-7. Représentation du diagramme de Gausсен :

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

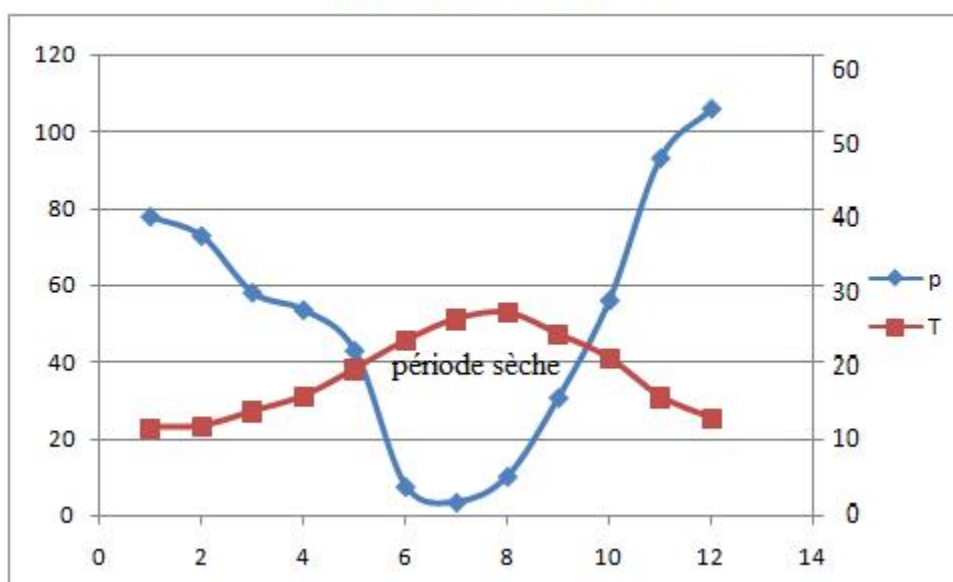
Dans cette représentation, les mois secs sont définis comme étant les mois où le total des précipitations exprimées en (mm), est égal ou inférieur au double des températures moyennes mensuelles exprimées en (C°). Le contraire est bien sur valable pour les mois humides.

**Tableau N°II.7 : Les précipitations mensuelles et la température (1995-2010)**

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	77,7	72,7	57,94	53,44	42,84	7,41	3,33	10,07	30,57	55,92	92,94	105,78
Tmoy	11,4	11,6	13,5	15,5	19	22,7	25,5	26,3	23,5	20,4	15,4	12,6
2Tmoy	22,8	23,2	27	31	38	45,4	51	52,6	47	40,8	30,8	25,2

Le diagramme de Gausсен est présenté comme suit:

**Diagramme de GAUSSEN**



**Figure N°II.8 : Diagramme de GAUSSEN**

- ❖ On remarque que la période sèche commence à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre, dans cette période l'irrigation est indispensable.

**II-3.Synthèse climatique :****II.3.1.Classification du climat selon l'indice d'aridité de De Martone :**

On calcul l'indice d'aridité par la formule suivante :

$$I = \frac{12P}{T+10}$$

Avec :

I : Indice de Marton.

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

T : Température moyenne annuelle en °c.

**Tableau N°II.8 :** Classification du climat selon DeMartone :

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

A.N :

Pour : P=610.64 mm

T=18.12 °c

On aura :

$$Ia = \frac{610.64}{18.12+10} = 21.71$$

Selon l'indice de Demartone et la classification de climat on constate que la région est soumise à un régime relativement humide où l'irrigation est parfois utile.

### II.3.2. Diagramme d'EMBERGER :

La méthode est fondée sur un diagramme dressé par EMBERGER qui nous renseigne sur le type de climat, caractérisant une région donnée en égard des facteurs climatiques (température max ; min et précipitation) ainsi que la nature de la saison hivernale. Le quotient d'EMBERGER que nous avons projeté sur le diagramme bioclimatique est le suivant :

$$Q = \frac{1000 * P}{\frac{M + m}{2} (M - m)}$$

Avec :

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 :

$$P = 610.64 \text{ mm}$$

$$M = 27.8 + 273 = 300.8 \text{ K}^\circ$$

$$m = 8.2 + 273 = 281.2 \text{ K}^\circ$$

On aura :

$$Q = \frac{1000 * 610.64}{\frac{300.8 + 281.2}{2} (300.8 - 281.2)} = 107.06$$

En utilisant les deux valeurs Q et m pour définir l'étage bioclimatique sur le diagramme d'EMBERGER comportant un réseau de lignes séparatrices dans un espace orthonormé portant en ordonnées Q et en abscisse m .

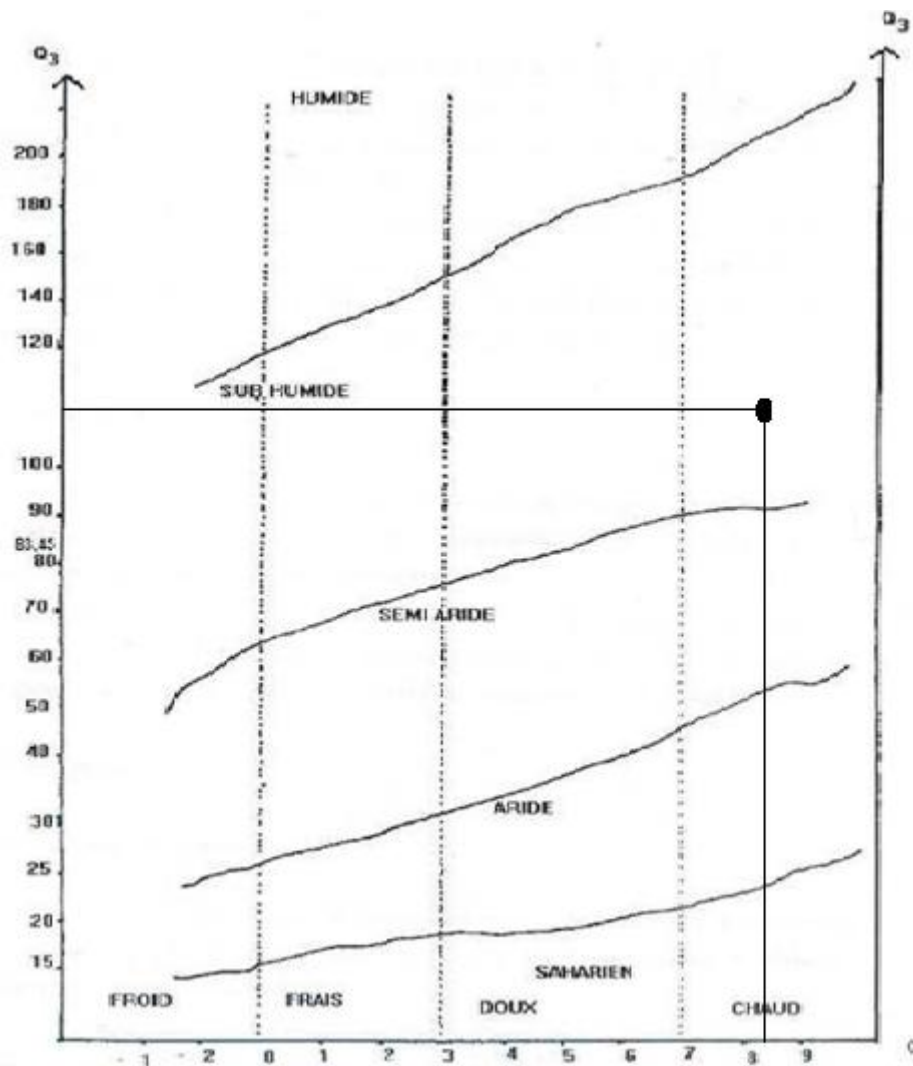


Figure N°II.9 : Diagramme d'Emberger.

- ❖ A partir du quotient obtenu et de sa projection sur le diagramme bioclimatique d'Emberger nous pouvons constater que le climat de cette région d'étude est de type sub humide.

#### II.4- Classification du sol de la région d'étude : (Source : Direction des ressources en eaux de la Wilaya de BOUMERDES)

L'étude pédologique permet de distinguer 3 classes de sols :

- les sols peu évolués,
- les sols hydromorphes,
- les vertisols,



**II.4.1- les sols peu évolués**

Ces sols sont des sols d'alluvions ou de colluvions anciennes sont définis par une dégradation chimique et biologique quasi-nulle.

**II.4.2- les sols hydromorphes**

Ils se différencient des sols peu évolués modaux par le caractère hydromorphe.

Ils se caractérisent par des textures, généralement, fines à très fines telle que la texture argileuse et limoneuse.

**II.4.3- les vertisols**

Cette catégorie de sols couvre une grande superficie dans la région de THENIA. Les traits morphologiques et analytiques de ces sols sont les suivantes :

- Présence d'un horizon compact, structure grossière, horizon d'accumulation des carbonates en profondeur.
- Les vertisols sont souvent calcaires, le plus souvent ce sont des sols à texture fine à très fine avec prédominance d'argile.

**II.5-Les caractéristiques physiques du sol :**

Les caractéristiques pédologiques de la zone d'étude sont résumées comme suit :

**II.5.1- La texture :**

D'après la granulométrie de l'échantillon de sol on constate qu'on a une texture argileuse limoneuse.

**II.5.2- La structure :**

La structure du sol est déterminé par la valeur de la porosité (P) qui est le rapport du volume des vides du sol au volume total, exprimé en % .

$P=34.08\%$ .

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre on a conclue que la commune de Thenia est caractérisée par un climat sub humide avec une précipitation moyenne annuelle de 610,64 mm et une humidité forte donc on peut irriguer les cultures à l'été.

**CHAPITRE III**  
**DESCRIPTION DE LA STATION**  
**D'EPURATION DE LA VILLE DE**  
**THENEA**

**Introduction : [3]**

Avec le développement de l'urbanisation et de l'industrialisation, ainsi que l'évolution des modes de consommation, les rejets d'eaux usées ont considérablement évolué en quantité et en qualité. Lorsque les eaux usées ne sont pas traitées, les cours d'eau sont dépassés dans leur capacité naturelle d'épuration et se retrouvent pollués.

Les eaux usées qu'elles soient industrielles ou ménagères ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu, les boues, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologique.

Dans ce chapitre on va citer tous les polluants de l'eau, les procédés d'épuration et les analyses physico-chimiques des eaux usées et les eaux épurées.

**III.1-Assainissement de la commune de Thenia :**

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 réalisées.

Le réseau principal développe une distance de 4 km et se compose de :

**III.1.1- Collecteurs principaux:**

- ❖ Conduite de refoulement : station de relevage1- regard de dissipation, L=1550m.
- ❖ Conduite gravitaire : regard re dissipation –SR2 , L=1460 m.
- ❖ Conduite de refoulement : SR2-STEP, L=1100m

### III.1.2- Stations de relevage :

**Tableau N°III.1:** Les caractéristiques des stations de relevage.

Désignation	Caractéristiques
SR1	Débit unitaire :75l/s HMT :75m Nombres de pompes :3
SR2	Débit unitaire :75l/s HMT :16m Nombre de pompes :4

### III.2- Présentation de la step de Thenia :

#### III.2.1-Localisation :

La STEP est située à environ 2 km à l'ouest de la commune de Thenia et 6 km au sud est du chef lieu de la wilaya de Boumerdes.



**Figure N°III.1 :** Photo aérienne de la station d'épuration de THENIA (source: google earth)

#### III.2.2-Objectif du traitement à la station d'épuration de Thenia :

La station d'épuration de Thenia est implantée pour traiter les eaux usées de la commune, sa capacité est de 30 000 eq habitants. Le traitement est une épuration biologique à boues activées à faible charge. Le coût de l'opération est de 520 millions de dinars.

-L'objectif ciblé à la sortie de la station est :

- ❖ DBO5=30mg/l
- ❖ DCO=90mg/l
- ❖ MES=30mg/l
- ❖ Volume journalier=6000m<sup>3</sup>
- ❖ Débit moyen24h=250m<sup>3</sup>/s
- ❖ Débit de pointe temps sec=551m<sup>3</sup>/h
- ❖ Débit de pointe temps de pluie=976m<sup>3</sup>/h
- ❖ DBO5 journalière=2451kg
- ❖ MES journalière=2801kg

### III.3-ORIGINES DES EAUX USEES : [3]

Les eaux usées proviennent de trois (03) sources principales :

- 1-Les eaux usées domestiques
- 2- Les eaux usées industrielles ;
- 3- Les eaux usées agricoles

#### III.3.1- Les eaux usées domestiques :

Ces eaux se caractérisent par leurs fortes teneurs en matières organiques, en sels minéraux (azote, phosphore...etc.), en détergents et en germe fécaux.

On distingue généralement deux types de ces eaux qui arrivent dans le réseau d'assainissement :

- Les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes (constituées par l'urine et les matières fécales diluées avec l'eau de chasse).
- Les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche / bain...etc.

#### III.3.2-Les eaux usées industrielles :

Presque toutes les eaux des rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestiques sont qualifiées de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales...etc.

Ces rejets peuvent suivre trois (03) voies d'assainissement :

- Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.

- Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel ou réutilisés.

Les eaux usées industrielles peuvent contenir des produits toxiques, des métaux lourds, des polluants organiques et des hydrocarbures.

**N B** : La station d'épuration de Thenia ne traite pas les eaux industrielles.

### **III.3.3- Les effluents agricoles :**

Les effluents agricoles renferment diverses substances d'origine agricole ou animale, il s'agit des solutions d'engrais lessivé par les sols fortement fertilisés, des pesticides et des déjections animales.

### **III.4-La pollution des eaux : [3]**

La pollution désigne l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère, mais aussi les substances qui sans vraiment dangereuses pour les êtres vivants, exercent une influence perturbatrice sur l'environnement.

En ce qui concerne l'eau, la distinction entre l'eau polluée et non polluée est souvent relative et dépend des exigences d'utilisation. Différentes définitions ont été données par des experts assimilant la pollution à : « Une composition ou un état directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme de telle façon que cela se traduit par une moindre utilisation de l'eau ».

- La composition et les propriétés physico-chimiques des eaux résiduaires (inerte ou toxique).

L'évolution globale de la qualité d'une eau usée s'appuie sur les paramètres suivants :

#### **III.4.1- Les paramètres physiques :**

Parmi les grands paramètres physiques qui influent sur la pollution des eaux on a :

##### **III.4.1.1- Les matières en suspension (MES) :**

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel.

Ces MES peuvent mener aux dépôts de boues dans les conduites et peuvent causer le colmatage des systèmes d'irrigation.

Elles se subdivisent en 2 groupes :

- ❖ **Les matières volatiles en suspension (MVS) :** Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2h.
- ❖ **Les matières minérales (M.M) :** Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire extrait sec, constitué à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (chlorures, phosphates...etc.).

#### **III.4.1.2- Les matières décantables :**

Elles sont composées de matières en suspension qui se sédimentent en 2h dans une éprouvette. Cette analyse est surtout réalisée sur les effluents de sortie de certains ouvrages d'épuration, pour juger du rendement d'élimination de la pollution.

#### **III.4.1.3- La température :**

Ce paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration est très sensible à des températures trop élevées ; ainsi tout rejet doit être inférieur à 30°C.

#### **III.4.1.4- Conductivité électrique CE:**

Ce paramètre mesure la capacité d'un liquide à transmettre un courant électrique à une température précise, il est définie comme étant la réciproque de la résistance électrique de l'eau, mesurée entre deux électrodes occupant 1 cm<sup>2</sup> et éloignées l'une de l'autre de 1 cm.

Le test de conductivité consiste à introduire la cellule de conductivité dans l'échantillon et à lire directement la valeur sur l'appareil.

