

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

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

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception Des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME :

**Réutilisations des eaux épurées dans un périmètre
irrigué dans la région de Médéa à partir de la station
d'épuration**

Présenté par :

M^r : BENRITAB Billal

Promotrice :

M^{me} : S. LEULMI

Devant le jury composé de :

Présidente : M^r B. BENLAOUKLI

Examineurs : M^{me} A. AZIEZ

M^r R. REKROUK

M^{elle} H. BOUCHAMA

Octobre /2010

DEDICACES

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

✚ *A ma mère qui est un être cher et celle qui ma bercer d'un amour sincère.*

✚ *A mon père Brahim.*

✚ *A mes frères.*

✚ *A mes sœurs,*

✚ *A tous mes amis de l'ENSH ; spécialement (AMAR, AYOUB, MJIDO, IMED, FATHI, OMAR...)*

..... *BENRITAB Billal*.....

Remerciements

- *Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont apporté un soutien pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*
- *Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à ma promotrice M^{me} LEULMI Sonia, pour ces multiples efforts et ces apports précieux afin de mener ce travail à terme.*
- *Toute ma gratitude pour mes parents et mes sœurs et mes frères pour ses soutiens moraux et financiers.*
- *Je remercie Mme BAHBOUH et Mme AZIEZ pour sa disponibilité dans le laboratoire et de répondre à nos questions.*
- *Je remercie le président et les membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*
- *Je tiens à présenter pour l'occasion tout mon respect à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.*
- *Mes remerciements également à tout le personnel de l'ENSH.*
- *Enfin, à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin je leurs dis merci.*

ملخص

في هذا المشروع قمنا بدراسة كيفية تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط واد لحرش الواقع في ولاية المدية بالمياه انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة. لهذا الغرض قمنا بدراسة عامة لمختلف خصائص المنطقة من حيث المناخ و من حيث الخصائص المتعلقة بنوعية التربة.

Résumé

L'objectif de ce projet est la conception du réseau d'irrigation qui va alimenter en eaux usées traitées le périmètre de oued laherche à partir de la station d'épuration de Médéa.

Pour cela nous avons fait une étude générale sur les caractéristiques climatiques ainsi que la caractéristique des sols de la région.

Abstract

The objective of this project is the conception of the irrigation network that is going to nourish in worn-out waters treated the perimeter of oued laherche from the station of purification of Médéa.

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

Introduction générale

Sommaire

Chapitre I

Eaux usées et procédé d'épuration

Introduction :	1
I.1. Origine des eaux usées urbaines:	1
I.1.1. Les eaux usées domestiques :	1
I.1.2. Les eaux pluviales :	2
I.1.3. Les eaux usées industrielles :	2
I.1.4. Les matières de vidange :	2
I.2. Les paramètres caractéristiques des eaux usées :	3
I.2.1. Les matières en suspension, dissoutes et colloïdales :	3
Les matières en suspension :	4
I.2.2. Les matières organiques et les matières minérales :	4
I.2.3. Les matières biodégradables :	4
I.2.4. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	5
<input type="checkbox"/> Mesure de la DBO ₅ :	5
I.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :	6
<input type="checkbox"/> Mesure de la DCO :	6
<input type="checkbox"/> Rapport DCO/DBO ₅ :	6
I.2.6. Les matières azotées :	7
I.2.7. Les matières phosphorées :	7
I.2.8. Le pH :	8
I.2.8. La conductivité :	8
I.2.9. Les matières toxiques :	8
I.3. Composition des eaux usées :	9
I.3.1. Microorganismes :	9
<input type="checkbox"/> Les bactéries :	9
<input type="checkbox"/> Les virus :	10
<input type="checkbox"/> Les protozoaires :	10
<input type="checkbox"/> Les helminthes :	10
I.3.2. Matières en suspension et matière organique :	11

I.3.3. Substances nutritives :	11
I.3.4. Eléments traces :	12
I.4. Etapes et procédés de traitement des eaux usées :	12
I.4.1. Le relevage :	12
I.4.2. Les prétraitements :	13
a- Dégrillage :	13
b- Dessablage – déshuilage :	14
I.4.3. Le traitement primaire :	15
I.4.4. Les traitements secondaires :	16
I.4.4.1. Le procédé biologique :	17
<input type="checkbox"/> Les procédés intensifs ou artificiels :	17
<input type="checkbox"/> Les procédés extensifs ou naturels :	17
I.4.4.2. Le procédé physico-chimique :	18
I.4.4.3. Procédé d'épuration par oxydation alternée :	19
I.4.5. Les traitements complémentaires :	19
<input type="checkbox"/> Désinfection :	19
<input type="checkbox"/> Lagunage de finition :	20
<input type="checkbox"/> Filtration :	20
Conclusion :	20

Chapitre II

Réutilisation agricole des eaux usées

Introduction :	21
II.1. La planification:	21
II.1.1. Investigations préliminaires :	21
II.1.2. Identification du marché potentiel:	22
II.1.3. Evaluation détaillée :	22
II.2. Qualité des eaux usées pour l'irrigation :	23
II.2.1. Qualité chimique:	25
<input type="checkbox"/> Salinité :	26
•Salinisation :	27
•Chlore et sodium :	29

• le bor:.....	30
• sodisation:.....	31
□ Eléments traces et métaux lourds :.....	32
II.2.2. Qualité microbiologique :	34
□ Tendances récentes dans la définition des normes :.....	36
II.2.3. La concentration en éléments fertilisants :.....	36
□ Azote(N) :.....	37
□ Phosphore (P) :	37
□ Potassium (K) :.....	38
□ Autres nutriments :	38
II.3. Mesures de lutte sanitaire :.....	39
II.3.1. Traitement des eaux résiduaires :.....	39
II.3.2. Mesures professionnelles :	39
II.3.3. Choix des cultures :	40
II.3.4. Choix de la méthode d'irrigation:	41
II.3.4.1 Irrigation à la raie:	41
II.3.4.2- Irrigation par aspersion:	41
II.3.4.3 Micro irrigation:	42
II.4. Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation:.....	42
II.4.1. Avantages environnementaux :	42
II.4.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :	43
II.4.2.1. Effets sur le sol :.....	43
II.4.2.2. Effets sur les eaux souterraines :.....	43
II.4.2.3. Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues) :	44
II.4.2.4. Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion) :	44
Conclusion :	45

Chapitre III

Station d'épuration de Médéa

Introduction.....	46
III.1.1 .Caractéristiques de l'eau brute :	46
III.1.2. les normes des rejets :	46
III.1.3. Site réservé à la Station :.....	47

III 2.1. Principe de l'épuration biologique :	47
III.2.2.Filière de traitement adopté :	49
III.3.Description de la station d'épuration :	49
III.3.1.Déversoir d'orage :	50
III.3.2.Les prétraitements :	50
III.2.1.Grille grossière à nettoyage manuel :	51
III.3.2.2.Grilles mécanisées fine:	51
Bande transporteuse :	52
III.3.2.3.Grilles manuelles de by passe :	52
III.3.2.4.Dessableurs déshuileur :	52
III.3.3.Traitement biologique :	53
III.3.3.1Bassin de dénitrification :	53
III.3.3.2.Bassin d'aération :	54
Les équipements :	54
Tour de répartition :	55
III.3.3.3.Décantation secondaire :	55
III.3.3.4.Puisard a boues :	56
III.3.3.5.Recirculation des boues :	56
III.3.3.6Chloration :	57
III.3.4.Traitement des boues :	57
III.3.4.1.Epaississeur à boues:	57
III.3.4.2.Les lits de séchage :	58
III.3.5.Laboratoire: :	58
III.4.Analyses réalisées par le laboratoire de la station d'épuration:	59
III.4.1.les paramètres de pollution :	59
III.5.- Les paramètres analysés :	60
III.5.1.- Interprétation des résultats :	61

* Pour coefficient d'adsorption du sodium S.A.R:.....	62
Conclusion:.....	63

Chapitre IV Présentation du périmètre à irrigué

Introduction.....	64
IV.1.1. Localisation du site.....	64
IV.1.2. Situation Géographique.....	64
IV.1.3. Relief & Hydrographie :.....	65
IV.2. Les conditions climatiques.....	65
a) Précipitations.....	66
b) Nébulosité :.....	66
C) Les vents.....	67
d) Evaporation.....	68
d) Températures.....	68
e) La neige.....	69
f) Humidité.....	69
g) Grêle :.....	70
h) Gelée blanche.....	70
i) Sirocco.....	71
j) Orages.....	71
IV.3. Conditions Géologiques.....	71
IV.4.Représentation du diagramme de Gaussen : (voir figure N° IV.2).....	72
IV.5.1.Classification de climat :.....	74
IV.5.1.1.Classification du climat selon l'indice de MARTON:.....	74
IV.5.1.2. Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER :.....	75
Conclusion.....	77

Chapitre V besoins en eau des plantes

Introduction.....	78
-------------------	----

V.1. HYDROLOGIE	78
V.1.2Ajustement de la série pluviométrique :	78
Ajustement à la loi Normale :	78
V.1.3. Détermination de l'année de calcul :	81
V.2.1. Calcul de l'évapotranspiration (ETP) :	81
V.2.1.1 Application de la formule de BLANEY et CRIDDLE :	82
V.2.1.2. Application de formule de TURC :	82
V.2.1.3.. Méthode de M ^f Penman&Motheit modifiée :	84
V.3.1.Coefficient cultural k_c :	86
V.3. 2.Choix de l'E.T.P :	86
V.4.1.Calcul de la pluie efficace :	86
V.5.1.Les besoins en eau des cultures suivant le calendrier cultural :	88
V.4.2. Bilan hydrique.....	93

Chapitre VI Etude des schémas d'aménagement

VI.1. Caractéristiques pédologiques.....	94
VI. 1.1 Sols	94
VI.1.2 Aptitudes culturales	94
VI.2. Découpage du périmètre en îlots d'irrigation.....	94
VI.3. Les objectifs de production.....	95
VI. 3.1 Production future dans le périmètre.....	95
VI.3.2 Les assolements	95
VI.3.3 Occupation et taux d'occupation du sol :	95
VI.4. Système d'irrigation	96
VI.5.Efficience de l'irrigation:.....	96
VI.5.1-Efficacité de transport E_t :	97
VI.5.2-Efficacité de distribution E_d :	97
VI.5.3- Efficacité de l'uniformité E_u :	98
VI.6. Besoins en eau des assolements.....	98
VI.6.1. Besoins bruts en eau d'irrigation suivant l'assolement A et B :	99
VI.7. Débit caractéristique des assolements	100