#### **III.4.1.5- L'odeur :**

L'eau d'égout a une odeur fade, mais après fermentation, elle devient très désagréable.

#### **III.4.1.6- La couleur :**

L'eau domestique est de couleur grisâtre, elle peut être dans certains cas noire, à cause de la décomposition partielle. Par contre l'eau industrielle peut être incolore, comme elle peut avoir plusieurs couleurs à cause du déversement de colorants industriels.

#### **III.4.1.7- La turbidité :**

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes fines telles que argiles, limons, grains de cilice, matières organiques...etc.



### III.4.2- Les paramètres chimiques :

Par ordre d'importance croissant, on peut classer les paramètres chimiques de la façon suivante :

#### III.4.2.1- Les demandes en oxygène :

Lors de libération dans les milieux récepteurs, les matières contenues dans les eaux résiduaires sont susceptibles d'être transformées selon différents processus suivant une voie consommatrice.

- ❖ **La demande totale en oxygène (DTO) :** Elle permet de déterminer l'apport d'oxygène nécessaire pour amener les composants d'une eau usée à leur stade final d'oxydation ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) c'est-à-dire dans les conditions supercritiques.
- ❖ **La demande biologique en oxygène (DBO) :** Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation et la métabolisation des matières organiques dans l'eau usée après incubation. Il a donc semblé intéressant d'évaluer la pollution par la quantité d'oxygène demandée dans des conditions données et sur une période donnée. Cette période est généralement de cinq (5) jours.
- ❖ **La demande chimique en oxygène (DCO) :** Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau. Elle permet la mesure globale des matières organiques biodégradables et réfractaires à l'exception de certains composés tels que les composés aromatiques.

#### III.4.2.2- Les nutriments :

La détermination des quantités de nutriments (les macroéléments et les micro-éléments) contenus dans les eaux usées est indispensable pour contrôler les rejets dans le milieu récepteur.

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et les plus importants en agriculture et en gestion des paysages, sont :

- ❖ **L'Azote (N) :** C'est un élément qui se trouve sous forme ammoniacale ou organique. La concentration de l'azote dans l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l ; il peut donc dépasser les besoins des cultures. L'azote constitue la majeure partie de l'azote total.

$$N_{\text{total}} = N_{\text{NH}_4} + N_{\text{organique}} + N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$$

⏟
⏟

**Azote réduit**      **Azote oxydé**  
**(Kjeldal)**  
**NTK**

- ❖ **Le Phosphore (P)** : Cet élément est issu du métabolisme des êtres vivants, mais surtout de l'utilisation des détergents, ses concentrations varient selon les jours et les saisons. La concentration du phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l à moins qu'un traitement tertiaire ne l'élimine.
- ❖ **Le Potassium (K)** : Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement, c'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité.

L'azote, le phosphore et le potassium sont indispensables à la croissance des plantes et leur présence bonifie la valeur de l'eau pour l'irrigation. Mais, une fois déchargés dans l'environnement aquatique, ils peuvent mener au développement d'une vie aquatique indésirable et s'ils sont déchargés sur les sols en quantités excessives, ils peuvent polluer les eaux souterraines.

- **Autres nutriments** : La plupart des eaux usées présentent des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Une attention particulière doit être portée au bore. L'eau usée traitée contient aussi de bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément.

#### III.4.2.3- Les produits toxiques ou dangereux :

Ils sont plus rarement recherchés ; ils sont constitués par des grand familles de composés telles que : les pesticides, les métaux lourds et les hydrocarbures. Le rejet de tous ces produits est, en principe, interdit ou fortement réglementé dans les réseaux et les eaux superficielles.

### III.4.3- Les paramètres biologiques :

Les eaux usées évacuent les matières fécales et les urines des populations. Elles sont chargées en germes commensaux habituels de l'homme, et des germes pathogènes en provenance de porteurs sains ou de malades.

#### ❖ Les éléments pathogènes :

Ces éléments sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée.

Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite :

#### III.4.3.1- Les helminthes :

Ces éléments sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et  $10^3/l$ .

Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs.

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.

#### III.4.3.2- 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 peut être véhiculés par les eaux résiduaires.

#### III.4.3.3- Les bactéries:

Les eaux usées urbaines contiennent environ  $10^6$  à  $10^7$  bactéries/100 ml, dont  $10^3$  sont pathogènes. Les plus connues sont les *salmonelles* responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux, sans oublier les *colibacilles* qui ont une durée de vie de 2 à 3 mois et qui se multiplient dans l'environnement.

#### III.4.3.4- Les virus:

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de  $10^3$  à  $10^4$  particules par titre.

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*, les *rotavirus*, les *adénovirus* et le *virus de l'Hépatite A* qui ont une durée de vie d'environ 3 mois.

#### III.4.3.5- Les parasites:

Ces organismes peuvent survivre entre une vingtaine de jours et une dizaine de mois, les plus connus sont *ténia* et *giardia lambia*.

Tous les paramètres décrits ci-dessus sont pris en considération par les employés de la filière du traitement, que ce soit ceux qui mettent au point la conception de la station ou ceux qui surveillent le bon déroulement du traitement tels que les laborantins, qui, tous les jours analysent les eaux, à l'entrée et à la sortie de la station et s'assurent que les résultats du traitement sont dans les normes fixés par les organisations de la santé et de l'environnement.

**Tableau N°III.2:** Concentration des micro-organismes dans les eaux usées

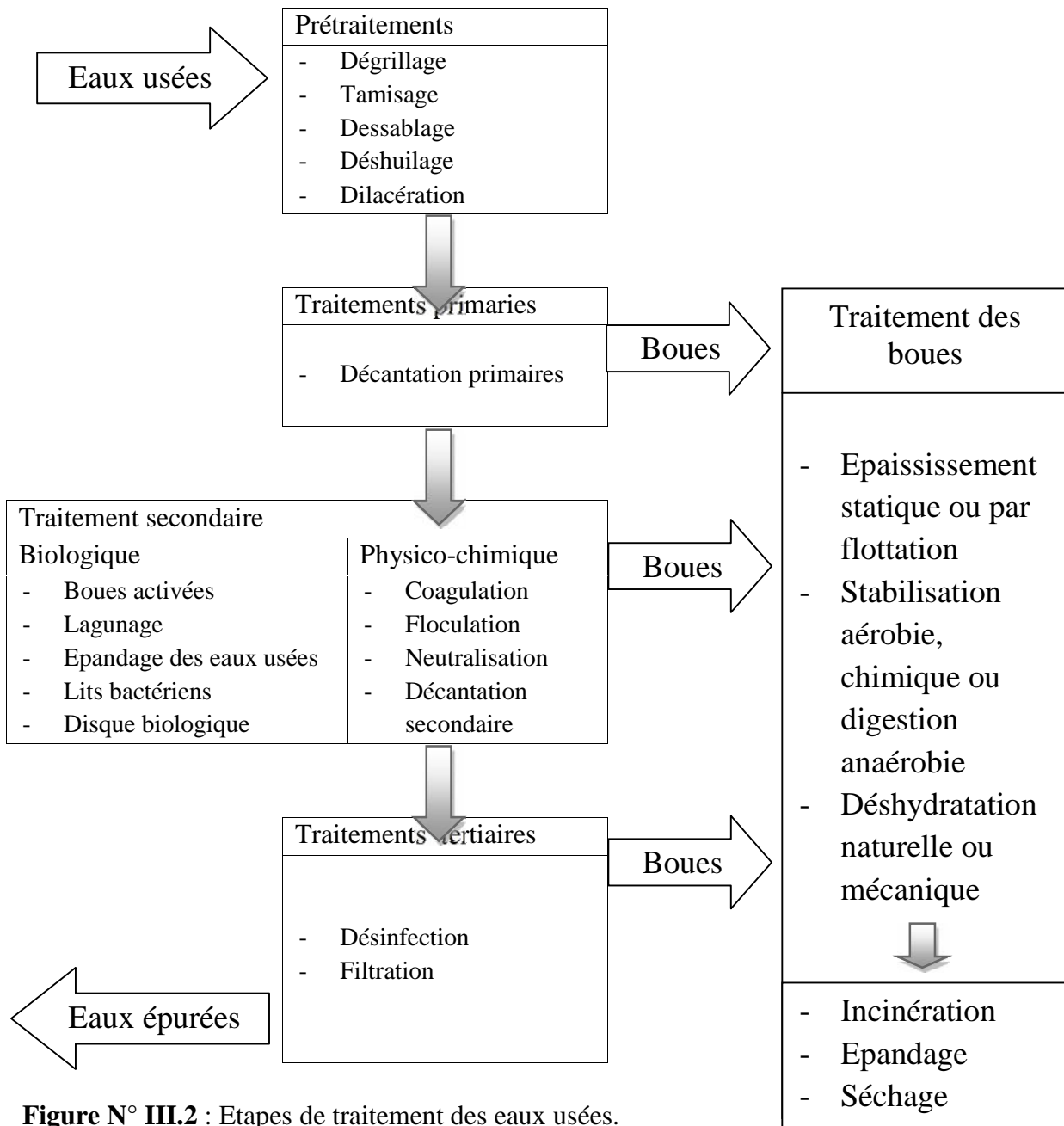
Micro-organismes	Concentration col/100ml
<b>Virus</b>	$2 \cdot 10^5$
<b>Bactéries</b>	
- Coliformes fécaux	$10^5 - 10^9$
- Streptocoques fécaux	$10^4 - 10^6$
- Salmonelles	$0 - 10^3$
- Staphylocoques	$10 - 10^4$
- Pseudomonas	$10^3 - 10^5$
<b>Parasites</b>	
- Protozoaires	
- Giardia	$10 - 10^5$
- Cryptospridium	$10 - 10^3$
- Helminthes	$5 - 10^4$

#### III.5-Différents procédés de traitement des eaux usées de la STEP de Thenia : [3]

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes qui repose sur des séparations physiques, des transformations biologiques et des corrections chimiques.

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

Le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d’opération et d’entretien minimaux. Les stations d’épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.



**Figure N° III.2 :** Etapes de traitement des eaux usées.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

### **III.5.1- Les prétraitements :**

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre à l'aval.

Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particulaires les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements : déchets volumineux (dégrillage), sables (dessablage) et corps gras (dégraissage- déshuilage).

#### **III.5.1.1- 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. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères. Le tamisage, qui utilise des grilles de plus faible espacement, peut parfois compléter cette phase du prétraitement.

#### **III.5.1.2- Le dessablage :**

Réalisé par décantation, le dessablage vise à éliminer les sables et les graviers. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage.

#### **III.5.1.3- Le dégraissage-déhuilage :**

Les opérations de dégraissage-déhuilage consistent à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graisses par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau. L'injection des micro bulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses.

Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales).



**Figure N°III.3 : Dégrilleur**



**Figure N°III.4 : Dessableur-Dégraisseur**

### **III.5.2- Les traitements primaires et physico-chimiques :**

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les traitements primaires ne portent que sur les matières décantables (décantation primaire). Les traitements physico-chimiques permettent d'agglomérer ces particules par adjonction d'agents coagulants et flocculants (sels de fer ou d'alumine,

chaux...). Les amas de particules ainsi forés, ou "flocs", peuvent être séparés de l'eau par décantation ou par flottation.

Les stations physico-chimiques, sont adaptées aux contextes touristiques saisonniers où les variations de charge peuvent être très brutales sur une courte période.

Ces traitements (qui ne s'imposent que dans certaines filières de traitement) permettent d'enlever jusqu'à 90% des matières en suspension. La pollution dissoute n'est que très partiellement traitée.

### **III.5.3- LES TRAITEMENTS SECONDAIRES :**

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote et phosphore). Dans la majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonée et azotée s'appuie sur des procédés de nature biologique. Les procédés membranaires combinent quant à eux des procédés biologiques et physiques.

#### **III.5.3.1- Les traitements biologiques :**

Les traitements biologiques reproduisent, artificiellement ou non, les phénomènes d'autoépurations existant dans la nature. L'autoépuration regroupe l'ensemble des processus par les quelles un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution.

L'épuration biologique des eaux usées biodégradables s'effectue par voie aérobie ou anaérobie. Du fait du caractère exothermique du métabolisme aérobie, le processus est plus rapide et complet, avec, comme contrepartie la production d'une masse cellulaire plus importante.

#### **III.5.3.2- Le processus d'épuration biologique :**

Le traitement s'effectue dans des réacteurs où l'on met en contact des micro-organismes épurateurs et l'eau à épurer.

Quel que soit le réacteur, il est alimenté d'une manière continue ou semi continue, les micro-organismes sont nourris par les matières organiques et transforment les polluants par les processus suivants :

- Par adsorption ou absorption des matières polluantes sur le floc bactérien ;
- Par conversion des matières cellulaires : croissance des micro animaux associés ;
- Par oxydation en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la production de nouveaux matériaux cellulaires.



### **III.5.3.3-Les différents procédés d'épuration biologique :**

Parmi les traitements biologiques, on distingue des procédés extensifs et intensifs.

Notre STEP utilise un procédé intensif.

Il existe deux grandes catégories de procédés biologiques artificiels : les installations à cultures fixées, les installations à cultures libres (boues activées).

On utilise les installations à cultures libres dans notre station d'épuration :

#### **III.5.3.3.1- Description du procédé à boues activées :**

Le procédé d'épuration par boues activées est un procédé relativement récent, il est mis au point par ARDERN et LOCKETT en 1914 à Manchester au Royaume-Uni .

C'est un procédé qui consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées) dans un bassin brassé et aéré, alimenté par l'eau usée à traiter

Le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte).

L'aération, qui peut se faire avec de l'air, ou avec de l'oxygène pur, a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies.

#### **III.5.3.3.2- Principe de fonctionnement :**

Dans le processus d'épuration par les boues activées, la pollution est éliminée de la façon suivante :

- les matières en suspension (MES) et colloïdales sont éliminées par agglomération physique et ensuite par floculation et absorptions des matières organiques solubles par les boues activées ;
- élimination lente des matières organiques solubles par action enzymatique ;
- oxydation et dégradation d'une partie des amas biologiques eux-mêmes.

#### **III.5.3.3.3- La technique de fonctionnement :**

Le développement des boues est assuré par un brassage de la masse formée et surtout par l'oxygène nécessaire aux réactions de minéralisations .l'oxygène est fourni artificiellement soit par insufflation d'air au sein du liquide, soit par un procédé mécanique d'agitation de fond et de surface.

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé décanteur secondaire destiné à séparer l'eau épurée des boues. Ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération, pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent est extrait du système et évacué vers les ouvrages de traitement des boues.

#### **III.5.4-Traitement tertiaire :**

La désinfection consiste à détruire les germes pathogènes de l'effluent, elle est effectuée par un agent oxydant qui est le chlore.

Le bassin de chloration a une forme rectangulaire qui comprend un réservoir de stockage de chlore gazeux.

#### **III.5.5-Traitement des boues :**

Après traitement des eaux usées, on traite les boues par les procédés suivants :

- ❖ Épaississement par flottation et éliminer les boues par raclage de surface.
- ❖ Stabilisation aérobie ou chimique des boues riches en matière organique.
- ❖ Déshydratation mécanique des boues par filtration et centrifugation.
- ❖ Et en fin le séchage thermique pour l'évaporation de l'eau qui présente dans les boues, qui donne un produit final stable



**Figure N°III.5 :** Epaisseur des boues.



**Figure N°III.6 :** Séchage thermique des boues.

### III.6-Les caractéristiques chimiques des eaux de la STEP de Thenia :

Il ya plusieurs facteurs physico-chimique qui peuvent modifier l'état de l'eau tel que le PH, la température, MES, DBO<sub>5</sub>, DCO, PO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> NO<sub>3</sub>, la conductivité...etc.

Ces analyses des eaux usées brutes et épurées sont faites au niveau de laboratoire situé à Boumerdes.

#### III.6.1-Objectifs des analyses :

Les objectifs des analyses sont :

- ❖ De vérifier le traitement des eaux usées par la STEP.
- ❖ Pour calculer le rendement de la station
- ❖ L'eau épurée doit satisfaire quelques normes de rejets.

Voila un tableau qui nous donne les normes de rejets d'eau épurées pour l'irrigation en Algérie :

**Tableau N°III.3 :** Les normes de rejets des eaux urbains.

Paramètre	Unités	Valeurs maximales
PH	---	5.5 à 8.5
Température	°C	<30
MES	mg/l	<30
DBO <sub>5</sub>	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
Azote total	mg/l	<50
Phosphates (PO <sub>4</sub> )	mg/l	<02
Huile et graisse	mg/l	<20

**Source : ONA Boumerdes**

#### ❖ La conductivité électrique:

La mesure de la conductivité permet d'évaluer approximativement la minéralisation globale de l'eau, le tableau ci-dessous donne quelques indications sur la relation existante entre la minéralisation et la conductivité.

**Tableau N°III.4 :** relation entre la conductivité et l'effet sur les cultures.

Conductivité (Ce) en (ds/m)	Effet sur les plantes
Ce<2.0	négligeable
2.2<Ce<4	Quelques dégâts sur les plantes sensibles
4.0<Ce<8.0	Dégâts sérieux sur la plupart des plantes
8.0<Ce<15.0	Seules cultures tolérantes qui résistent
Ce>15	Pas des cultures qui résistent

Source : FAO 2005

**III.6.2-Les paramètres analysés:**

Les résultats obtenus sont dans les tableaux suivants :

**Tableau N°III.5:** Les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.

Paramètres	Unités	Val nom	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Moyenne
PH	/	6.5-8.5	7.49	7.5	7.31	7.57	7.52	7.37	<b>7.46</b>
T	°C	/	14.7	12.9	15.5	17.3	20.1	21.71	<b>17.04</b>
MES	mg/l	350	418	279	386	293	189	167.5	<b>288.8</b>
DBO5	mg/l	270	220	250	255	265	115	155	<b>210</b>
DCO	mg/l	750	457	401	321	429	296	533.6	<b>406.3</b>
PO4-	mg/l	/	/	/	1.82	0.13	2.7	3.95	<b>2.15</b>
NO2-	mg/l	/	/	/	0.09	0.03	0.02	0.1	<b>0.06</b>
NO3-	mg/l	/	/	15.2	9.7	5.55	8.85	12	<b>10.26</b>
CON	µs/cm	/	1563	1637	1761	1664	1668	1891	<b>1697.33</b>

Source : ONA Boumerdes

**Tableau N°III.6:** Les résultats des analyses obtenus pour les eaux épurées.

Paramètres	Unités	Val nom	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Moyenne
PH	/	6.5-8.5	7.14	7.17	7.13	7.29	7.37	7.35	<b>7.24</b>
T	°C	/	14.1	12.5	14.9	17.7	20.1	22.55	<b>16.97</b>
MES	mg/l	30	19.3	50.5	55.3	19.8	14.5	5.5	<b>27.48</b>
DBO5	mg/l	30	3	51	10.5	9	28.5	15	<b>19.5</b>
DCO	mg/l	90	26.2	78	38	23	97	145.5	<b>67.95</b>
PO4-	mg/l	/	/	/	0.66	1.95	1.56	2.12	<b>1.57</b>
NO2-	mg/l	/	/	/	0.25	0.07	0.02	0.06	<b>0.1</b>
NO3-	mg/l	/	/	14.9	24.8	7.45	10.6	4.85	<b>10.43</b>
CON	µs/cm	/	1363	1458	1420	1492	1406	1520	<b>1443</b>

Source : ONA Boumerdes

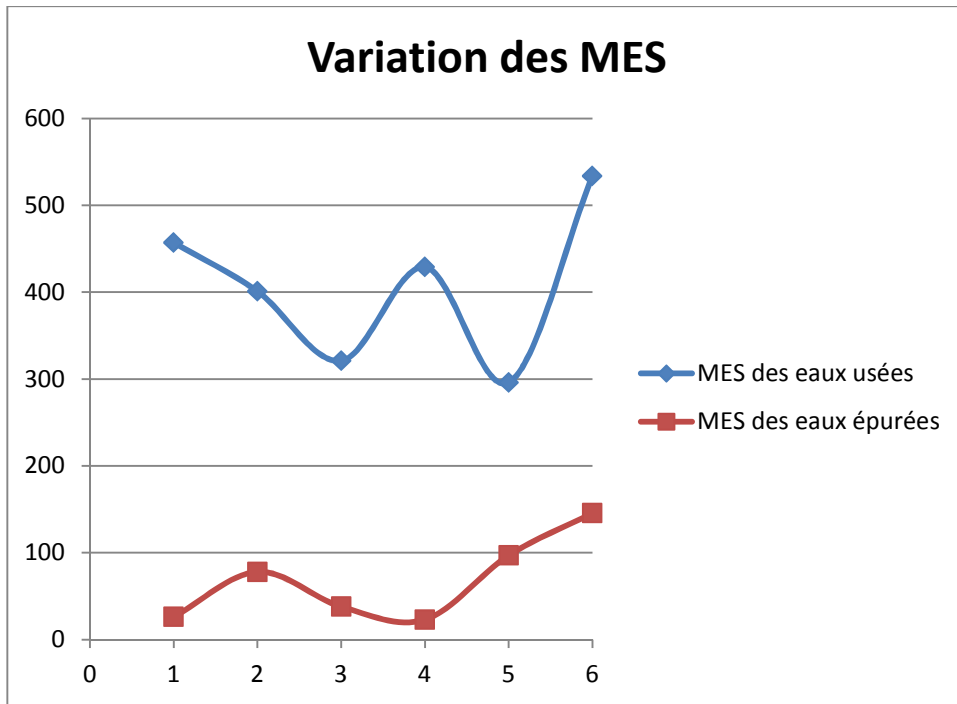


Figure N°III.7 : Variation des MES pendant la période de janvier 2013 à juin 2013

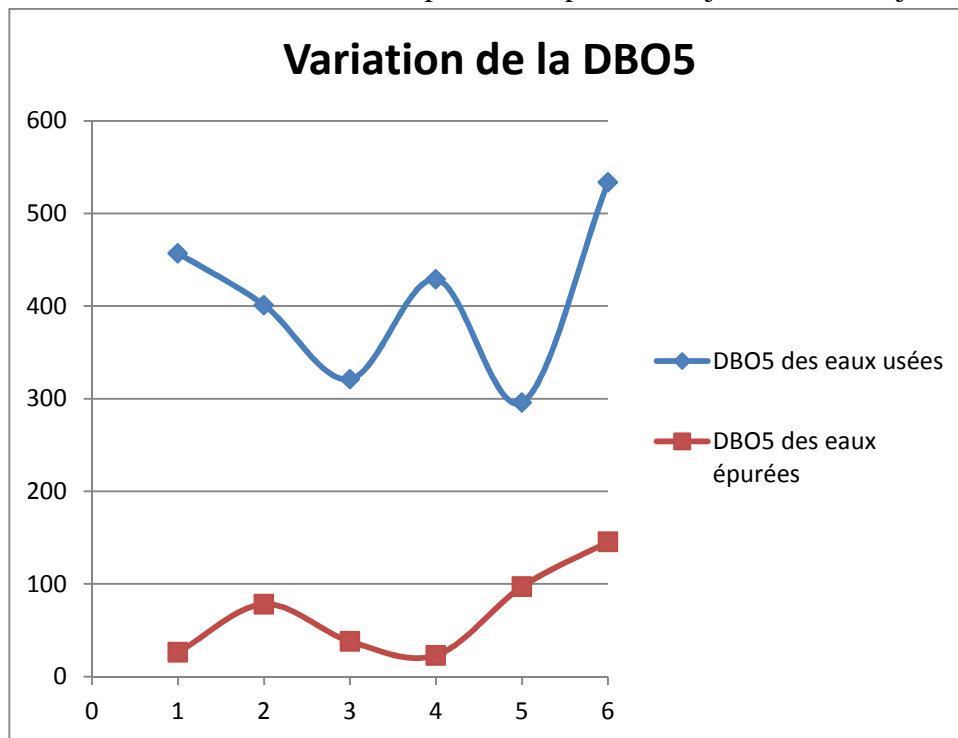


Figure N°III.8 : Variation de la DBO<sub>5</sub> pendant la période de janvier 2013 à juin 2013

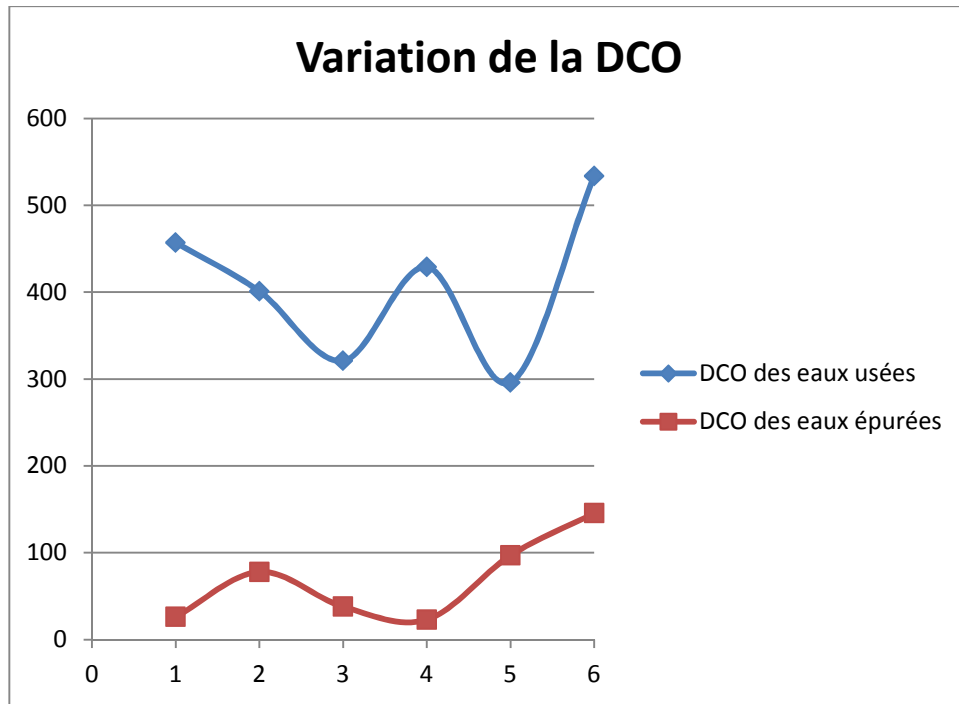


Figure N°III.9 : Variation de la DCO pendant la période de janvier 2013 à juin 2013

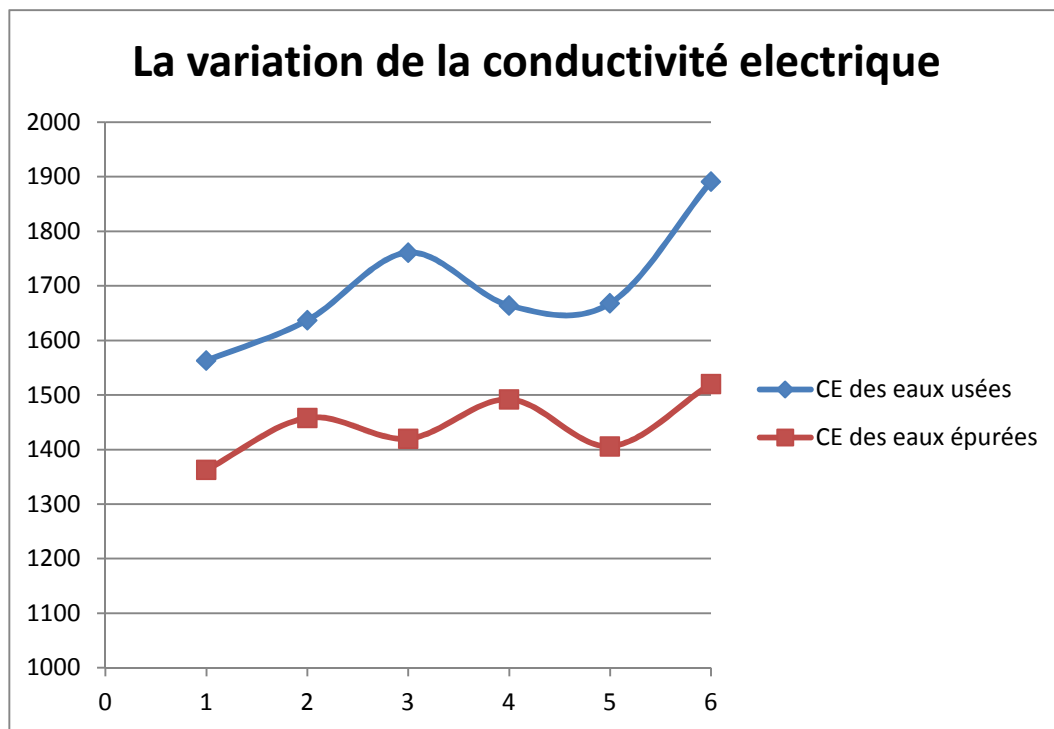


Figure N°III.10 : Variation de la conductivité électrique pendant la période de janvier 2013 à juin 2013

**Tableau N°III.7** : Le rendement de la station d'épuration

Les paramètres	Le rendement (%)
DBO <sub>5</sub>	90.71
DCO	83.28
MES	90.48

**Remarque :**

D'après les résultats des tableaux (III.5, III.6, III.7) on constate que :

- ❖ La température et le PH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet ;
- ❖ La conductivité qui est de 1443  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , donc l'eau est saline de classe C3.
- ❖ Les valeurs de DCO et DBO5 et MES répondent largement aux normes de rejets (DCO <90mg/l, DBO5<30mg/l, MES<30mg/l).
- ❖ Le rendement d'épuration est fort.

**Conclusion:**

En fin d'après tous les résultats obtenus par le laboratoire on constate que les objectifs attendus sont réalisés, le rendement de la station d'épuration est fort et la salinité de l'eau est importante.

**CHAPIRE IV**  
**ETUDE HYDROLOGIQUE**



## INTRODUCTION

L'étude hydrologique est indispensable pour notre projet, dans notre cas cette étude a pour but de déterminer les précipitations de l'année du calcul pour estimer les besoins en eau des cultures.