CONCLUSION :	101
--------------	-----

Chapitre VII Adduction et réseau de distribution

INTRODUCTION :	102
VII.1. L'irrigation à la demande :	102
VII.2. L'irrigation au tour d'eau :	102
VII.2.1 Tour d'arrosage à la borne :	102
VII.2.2 Tour d'arrosage à l'antenne :	103
VII.3. Description et choix de la variante:	103
VII.4. Trace du réseau et positionnement des bornes.	105
VII.5 Calcul des débits.....	105
VII.5.1. Débit fictif continu.	105
VII.5.2. Débits aux bornes :	106
VII.5.3. Débit dans les tronçons :	106
VII.6. Calcul des diamètres des canalisations :	107
VII.6.1. Réseau de conduites enterrées en amont de la borne :	107
VII.6.2. Conditions de pression dans le réseau :	108
VII.7. Les ouvrages d'adduction :	112
VII.7.1. Conduite d'adduction gravitaire (STEP---Station de pompage)	112
VII.7.2 Station de pompage	113
VII.7.2.1 Dispositif anti-bélier :	114
VII.7.3 Réservoir de compensation :	115
VII.8. Appareillage d'équipement du réseau :	115
VII.8.1. Les bornes d'irrigation :	115
VII.8.2.1. Vannes.....	116
VII.8.2.2. Vannes de sectionnement :	116
VII.8.3. Ventouses :	116
VII.8.4. Vidange :	116
VII.8.5. Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air :	117
VII.8.6. Clapet de non retour :	117
VII.9. Ouvrage de Génie Civil :	117

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté de Pettygrove et Assano, 1988).	24
Tableau II-2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).....	26
Tableau II-3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation.....	28
(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977).....	28
Tableau II-4 : Rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage (exprimée en dS/m) ^(*)	28
Tableau II-5 : Concentrations en Na ⁺ et Cl ⁻ de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles ^(a,b)	29
Tableau II-6: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur	
l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable	30
Tableau II-7 : Limites recommandées ⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).	33
Tableau II-8 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)	35
Tableau II-10 : Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour une culture de tomate nécessitant un volume d'eau d'irrigation de 6500m ³ /ha.	37
Tableau II-11 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).....	39
Tableau II-12 : Application des recommandations du CSHPF.....	40
Tableau III-1 :Les données de base, sont les suivantes :	46
Tableau III-2 : Débits	46
Tableau III-3 : les normes des rejets	46
Tableau III-4 : relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux.....	47
Tableau III-4 : les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.....	60
Tableau III-6 : les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.....	61

Tableau IV.1 : Coordonnées de la station pluviométrique	65
Tableau IV. 2 : Répartition de la pluviométrie mensuelle donnée par la station.....	66
Tableau IV.3 Moyennes mensuelles et annuelles de la nébulosité (Octa).....	67
Tableau IV. 4 : Pourcentage du vent par direction	67
Tableau IV.05 : Moyenne mensuelles et annuelle de la force du vent-station de Médéa (Octa)	68
Tableau.IV.06 : Evaporation mensuelle et annuelle.....	68
Tableau IV.07 : Distribution mensuelle de la température de l'air au niveau de la station de Médéa (1994-2003).....	69
Tableau IV8 : Nombre moyen de jour de neige.....	69
Tableau IV.9 : Distribution mensuelle de l'humidité relative de l'air(1992-2003) (en %)	69
Tableau IV.10 : Nombre moyen de jours grêle.....	70
Tableau IV.11 : Nombre moyen de jours de Gelée	71
Tableau IV.12 : Nombre moyen de jours de sirocco	71
Tableau IV.13 : Nombre moyen de jours d'orage.....	71
Tableau .IV.14: précipitations et températures moyennes mensuelles	72
Tableau IV.15: classification de climat selon MARTON.....	74
Tableau V-1 : Ajustement à la loi de Gumbel.....	79
Tableau V-2: Pluviométrie moyenne pour chaque mois en mm.....	81
Tableau V-3:L'Année de calcul.	81
Tableau V-4 Calcul de l'ETP –Formule de BLANEY et CRIDDLE (avec $K_c=1$).....	82
Tableau V-5 Calcul de l'ETP –Formule de Turc (avec $K_c=1$).....	83
TableauV-6: Evapotranspiration de référence de la zone de projet selon Penman&Monteith	85
Tableau V-7 Choix de l'évapotranspiration.....	86

Tableau V-8 Les précipitations efficaces dans les zones de projet.....	87
Tableau V.9 : besoins en eau d'irrigation du blé dur.....	89
Tableau V.10 : besoins en eau d'irrigation du bersim.....	90
Tableau V.11 : besoins en eau d'irrigation des pommiers.....	91
Tableau V.12 : besoins en eau d'irrigation des vignes de table.....	92
Tableau VI.1 La signification des symboles des aptitudes concernées.....	94
Tableau VI.2 Occupation et taux d'occupation du sol.....	96
Tableau VI.3 Récapitulatif des principales cultures projetées au niveau du périmètre.....	96
Tableau VI.4 : Besoins en eau d'irrigation du périmètre Médéa.....	99
Tableau VI.5 Les besoins annuels nets en eau (m ³ /ha) des deux assolements.....	100
Tableau VI.6: Besoins nets et bruts en eau du périmètre du Médéa.	100
Tableau VI.7 : débit caractéristique de chaque assolement.....	100
Tableau VII.1 Vitesse limites supérieures et inférieures.....	108
Tableau VII.2 – Répartition des débits par tronçon.....	109
Tableau VII.3 – Répartition de la pression par Noeud.....	110
Tableau VII.4 : Caractéristiques des conduites de la variante d'adduction.....	113
Tableau VII.5 : Caractéristiques des pompes.	114
Tableau VII.6 choix de diamètre de la borne.....	116
Tableau VII.7 : Le choix de ventouses.....	116

LISTE DES FIGURES

Figure II-01 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède	12
Figure II-02 : Types de grilles	13
Figure II-03 : Schéma d'un dessableur-déshuileur	14
Figure II-04 : Racleur des graisse	14
Figure II-05 : Décanteur primaire et secondaire	16
Figure III-1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après United States Salinity Laboratory, U.S.S.L établie 1954).....	32
Figure III.1 : station d'épuration de la ville de Médéa.....	50
Figure III.2 : Déversoir d'orage de la STEP de la ville de Médéa.....	50
Figure III.3 : Grilles mécanisées fine de la STEP de la ville de Médéa	51
Figure III.4 : Dessableurs déshuileur de la STEP de la ville de Médéa	53
Figure III.5 : bassins d'aération de la ville de Médéa	54
Figure III.6 : Décantation secondaire de la STEP de la ville de Médéa	56
Figure III.7 : Bassin de chloration de la STEP de la ville de Médéa.....	57
Figure IV.1 : Carte de situation – Echelle 1/100000.....	65
Figure IV. 2 : Pourcentage du vent par direction.....	67
Figure IV.03 : Humidité relative de l'air (en %).....	70
Figure IV.4 : Carte géologique de la région de Médéa Echelle 1/100000	72
Figure IV.5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	73
Figure IV.6 :Diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....	76
Figure V-1 ajustement a la loi de Gembel.....	80

Figure VII.1 Schéma de la variante d'adduction retenue pour le périmètre d'oued laherache.....	104
Figure VII.2 Représentation graphique de la loi de débit	107
Figure VII.3 : SCHEMA DE CALCUL	111

LISTE DES PLANCHES

Planche 01. Réseau de distribution collectif d'irrigation sous pression du périmètre de Médéa	
Planche 02. profile en long du collecteur (stp-R) et (step-stp)	

Introduction générale

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

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

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

Dans ce cadre, on a mené cette étude sur un périmètre d'une superficie de 145.5Ha, localisé dans la région de Médéa. Il s'agit de concevoir un réseau d'irrigation sur ce périmètre afin d'éviter toute évolution négative sur le milieu récepteur. En effet, les eaux de la station d'épuration de Médéa seront mobilisées dans ce domaine Pour cela, il est envisagé des analyses physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux pour une éventuelle utilisation dans l'irrigation.

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

CHAPITRE I

Eaux usées et procédés d'épuration

Introduction :

Collectées par le réseau d'assainissement d'une agglomération, les eaux usées urbaines contiennent de nombreux éléments polluants, provenant de la population (eaux ménagères, eaux vannes, etc.) et des activités commerciales et industrielles.

Elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. Le but est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel (ou réutilisée pour différents usages) ne dégrade pas ce dernier. Le nettoyage des eaux usées obéit donc à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement.

I.1. Origine des eaux usées urbaines:

Il existe quatre types de pollution contre lesquels des moyens de lutte doivent être mis en œuvre :

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

I.1.1. Les eaux usées domestiques :

Constituant généralement l'essentiel de la pollution. Elles sont essentiellement porteuses de pollution Organique. Elles se répartissent en :

- Eaux vannes d'évacuation des toilettes, chargées de diverses matières organiques azotées et des germes fécaux.
- Eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain, généralement chargées de détergents, de solvants, de débris organiques, etc.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- de 70 à 90 grammes de matières en suspension.
- de 60 à 70 grammes de matières organiques.
- de 15 à 17 grammes de matières azotées.
- 4 grammes de phosphore ;

- plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

I.1.2. Les eaux pluviales :

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées de villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit « unitaire », les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement « délestage » de ce « mélange » très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

I.1.3. Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques sont bien évidemment directement liées aux types d'industries. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et qu'elles ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration.

I.1.4. Les matières de vidange :

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

Ces matières de vidange sont un concentré de pollution, leur rejet, inconsideré dans le milieu naturel accroît les risques de pollution. Il est indispensable de déterminer leur origine et leur bonne prise en compte lors de la conception de la station d'épuration.

Leur traitement simultanément à celui des eaux usées domestiques peut constituer une alternative intéressante dans la mesure où la station est équipée spécifiquement d'une fosse de réception de ces résidus.

I.2. Les paramètres caractéristiques des eaux usées :

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

- la vie aquatique est perturbée, voire impossible,
- les utilisations envisagées de l'eau sont restreintes ou même interdites.

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

- De leur aspect physique (matières en suspension, matières dissoutes).
- De leur composition chimique (matières organiques, matières minérales).
- De leur évolution dans la nature (matières rapidement biodégradables, matières difficilement biodégradables, matières non biodégradables).
- De leur impact sur les espèces vivantes (matières toxiques, matières non toxiques).

Les principaux paramètres de mesure de la pollution de l'eau sont les suivants : [1]

I.2.1. Les matières en suspension, dissoutes et colloïdales :

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

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

❖ Les matières en suspension :

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

lorsqu'elles sont chauffées à haute température (600°C); cette partie constitue la fraction organique, principalement biodégradable et est appelée Matières Volatiles Sèches (MVS).

Les teneurs en MES sont obtenues par deux techniques :

- La méthode par filtration puis séchage à 105°C ,
- La méthode par centrifugation puis séchage à 105°C.