### VI.1- Homogénéisation de la série pluviométrique :

On procède au test de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique, ce test est une méthode qui repose sur le procédé ci-dessous :

On divise la série pluviométrique en deux séries x et y tel que la taille de la série y « N2 » est supérieure que la taille de la série x « N1 », après on classe la série de pluie d'origine par ordre décroissant. À ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle. Mr Wilcoxon montre que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-après est vérifiée.

$$W_{min} < W_y < W_{max}$$

On calcule  $W_y$  :

$$W_y = \sum_{i=1}^n \text{rang} = 282$$

$W_y$ : Somme des rangs des sous séries Y.

$$W_{min} = \left[ \frac{(N_1+N_2+1)N_1-1}{2} - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1N_2(N_1+N_2+1)}{12}} \right]$$

$$W_{max} = (N_1+N_2+1)*N_1 - W_{min}$$

$$U_{1-(\alpha/2)} = 1,96$$

$$D'où: \left[ \begin{array}{l} W_{min}=196 \\ \\ W_{max}=299 \end{array} \right. \longrightarrow 196 < W_y < 299$$

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

Les données et les calculs sont représentés dans le tableau IV-1:

**Tableau N°IV.1** : Homogénéisation de la série pluviométrique avec la méthode de Wilcoxon

Rangs	Série d'origine	X	Y	TRI (mm)	XUY
1	636,8	636,8	691,9	917,9	X
2	561,4	561,4	434,4	885	Y
3	632,6	632,6	656,6	788,9	Y
4	599,2	599,2	644,8	768,7	Y
5	917,9	917,9	692,9	692,9	Y
6	565,6	565,6	430,2	691,9	Y
7	687,5	687,5	362,2	690,2	Y
8	479,5	479,5	788,9	687,5	X
9	518,9	518,9	669,8	680,4	X
10	337,2	337,2	557,5	669,8	Y
11	474,4	474,4	588,1	664,6	Y
12	631,4	631,4	598	656,6	Y
13	620,4	620,4	664,6	644,8	Y
14	458,9	458,9	690,2	636,8	X
15	680,4	680,4	614,5	632,6	X
16	691,9		768,7	631,4	X
17	434,4		885	620,4	X
18	656,6			614,5	Y
19	644,8			599,2	X
20	692,9			598	Y
21	430,2			588,1	Y
22	362,2			565,6	X
23	788,9			561,4	X
24	669,8			557,5	Y
25	557,5			518,9	X
26	588,1			479,5	X
27	598			474,4	X
28	664,6			458,9	X
29	690,2			434,4	Y
30	614,5			430,2	Y

**Suite de tableau N°IV.1:** Homogénéisation de la série pluviométrique avec la méthode de Wilcoxon

Rangs	Série d'origine	X	Y	TRI (mm)	XUY
31	768,7			362,2	Y
32	885			337,2	X

N1	N2	Wmin	Wy	Wmax
15	17	196	282	299

#### IV.2- Ajustement de la série pluviométrique :

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 permet également de tracer le graphique d'ajustement (voir graphique IV-1) et de déterminer les principales caractéristiques de la série pluviométrique.

Les résultats d'ajustement de la série pluviométrique sont représentés dans le tableau IV-2.

**Tableau N°IV.2 :** Ajustement a la loi Normale.

Ajustement à une loi de Gauss								
Taille n= 32		Moyenne= 610,6375		I.C. à (en%)= 95			U Gauss= 1,9604	
		Ecart-type= 132,4339						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
636,8	337,2	1	0,0156	-2,154	337,2	325,332763	218,131105	396,080771
561,4	362,2	2	0,0469	-1,676	362,2	388,637491	298,733184	450,176651
632,6	430,2	3	0,0781	-1,418	430,2	422,838984	341,695333	479,987445
599,2	434,4	4	0,1094	-1,230	434,4	447,743588	372,62564	502,048431
917,9	458,9	5	0,1406	-1,078	458,9	467,933841	397,43146	520,202844
565,6	474,4	6	0,1719	-0,947	474,4	485,26152	418,493977	536,009659
687,5	479,5	7	0,2031	-0,830	479,5	500,672736	437,026249	550,268925
479,5	518,9	8	0,2344	-0,724	518,9	514,721875	453,736392	563,452131
518,9	557,5	9	0,2656	-0,626	557,5	527,765258	469,077226	575,864628
337,2	561,4	10	0,2969	-0,533	561,4	540,048137	483,358303	587,718703
474,4	565,6	11	0,3281	-0,445	565,6	551,748783	496,802619	599,170682
631,4	588,1	12	0,3594	-0,360	588,1	563,002928	509,577984	610,341559
620,4	598	13	0,3906	-0,277	598	573,918322	521,815654	621,329347
458,9	599,2	14	0,4219	-0,197	599,2	584,583951	533,622051	632,216965
680,4	614,5	15	0,4531	-0,118	614,5	595,076225	545,086549	643,077623
691,9	620,4	16	0,4844	-0,039	620,4	605,463398	556,286929	653,978767
434,4	631,4	17	0,5156	0,039	631,4	615,811602	567,296233	664,988071
656,6	632,6	18	0,5469	0,118	632,6	626,198775	578,197377	676,188451
644,8	636,8	19	0,5781	0,197	636,8	636,691049	589,058035	687,652949
692,9	644,8	20	0,6094	0,277	644,8	647,356678	599,945653	699,459346
430,2	656,6	21	0,6406	0,360	656,6	658,272072	610,933441	711,697016
362,2	664,6	22	0,6719	0,445	664,6	669,526217	622,104318	724,472381
788,9	669,8	23	0,7031	0,533	669,8	681,226863	633,556297	737,916697
669,8	680,4	24	0,7344	0,626	680,4	693,509742	645,410372	752,197774
557,5	687,5	25	0,7656	0,724	687,5	706,553125	657,822869	767,538608
588,1	690,2	26	0,7969	0,830	690,2	720,602264	671,006075	784,248751

Suite de tableau N°IV.2 : Ajustement a la loi Normale.

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
598	691,9	27	0,8281	0,947	691,9	736,01348	685,265341	802,781023
664,6	692,9	28	0,8594	1,078	692,9	753,341159	701,072156	823,84354
690,2	768,7	29	0,8906	1,230	768,7	773,531412	719,226569	848,64936
614,5	788,9	30	0,9219	1,418	788,9	798,436016	741,287555	879,579667
768,7	885	31	0,9531	1,676	885	832,637509	771,098349	922,541816
885	917,9	32	0,9844	2,154	917,9	895,942237	825,194229	1003,14389

fréquence	U de gauss	Valeur theo	Borne inf	Borne sup	valeur	Freq.theo	Pér.Rét
0,8	0,841	722,07	672,38	786,01	722,07	0,800	5,0
0,5	0,000	610,64	561,81	659,46	610,64	0,500	2,0
0,2	-0,841	499,20	435,26	548,90	499,20	0,200	1,3

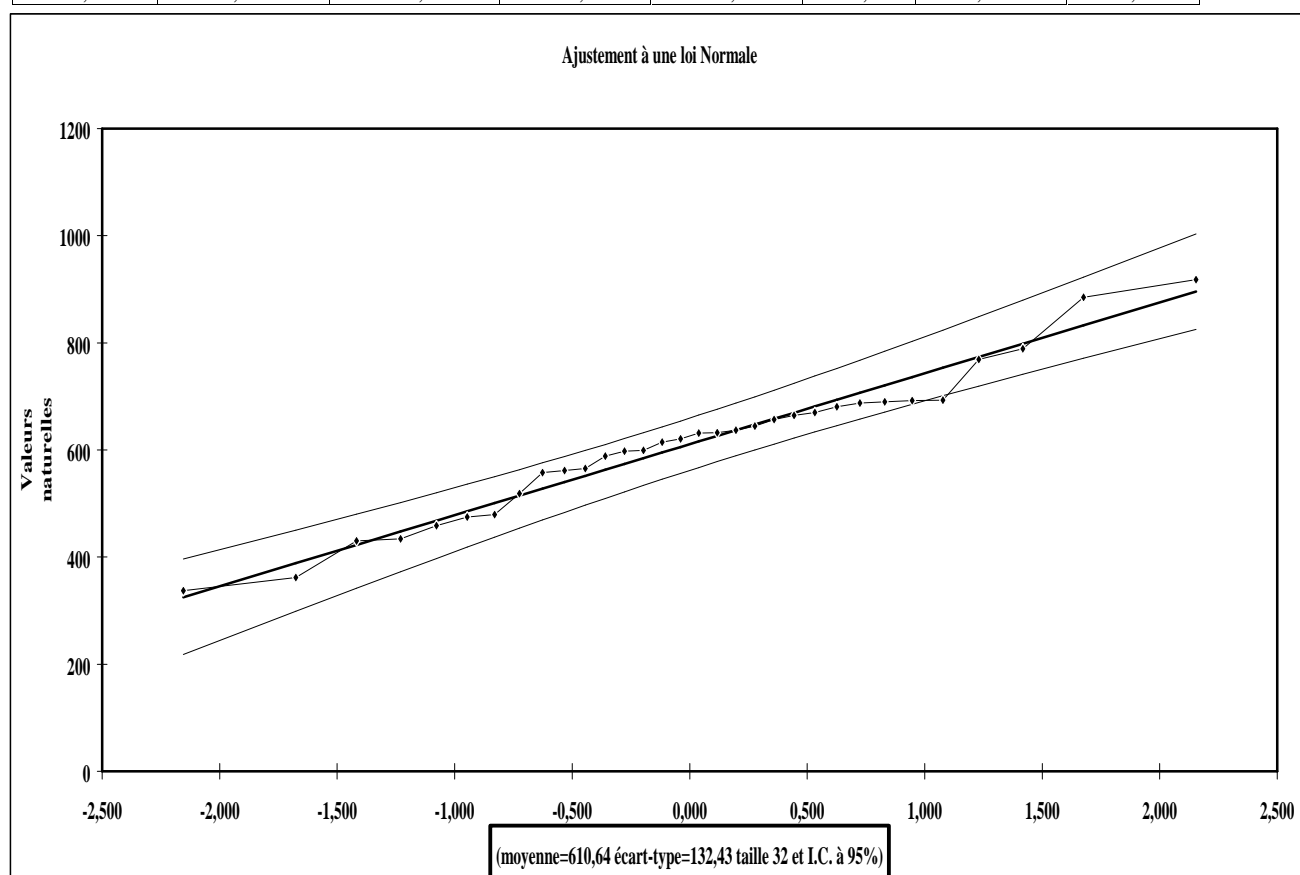


Figure N°IV.1 : Ajustement à la loi normale

D'après la figure à la page précédente on constate que notre série pluviométrique s'ajuste à la loi normale

### IV.3-Calcul de la précipitation de l'année de calcul :

La probabilité pour la quelle on assure l'irrigation est donnée pour la fréquence P =80% ;

On à :

$$P_{\text{men } 80\%} = p_{\text{men, moy}} \times (p_{80\%} / p_{50\%})$$

- $p_{\text{men } 80\%}$  : Précipitation mensuelle de l'année de calcul.
- $P_{\text{men, moy}}$  : Précipitation mensuelle moyenne de 32ans.
- $P_{80\%} = 499,20\text{mm}$
- $P_{50\%} = 610,64 \text{ mm}$
- $(p_{80\%} / p_{50\%}) = 0,81$

**Tableau IV.3** : Précipitation de l'année de calcul

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	77,7	72,7	57,94	53,44	42,84	7,41	3,33	10,07	30,57	55,92	92,94	105,78
P80%	63,52	59,43	47,37	43,69	35,02	6,06	2,72	8,23	24,99	45,71	75,98	86,48

### Conclusion :

Dans ce chapitre on a constaté que notre série est homogène selon le test Wilcoxon et bien ajustée selon la loi Normale effectué avec le logiciel « Hydrolab », en plus on a déterminé les pluies sec 80% pour l'année de calcul.

**CHAPITRE V**  
**ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES**  
**CULTURES**

**Introduction :**

Le but principal dans ce chapitre est de l'estimation des besoins en eau d'irrigation pour voir la satisfaction de volume d'eau stockée à la sortie de la STEP pour l'irrigation et le lessivage si c'est important.

**V-1- L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration est un phénomène complexe intégrant à la fois, l'évaporation de l'eau du sol (phénomène physique) et la transpiration de la couverture végétale (phénomène physiologique). Donc on le considérant comme la totalité de la consommation d'eau d'une plante en place, à savoir, l'eau de constitution, l'eau de végétation et les consommations annexes (évapotranspiration directe du sol, herbes.....)

On distingue :

**V-1-1. L'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>) :**

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

**V-1-2. L'évapotranspiration potentielle :**

On peut la définir comme étant le taux de l'évapotranspiration d'une surface du Gazon vert, ayant une hauteur uniforme de 8 à 15cm, poussant activement, ombrant complètement le sol et ne manquant pas d'eau.

**V-1-2 : L'évapotranspiration réelle (ET<sub>R</sub>) :**

L'ET<sub>R</sub> c'est la valeur réelle de l'évapotranspiration, le plus souvent elle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention. En plus, elle est considérée variable pendant la période de végétation. Il est donné par suivant :

$$ET_R = ET_0 * K_c$$

Avec :

K<sub>C</sub> : le coefficient cultural qui dépend du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatique qui y règnent.

## V-2.Méthodes d'évaluation d'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>) :

L'évapotranspiration potentielle peut être évaluée selon plusieurs possibilités parmi les quelles :

- L'évapotranspiration (mesure directe)
- Les stations expérimentales
- Méthode de bilan hydrique
- Méthode de bilan thermique.
- Formules empiriques.

Il existe plusieurs formules empiriques parmi les quelle

- Formule de Blaney-Criddle
- Formule de Turc
- Formule d'Ivanov. (URSS)
- Formule de Penman

Permis ces formule on site les suivants :

### **a) Formule de Blaney-Criddle :**

Elle a été établie et a donné des résultats satisfaisants pour les régions arides et semi-arides, s'exprime par la formule suivante :

$$ETP = (0,457T + 8,13) * K * P$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm/jour)

P : Pourcentage de la durée mensuelle de l'éclairement rapporté à la durée annuelle et ne dépend que de la latitude.

K : Coefficient variant en fonction de la culture et de la zone climatique

T : Température moyenne mensuelle en (°c)



**b) Formule de turc (France 1960) :**

Si l'humidité relative de l'air est supérieure à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par l'expression

$$ETP \approx 0,40 \hat{I}_g \hat{\left( \frac{T}{T < 15} \right)}$$

Avec :

T : Température moyenne de la période considéré, en (°c)

$I_g$  : Radiation globale du mois considéré en (cal/cm<sup>2</sup>/jour), selon Turc, 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'ETP est donnée par l'expression suivant :

$$ETP \approx 0,40 \hat{I}_g \hat{\left( \frac{T}{T < 15} \right)} \hat{\left( 1 - \frac{50 > H_r}{70} \right)}$$

Avec :

T : Température moyenne de la période considéré en (°c)

$H_r$  : L'humidité de l'air en %

$I_g$  : Radiation globale en (cal/cm<sup>2</sup>/jour)

Tel que :

$$I_g \approx I_{gA} \hat{\left( 0,80 < 0,62 \hat{\left( \frac{h}{H} \right)} \right)}$$

Avec :

$I_{gA}$  : Radiation maximale théorique

H : Durée astronomique de jour en (heure/mois)

h : Durée d'insolation en (heure/mois)

**c) Méthode de Penman & Monteith :**

Cette méthode est limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prenne pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Pour cela, nous adoptons la nouvelle formule de Penman & Monteith modifiée qui prenne en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent compte des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

L'expérience a montré que l'expression obtenue, est valable pour les régions humides et aussi dans les régions très chaudes et semi-arides ; la formule de Penman & Monteith modifiée se présentant comme suit :

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta + W}{\Delta + W} (R_n - G) + \frac{0.34 - 0.14 W}{\Delta + W} (e_a - e_d)$$

Où :

$ET_0$  : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour

$W$  : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différentes températures et altitudes.

$R_n$  : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/Jour

$F(u)$  : Fonction liée au vent.

$e_a$  : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibar

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

La différence ( $e_a - e_d$ ) constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide de logiciel **CROPWAT** fondé sur la méthode de Penman & Monteith, modifiée et recommandée par la consultation des experts de la **FAO**, tenue à **Rome** en **Mai 1990**.

Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les informations mensuelles de la station météorologique et la méthode adoptée, emploie les informations homogènes ou fiable suivantes :

- **Température** : les températures moyennes sont données en Degré Celsius (°c).
- **Humidité de l'air** : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- **Insolation journalière** : donnée en heures d'insolation de (1 à 20 h).
- **Vitesse de vent** : la vitesse du vent peut être introduite en m/sec.