I.2.2. Les matières organiques et les matières minérales :

Les matières organiques proviennent des êtres vivants (matières végétales ou animales, excréments, urines, ...) ou des produits fabriqués (papier, tissus, ...). On retiendra que les matières organiques sont principalement composées par : de l'hydrogène, de l'oxygène, du carbone, de l'azote, du phosphore, du soufre. A haute température (plus de 500°C), les matières organiques brûlent et se transforment en fumée.

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

I.2.3. Les matières biodégradables :

Les matières biodégradables représentent l'ensemble des composés transformables par des organismes vivants, essentiellement des bactéries. Cette transformation peut se réaliser en présence d'oxygène de l'air : on parle de "dégradation aérobie". Elle peut également survenir en absence d'oxygène "dégradation anaérobie". La plupart des matières biodégradables proviennent des matières organiques, alors que les matières minérales sont plus généralement non biodégradables.

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

Les matières organiques sont estimées par la quantité d'oxygène nécessaire à leur dégradation. Deux analyses sont utilisées : la DCO et la DBO5

I.2.4. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

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

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

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

❖ Mesure de la DBO₅ :

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

L'échantillon d'eau à analyser est dilué dans une eau saturée en oxygène. Après mélange, on mesure la concentration initiale T₀ en oxygène avant de fermer la bouteille et de la placer dans une enceinte à 20°C à l'obscurité. Après 5 jours, la mesure de la concentration finale T₁ en oxygène est effectuée. La valeur de la DBO₅ correspond à la différence des concentrations C₀ et C₁. ($DBO_5 = C_0 - C_1$).

UNITE : mg O₂ / l

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

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

I.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO appelée aussi "oxydabilité" représente la quantité d'oxygène consommée par oxydation chimique de la totalité des matières organiques et minérales dissoutes dans l'eau. Elle est basée sur la mesure de la quantité d'oxygène apportée par un

réactif chimique (oxydant) pour détruire toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables.

❖ **Mesure de la DCO :**

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

On mélange à l'eau à analyser une quantité volontairement excessive de réactif oxydant (bichromate de potassium). Pour que la réaction soit rapide et complète, on ajoute de l'acide sulfurique et on chauffe pendant deux heures. La DCO correspond à la différence entre la quantité d'oxydant initiale et celle subsistant après deux heures de réaction. UNITE : mg O₂ /l.

Dans une eau usée urbaine, la concentration en DCO est usuellement de l'ordre de 300 à 700 mg O₂/l.

[DCO] eau brute moyenne = 600 mg O₂/l

120 g DCO/EH/j

❖ **Rapport DCO/DBO5 :**

- la DCO est toujours supérieure à la DBO5.
- la DBO est une fraction de la DCO.

Plus cette fraction est importante, plus les bactéries seront efficaces dans la dégradation de la pollution. Pour vérifier cette caractéristique, on calcule le rapport entre la DCO et la DBO5, appelé rapport de biodégradabilité : $DCO/DBO5 =$ rapport de BIODEGRADABILITE.

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

I.2.6. Les matières azotées :

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

- Azote organique, constituant les cellules vivantes végétales ou animales.

- Azote ammoniacal NH_4^+ , qui provient de la décomposition par les bactéries de l'azote organique (Ammonification) ou des rejets directs d'animaux (urines, excréments).
- Les nitrites NO_2 , Ils sont souvent en quantité très faible car c'est une forme chimique très instable.
- Les nitrates NO_3^- (on parle aussi de l'azote nitrique). C'est une forme chimique stable.
- Azote gazeux N_2 , ce gaz est très peu soluble dans l'eau.

L'azote dans les eaux usées urbaines brute est très présent sous forme d'azote organique et ammoniacal. On constate le plus souvent l'absence de nitrite et de nitrate. Les formes minérales de l'azote, telles que l'ammoniac, les nitrites et nitrates sont en totalité en solution alors que les formes organiques peuvent se retrouver en suspension dans l'effluent. Une analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal. Cette analyse est notée AZOTE KJELDAHL (NK) : $\text{NK} = \text{Norg} + \text{N-NH}_4$

I.2.7. Les matières phosphorées :

On distingue :

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

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

I.2.8. Le pH :

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

stockage. Ces variations peuvent affecter le bon fonctionnement de l'épuration biologique.

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

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

I.2.8. La conductivité :

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

Unité : Siemens/cm ou mho/cm.

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

- ✓ Pour des eaux usées domestiques, on peut citer des valeurs moyennes de 900 à 1 300 m mho/cm. Il faut de plus noter que les traitements physiques ou biologiques n'ont que peu d'incidence sur ce paramètre.
- ✓ Des conductivités plus faibles peuvent être du à des eaux d'infiltration ou à des eaux pluviales.
- ✓ Des conductivités plus élevées peuvent être dues à l'infiltration d'eaux de mer, des raccordements industriels (fabrique d'anchois, de salaison ...), au salage des rues (dégel) ...

I.2.9. Les matières toxiques :

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

On peut sommairement citer :

- Les métaux tels le chrome, le cadmium, ...
- Les cyanures.
- Les désinfectants.

- Certains détergents.
- Les hydrocarbures
- Les produits trop acides ou trop basiques.

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

I.3. Composition des eaux usées : [2]

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

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

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

I.3.1. Microorganismes :

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

➤ Les bactéries :

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridium. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de $10^4/l$. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau, ce sont les coliformes thermotolérants.

➤ **Les virus :**

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

Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries et que leurs faibles dimensions soient...à...L'origine.de.leurs.possibilités.de.dissémination.

➤ **Les protozoaires :**

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

➤ **Les helminthes :**

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 /l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires.

I.3.2. Matières en suspension et matière organique :

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. C'est une étape simple dans la réduction de la charge

organique des eaux usées et de la teneur en germes pathogènes. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires.

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

I.3.3. Substances nutritives :

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

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

I.3.4. Eléments traces :

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le

mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain.

I.4. Etapes et procédés de traitement des eaux usées :

Les eaux usées ne doivent pas être réutilisées brutes. Un traitement est toujours nécessaire, différent selon le niveau de qualité exigé par le milieu récepteur et les usages de l'eau. Les objectifs principaux sont :

- ✓ Permettre le fonctionnement de l'irrigation, en réduisant les risques de colmatage.
- ✓ Éviter les mauvaises odeurs ;
- ✓ Éliminer les microorganismes pathogènes, chaque fois que la réglementation l'exige.
- ✓ Réduire la teneur en azote, quand la protection d'une nappe souterraine l'impose.

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques.

Le processus d'épuration comprend les étapes suivantes : [3]

I.4.1. Le relevage :

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

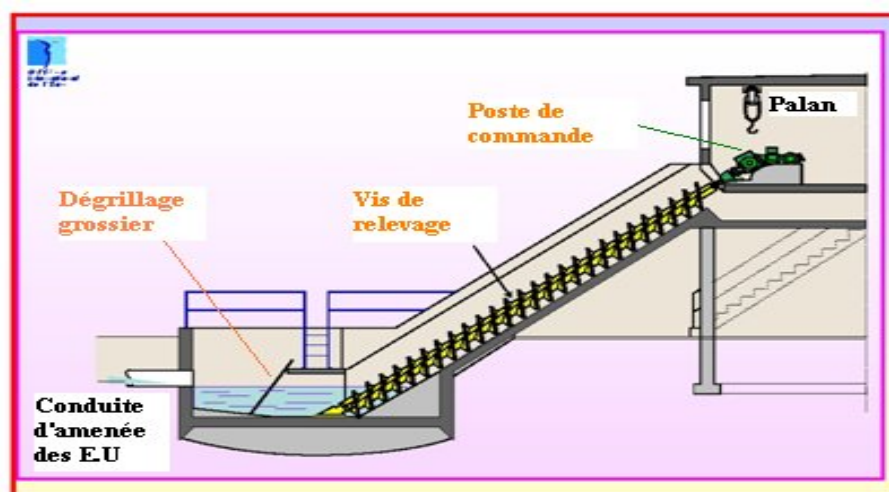


Figure II-01 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède

I.4.2. Les prétraitements :

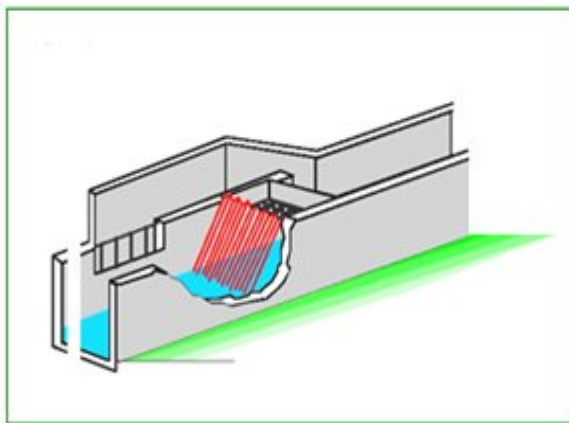
Les prétraitements consistent à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage), ainsi que des sables et des graisses (dessablage, dégraissage). Ce sont de simples étapes de séparation physique :

a- Dégrillage :

À l'arrivée à la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage (parfois un tamisage), permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer l'exécution, et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation.

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

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



-Dégrilleur manuel-



-Grille mécanique-

Figure II-02 : Types de grilles

b- Dessablage – déshuilage :

Le dessablage porte généralement sur des particules de granulométries égales ou supérieures à 200 μ m. Le dessablage et le déshuilage s'effectue dans un même bassin. L'ouvrage regroupe dans un même ensemble conique :

-Le dessaleur dans la partie inférieure du tronc conique ;

-Le déshuileur, aéré dans sa partie centrale est raclé mécaniquement par un écumeur pour extraire les graisses.

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

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

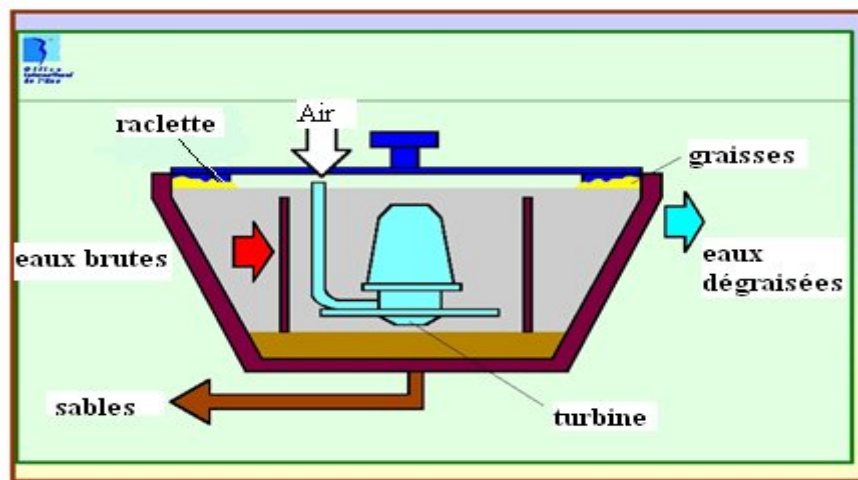


Figure II-03 : Schéma d'un dessableur-déshuileur



Figure II-04 : Racleur des graisse

I.4.3. Le traitement primaire :

Consiste Le traitement primaire en une simple décantation des eaux prétraitées permettant aux matières décantables de se déposer.