### V.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle :

Le résultat de ce calcul est donné dans le tableau V.1

**Tableau N°V.1:** Évapotranspiration potentielle ou de référence en mm/jours.

Mois	Temp min c°	Temp max°c	Humidité %	Vent Km/j	Ensoleillement heurs	Radiation MJ/m/j	ET0 mm/j
Jan	5.7	17.1	66	233	5.5	9.3	<b>2.07</b>
Fev	5.5	17.6	68	238	6.6	12.5	<b>2.46</b>
Mars	7.1	19.8	62	242	7.6	16.7	<b>3.42</b>
Avr	9.1	21.9	60	252	7.9	19.8	<b>4.30</b>
Mais	12.8	25.1	65	245	8.6	22.3	<b>4.93</b>
Juin	16.3	29.1	65	252	10.4	25.4	<b>5.98</b>
Juillet	19.2	31.8	56	252	10.7	25.6	<b>6.77</b>
Août	20.1	32.5	62	245	9.8	23.0	<b>6.12</b>
Sep	17.6	29.5	68	247	8.3	18.5	<b>4.67</b>
Oct	14.2	26.5	67	223	7.3	14.2	<b>3.49</b>
Nov	9.9	21.0	66	240	5.9	10.1	<b>2.50</b>
Dec	7.1	18.0	63	230	5.1	8.3	<b>2.09</b>
Moyenne	12.1	24.2	64	242	7.8	17.1	<b>4.07</b>

## V.2- Calcul de la pluie efficace :

La pluie efficace « Peff » représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. On utilise le logiciel CROPWAT pour calculer les valeurs de Peff.

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats de calcul :

**Tableau N°V.2 : La pluie efficace en mm.**

Mois	Pluies 80% (mm)	Pluies efficaces (mm)
Janvier	63,52	57,1
Février	59,43	53,8
Mars	47,37	43,8
Avril	43,69	40,6
Mai	35,02	33,0
Juin	6,06	6,0
Juillet	2,72	2,7
Aout	8,23	8,1
Septembre	24,99	24
Octobre	45,71	42,4
Novembre	75,98	66,8
Décembre	86,48	74,5
Total	499,3	452,8

Source : Logiciel Cropwat

## V.3.Calcul des besoins en eau des cultures :

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETM - (P_{eff} + RFU)$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm)

ETM : évapotranspiration maximale (mm/jour)

RFU : réserve facilement utilisable.

$P_{\text{eff}}$  : Pluie efficace (mm)

$$\text{RFU} = Y(H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \cdot D_a \cdot Z$$

Y : degré tarissement

$D_a$  : Densité apparente

Z : profondeur d'enracinement mm

$H_{\text{cc}}$  : Humidité à la capacité au champ

$H_{\text{pf}}$  : Humidité au point de flétrissement.

$$\text{ETM} = \text{ETP} \cdot K_c$$

ETP : Évapotranspiration potentielle.

$K_c$  : Coefficient cultural.

$$H_{\text{cc}} = 31\%$$

$$H_{\text{pf}} = 15\%$$

$$\text{RU} = 190\text{mm}$$

### V.3.1- Choix des cultures :

Le choix des cultures dépend aux critères suivantes :

- ❖ La climatologie de la région.
- ❖ La pédologie du sol.
- ❖ La qualité des eaux.

La qualité d'eau influe sur le choix des cultures, dans notre cas on a des eaux épurées donc on ne peut pas irriguer les cultures sensibles à la salinité ainsi que les cultures qu'on mange crues donc on peut choisir l'olivier et le pommier.

## V.3.2- Calendrier culturel :

Tableau N°V.3 : Calendrier culturel des cultures choisies.

Les cultures	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Olivier</b>												
<b>Pommier</b>												

## V.3.3- Les besoins en eau de chaque culture :

## a) L'olivier :

Tableau N°V.4 : Les besoins en eau d'olivier.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>ETP</b>	140,1	108,19	75	64,79	64,17	68,88	106,02	130,2	152,83	179,4	209,87	189,72
<b>Peff</b>	31,7	57,98	96,37	109,69	80,57	75,38	60,08	55,41	44,42	7,68	3,45	10,44
<b>Kc</b>	0,95	0,80	0,70	0,60	0,45	0,50	0,55	0,55	0,62	0,91	1,00	1,05
<b>ETM</b>	133,1	86,55	52,5	38,87	28,88	34,44	58,31	71,61	94,75	163,25	209,87	199,21
<b>RFU</b>	0	0	5,48	62,98	128	128	128	116,47	77,12	0	0	0
<b>B</b>	<b>101,4</b>	<b>28,57</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>155,6</b>	<b>206,4</b>	<b>188,8</b>

## b) Pommier :

Tableau N°V.5 : Les besoins en eau de pommier.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>ETP</b>	140,1	108,19	75	64,79	64,17	68,88	106,02	130,2	152,83	179,4	209,87	189,72
<b>Peff</b>	31,7	57,98	96,37	109,69	80,57	75,38	60,08	55,41	44,42	7,68	3,45	10,44
<b>Kc</b>	0,90	0,80	0,80	0,70	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10
<b>ETM</b>	126,1	86,55	60	45,35	38,5	48,21	84,81	117,18	152,83	197,34	230,86	208,69
<b>RFU</b>	0	0	0	51,02	122,2	128	118,56	61,46	0	0	0	0
<b>B</b>	<b>94,39</b>	<b>28,57</b>	0	0	0	0	0	<b>0,31</b>	<b>108,41</b>	<b>189,65</b>	<b>227,4</b>	<b>198,25</b>

## V.3.4- Les besoins mensuels et annuels totaux en eaux des cultures :

Tableau N°V.6 : Les besoins mensuels et annuels des cultures choisies.

Cultures	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<b>Olivier</b>	<b>101,4</b>	<b>28,57</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>155,6</b>	<b>206,4</b>	<b>188,8</b>	<b>680,77</b>
<b>Pomme</b>	<b>94,39</b>	<b>28,57</b>	0	0	0	0	0	<b>0,31</b>	<b>108,41</b>	<b>189,65</b>	<b>227,40</b>	<b>198,25</b>	<b>846,67</b>
<b>Totale</b>	<b>195,79</b>	<b>57,14</b>	0	0	0	0	0	<b>0,31</b>	<b>108,41</b>	<b>345,25</b>	<b>433,8</b>	<b>387,05</b>	<b>1527,44</b>

#### V.4- L'occupation du sol :

Tableau N°V.7 : Occupation du sol.

Les cultures	La superficie (Ha)
Olivier	26.57
Pommier	23.43

#### V.5- Calcul du débit spécifique :

Le but du calcul de débit spécifique est satisfaire les besoins en eau des cultures les plus exigeantes généralement il est inférieur a 1.5 l/s/ha.

On a la valeur maximale des besoins mensuelles est 227.40 mm (pomme) dans le mois de juillet.

$$Q_{sp} = B_{pointe} * \frac{0.00386}{K}$$

Tel que :

$Q_{sp}$  : Le débit spécifique.

$B_{pointe}$  : Les besoins de pointe.

$K$  : coefficient d'efficience du système d'irrigation=0.75

$$Q_{sp} = 1,17 \text{ l/s/Ha}$$

#### Conclusion :

Dans ce chapitre on a déterminé les besoins en eau des cultures d'assolement qui sont basés sur le calcul de l'évapotranspiration maximale, pluie efficace et le réserve facilement utile en plus on a calculé le débit spécifique pour satisfaire ces besoins.







**CHAPITRE VI**

**ADDITION ET DIMENSIONNEMENT DU**  
**SYSTÈME D'IRRIGATION**

## **Introduction :**

Dans ce chapitre on va dimensionner le système d'irrigation qui constitue des ouvrages et des appareils qui assurent le transport des eaux de la station d'épuration au périmètre ainsi que le système et le type d'arrosage.

Le choix de type d'irrigation dépend de plusieurs facteurs tels que le type des cultures, la pente, type de sol, le débit...etc.

### **VI.1- Classification des réseaux d'irrigation :**

#### **VI.1.1-Selon la construction:**

##### **VI.1.1.1- Réseau classique**

Dans ce type de réseau, le transport de l'eau est assuré gravitairement dans des canaux à ciel ouvert.

##### **VI.1.1.2- Réseau fermé**

Dans ce réseau, l'eau est transportée dans des conduites en charge.

##### **VI.1.1.3- Réseau mixte**

Dans ce réseau l'eau est transportée dans des canaux à ciel ouvert jusqu'aux parcelles alors que la distribution de cette eau se fait par des conduites sous pression.

#### **VI.1.2-Selon la réalisation**

- ❖ Réseau permanent : à longue durée
- ❖ Réseau temporaire : comme les réseaux à ciel ouvert en terre.
- ❖ Réseau stationnaire.
- ❖ Réseau mobile : le matériel est déplaçable d'une exploitation à une autre.
- ❖ Réseau semi-mobile : une partie du matériel est déplaçable.

#### **VI.1.3-Selon la distribution de l'eau sur le périmètre**

- ❖ Soit par gravité (gravitaire).
- ❖ Soit par élévation mécanique (pompage).

#### **VI.1.4-Selon le fonctionnement durant la période d'irrigation**

- ❖ Réseau à service continu.
- ❖ Réseau à service discontinu.

## **VI.2- Choix du type de réseau d'irrigation :[4]**

Le choix du type de réseau d'irrigation est conditionné par le relief et la technique d'arrosage adoptée.

C'est pour cette raison que notre choix s'est porté sur le réseau fermé.

Celui-ci présente les avantages suivants :

- ❖ Les pertes d'eau (par évaporation et infiltration) sont négligeables.
  - ❖ Une utilisation rationnelle et économique de l'eau d'irrigation.
  - ❖ Il peut être adopté pour n'importe quel relief.
  - ❖ Possibilité d'automatisation.

Son inconvénient est le coût élevé.

## **VI.3- Les techniques d'arrosage : [5]**

Les techniques d'arrosage les plus rencontrées dans le monde peuvent être ramenées à trois grands types :

- Irrigation de surface (irrigation gravitaire) ;
- Irrigation goutte à goutte ;
- Irrigation par aspersion.

### **VI.3.1- L'irrigation gravitaire**

Le ruissellement de l'eau crée par la pente du terrain naturel humecte le sol par percolation à travers ses pores. Cependant l'action des deux forces gravitationnelle et capillaire sur l'eau dans le sol la laisse en mouvement ce qui donne sa répartition dans le sol.

Parmi les techniques d'arrosages gravitaires on distingue :

- L'irrigation par planche ;
- L'irrigation par bassin ;
- L'irrigation à la raie.

**VI.3.1.1- Avantages :**

- Coût moins élevé par rapport aux autres techniques d'irrigation
- Pas d'équipements de mise en surpression de l'eau
- Matériel d'irrigation très réduit.

**VI.3.1.2- Inconvénients :**

- Grand volume d'eau par unité de surface ;
- Déplacement des engins agricoles difficiles (à cause des rigoles) ;
- Nécessité d'une main d'œuvre importante ;
- Nécessité de planage des terres ;
- Pertes par infiltration et évaporation considérables.

**VI.3.2- L'irrigation goutte à goutte:**

L'eau est distribuée à la surface du sol par des goutteurs qui fournissent un débit faible pendant une longue durée.

**VI.3.2.1- Avantages :**

- ❖ économisent fortement l'eau,
- ❖ s'adaptent bien à tous types de sols et de reliefs,
- ❖ permettent un raccourcissement du cycle végétatif de la culture,
- ❖ réduisent les adventices,
- ❖ sont insensibles aux vents,
- ❖ se prêtent facilement à l'automatisation,
- ❖ mettent à la disposition des utilisateurs des conditions d'arrosage très souples,
- ❖ autorisent une facilité déjaugeage de l'eau,
- ❖ gênent rarement les habitudes culturelles et sont constituées de structures souples, mobiles,
- ❖ adaptables à tous les cas particuliers,
- ❖ présentent des rendements excellents,
- ❖ permettent d'arroser avec des débits très faibles avec contrôle précis de la dose,
- ❖ économisent la main d'œuvre,
- ❖ réduisent les coûts d'entretien,

- ❖ sont d'utilisation assez simple,

#### **VI.3.2.2- Inconvénients :**

- Risque de colmatage des goutteurs ;
- Risque de salinisation ;
- Nécessite une main d'œuvre qualifiée;
- Coût élevé ;
- Contrôle difficile des goutteurs ;
- Développement racinaire de cultures limité.

#### **VI.3.3- L'irrigation par aspersion:**

L'eau parvient aux cultures sous forme de pluies artificielles grâce à des appareils alimentés en eau sous pression appelés (asperseurs).

##### **VI.3.3.1- Avantages :**

- Ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface à irriguer ;
- Met à la disposition des exploitants des conditions d'arrosage très simples ;
- Nécessite moins de main d'œuvre ;
- Possibilité d'automatisation du système.

##### **VI.3.3.2- Inconvénients :**

- Coût des investissements très élevé ;
- Favorise l'évapotranspiration en période sèche ;
- L'uniformité de l'arrosage se dégrade en cas de vents dépassant les 4 à 5 m/s.

#### **VI.4- Choix de la technique d'irrigation convenable :**

Le choix de la technique la plus convenable repose sur l'analyse d'un ensemble de critères et contraintes à savoir:

- La topographie (pente de terrain, relief géométrie de la parcelle...etc.) ;
- La ressource en eau (quantité, qualité, débit et pression de l'eau disponible) ;
- La nature des cultures ;
- La nature du sol (perméabilité) ;
- Les facteurs socioculturels ;
- Les facteurs économiques.

D'après ces critères de choix et les données que nous disposons, on doit choisir l'irrigation localisée (goutte à goutte).

### **VI.5- Choix du type de matériau de conduites :**

Les conduites peuvent être réalisées par différents matériaux fonte, acier, amiante de ciment, béton armé, galvanisé, PEHD , PEBD et en pvc.

Le choix de l'un de ces matériaux est conditionne par :

- ❖ Le diamètre
- ❖ La pression de service
- ❖ Le critère économique
- ❖ Les conditions de pose des conduites
- ❖ La disponibilité dans le marché
- ❖ La technique d'arrosage

Il faut éviter d'utiliser le métal qui peut s'oxyder et libérer des impuretés qui pourraient obstruer les appareils d'arrosage (distributeurs). Pour la même raison, dans le cas d'irrigations fertilisantes, il faut recourir à des raccords en plastique et non à des raccords en métal (bronze par exemple) qui risquent de se corroder, donc on peut utiliser le PVC (chlorure de polyvinyle) ou le PE (polyéthylène).

L'avantage de PE est plus résistant aux pressions.

### **VI.6- Processus d'humidification du sol :[4]**

Sous la zone d'apport, généralement saturée, le transfert d'eau dans le sol se fait essentiellement sous forme d'écoulement non saturé. L'eau diffuse verticalement et latéralement dans le sol sous l'effet conjugué des forces de gravité et de succion II en résulte un bulbe d'humidification (fig.1) de forme elliptique dont les dimensions dépendent fortement des caractéristiques du sol, du débit d'apport et de la fréquence des arrosages. L'extension latérale du bulbe est d'autant plus marquée que la texture est fine. Les faibles doses apportées fréquemment maintiennent la zone humectée à une humidité élevée, proche de la capacité de rétention. L'eau est donc facilement disponible pour les plantes, ce qui constitue un facteur important d'accroissement des rendements. En outre, une partie de la surface reste sèche ce qui favorise la poursuite des soins aux cultures.