La décantation s'effectue dans des ouvrages qui peuvent être rectangulaires, carrés ou circulaires. Les plus courants sont les décanteurs rectangulaires et circulaires (à alimentation centrale).

La vitesse lente de l'eau permet le dépôt de matières en suspension au fond du décanteur. Cela constitue « les boues primaires fraîches » qui rejoindront les boues secondaires.

Cette étape primaire du traitement n'est pas obligatoire sur les stations d'une capacité inférieure à 2000 EqH. Sa nécessité est imposée par le choix de la filière retenue pour le traitement secondaire. Par ailleurs, elle est à l'origine d'une production de boues pour lesquelles un traitement est impératif.

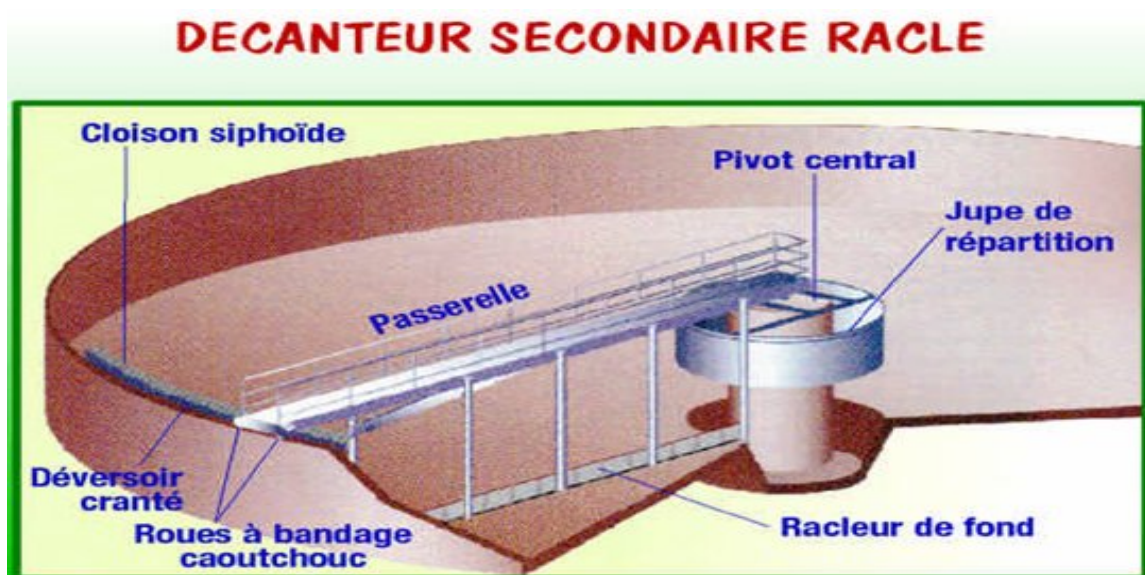
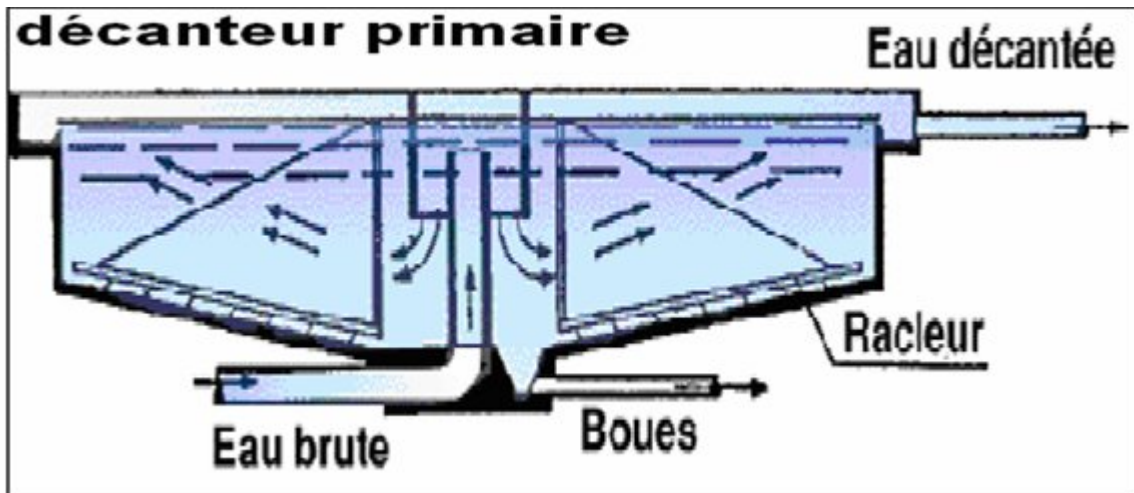


Figure II-05 : Décanteur primaire et secondaire

I.4.4. Les traitements secondaires :

Recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique.

Dans la majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique.

Les procédés membranaires combinent à eux des procédés biologiques et physiques.

Certaines installations ont toutefois recours à des filières de traitements physico-chimiques.

I.4.4.1. Le procédé biologique : [4]

Il permet la réduction de la pollution dissoute par l'action d'une masse bactérienne soit en suspension (culture libre), soit fixée sur un support (culture fixée).

En d'autres termes, les procédés d'épuration biologiques sont utilisés lorsque les éléments à éliminer sont sous forme soluble ou lorsque leur taille ne leur permet pas d'être piégés par les prétraitements et traitements physiques sauf au prix d'un conditionnement physico-chimique complémentaire. Ils permettent de faire passer les éléments présents sous formes soluble ou colloïdales en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut de nouveau séparer de la phase liquide. Parmi les divers organismes responsables des phénomènes biologiques, les bactéries sont les plus importantes et les plus nombreuses. La dégradation biologique s'accomplit en deux phases simultanées :

- * Une phase d'adsorption, très rapide, au cours de laquelle les substances organiques s'absorbent sur la membrane extérieure des cellules.
- * Une phase d'oxydation, plus lente, au cours de laquelle a lieu l'oxydation des matières organiques en produits de décomposition tels que CO_2 et H_2O .

Les principaux procédés d'épuration biologiques sont:

❖ Les procédés intensifs ou artificiels :

Dont le but est de décomposer de façon biochimique par oxydation les matières non séparables par décantation qui n'ont pas pu être éliminées par des procédés mécaniques des eaux usées. En même temps une nouvelle substance cellulaire se forme. La substance cellulaire a un poids spécifique qui est plus grand que celui de

l'eau d'égout et de ce fait une décantation est possible. Parmi ces procédés, on distingue :

- les lits bactériens.
- les disques biologiques.
- Boues activées.

❖ **Les procédés extensifs ou naturels :**

Où l'on distingue :

- le lagunage naturel ou aéré (étangs pour eaux usées).
- l'épandage des eaux (valorisation des eaux usées dans l'agriculture).

Dans la pratique, l'épuration biologique est mise en œuvre :

- Soit dans un seul et même ouvrage (cas du lagunage naturel)
- Soit dans deux ouvrages :
 - Le réacteur biologique (bassin d'aération, disque ou lit, lagune aérée) dans lequel l'eau usée est mise en contact avec la biomasse aérée artificiellement ou naturellement ;
 - Le clarificateur dont le rôle est de séparer l'eau épurée et la boue biologique. Dans le cas d'un lagunage aéré, le dernier bassin (non aéré) fait office de clarificateur.

I.4.4.2. Le procédé physico-chimique :

Il permet, par addition de réactifs chimiques, une élimination poussée des matières en suspension et des colloïdes contenus dans l'eau.

Ce procédé trouve son application dans le cas de rejet en mer, dans les communes à fortes variations saisonnières de population, en zone de montagne et pour le traitement spécifique d'effluents industriels.

Ce traitement génère des quantités importantes de boues dites physico-chimiques.

Le principe de ce procédé est basé sur une réaction de coagulation/floculation.

La coagulation consiste à déstabiliser les suspensions colloïdales :

- En neutralisant les charges superficielles des colloïdes (généralement négatives) par apport de charges de signe contraire (apport réalisé par l'injection d'un produit chimique).

- En générant un précipité qui permet d'éliminer le réactif introduit et les particules colloïdales.

Le produit utilisé dit « coagulant » est également un sel de fer ou d'aluminium.

Son introduction dans l'eau doit s'accompagner d'une agitation rapide afin d'assurer sa parfaite dispersion. La floculation, quant à elle, a pour but d'accroître par agglomération, le volume, le poids et la cohésion du floc formé. Ce grossissement est obtenu par la création d'une turbulence modérée afin d'augmenter les chances de rencontre du floc déjà formé. [5]

I.4.4.3. Procédé d'épuration par oxydation alternée :

L'oxydation alternée épure les eaux usées mais par un fonctionnement différent. Par définition, l'oxydation alternée a pour but d'oxyder l'effluent avec l'oxygène (O₂) pour détruire sa structure chimique en alternance.

Le système d'épuration biologique des eaux usées à oxydation alternée, se compose de certain nombre de train selon le dimensionnement, et chaque train est constitué de six (06) bassins compartimentés, car ce dernier est constitué des bassins suivants :

- 1- Bassin de Fermentation contrôlé ;
- 2- Bassin Anaérobie agité mécaniquement ;
- 3- Bassin d'Aération 1er Etage (Nitrification- Déphosphatation) ;
- 4- Bassin d'Aération 2eme Etage (Dénitrification) ;
- 5- Bassin Clarificateur (recyclage des boues) ;
- 6- Digestion aérobie des boues.

I.4.5. Les traitements complémentaires :

La sensibilité de certains milieux récepteurs, les besoins de potabilisation d'une eau, peuvent exiger des traitements épuratoires encore plus poussés.

Il s'agit notamment d'éliminer la pollution azotée et phosphorée responsable de nuisances particulières (eutrophisation, désoxygénation de l'eau, danger pour la santé...etc.).

Pour l'heure, l'élimination du phosphore est principalement réalisée par voie physico-chimique. Ces traitements associés au traitement biologique sont de mises en œuvre aisées et particulièrement efficaces. Toute fois, ils entraînent une surproduction importante de la quantité de boues et une modification de sa qualité.

Cet aspect doit être connu et étudié avant toute application. Pour remédier à ces inconvénients, une nouvelle technique est en train de voir le jour : l'élimination biologique du phosphore. L'azote contenu dans les eaux urbaines s'élimine par voie biologique simultanément à la pollution carbonée à condition que les paramètres de dimensionnement des ouvrages soient définis en conséquence.

D'autres traitements tels que la désinfection, l'affinage par filtration sur sable ou par lagunage peuvent également être mis en œuvre. [5]

❖ Désinfection :

Une décontamination microbiologique des eaux usées traitées est parfois mise en œuvre. L'effet recherché est un abattement significatif des germes indicateurs.

La désinfection est recommandée quand on veut réutiliser les eaux résiduaires pour l'arrosage au moyen de dispositif qui créent des aérosols.

Une désinfection chimique peut être envisagée. Le réactif le plus fréquemment utilisé est le chlore, qui nécessite, pour être efficace, le maintien d'une teneur résiduelle suffisante (0,1 mg/l) et un temps de contact minimal de 20mn.

L'effet désinfectant du chlore est d'autant plus net que le niveau d'épuration qui procède est élevé. En particulier l'élimination des MES doit être très poussée et une nitrification-dénitrification poussée est favorable à une désinfection au chlore (absence d'ammoniaque, donc absence de formation de chloramines). L'utilisation de dioxyde de chlore supprime cet inconvénient.

Les doses de chlore à appliquer sont :

- après traitement physico-chimique : 3-10 mg/l.
- après épuration biologique : 2 à 10 mg/l.
- après épuration biologique + filtration sur sable : 2 à 5 mg/l.

On peut également utiliser en désinfection le rayonnement UV mais ce procédé revient cher.

L'ozone, l'agent désinfectant très actif, est également utilisé en désinfection des eaux usées. Il nécessite un investissement important et le coût d'exploitation est élevé.

❖ Lagunage de finition :

L'intérêt principal des lagunes de finition réside dans la décontamination bactérienne. Un temps de séjour de 15 jours à 25°C permet d'abattre les germes tests de 10⁶/100ml à 10³/100ml.

❖ Filtration :

C'est un procédé principalement physique permettant d'éliminer de 50 à 80% de MES et de 30 à 40% de la pollution organique carbonée résiduelle.

Cette filtration se fait au travers de filtres à sable d'une hauteur de 1 m à 1,5 m (taille du sable : 0,95-1mm), les vitesses appliquées peuvent aller de 5 à 30 m/h.

Enfin, il faut savoir qu'après ces différentes étapes de traitement que subissent les eaux usées, résultent les boues résiduelles, sous-produit de l'épuration, et qui sont susceptible d'être source de nuisances divers (risques de contamination des eaux, odeurs...etc.).

Leur évacuation, devant satisfaire au respect de l'hygiène publique de l'environnement impose au préalable un traitement de « stabilisation », indispensable pour réduire la fraction organique fermentescible contenue dans ces boues.

Le choix de la destination des boues va permettre de déterminer les traitements complémentaires à mettre en œuvre : épaissement et déshydratation permettant leur réduction de volume.

Conclusion :

Vu la composition des eaux usées brutes, leur rejets direct dans le milieu naturel accroît les risques de pollution ainsi que la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation par exemple.

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

CHAPITRE II

Réutilisation agricole des eaux usées

Introduction :

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau. En revanche l'irrigation continue et incontrôlée par des eaux d'égouts pose de sérieux risques pour la santé, du fait que les eaux d'égouts contiennent une charge polluante chimique toxique, et sont porteuses d'excrétas pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, œufs d'helminthe, vers...etc.) responsables des infections gastro-intestinales chez les humains, aussi cette irrigation peut causer des problèmes sur l'environnement.

D'autre part, l'impact, surtout sanitaire, de cette réutilisation passe via les mécanismes de formation des eaux usées (domestique, industrielle,...) ce qui nous permet de savoir la composition biologique, chimique et physique de cette eau. L'étude des formes de réutilisation, nous permettent de détecter les différentes formes de danger (microbiologique, chimique,...etc.) menaçant la santé humaine.

Par ailleurs, des problèmes sérieux sont imposés, on doit donc agir et trouver des solutions immédiates et efficaces pour éviter toute menace. Il est donc indispensable de respecter les normes de rejet (réutilisations O.M.S. 1989), et opter pour des procédés de traitement efficaces des eaux usées, avant leur réutilisation.

II.1. La planification:

La planification d'un projet de réutilisation des eaux usées comprend une phase d'investigation préliminaire, une phase d'identification du marché potentiel et une phase d'évaluation détaillée. [6]

II.1.1. Investigations préliminaires :

C'est la phase d'information qui, sur base d'éléments physiques, biologiques, économiques et légaux, doit montrer la justification et la viabilité du projet de réutilisation. Cette phase doit être approchée avec une vue d'ensemble. L'exploration de toutes les possibilités de réutilisation pendant cette phase préliminaire doit

permettre d'établir le contexte réel du projet et éviter de s'engager vers des solutions non pertinentes.

Les points à prendre en considération dans cette phase sont les suivants :

- Ressource en eau usée ;
- Le marché potentiel des eaux épurées ;
- Les considérations de santé publique associées à la réutilisation et leur prise en charge.
- Impact environnemental potentiel.
- Combinaison entre la réutilisation et l'utilisation des autres ressources en eau de la zone.
- Loi ou réglementation existante ou projeté qui s'applique à la réutilisation dans la zone.
- L'administration qui doit approuver et suivre le projet.
- La responsabilité légale du fournisseur ou de l'utilisateur des eaux épurées.
- Source de financement disponible pour soutenir le projet.

II.1.2. Identification du marché potentiel:

L'objet de cette phase est de comparer le coût unitaire de l'eau claire et le coût de l'eau épurée. La valeur et l'intérêt porté à l'eau épurée dépendra :

- de la qualité d'eau à fournir en fonction des besoins des agriculteurs.
- de la quantité d'eau disponible et la capacité de suivre les fluctuations de la demande.
- des effets de la législation.
- du coût actuel ou futur de l'eau claire.

La réponse à toutes ces interrogations demande des études détaillées.

II.1.3. Evaluation détaillée :

Les volets de cette phase sont :

- La qualité de l'eau nécessaire pour satisfaire chaque type d'utilisation et quelle fluctuation de la qualité est tolérée.
- La demande journalière et saisonnière.
- Les risques liés à la qualité des eaux et comment s'en prémunir.

- Les autres éléments apportés par les eaux usées, en plus de l'eau.
- Les précautions à prendre pour éviter tout risque de pollution.
- Nécessité ou non d'un système de stockage.
- Choix entre le pompage et le stockage pour mieux satisfaire les fluctuations de la demande.
- La prise en charge du coût d'un traitement complémentaire s'il est nécessaire.
- L'utilisation des eaux épurées forcera t-elle les agriculteurs à modifier leur pratique d'irrigation.

L'utilisation de l'eau usée peut donner des résultats agronomiques très favorables. Les schémas d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, en plus de rendement agricole accru.

II.2. Qualité des eaux usées pour l'irrigation :

Les eaux usées contiennent habituellement des constituants non désirables tels que les éléments traces et pathogènes mais contiennent également des composants organiques et des éléments nutritifs (N, P et K) utiles pour l'agriculture.

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets réutilisation agricoles des effluents. Ces constituants sont représentés dans le tableau II-1. [6]

Tableau II-1 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté de Pettygrove et Assano, 1988).

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Solides en suspension	Solides en suspension	Ils peuvent causer le dépôt de boues et l'apparition de conditions anaérobies lorsque les EU sont déversés dans l'environnement aquatique. Les MES colmatent les systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande biochimique en oxygène, Demande chimique en oxygène	Leur décomposition biologique peut causer la diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et le développement de conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs de contamination fécale, coliformes fécaux et totaux.	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les pathogènes dans les eaux usées : bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, phosphore, potassium.	Ces nutriments sont essentiels pour la croissance des plantes. Lorsque les EU sont déchargés dans l'environnement, azote et phosphore peuvent causer la croissance d'une vie aquatique non désirable. L'application en quantité excessive de l'azote sur les terres, peut polluer la nappe souterraine.

Tableau II-1 (suite) :

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Composants organiques spécifiques	Composants spécifiques (ex : phénols, pesticides)	Certains Composants organiques sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale des eaux usées est pH= 6.5÷8.5 mais les déchets industriels peuvent altérer le pH des eaux usées.
Métaux lourds	Eléments spécifiques (ex : Cd, Zn, Ni, Hg)	Certains métaux lourds qui se trouvent présent dans les eaux résiduaires peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter les cultures irriguées.
Inorganiques dissous	Solides totaux dissous, conductivité électrique, éléments spécifiques (ex : Na, Ca, Mg, Cl, B)	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. Des ions spécifiques tels que Cl, Na, B sont toxiques pour certaines plantes. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité des sols.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Une quantité excessive de Chlore libre (> 0.5mg Cl ₂ /l) peut causer des chloroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Toutefois la plupart du chlore dans les EU est sous formes combinée, et ne cause pas trop de dommages aux plantes.

II.2.1. Qualité chimique:

Les caractéristiques de qualité chimiques et physiques sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. A cet égard, les directives générales présentées dans le Tableau II-2 peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des

fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques.[6]

Tableau II-2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).

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

Source : FAO 1985

❖ Salinité :

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. On estime que la

concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques 200 mg/l.

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité de l'eau peut être élevée avec pour conséquence une utilisation en irrigation limitée. Il est possible, dans certaines marges, d'adapter l'irrigation à la salinité de l'eau en jouant sur les doses appliquées et les systèmes d'irrigation. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et Westcot, 1985).

• **Salinisation :**

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage; ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. RICHARDS, en 1969, a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Tableau III-3). La tolérance de quelques plantes vis-à-vis de la salinité de l'eau d'irrigation est reportée au Tableau III-4.

Tableau II-3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation
(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977)

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
I. Excellente	< 0,25	< 160
II. Faibles salinité	0,25 - 0,75	160 - 500
III. Forte salinité	0,75 - 2,25	500 - 1 500
IV. Très forte salinité	2,25 - 5	1 500 - 3 600

Tableau II-4 : Rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage (exprimée en dS/m)^(*)

Culture		Rendements				
		100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
Orge	CE	5.3	6.7	8.7	12	19
Blé		4.0	4.9	6.3	8.7	13
Maïs		1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Sorgho		4.5	5.0	5.6	6.7	8.7
Betterave sucrière	CE	4.7	5.8	7.5	10	16
Tomate		1.7	2.5	3.4	5.0	8.4
Concombre		1.7	2.2	2.9	4.2	6.8
Choux		1.2	1.9	2.9	4.6	8.1
Pomme de terre		1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Oignon		0.8	1.2	1.8	2.9	5.0
Luzerne		1.3	2.2	3.6	5.9	10
Féтуque		2.6	3.6	5.2	7.8	13

(*) Adapté de Mass et Hoffman (1977) et Mass (1984).