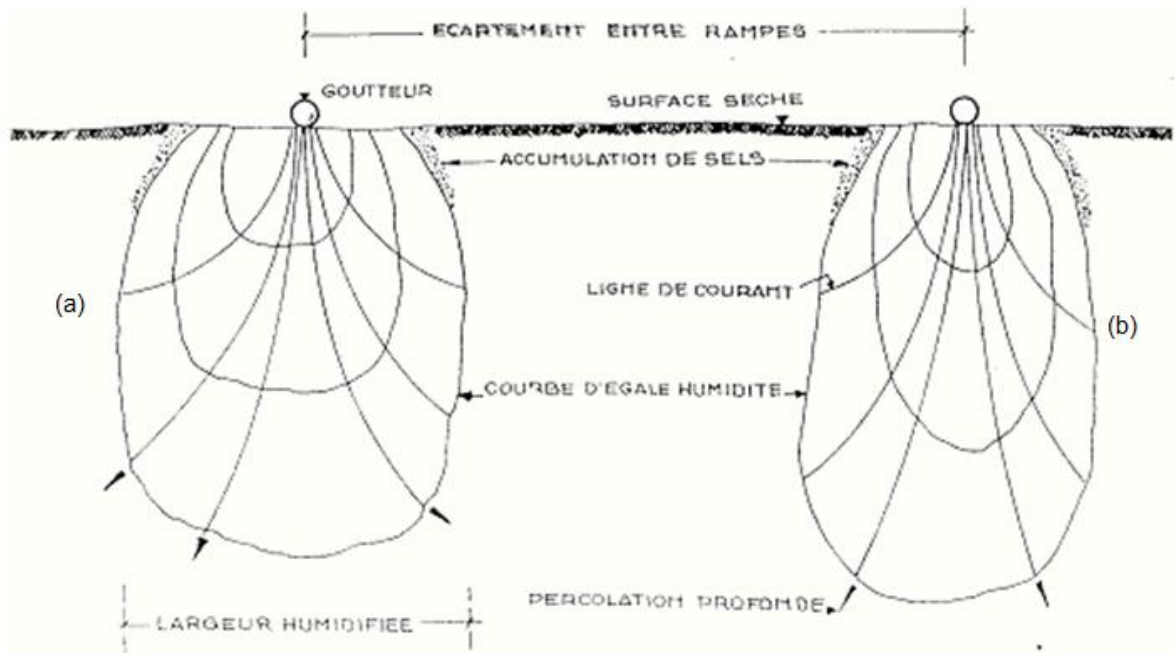


Figure N°VI.1 : Schéma du bulbe d'humidification dans un sol grossier(a) et dans un sol fin(b).

## VI.7- Composition du système goutte à goutte :[4]

### VI.7.1- Les portes rampes :

Porte-rampes en polyéthylène à haute densité. Ils peuvent être soit enterrés, soit placés à la surface du sol.

### VI.7.2- Les rampes :

Les rampes en PE basse densité de petit diamètre sur lesquelles sont branchés les distributeurs, soit directement, soit en dérivation. Il existe d'autres types de rampes telles que les rampes (ou gaines) poreuses ou les gaines perforées (à simple ou double section) qui assurent à la fois le transport et la distribution de l'eau.

### VI.7.3- Les distributeurs :

Les distributeurs constituent des organes d'arrosage à débit faible et régulier. Il existe de nombreux types de distributeurs. On distingue les goutteurs à circuit long (capillaires, goutteurs à circuit hélicoïdal, goutteurs à turbulence, goutteurs à circuit long autorégulant, etc.), les goutteurs à circuit court (ajutages, goutteurs à simple orifice, goutteurs à double orifice et effet de turbulence ou goutteurs cyclones ou vortex, goutteurs à circuit court autorégulants), les mini-diffuseurs.

Sous l'aspect technique de la fixation sur la rampe, on distingue les distributeurs latéraux et les distributeurs en ligne.





Figure N°VI.2 : Porte rampe et un goutteur



Figure N°VI.3 : Schéma d'un goutteur

## VI.8- Dimensionnement du système d'irrigation goutte à goutte :

On irrigue la parcelle P1 qui se situe à l'est du périmètre.

Cette parcelle a une superficie de 9.07 Ha. Ces dimensions sont L=336m et l=270m.

### VI.8.1- Données générales :

Culture: Olivier.

- ❖ Espacement entre les arbres : 5m
- ❖ Espacement entre les arbres rangs : 5m
- ❖ Débit nominal : 4l/h
- ❖ Pression nominale : 10mce
- ❖ Espacement entre deux goutteurs : 1m
- ❖ Besoin en eau journalier:  $206.4/30 = 6.88$  mm/j.

### VI.8.2- Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :

#### VI.8.2.1- Influence du taux de couverture du sol :

Principalement l'irrigation localisée est utilisée pour les cultures en ligne où une partie seulement de la surface est occupée par les plantes ; donc les chiffres des besoins en eau

déterminés par les méthodes où toute la surface est considérée à irriguer doivent être multipliés par un coefficient de réduction «  $K_r$  » dépendant du taux de couverture «  $C_s$  »

Le coefficient  $K_r$  est donné par plusieurs formules comme :

- **La formule de Keller et Karmeli (1974) :**

$$K_r = \frac{C_s}{0,85}$$

- **La formule de Freeman et Garzoli :**

$$K_r = C_s + 0,5(1 - C_s).$$

- **La formule de Decroix (CTGREF) :**

$$K_r = 0,1 + C_s.$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60 % ( pour les arbres adultes) donc :

$K_r = 0,71$  selon Keller et Karmeli.

$K_r = 0,80$  selon Freeman et Garzoli.

$K_r = 0,70$  selon Decroix (CTGREF).

On prend le ( $K_r = 0,71$ ),

Irrigation traditionnelle demanderait pour le mois de pointe  $B_{pointe} = 6.88 \text{ mm} / \text{jour}$

(Tableau (V-8) des besoins en eau dans le chapitre V).

En irrigation localisée les besoins se réduisent à

$$ETM_{\text{Localisé}} = B_{\text{pointe}} * K_r$$

$$ETM_{\text{Localisé}} = 6.88 * 0,71 = 4.885 \text{ mm/j}$$

### VI.8.2.2-Besoins d'irrigation brut $B_{\text{brut}}$ :

C'est le volume d'eau d'irrigation nécessaire en pratique.  $B_{\text{net}}$  et  $B_{\text{brut}}$ . La dose brute d'arrosage dépend en fait de l'uniformité de l'irrigation et de l'efficacité du réseau.

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{C_u}$$

Donc 
$$B_{brut} = \frac{4.885}{0,9} = 5.43mm/j$$

$C_u$  : coefficient d'uniformité  $C_u = 90\%$

### VI.8.2.3- Pourcentage de sol humidifié :

Le pourcentage du sol humidifié est déterminé soit :

- Selon l'écartement entre les rampes et la texture du sol.
- En appliquant la formule suivante :

$$\frac{P}{100} = \frac{n \cdot S_{pd} \cdot Sh}{Sa \cdot Sr}$$

#### Avec :

P : Pourcentage du sol humidifié ;

n : Nombre de points de distribution par arbre ;

$S_{pd}$  : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre (m);

Sh : Largeur de la bande humidifiée (m) ;

Sr : Ecartement entre rangs d'arbres (m) ;

Sa : Espacement des arbres sur les rangs.(m) [4]

**P=24%**

### VI.8.2.4- Doses d'arrosage :

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]

$$Dose_{nette} = (H_{cc} - H_{pf}) * e * Z * \frac{P}{100}$$

#### Tel que :

$D_{nette}$  : Quantité (hauteur d'eau maximale à apporter par arrosage (mm) ;

$H_{CC}$  : Humidité à la capacité au champ (mm/m) ;

$H_{pf}$  : Humidité au point de flétrissement (mm/m) ;

$e$ : degré de tarissement admis ;

$Z$  : profondeur d'enracinement (mm) ;

$P$  : pourcentage du sol humidifié (%).

Les caractéristiques hydriques pour un sol argilo-limoneux en moyenne est :

$$H_{cc}=31\%$$

$$H_{pf}=15\%$$

$$e = \frac{2}{3} \quad Y : \text{degré de tarissement admis}$$

$Z=1200$  mm La valeur de  $Z$  dépend des cultures.

$$P=0.24$$

$$D_{net}=(0.31-0.15)*1200*0.24*\frac{2}{3}=30.72 \text{ mm}$$

Donc la fréquence minimale

$$f = \frac{D_{nette}}{ETMr} = \frac{30.72}{4.885} = 6.29 \text{ jours.}$$

On prend  $f=7$  jours donc  $D_{nette}= 4.885*7=34.20$

$$D_{brut} = \frac{D_{nette}}{CU*eff} = \frac{34.20}{0.9*0.9} = 42.22 \text{ mm}$$

#### VI.8.2.5- Durée d'arrosage :

$$t = \frac{D_{brute} * E_g * E_r}{q_g}$$

$E_g$  : L'espacement des distributeurs sur la rampe (m);

$E_r$ : L'écartement entre les rampes (m);

$Q_g$  : Débit du distributeur en l/h.

$$t = \frac{42.22 * 1 * 5}{2 * 4} = 27 \text{heurs} / 7 \text{jours} \approx 4 \text{h} / \text{j}$$

### VI.2.6-Nombre de poste:

$$N_p = \frac{D_{\text{travail}}}{t}$$

$D_{\text{travail}}$ : durée de travail=20heurs

t: durée d'arrosage journalier

$$N_p = \frac{20 * 7}{27} = 5.18 \text{ On prend } N_p = 6 \text{ postes.}$$

On partage cette parcelle en 6 postes de dimensions chaque-un est  $L=135\text{m}$  et  $l=112 \text{ m}$ .

### VI.8.3-Calcul de l'installation

#### VI.8.3.1- Nombre de rampes

$$N_{\text{rampe}} = \frac{L_p}{E_R}$$

$L_p$ : la longueur de poste ;

$E_R$ : l'écartement entre rampes.

#### VI.8.3.2- Nombred'arbres

$$N_{\text{arbre}} = \frac{L_R}{E_A} * N_R$$

#### Avec

$L_R$ : la longueur de la rampe

$E_A$ : l'espace entre deux arbres

$N_R$ : le nombre de rampes

**VI.8.3.3- Nombre de goutteurs**

$$N_{Goutteur} = N_A * 2$$

2 goutteurs par arbre

$N_A$  : le nombre d'arbres

**Tableau N°VI.1** : Caractéristiques générales du réseau localisé.

Poste	Superficie Ha	Rampe		Nombre d'arbres	Nombre de goutteurs
		Nombre	Longueur		
<b>1-2-3-4-5-6</b>	1.512	27	112	604	1208
<b>Total</b>	9.07	162	-	3624	7248

**VI.8.4-Calcul hydraulique du réseau****VI.8.4.1- Conditions hydrauliques**

La variation maximale du débit entre goutteur :

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\%$$

La variation maximale de la pression.

$$q = K \cdot H^x ;$$

$x = 0,5$  (caractéristique du goutteur).

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = x \cdot \frac{\Delta H}{H(n)}$$

**Avec :**

$q(g)$  : débit nominal du 0goutteur ;

$H(n)$  : pression nominale.

$$0,1 = 0,5 \frac{\Delta H (\max)}{10}$$

$$H (\text{max}) = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ m.c.e.}$$

La répartition de la perte de charge est :

Perte de charge singulière : p.c.s = 10%\* H = 0.2 m

Perte de charge linéaire : p.c.l = H- 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.8.4.2- Calcul de la rampe

##### ❖ Débit de la rampe

Le débit d'une rampe est donné par la relation :

$$Q_R = N_G \cdot Q_G$$

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 (V-14)

On propose que les rampes soient en PEBD

$$\varnothing (\text{cal}) = \left[ \frac{\text{P.d.c} (r) \times 2,75}{0,478 \times Q(r)^{1,75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4,75}}$$

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 suivante

$$J_r = \frac{0,478}{2,75} \cdot D_r^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L_r$$

Tel que :

$J$  = Perte de charge en m ;

$D$  = Diamètre en mm ;

$Q$  = Le débit en l / h ;

$L$  = Longueur en m.

**Tableau N°VI.2** : Caractéristiques générales de la rampe.

<b>Rampe</b>					
<b>L</b> (m)	<b>Q</b> (l/h)	<b>D<sub>cal</sub></b> (mm)	<b>D<sub>N</sub></b> (mm)	<b>V</b> (m/s)	<b>J</b> (mce)
112	176	12.08	20	0.191	0.19

Ces valeurs sont calculées pour tous les rampes de parcelle.

#### VI.8.4.3- Calcul de la porte-rampe :

Le débit de porte-rampe est calculé dépend la position sur la parcelle.

#### ❖ Débit de la 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 ci-dessous

On propose que les porte-rampes soient en PEHD

$$\varnothing (\text{cal}) = \left[ \frac{\text{P.d.c (pr)} \times 2,75}{0,478 \times Q(\text{pr})^{1,75} L(\text{pr})} \right]^{\frac{1}{4,75}}$$

### ❖ La perte de charge

Elle est calculée après avoir déterminé le diamètre par la formule suivante

$$J = \frac{0,478}{2,75} \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L$$

Les résultats de calcul des différents postes sont représentés dans le tableau V-2.

**Tableau N°VI.3 : Caractéristiques générales de porte-rampe**

Porte-rampe					
L (m)	Q (l/h)	D <sub>cal</sub> (mm)	D <sub>N</sub> (mm)	V (m/s)	J (mce)
135	4752	48.96	50	0.672	0.45

## VI.8.5-Dimensionnement de la conduite d'approche :

### VI.8.5.1- Composition de la conduite d'approche :

La conduite secondaire est composée de :

- ❖ 2 Vannes.
- ❖ Filtre à sable.
- ❖ Débit mètre : pour contrôler le débit et le régler en fonction du volume de bache.
- ❖ Régulateur de pression.
- ❖ Fertiliseur.

### VI.8.5.2- Les caractéristiques de la conduite :

#### ❖ Le débit :

$$Q_{app} = Q_{pr} \times N_{pr}$$

Q<sub>app</sub> : Débit de la conduite d'approche.

Q<sub>pr</sub> : Débit de la porte rampe.

N<sub>pr</sub> Nombre des portes-rampes.

❖ **Le diamètre :**

$$D_{app} = \sqrt{\frac{4Q_{app}}{\pi V}}$$

D : diamètre de la conduite d'approche.

V : Vitesse de l'eau dans la conduite d'approche on suppose  $V=1.5$  m/s.

❖ **La perte de charge :**

$$J = \frac{0,478}{2,75} \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L \longrightarrow \quad (V-18)$$

J : la perte de charge.

D : diamètre de la conduite d'approche.

Q : débit d'eau dans la conduite d'approche.

L : la longueur de la conduite d'approche.

**Tableau N°VI.4 :** Les caractéristiques de la conduit secondaire.

Tronçons	Qpr(l/h)	Npr	Qapp(l/h)	V(m/s)	Dapp(mm)	Dnor(mm)	Lca(m)	J(m.c.e)
1	4752	2	9504	1.5	48	50	112	1.52
2	4752	4	19008	1.5	67	75	112	0.74
3	4752	6	28512	1.5	82	90	112	0.64

**VI.9- Dimensionnement de la conduite principale :****VI.9.1- Les données :**

Le débit de la conduite principale est en fonction de besoin de pointe des cultures de tous le périmètre qui a une superficie de 50Ha

$$Q_{cp} = 210.6 \text{ m}^3/\text{h}.$$

La longueur de la conduite principale  $L_{cp} = 478$  m

**VI.9.2- Calcul de diamètre de la conduite principale :**

D'après la formule de « Bonin » le diamètre de la conduite principale est :

$$D_{cp} = \sqrt{Q} \quad \text{Pour les longueurs} < 1000\text{m}$$

Q ; débit en  $\text{m}^3/\text{s}$

$$\varnothing = \sqrt{5.85 \cdot 10^{-2}} = 242 \text{ mm}.$$

On choisit un diamètre commercialisable de **250** mm.