Ces données sont uniquement indicatives. Les tolérances absolues varient en fonction du climat, des conditions de sol et des pratiques culturales.

En dessous de 700S/cm, il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité; entre 700 et 3 000S/cm, le maintien des rendements est encore possible avec des façons culturales adéquates.

Quand une tendance à l'enrichissement en sels de la solution du sol menace les rendements culturaux, elle doit être compensée par des irrigations supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner la solution du sol excessivement enrichie en ions en dessous de la zone racinaire. Des abaques permettent de déterminer le taux de lessivage en fonction de la tolérance au sel de la culture et de la salinité de l'eau appliquée. Bien entendu, le projet de réutilisation doit se soucier de l'évacuation de l'eau de lessivage.

Si la perméabilité du sol n'est pas Suffisante ; un Drainage doit être prévu.

Le choix du mode d'irrigation doit tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage. L'irrigation à la raie est déconseillée; au contraire, l'irrigation par submersion ou l'irrigation localisée donnent de bons résultats. [7]

- **Chlore et sodium :**

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

Tableau II-5 : Concentrations en Na^+ et Cl^- de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles ^(a,b)

Concentration en Na^+ et Cl^- (meq/l^(c)) à partir desquelles on observe des brûlures des feuilles^(d)			
moins de 5	5 - 10	10 - 20	plus de 20
Amandier	Raisin	Orge	Choux fleur
Abricotier	Pommes de terre	Blé	Betterave sucrière
Agrumes	Tomate	Concombre	Tournesol
Prunier	Gazons de golf	Sorgho	

^(a) Données de Maas.

^(b) Susceptibilité basée sur l'absorption directe des sels par les feuilles.

^(c) la concentration de Na ou Cl en meq/l peut être calculée en divisant les mg/l par le poids moléculaire de Na (23) ou Cl (35,5). (meq/l = mg/l x poids moléculaire)

^(d) Le dommage causé aux feuilles est influencé par les conditions environnementales et de culture. Ces données sont présentées uniquement en tant que guide pour l'irrigation par aspersion.

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

La plupart des arbres et autres plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faible dose, alors que la plupart des cultures annuelles le sont moins. Les cultures très sensibles peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol à partir de 1 meq/l

Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. C'est particulièrement vrai pour le Cl et le Na. Quelques valeurs de tolérances au chlore et au sodium sont données au Tableau III-5. Les risques sont moindres avec des irrigations nocturnes.

Quand les eaux réutilisées ont été chlorées et que le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par

aspersion. Mais le chlore résiduel libre (HOCl, OCl-, Cl₂) est très réactif et instable dans l'eau ; il suffit alors de stocker l'eau quelques heures dans un réservoir ouvert pour l'éliminer. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable. La plupart des projets d'irrigation ne devraient pas rencontrer ce problème s'ils utilisent un réservoir de stockage intermédiaire ; mais il est important de redoubler de précautions si ce réservoir est court-circuité et que l'effluent est directement utilisé.[10]

• **Le Bore :**

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. A des concentrations très faibles, le bore est indispensable à la croissance des végétaux, ces besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées ; mais lorsque sa concentration excède 1 mg/l, il peut être toxique pour les plantes les plus sensibles (Tableau II-6).[10]

Tableau II-6: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable

Sensible (0,3 - 1 mg de B/l)	Tolérance moyenne (1 - 2 mg de B/l)	Tolérant (2 - 4 mg de B/l)
Agrumes	Poivron	Carotte
Avocatier		
Abricotier	Avoine	Laitue
Pêcher	Petit pois	Choux
Cerisier	Maïs	Navet
Figuier	Blé	Oignon
Raisin	Orge	Luzerne
Pommier	Radis	Betteraves
Pêcher	Tomate	Asperge
Prunier	Tournesol	
Artichaut		

(Source : Shainberg et Oster, 1978)

❖ Sodisation :

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines.

D'autre part, à proportions égales de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée.

Le SAR défini comme égal à $\text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2}$, (Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} étant exprimés en meq/l) peut être ajusté pour mieux tenir compte du calcium susceptible de demeurer sur le sol après une irrigation. L'U.S. Salinity Laboratory a proposé un diagramme qui, à partir des valeurs du SAR et de la conductivité, classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de salinité. [10]

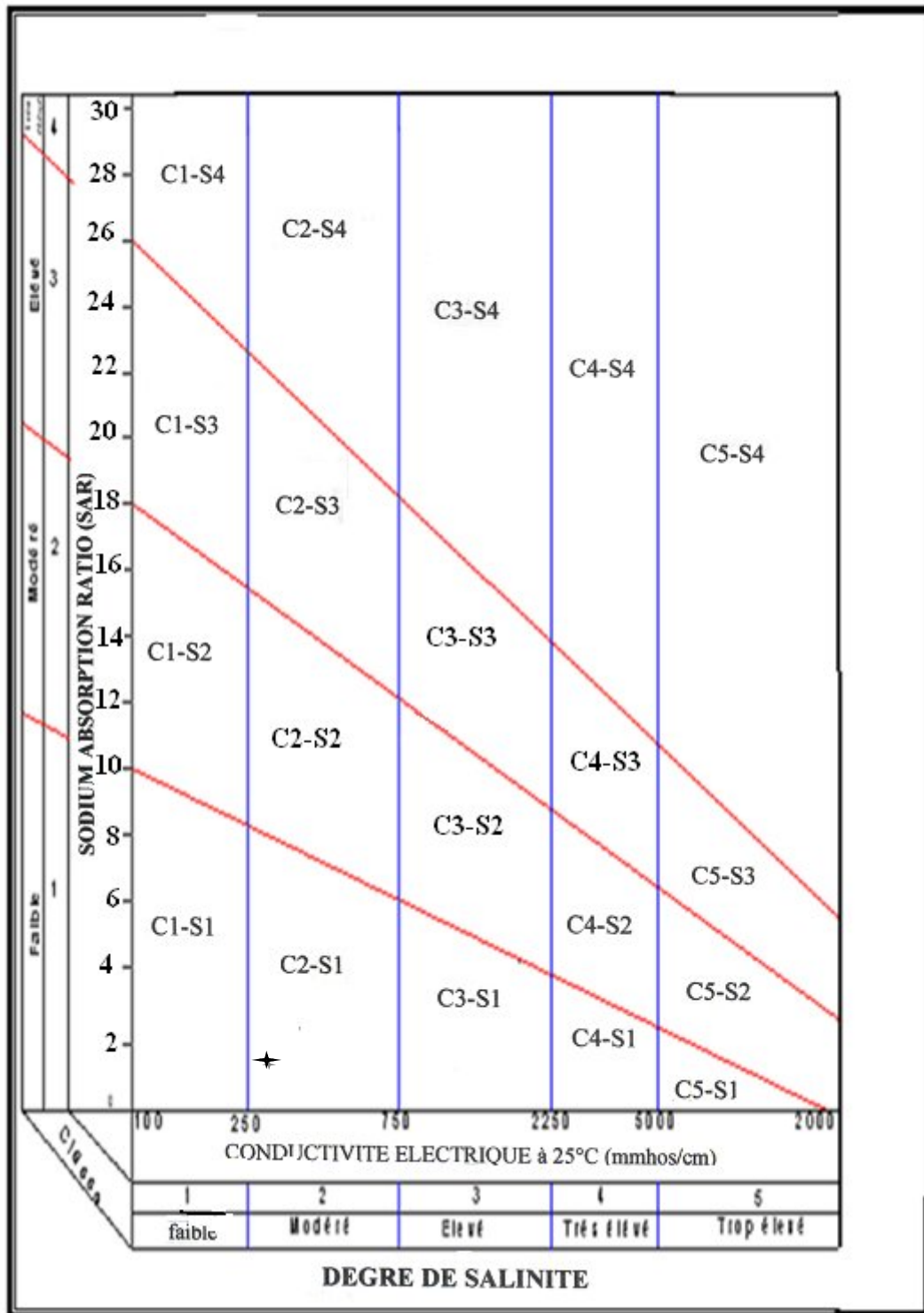


Figure III-1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après United States Salinity Laboratory, U.S.S.L établie 1954)

❖ **Éléments traces et métaux lourds :**

Les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions.

Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont {Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Molybdène (Mo), Nickel (Ni) et Zinc (Zn)}. Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques. Au contraire, le molybdène et, surtout, le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité.

Les concentrations maximales en éléments traces recommandées dans les eaux d'irrigation sont reportées dans le Tableau II-7. Il faut toutefois garder en mémoire que, sauf exception (établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement), les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Il reste cependant prudent, afin d'éviter tout risque, de suivre la qualité des eaux recyclées et de tenir compte de leur composition dans le choix des cultures arrosées. [2]

Tableau II-7 : Limites recommandées⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).

Elément (symbole)	Eaux utilisées en permanence tous types de sol mg/l	Utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols à texture fine ayant un pH de 6 à 8,5 mg/l
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2;0
Beryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	0	2,0
Cadmium (Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt (Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluorure (F)	1,0	15,0

Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li) ⁽²⁾	2,5	2,5
manganèse (Mn)	0,2	10,0
Molybdène (Mo)	0,01	0,05 ⁽³⁾
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

(Source: National Academy of Engineering, 1973)

⁽¹⁾ Ayers et Westcoc, 1985.

⁽²⁾ La concentration maximale recommandée pour l'irrigation des agrumes est de 0,075 mg/l.

⁽³⁾ Uniquement pour des sols acides à texture fine ou des sols acides à teneur relativement élevée en Oxyde de fer.

II.2.2. Qualité microbiologique :

Les recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) relatives à la REU en agriculture, distinguent trois catégories d'eau, A, B et C, sur la base de critères microbiologique (Tableau II-8). Les deux micro-organismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est justifié par des considérations épidémiologiques (Shuval et al. 1986) et pour des raisons de facilité analytique.

Les directives de l'OMS diffèrent de l'approche « risque zéro » établie aux Etats-Unis. Elles ont été basées sur des données épidémiologiques considérant que la présence d'un agent pathogène dans l'environnement est insuffisante pour déclencher la maladie.

Les directives de l'OMS recommandent pour une irrigation non restrictive :

- ✓ l'élimination complète (ou quasi) des Helminthes intestinaux, avec une moyenne < 1 œuf par litre d'eau ;
- ✓ une élimination importante des bactéries pathogènes, avec une valeur moyenne < 1000 CF/100 ml.

Pour l'irrigation restrictive on insiste uniquement sur l'élimination des Helminthes.