#### ❖ La perte de charge

Elle est donnée toujours par la formule suivante

$$J(\text{lin}) = \frac{0,478}{2,75} \cdot 250^{-4,75} \cdot 210600^{1,75} \cdot 478 = 0.7 \text{ m.c.e.}$$

Les pertes de charges singulières sont de 20% des pertes de charges linéaires

$$J(\text{sin}) = 0.14 \text{ m.c.e}$$

Donc la perte de charge de la conduite principale P.d.c = **0.84**m.c.e.

#### ❖ La vitesse :

La vitesse dans la canalisation principale est donnée par :

$$Q = V \cdot S$$

$$V = \frac{Q}{S} ; S = \frac{f \cdot d^2}{4} . \quad V = \frac{4 \cdot Q}{f \cdot d^2}$$

$$V = 1,19 \text{ m/s} (0.8 \text{ V } 1.2) \text{ .acceptable.}$$

### VI.10- Adduction :

L'adduction des eaux consiste à étudier les voies et les moyens, tant sur le plan technique qu'économique, en vue d'acheminer les eaux prélevées de la station, soit vers leur lieu d'accumulation, soit directement vers les zones de leur consommation.

De part leur fonctionnement les adductions peuvent être classées selon leurs charges :

- Soit en adduction par refoulement
- Soit en adduction gravitaire

#### VI.10.1-Types d'adduction

Dans notre étude. On est appelé à choisir une adduction mixte et cela au vu de la topographie de la zone du projet.

#### VI.10.2-Choix Du Tracé

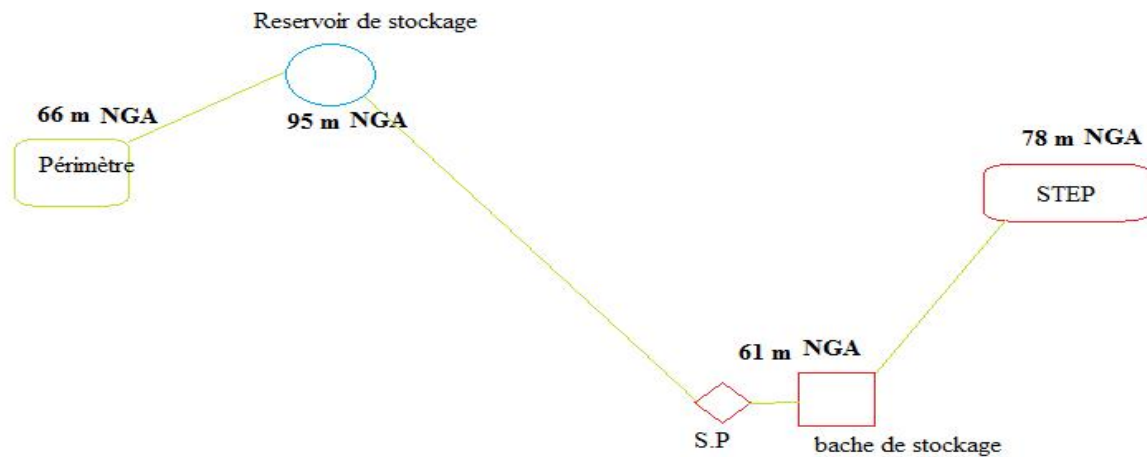
Le choix se fait en recherchant le tracé le plus direct entre la source et le réservoir d'accumulation. Il est basé sur les reconnaissances du terrain, levés topographiques et les résultats des investigations géotechniques.

D'après ce qui précède, il s'avère que le nombre d'obstacles et de singularités à franchir est très important. Une attention particulière devra être portée à ces singularités qui sont principalement les routes nationales (RN) les chemins de wilaya (CW), les oueds, mais aussi les cours d'eau et les talus

### VI.10.3-Schéma hydraulique du réseau

La STEP de Thenia dont la capacité est de 30.000 EH, alimente gravitairement une bache de stockage, la station de pompage existante au niveau de la bache, refoule un débit moyen de 210,6 m<sup>3</sup>/h pour alimenter le réservoir de stockage.

Ce schéma est représenté dans la figure ci-dessous :



FigureN°VI.4 : Schéma hydraulique du réseau d'adduction.

### VI.10.4- Calcul de volume de réservoir de stockage:

#### ❖ Données

Le besoin de pointe journalier des cultures : 7.33 mm/j.

La fréquence d'arrosage : 6j/mois

La durée d'arrosage  $t=4.5$  heures

La superficie de perimètre :50ha.

$$V=B \times t$$

B : besoin ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$V=152.71*4.5=687.2 \text{ m}^3$  on prend le volume est  $690 \text{ m}^3$

**Tableau N°VI.5** : Les dimensions du réservoir de stockage :

Diamètre (m)	La hauteur(m)
13.25	5

### VI.11-Le pompage :

Pour déterminer le type et le nombre des pompes en se basant sur le débit pompé et la hauteur d'élevation.

#### VI.11.1-Calcul de la hauteur d'élévation :

$$H_{ele}=h_a+h_r+\sum hp(asp) + \sum hp(ref) + P_{ex}$$

#### Avec :

$h_a$  : la hauteur d'aspiration.

$h_r$  : la hauteur de refoulement.

$\sum hp(ref)$ : pertes de charge liniaire au refoulement

$\sum hp(asp)$  = pertes de charge liniaire en aspiration.

$\sum hp$  tot: la perte de charge totale =  $(1.10 \div 1.15)hp(lin)$

$P_{ex}$  : Pression necessaire à l'exhure.  $P_{ex}= (1 \div 1.5)=1.25 \text{ m.c.e}$

Pour notre projet :

$$h_a+h_r=H_g^{moy}$$

$H_g^{max}=36.5\text{m}$  (du niveau de réservoir au niveau minimum d'eau dans la bache)

$H_g^{min}=31.5\text{m}$  (du niveau de réservoir au niveau maximum d'eau dans la bache)

donc  $H_g^{moy}= 34 \text{ m}$

$$\sum hp(asp) + \sum hp(ref) = \sum hp$$

On estime 4m de pdc sur 1000m car notre conduite est courte et le débit moyen est  $< 3\text{m}^3/\text{s}$

Donc

$$\sum hp(asp) = 2.5 * 4/1000 = 0.01 \text{ m}$$

Et

$$\sum hp(ref) = 420 * 4/1000 = 1.68 \text{ m}$$

$$H_{ele}=34+(1.69*1.10)+1.25=37.11\text{m}$$

Donc la hauteur d'élévation est **37.11 m**.

**VI.11.2-Choix du nombre et type de pompes :**

Pour assurer le débit nécessaire on doit estimer le nombre des pompes suffisant avec cette relation :  $N_{pi} = N_{pc} + N_{ps}$

Avec :

$N_{pi}$  : nombre de pompes installées

$N_{pc}$  : nombre de pompes calculées.

$N_{ps}$  : nombre de pompes de secours.

On utilise le logiciel **Caprari** pour déterminer les caractéristiques générales des pompes.

Les résultats sont dans le tableau suivant :

**Tableau N°VI.6** : Les caractéristiques générales des pompes

$N_{pc}$	Qcal(m <sup>3</sup> /h)	H ele(m)	Type de pompe	$\frac{100 \cdot P_c}{N \cdot Q}$	N(tr/min)	P (kw)	NPSHr
1	210.6	37.11	MEC-A3/125	78.3	1450	24.1	2.65
<b>2</b>	<b>105.3</b>	<b>37.11</b>	<b>MEC-A2/65</b>	<b>74.4</b>	<b>2950</b>	<b>11</b>	<b>2.81</b>
3	70.2	37.11	MEC-A2/50	72.2	2850	5.5	3.3

Pour choisir le nombre de pompes il faut respecter les critères suivants :

- ❖ Le nombre minimal de pompes.
- ❖ Meilleur rendement.
- ❖ La grande vitesse de rotation.
- ❖ La puissance absorbée minimal.
- ❖ NPSHr minimal.

Et d'après ces critères on va choisir 2 pompes dans notre station de pompage.

Le choix de nombre de pompe de secours dépend de nombre de pompes de refoulement donc pour notre cas on va installer 1 pompe de secours.

**VI.11.3-Choix de moteur électrique :**

D'après le logiciel **Caprari** on trouve les caractéristiques de moteur suivantes :

- ❖ La fréquence : 50Hz.
- ❖ La tension nominale : 380v.
- ❖ Vitesse nominale : 2950 tr/min.
- ❖ Nombre de pôles : 2.

- ❖ Courant nominal : -A.
- ❖ Type de moteur : 3~
- ❖ Classe d'isolation : F.
- ❖ Degré de protection : IP55.

#### VI.11.4- Détermination de la hauteur admissible d'aspiration :

On détermine la hauteur admissible d'aspiration pour que la pompe soit bien appelée.

Pour vérifier la cavitation il faut que  $NPSH_d = NPSH_r + r$ , avec  $r = (0.3 \div 0.5)$ .

$$h_{adm}^{asp} = (NPSH)r + 0.4 - (P_{at}/\rho g) + (P_v/\rho g) + \sum h_p^{asp} + (V^2_{asp}/2g)$$

Avec :

- $NPSH_r = 2.81$ .
- $P_{at}/\rho g = 10.33$  m.c.e
- $P_v/\rho g = 0.24$  à 20 °C.
- $V = Q/S$
- $Q = 105.3$  m<sup>3</sup>/h
- $S = \pi D a^2 / 4$  avec  $D a = 100$  mm

$$\text{Donc } V = 3.73 \text{ m/s}$$

$$\sum h_p^{asp} = 0.01 + (0.1 \div 0.15) * 0.01 = 0.0115 \text{ m.c.e}$$

$$h_{adm}^{asp} = 10.33 - 0.24 - 0.0115 - 0.4 - 0.71 - 2.81 = \mathbf{6.16 \text{ m}}$$

#### VI.11.5-Dimensionnement de la conduite de refoulement :

Calcul du diamètre économique consiste de l'estimation des frais d'amortissement et les frais d'exploitation qui augmentent avec le diamètre.

Le diamètre économique des conduites de refoulement sera déterminé comme suit :

##### VI.11.5.1 Choix de la gamme des diamètres

Pour avoir un bon choix d'un diamètre économique on doit trouver une gamme qui donne une approche économique. Cette gamme est déterminée à partir de plusieurs formules parmi les quelles :

**-La formule de BRESS**

$$D = 1,5 * \sqrt{Q}$$

**-La formule de BONNIN**

$$D = \sqrt{Q}$$

Q: débit à élever en m<sup>3</sup>/s.

**Remarque :** La formule de Bress n'est valable que pour les petits projets (longueur de conduite  $\leq 1$  Km)

D : diamètre de la conduite (m).

Q : débit à relever (m<sup>3</sup>/s).

Les diamètres calculés nous imposent le choix d'une gamme en fonction des diamètres normalisés disponibles sur le marché.

A partir de cette gamme des diamètres, on procède à l'évaluation des frais d'exploitation et d'amortissement de chaque diamètre et on adoptera comme diamètre économique celui pour lequel la somme des frais cités sera minimale.

**VI.11.5.2- Calcul des pertes de charge****1. pertes de charge linéaires**

Pour un tronçon donné, les pertes de charge linéaires dépendent:

- Du diamètre D de la conduite en (m);
- Du débit Q en (m<sup>3</sup>/s);
- De la rugosité absolue K<sub>s</sub> exprimée en mm;
- De la longueur du tronçon L en (m).

$$\Delta H_i = \lambda \frac{L V^2}{D^2 g} = I * L$$

-V: vitesse moyenne d'écoulement en (m/s).

- $\Delta H_i$ : Pertes de charge linéaires en (m)



- I: gradient hydraulique en (m/m)

-Le coefficient  $\lambda$  est obtenu par la formule de Nikuradzé:

$$\lambda = \left( 1.14 - 0.86 * \ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) \right)^{-2}$$

Avec  $\varepsilon = 0,001$ .

## 2. Pertes de charge singulières

Elles sont générées par les singularités telles que les coudes, vannes, clapets, branchements...etc. Les pertes sont estimées de 10 % à 15% des pertes de charge linaires (on prend 10% dans notre cas)

Elles sont données par la formule suivante :

$$\Delta H_s = 0,10 * \Delta H_l$$

## 3. Pertes de charge totales ( $\Delta H_t$ )

C'est la somme des pertes de charge linéaires et les pertes de charge singulières

$$\begin{aligned} \Delta H_t &= \Delta H_l + \Delta H_s \Leftrightarrow \Delta H_t = \Delta H_l + 0,10 * \Delta H_l \\ \Rightarrow \Delta H_t &= 1,1 * \Delta H_l \end{aligned}$$

### VI.11.5.3- Calcul de la hauteur manométrique totale

La hauteur manométrique totale est la somme de pertes de charge et de la hauteur géométrique.

$$HMT = Hg + \Delta H_a + \Delta H_r = Hg + \Delta H_t$$

Hg: la hauteur géométrique

$\Delta H_a$ : pertes de charge à l'aspiration

$\Delta H_r$ : pertes de charge au refoulement

### VI.11.5.4- Puissance absorbée par la pompe

C'est la puissance fournie la pompe, définie comme suit:

$$P = \frac{\gamma * Q * HMT}{\eta}$$

: rendement de la pompe en (%) ( $\eta=75\%$ )

Q: débit refoulé par la pompe en ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

g: pesanteur ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

... : masse volumique de l'eau =  $1,1 \text{ (kg/ m}^3\text{)}$

#### VI.11.5.5- Energie consommée par la pompe

$$E = P * t * 365 \text{ [Kwh]}$$

t: c'est le temps de pompage par jour en (heure); dans notre cas  $t = 20\text{h}$

P: puissance de la pompe en (kW)

#### VI.11.5.6- Frais d'exploitation

Les frais d'exploitation sont définis comme suit :

$$F_{\text{ex}} = E * e \text{ [DA]}$$

E: énergie consommée par la pompe en (Kw H))

e: prix unitaire d'un Kw H imposé par la SONELGAZ. ( $e=4,67\text{DA}$ )

#### VI.11.5.7- Frais d'amortissement

Les frais d'amortissement sont donnés comme suit:

$$F_{\text{am}} = P_{\text{rc}} * A \text{ [DA]}$$

$P_{\text{rc}}$ : prix de la conduite en (DA)

A: Amortissement annuel. Il est donné par la formule suivante:

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

i: Taux d'annuité annuel,  $i = 8 \%$

n: nombre d'années d'amortissement,  $n = 15 \text{ ans}$

$$A = \frac{0,08}{(0,08+1)^{15} - 1} + 0,08 = 0,1168 = 11,68 \%$$

$$A = 11,68 \%$$

$$L = 420 \text{ m}$$

$$H_g = 34 \text{ m}$$

$$Q = 210,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{cr Bonnin}} = 250 \text{ mm}$$

Les résultats trouvés pour le calcul du diamètre économique de ce tronçon sont regroupés dans les tableaux suivants:

**Tableau N°VI.7 : Calcul de la HMT.**

Diamètre en (mm)	V (m/s)		H <sub>g</sub>	L (m)	H <sub>t</sub> (m)	HMT(m)
100	7,45	0,038440	34	420	457	491
125	4,77	0,035702	34	420	139	173
160	2,91	0,033002	34	420	37,4	71,4
<b>200</b>	<b>1,86</b>	<b>0,030815</b>	<b>34</b>	<b>420</b>	<b>11,4</b>	<b>45,4</b>
250	1,19	0,028840	34	420	3,5	37,5