Dans les pays où n'existent pas de normes plus contraignantes, les eaux usées traitées qui respectent les directives de qualité de l'OMS pour une utilisation non restrictive (catégorie A) peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures sans mesure supplémentaire de protection de la santé (OMS, 1989). [6]

Tableau II-8 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)

Catégories	Conditions de réalisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux (nbre d'œufs / l) moyenne arithmétique	Coliformes fécaux (nbre/ 100ml) moyenne géométrique^b	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation des cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^(c)	Ouvriers agricoles Consommateurs, Public	≤ 1	$\leq 1000^{(d)}$	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent.
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres ^(e)	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux.
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

- (a). Espèces Ascaris, Trichuris et ankylostomes.
- (b). Pendant la période d'irrigation.
- (c). Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (d). Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.
- (e). Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

❖ **Tendances récentes dans la définition des normes :**

La réglementation régissant les normes microbiologiques de la REU est en voie de révision compte tenu des données récentes en épidémiologie, de l'amélioration du niveau moyen d'hygiène enregistré dans chaque pays et des performances épuratoires des procédés de traitement.

Par ailleurs, sur la base de données épidémiologique, les directives de l'OMS sont en révision. Il a été considéré que la directive < 1oeuf de nématode par litre pour une irrigation non restrictive est suffisante pour protéger le consommateur des produits irrigués par aspersion avec des effluents de qualité adéquate à une température élevée, mais pas nécessairement suffisante pour assurer la protection du consommateur de produits irrigués par gravité avec le même effluent à des températures élevées. Il est évident que les conditions climatiques jouent un rôle important dans la survie et le développement des formes infestantes du parasite.

La nouvelle proposition de directive pour la REU en Méditerranée tient compte des données actuelles en épidémiologie et des directives et réflexions engagées par les pays méditerranées et les organisations internationales. [6]

II.2.3. La concentration en éléments fertilisants :

Si la concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur des eaux usées, il n'en est pas moins vrai que les éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée et/ou un apport d'eau usée élevée.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn...) sous forme soluble, directement disponibles pour la plante. L'apport de nutriments des eaux usées à chaque irrigation représente une sorte de fertigation : c'est l'application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation. Cette technique est économiquement intéressante car elle réduit le coût de la fertilisation.

Les éléments minéraux (azote, phosphore, potassium) contenus dans les effluents se présentent généralement en quantité qui dépassent souvent les besoins des cultures. Ces excès peuvent entraîner des anomalies telles que la croissance végétative excessive en retardant la maturité et l'altération de la qualité des produits. [6]

✓ Azote(N) :

Certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond.

A titre d'exemple, le Tableau II-10 montre que la quantité d'azote total apportée à une culture de tomate irriguée avec des eaux usées urbaines provenant de la ville d'Ouarzazate (Maroc), dépasse les besoins de cette plante.

Tableau II-10 : Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour une culture de tomate nécessitant un volume d'eau d'irrigation de 6500m³/ha.

Eléments minéraux	Eau usée brute	Eau usée épurée	Besoins théoriques
N	334	225	175
P	145	99	75
K	155	111	175

(Source : Xanthoulis, 1996)

✓ Phosphore (P) :

Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes les plantes. La teneur en phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. Un excès de phosphore dans l'eau d'irrigation ne pose pas de problèmes. Il n'existe pas de valeur indicative pour estimer la valeur du phosphore en excès.

Pour l'établissement d'un programme de fertilisation, l'évaluation du phosphore dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en conjonction avec les analyses de sol.

✓ **Potassium (K) :**

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou sur la santé. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O). Cette concentration doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.

✓ **Autres nutriments :**

La plupart des eaux usées contiennent suffisamment de Soufre, Zinc, Cuivre et d'autres micronutriments pour corriger les déficiences du sol au bout de trois ans d'irrigation. Par ailleurs, pour éviter les effets toxiques sur les plantes, les valeurs maximales des micronutriments ne doivent pas dépasser certaines valeurs recommandées (Ayers et Westcoc, 1985). Une attention particulière doit être portée au Bore. L'eau usée traitée contient assez de Bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément. Cependant, lorsque cet élément se trouve en excès, il peut provoquer des problèmes de phytotoxicité. La toxicité du Bore est difficile à éliminer car sa teneur n'est pas affectée par le traitement des eaux usées.

En somme, en terme de fertilisant, une eau usée épurée est caractérisée souvent par son pouvoir nutritif, exprimé par le NPK.

Pour certaines concentrations typiques de N, P et K, les quantités des nutriments correspondant appliquées par hectare avec une irrigation de 1000 mm d'eau usée sont données à titre indicatif par le Tableau II-11 de la FAO, ci-après. Évidemment, l'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée. Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins en eau des cultures. [7]

Tableau II-11 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).

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

II.3. Mesures de lutte sanitaire :

Plusieurs mesures de lutte sanitaire existent pour limiter les risques liés à l'utilisation des eaux usées en agriculture (Mara et Caincross, 1988). Parmi ces mesures, le traitement des eaux usées résiduaires, les mesures professionnelles, la restriction des cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces. Une combinaison de ces mesures, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire optimale. [6]

II.3.1. Traitement des eaux résiduaires :

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. A cet égard, 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 opérationnels et d'entretien minimaux.

L'efficacité des procédés d'épuration est fortement liée à la conception des ouvrages et leur modalité d'exploitation.

II.3.2. Mesures professionnelles :

Les mesures dépendront fortement du degré d'exposition et de la résistance des groupes visés :

- Les ouvriers agricoles.
- Les consommateurs.
- Le grand public.
- Les habitations limitrophes des champs.

Sur ce sujet on propose le Tableau II-12 établie par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, 1991).

Tableau II-12 : Application des recommandations du CSHPF.

Nature des activités à protéger	Niveau de qualité		
	A	B si aspersion maîtrisant les aérosols	C et D
Habitations	50 m si aspersion	100 m	–
Voies de circulation	50 m si aspersion	50 m	–
Milieu hydraulique superficiel	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture et aquaculture	50 m	200 m	300 m
Baignades	50 m	100 m	200 m

II.3.3. Choix des cultures :

Le choix des cultures est en étroite dépendance avec la qualité de l'effluent. Ainsi, cet aspect est en relation directe avec les normes de qualité. Les eaux épurées qui répondent à la qualité A de la directive de l'OMS (< 1000 coliformes fécaux par 100 ml et < 1oeuf de nématode par litre), peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures. Dans le cas où ce niveau de qualité n'est pas atteint, il s'impose de procéder au choix adéquat des cultures qui n'induisent pas de risques sanitaires pour l'agriculteur, les ouvriers et le consommateur.

Voici une classification des cultures par risques décroissants de transmission de pathogènes, si celles-ci sont irriguées avec un effluent traité (FAO, 2000). Les cultures irrigables avec les eaux de catégorie B et C – sauf réglementation nationale contraire – et les mesures de protection sanitaire nécessaire sont indiqués dans le tableau II-8. Quelle que soit la méthode d'irrigation utilisée, les cultures du haut de la liste présentent le plus grand risque. Et celles en bas de la liste, les risques minimums :

- 1- légumes mangés crus ;
- 2- légumes mangés cuits ;
- 3- plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres ;
- 4- arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés ;
- 5- pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public ;

- 6- arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés ;
- 7- pelouses et d'autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité ;
- 8- cultures fourragères ;
- 9- arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires ;
- 10- cultures industrielles ou grandes cultures.

Il est évident que la restriction des cultures implique de grands risques en cas d'absence de contrôle et d'autorisation légale. L'agriculteur doit être informé du bien fondé de la restriction des cultures et des pratiques agricoles qui tiennent compte de la qualité de l'effluent.

II.3.4. Choix de la méthode d'irrigation:

II.3.4.1 Irrigation à la raie:

Ces techniques nécessitent des réglages de débits qui peuvent se faire à la pelle ou à la main.

Il y a donc de forts risques d'éclaboussures. Pour limiter les risques de contamination des techniciens par l'effluent, les recommandations suivantes sont à prendre en considération:

- l'emploi de gaines souples manœuvrables par chaînes.
- l'emploi de tuyaux enterrés ou de venettes : l'ouverture sera réglée une fois pour toutes pour que l'on n'ait plus de risques de contact avec l'effluent. On placera un clapet à l'extrémité de la conduite pour pouvoir la vidanger.

II.3.4.2- Irrigation par aspersion:

Les adaptations que l'on peut apporter au matériel vont avoir pour but de maîtriser au mieux l'aérosol. La quantité d'aérosol produite est d'autant plus grande et plus sensible au vent que la pression est forte, que la portée est grande, et que les gouttes sont fines.

Les adaptations proposées sont les suivantes:

- Favoriser des pressions minimales de fonctionnement, adopter des buses de fort diamètre.
- Utiliser des asperseurs ayant un angle de tir faible et donc une trajectoire tendue pour limiter la prise au vent. Les meilleurs angles de tir sont de 10° à 25° par rapport à l'horizontal.

- Si on utilise des rampes pivotantes ou frontales, on peut les équiper de cannes télescopiques fixées sur la rampe pour abaisser la tête d'arrosage en fonction de la hauteur de la culture, ou de buses dirigées vers le sol.

- Mettre en place des brise-vent:

La hauteur des arbres impose l'espacement entre les haies; ils créent une zone de protection contre les vents longue de 1 fois la hauteur en amont et de 15 à 20 fois celle-ci en aval.

Globalement, il faut placer les brises vents toutes les 20 hauteurs.

II.3.4.3 Micro irrigation:

Cette technique d'irrigation semble être la plus adaptée à la réutilisation des eaux usées. Par contre, du fait du faible diamètre des orifices des distributeurs, le réseau est très sensible aux colmatages par les matières en suspension et les développements organiques causés par les eaux usées.

C'est pourquoi il faut apporter une grande attention au choix des distributeurs car certains y sont plus sensibles que d'autres.

Parallèlement au choix des distributeurs, il faut prévoir :

- Un bout mort à l'extrémité de chaque rampe (environ 1 m), pour que, la vitesse de l'eau chutant, les particules sédimentent à cet endroit et non pas au niveau des derniers distributeurs de la rampe.
- Des valves de vidange, éventuellement automatique, aussi aux extrémités des rampes pour pouvoir effectuer des purges régulièrement et facilement.

II.4. Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation: [6]

II.4.1. Avantages environnementaux :

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt qu'à toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

la suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et

l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation, tels que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage réactif ;

- ✓ la sauvegarde des ressources en eau souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin ;
- ✓ la possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

II.4.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- ✓ l'introduction d'éléments chimiques, parfois en forte concentration, dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes) ;
- ✓ la propagation des micro-organismes pathogènes.

II.4.2.1. Effets sur le sol :

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- ✓ la salinisation.
- ✓ l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol.
- ✓ l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.
- ✓ l'accumulation de nutriments.