**Tableau N°VI.8 : Calcul des frais d'amortissement :**

D (mm)	Prix de ml (DA)	L (m)	prix tot DA	Famort (DA)
<b>110</b>	925,86	420	388 861,2	45 418,99
<b>125</b>	1198,69	420	503 449,8	58 802,94
<b>140</b>	1167,37	420	490 295,4	57 266,50
<b>160</b>	1959,12	420	822 830,4	96 106,59
<b>200</b>	<b>3076,54</b>	<b>420</b>	<b>1 292 146,8</b>	<b>150 922,75</b>
<b>250</b>	4759,95	420	1 999 179	233 504,1

**Tableau N°VI.9:** Calcul des frais d'exploitation .

<b>Diamètre (mm)</b>	<b>Puissance (kw)</b>	<b>Energie (kwh)</b>	<b>F explo(DA)</b>
<b>110</b>	375,69	2742576,7	12 807 833
<b>125</b>	132,44	966812,14	4 515 012,7
<b>140</b>	54,64	398919,43	1 862 953,7
<b>160</b>	834,7	253866,85	1 185 558,2
<b>200</b>	<b>28,70</b>	<b>209528,97</b>	<b>978 500,28</b>
<b>250</b>	126,8	195696,23	913 901,41

**Tableau N°VI.10:** Calcul des frais totaux.

<b>Diametre(mm)</b>	<b>Fexplo (DA)</b>	<b>Famort (DA)</b>	<b>bilan</b>
<b>110</b>	12 807 833	45419	12 853 252
<b>125</b>	4 515 012,7	58809	4 573 815,6
<b>140</b>	1 862 953,7	57266,5	1 920 220,2
<b>160</b>	1 185 558,2	96106,6	1 281 664,8
<b>200</b>	<b>978 500,28</b>	<b>150923</b>	<b>1 129 423</b>
<b>250</b>	913 901,41	233504	1 147 405,5

**VI.12-Dimensionnement de la conduite « STEP-bâche de stockage » :**

$$Q=210.6\text{m}^3/\text{h}$$

D'après la loi de Bonin on a  $D= 250$  mm.

$$L_{s-b}=380\text{m}$$

Donc la perte de charge  $j=0.56$  m.c.e

$$V=1.17$$
 m/s

**Tableau N°VI.11 :** Les caractéristiques de la conduite « STEP- bâche de stockage)

<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>L (m)</b>	<b>J (m.c.e)</b>	<b>V(m/s)</b>
210.6	250	380	<b>0.56</b>	1.17

**VI.13-Calcul de volume de la bête de stockage :**

$$V_b=Q_p*t$$

V<sub>b</sub> : volume de la bête d'eau.

Q<sub>p</sub> : Débit pompé.

T : temps de pompage t=4 heures.

$$V_b=150m^3$$

On prend le volume totale est 845 m<sup>3</sup> avec les dimensions suivantes :

La hauteur h=5m

La surface 13m x 13m

**Conclusion:**

Dans ce chapitre on a choisit le type du réseau d'arrosage qui adapte avec les données du sol et des cultures et le dimensionner, ainsi que le dimensionnement du réseau d'adduction et la station de pompage.



**Introduction :**

L'étude économique d'un projet est liée avec l'étude technique, car c'est elle qui nous donne les éléments déterminants pour la réalisation ou pas du projet et pour cette raison on doit estimer les frais du notre projet.

**VII.1 devis du système d'irrigation :**

Les prés des ouvrages utilisés pour la réalisation de notre projet est résumés dans le tableau suivant :

**Tableau VII. 1:** Facture proforma des ouvrages et des pièces utilisés dans le réseau d'irrigation.

Pièces	Unité de	Quantité	Prix (DA)	Montant (DA)
Tube Ø20 PEBD	m/l	18144	29,61	537243,84
TubeØ50 PEHD	m/l	922	190	175180
Tube Ø75 PEHD	m/l	112	351	39312
Tube Ø90 PEHD	m/l	112	420,14	47055,68
Tube Ø200PEHD	m/l	420	2397,85	1007097
TubeØ250 PEHD	m/l	858	3709,88	3183077
Filtre	Un	1	15432,77	15432,77
Coude 90° Ø90	Un	1	2579,76	2579,76
Vanne Ø90	Un	2	7524,62	15049,24
Vanne Ø200	Un	1	11524,62	11524,62
Goutteur réglable	Un	7248	3,5	25368
Bassin d'irrigation	DA/m <sup>3</sup>	110	5000	2200000
Fertiliseur	Un	1	23731,2	23731,2
<b>TOTAL</b>				<b>5632651,15</b>

**VII.2 Coût de la culture projetée:****Tableau VII. 2:** Estimation du coût de la culture projetée dans la parcelle P1 :

Cultures	prix/jour/Ha (DA)	surface occupée (Ha)	Montant (DA)
Olivier	114530	9,07	1038787,1

Le coût total est **6671438,25 DA**

**Conclusion :**

Après l'estimation des frais de projet on remarque que le cout est très élevé, et cette élévation due de l'utilisation du système d'irrigation goutte à goutte et les conduites PEHD.



## Conclusion générale

### **Conclusion générale**

À la fin de cette étude, nous constatons que les eaux épurées représentent une ressource alternative, renouvelable qu'il faudra l'exploiter dans le domaine d'irrigation des périmètres agricoles.

Le déficit hydrique marqué dans les dernières années et la pollution des eaux ont imposé la valorisation des eaux épurées de la station d'épuration de la commune de THENIA en irrigation de périmètre de 50 ha.

La protection de la santé publique et le rendement des cultures peuvent être assurées par une série des procédées, des analyses physicochimique et des mesures intégrées comprenant le traitement des eaux usées, la restriction des cultures et des techniques appropriées d'application des eaux épurées.

Le choix et le dimensionnement de notre réseau d'irrigation est adapté aux besoins en eau des cultures, type de sol et de la nature des eaux épurées.

# Références bibliographique

# Références bibliographique

[1] **FAO, 2003** : L'irrigation avec des eaux usées traitées, manuel d'utilisation.

[2] **François Brissaud** : Intérêt, bénéfices, et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, 1991 **Page 2**.

[3] **Office Nationale d'Assainissement**, Unité de Boumerdes.

[4] **M.L. COMPAORE**, Cours de micro irrigation, Mars 2003, **135 Pages**

[5] Cours de 4eme année, Irrigation et Drainage.

# ANNEXES

## Liste des annexes

**ANNEXE 1 :** Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures.

**ANNEXE 2 :** Coefficient culturel  $K_c$  de chaque culture.

**ANNEXE 3 :** Caractéristiques hydriques de quelques sols.

**ANNEXE 4 :** Guide d'estimation du pourcentage du sol humidifiée (P).

**ANNEXE 5 :** La série pluviométrique de la zone d'étude.

## ANNEXE 1

Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures

<b>Cultures</b>	<b>z (m)</b>
<b>Tomates</b>	<b>1 - 1,2</b>
<b>Cultures maraichères</b>	<b>0,3 - 0,6</b>
<b>Agrumes</b>	<b>1 - 1,2</b>
<b>Arbres fruitiers à feuilles caduques</b>	<b>1 - 2</b>
<b>Vigne</b>	<b>1 - 3</b>

## ANNEXE 2

### Coefficient culturel Kc de chaque culture

#### 2. COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc)

CULTURE	Stades de développement de la culture					Durée totale de la période végétative
	Initial	Développement	Mi-saison	Arrière saison	Récolte	
Banancier tropical	0.4-0.5	0.7-0.85	1.0-1.1	0.9-1.0	0.75-0.85	0.7-0.8
subtropical	0.5-0.65	0.8-0.9	1.0-1.2	1.0-1.15	1.0-1.15	0.85-0.95
Haricot vert	0.3-0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9-0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
sec	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.25-0.3	0.7-0.8
Chou	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.9-1.0	0.8-0.95	0.7-0.8
Coton	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.9	0.65-0.7	0.8-0.9
Raisin	0.35-0.55	0.6-0.8	0.7-0.9	0.6-0.8	0.55-0.7	0.55-0.75
Arachide	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.55-0.6	0.75-0.8
Maïs doux	0.3-0.5	0.7-0.9	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
grain	0.3-0.5*	0.7-0.85*	1.05-1.2*	0.8-0.95	0.55-0.6*	0.75-0.9*
Oignon sec	0.4-0.6	0.7-0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8-0.9
vert	0.4-0.6	0.6-0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
Pois, frais	0.4-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
Poivron, frais	0.3-0.4	0.6-0.75	0.95-1.1	0.85-1.0	0.8-0.9	0.7-0.8
Pomme de terre	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.2	0.85-0.95	0.7-0.75	0.75-0.9
Riz	1.1-1.15	1.1-1.5	1.1-1.3	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
Carthame	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.7	0.2-0.25	0.65-0.7
Sorgho	0.3-0.4	0.7-0.75	1.0-1.15	0.75-0.8	0.5-0.55	0.75-0.85
Soja	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.15	0.7-0.8	0.4-0.5	0.75-0.9
Betterave sucrière	0.4-0.5	0.75-0.85	1.05-1.2	0.9-1.0	0.6-0.7	0.8-0.9
Canne à sucre	0.4-0.5	0.7-1.0	1.0-1.3	0.75-0.8	0.5-0.6	0.85-1.05
Tournekol	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.7-0.8	0.35-0.45	0.75-0.85
Tabac	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.2	0.9-1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
Tomate	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.95	0.6-0.65	0.75-0.9
Pastèque	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.05	0.8-0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
Blé	0.3-0.4	0.7-0.8	0.5-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25	0.8-0.9
Luzerne	0.3-0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
Agrumes sarclés sans sarclage						0.65-0.75 0.85-0.9
Olivier						0.4-0.6

Premier chiffre : avec forte humidité (HR<sub>min</sub> > 70%) et vent faible (U < 5 m/sec).  
 Second chiffre : avec faible humidité (HR<sub>min</sub> < 20%) et vent fort (> 5 m/sec).

Source: Bulletin FAO d'Irrigation et Drainage n° 33, Tableau 18.

## ANNEXE 3

### Caractéristiques hydriques de quelques sols

Texture	Humidités pondérales en % du poids sec			Réserve utile volumétrique en mm/m
	à la rétention HCC	du flétrissement HPF	disponible HCC-HPF	
Sableuse	9 (6 à 12)*	4 (2 à 6)*	5 (4 à 6)*	85 (70 à 100)*
Sablo-limoneuse	14 (10 à 18)	6 (4 à 8)	8 (6 à 10)	120 (90 à 150)
Limoneuse	22 (18 à 26)	10 (8 à 12)	12 (10 à 14)	170 (140 à 190)
Limono-argileuse	27 (25 à 31)	13 (11 à 15)	14 (12 à 16)	190 (170 à 220)
Argilo-limoneuse	31 (27 à 35)	15 (13 à 17)	16 (14 à 18)	210 (180 à 230)
Argileuse	35 (31 à 39)	17 (15 à 19)	18 (16 à 20)	230 (220 à 250)



## ANNEXE 4

### Guide d'estimation du pourcentage du sol humidifié (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>i</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, Sd 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 5

### La série pluviométrique de la zone d'étude

mois	sept	oct	nov	déc	janv	fevr	mars	avr	mai	juin	juil	août	annuel
1980	2,7	50,9	77,7	238,1	40,5	60,3	39,9	54,1	44,5	4,6	0,3	23,2	636,8
1981	8,7	56,5	10	91,4	148,6	115,5	33,5	24,1	50,6	20	0,1	2,4	561,4
1982	49,4	95	206,7	118,6	3,7	81,1	36,9	11,2	8,5	0,6	14,5	6,4	632,6
1983	0	20,3	49,9	99,6	117,8	81,3	60,2	33	124,2	12,9	0	0	599,2
1984	23,9	254,2	40,7	124,7	103	34	217,1	9,1	111,2	0	0	0	917,9
1985	32,7	29,3	89,8	78,2	68,2	54,3	<b>151,2</b>	21,3	1,5	15,4	20,3	3,4	565,6
1986	<b>112,5</b>	28,6	96,8	<b>173,9</b>	92,2	132,7	14,2	0,4	12,4	19,4	3,6	0,8	687,5
1987	13,5	21,4	93,3	81,5	44,4	50,4	53,3	44,9	32,8	43,4	0	0,6	479,5
1988	37,9	27	64,2	179,6	42,9	24,9	24,2	96,9	6,8	10,1	0,7	3,7	518,9
1989	40,3	19,1	30,5	19,7	48,9	0	35,7	66,6	50,6	2,7	23,1	0	337,2
1990	7	53	52,2	106,7	53,8	99,9	47,3	27	18,5	7,1	0	1,9	474,4
1991	21,6	91,2	51,2	11,6	154,8	41	100,9	73,5	60,9	17	7,7	0	631,4
1992	15,3	68,4	139,7	103,7	17,8	127	36,2	68,6	37,9	1,2	2,1	2,5	620,4
1993	30,5	23,4	142,5	80,1	81,3	41,5	0,5	54,6	4,5	0	0	0	458,9
1994	79	66,2	38,9	88,4	171,1	39,8	106,5	46,8	0,2	0,1	0,2	43,2	680,4
1995	17,8	19	85,4	39,2	94,3	143,3	56,9	161,2	35,7	31,6	6,7	0,8	691,9
1996	37,7	86,2	27	34	46,8	23,6	9,4	94,8	22,3	10,3	9	33,3	434,4
1997	36,3	44,9	129,3	93	28,5	51,6	36,6	75,9	151,3	1,3	0	7,9	656,6
1998	21,8	49,4	102,7	81,8	120,8	128,4	86,4	47,3	1,1	1,5	0	3,6	644,8
1999	18,8	21,7	169,8	369	15,5	6	19,4	16,9	53,3	0,3	1,2	1	692,9
2000	4,2	46,9	73,7	40,8	125,7	73,3	0,4	33,5	27,1	1,2	0,1	3,3	430,2
2001	45,1	38,6	49,1	56,8	39,4	12,5	34,8	38,5	13,7	0,1	0	33,6	362,2
2002	11,5	42,9	145,1	101,6	198,5	132,8	21,8	86,8	19,9	0,2	0,2	27,6	788,9
2003	39,2	37,8	58,7	109,9	90,2	46,3	79,1	56,4	148,8	1,1	1,5	0,8	669,8
2004	11,9	42,6	115,9	108,5	85,7	114,9	50,1	25,9	1,1	0	0,9	0	557,5
2005	15,1	56,7	101,8	81	128,1	82,9	26,2	2,7	81,7	1,4	0,6	9,9	588,1
2006	38,1	17,4	21,3	192,6	9,6	60,1	152,1	60,1	16,1	10	2,4	18,2	598

2007	37,9	115,5	250,1	73,9	18,3	15,5	47	19,3	73,9	3	10,2	0	664,6
2008	27,1	71,6	144,2	99	141,9	23	64,9	70,7	33,4	0	0,8	13,6	690,2
2009	98	14,4	57,3	157,1	47,8	48,9	99	32,9	31,7	4,6	0	22,8	614,5
2010	11,3	142,9	117,3	92,8	66,6	135,4	33,8	78,3	70,4	13,9	0,4	5,6	768,7
2011	31,4	36,4	141,2	58,1	39,8	244,3	78,5	176,7	24,2	2,1	0,1	52,2	885
moy	30,57	55,92	92,94	105,78	77,70	72,70	57,94	53,44	42,84	7,41	3,33	10,07	610,638