II.4.2.2. Effets sur les eaux souterraines :

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. Pour réduire et/ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés :

- établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée, avec lessivage minimum.
- sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux.
 - en cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale de plantes consommant les sels.
 - limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exacte en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par $\text{NO}_3\text{-N}$. Si N excède les besoins des cultures on doit alors :
 - sélectionner des cultures à besoins élevés en N.
 - choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible.
 - mélanger l'eau usée avec l'eau claire.
 - assurer la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

II.4.2.3. Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues) :

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée épurée peut provoquer des conditions favorables à l'eutrophisation lorsqu'elle est mélangée à l'eau des réservoirs destinés à l'irrigation. L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation.

II.4.2.4. Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion) :

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds. Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles.

Conclusion :

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

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

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

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

CHAPITRE III

Station d'épuration de Médéa

Introduction

La Station d'Epuration est prévue pour traiter les eaux usées de la ville de Médéa et ses environs. La construction et la mise en place des équipements électromécaniques de cette station se feront en deux phases permettant de traiter la pollution résultant d'une population équivalent de 162.500 en première phase (horizon 2010) et 195.000 en deuxième phase (extension horizon 2020).

L'horizon concerné par le présent marché est fixé à l'an 2010 soit 162.500 équivalent habitants.

III.1.1 .Caractéristiques de l'eau brute :

Tableau III.1 :Les données de base, sont les suivantes :

Type de réseau	Unitaire	Unitaire
Nature des eaux brutes	Domestique	Domestique
Population raccordée	162.500 Eq.H	195.000 Eq.H

TableauIII.2: Débits

ONA de Médéa

- journalier	26.000	m3/j	39:000	m3/j
- moyen	1.083	m3/h	1.625	m3/h
- pointe temps sec	1.776	m3/h	2.633	m3/h
- pointe par temps de pluie	3.249	m3/h	4.875	m3/h

III.1.2- Les normes des rejets :

ONA de Médéa

Tableau III.3. Les normes de rejets urbaines. (ONA de Médéa)

Paramètre	Unités	Valeurs maximales
PH	---	5.5 à 8.5
Température	°C	30
MES	mg/l	30
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	90
Azote total	mg/l	50
Phosphates (PO4)	mg/l	02
Huile et graisse	mg/l	20

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

❖ **La conductivité :**

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 III.4 : relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux.

Conductivité (Ce) en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation
$C_e < 100$	très faible
$100 < C_e < 200$	Faible
$200 < C_e < 333$	Moyenne
$333 < C_e < 666$	moyenne accentuée
$666 < C_e < 1000$	Importante
$C_e > 1000$	élevée.

III.1.3. Site réservé à la Station :

La station est située au bord de l'oued Lahrech, dans une zone relativement enclavé entre les collines.

Le site choisi est largement suffisant pour la station projetée et une éventuelle extension dans le futur.

III.2.1. Principe de l'épuration biologique :

La station fonctionnera à une faible charge massique suivant le processus d'une aération prolongée. Par ce procédé, nous obtenons une bonne efficacité d'élimination de la DBO. La stabilisation (minéralisation) des boues s'effectuera dans le bassin d'aération.

Dans le traitement biologique des effluents, il est fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

La dégradation est un phénomène complexe générateur de l'énergie nécessaire à la vie des micro-organismes et à ses manifestations, etc.

De nombreux micro-organismes permettent la dégradation puis la stabilisation des matières organiques.

La plupart des systèmes de traitement biologique des rejets organiques utilisent des micro-organismes hétérotrophes qui emploient le carbone organique comme source d'énergie ainsi que pour la synthèse Cellulaire.

La stabilisation dans le bassin d'aération nécessite un apport supplémentaire d'oxygène pour la nitrification.

Le procédé aérobie provoque le développement de bactéries qui, par des actions physico-chimiques retiennent la pollution organique et s'en nourrissent. Le procédé à boues activées consiste en un réacteur biologique aérobie où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons appelés bio floccs.

Le réacteur est alimenté en eau polluée et le mélange eau usée - bio floccs est appelé liqueur mixte.

La liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent par un système d'aération (turbine).

De l'oxygène dissous est ainsi introduit dans la masse de la liqueur mixte, lequel est nécessaire pour la respiration et le développement des micro-organismes aérobies.

La qualité d'oxygène dans la solution est gouvernée par :

- la solubilité du gaz.
- la pression partielle de l'oxygène dans l'atmosphère.
- la température.
- la pureté de l'eau (salinité, matières en suspension, etc)

Après un temps de contact suffisamment long, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur mécanisé appelé aussi décanteur secondaire. Durant cette phase, une séparation s'effectue par gravité, améliorée en cela par un mécanisme de raclage.

Afin de maintenir une quantité suffisante de micro-organismes aérobies (matière active), la plus grande partie des boues décantées sont recyclées à l'entrée du réacteur biologique. Le maintien d'une concentration adéquate dans le bassin d'aération permet d'optimiser l'apport d'oxygène car il est la matière active qui va provoquer la diminution et l'élimination de la pollution.

Une partie des boues qui se dépose sur le radier du décanteur secondaire, appelée boues en excès, sera dirigée vers le traitement des boues (épuisement puis déshydratation sur lits de séchage ou déshydratation mécanique sur filtre à bandes). Afin de ne pas perturber le bon fonctionnement de la station d'épuration par des matières lourdes, volumineuses ou difficilement biodégradables, les traitements biologiques sont précédés de prétraitements adéquats :

- dégrillage.
- dessablage déshuilage.

III.2.2.Filière de traitement adopté :

Le débit admis au traitement suit la filière suivante :

- dégrillage grossier.
- dégrillage fin mécanisé et manuel en by-pass.
- dessablage et déshuilage aéré.
- aération.
- décantation secondaire.
- recirculation des boues et évacuation des boues en excès.
- épaissement des boues.
- déshydratation sur lits de séchage et/ou par filtre à bandes.

III.3.Description de la station d'épuration :

Les eaux usées arrivent gravitairement de la ville de Médéa par un collecteur unique dont la réalisation est prévue en parallèle avec celle de la station d'épuration. Les réseaux d'égout sont du type unitaire. Plusieurs déversoirs d'orage sont prévus sur les principaux collecteurs afin de limiter le débit d'entrée à la station en temps de pluie à 3.245 m³/h en première phase et 4.875 m³/h. Le collecteur principal est dimensionné pour la phase finale mais les déversoirs d'orage devront être recalibrés en phase finale pour admettre à la station le débit prévu.



Photo III.1 : station d'épuration de la ville de Médéa

III.3.1. Déversoir d'orage :

Le déversoir d'orage de la station est installé à l'amont de celle-ci et qui déverse le surplus du débit admissible dans la by passe général de la station ; la hauteur de la lame de débordement sera adaptée pour acceptée pour une charge maximum de 1250 m³/h. cependant le débit de pointe horaire admis au traitement est de 3800m³/h.



Photo III.2 : Déversoir d'orage de la STEP de la ville de Médéa

III.3.2. Les prétraitements :

Les opérations de prétraitement des effluents domestique ont pour but de débarrasser et d'alléger les eaux brutes de ces matières grossières. Parmi les opérations de prétraitement dans la station de Médéa on trouvé :

- Une grille grossière à nettoyage manuel.
- Deux grilles mécanisées fine.
- Une grille manuelle de by passe.
- Des-sableurs déshuileur

III.2.1. Grille grossière à nettoyage manuel :

La station est équipée d'une fosse à bavards située avant le dégrillage grossier qui permet de réduire la charge des matériaux transportés avec les eaux brutes.

Après cette étape, les eaux brutes seront dégrillées à l'aide d'un dégrillage grossier à nettoyage manuel, permettant de retenir les déchets volumineux (chiffons, Sacher, ...etc.). Un détecteur de niveau installé à l'amont de la grille grossière déclenche une alarme sonore dans le cas où le niveau d'eau est très haut " colmatage", les caractéristiques de la grille sont les suivantes :

- Largeur : 1.5m
- Inclinaison : 70%
- Ecartement entre les barreaux 50mm.

III.3.2.2. Grilles mécanisées fine:

Les effluents qui sortent de dégrilleur grossier seront dirigés vers deux grilles fines à nettoyage mécanique, constituées de barreaux en fer plate forme en quart cercle, elles sont nettoyées par un double râteau tournant entraîné mécaniquement.

Les deux grilles fines ont les caractéristiques suivantes :

- Largeur : 1m
- Inclinaison : 70%
- Ecartement entre les barreaux : 15mm.
- Puissance du moteur : 0,37kw.
- Profondeur : 150cm.



Photo III.3 : Grilles mécanisées fine de la STEP de la ville de Médéa

❖ Bande transporteuse :

Les deux grilles mécanisées déposent leur refus sur une bande transporteuse. Le fonctionnement de la bande est en alternance avec le racleur.

III.3.2.3.Grilles manuelles de by passe :

La station d'épuration est équipée d'un by passe qui se trouve à coté des grilles mécanisées.

Ce dernier assure le bon fonctionnement de la station en cas de problème au niveau des grilles mécanisées (panne, bouchage,... etc.)

Les caractéristiques de cette grille sont les suivantes :

- Largeur : 1m
- Ecartement entre les barreaux : 30mm.
- Les grille sont en aluminium pour évites la corrosion.
- Les grilles déchets des grilles fines et grossiers seront envoyées à la décharge publique.

III.3.2.4.Dessableurs déshuileur :

A la sortie des grilles fines, le canal est équipé de glissière destinés à recevoir des bâteras d'eau ayant pour but l'isolement d'un ou deux dessableurs.

Cet ouvrage et de type longitudinal à deux compartiments, il est constitue d'un canal béton armé de forme trapézoïdale, l'air est insufflé par des suppresseurs pour provoquer une émulsion afin de pouvoir favoriser la séparation du sable et des graisses il existe des lames de séparation qui permettent la séparation des huiles et des graisses vers la zone de raclage, le dessableur est équipée d'un comporte les suivantes :

Un moteur réducteur de translation de 0,37 kw avant arrière.

Une pompe air lift avec groupe moto suppresseur de 4kw assurant l'évacuation des sables déposés vers le lit de séchage de sable.

Un racleur de surface pour racler les huiles et les graisses flottantes l'eau prétraitée est déversée et évacuée gravitairement à travers un canal à ciel ouvert pour subir les traitements ultérieurs le sable extrait est conduit vers un lit de sable pour sécher et envoyé à l'utilisation ou vers la décharge.

Les huiles et les graisses sont stockées dans un ouvrage spécial puis sont évacuées.

Les deux dessableurs déshuileur ont les dimensions suivantes :

- Largeur : 4m.
- Longueur : 26m.
- Hauteur : 9m.



Photo III.4 : Dessableurs déshuileur de la STEP de la ville de Médéa

III.3.3.Traitement biologique :

Les effluents prétraités seront acheminés vers un bassin de traitement secondaire, la station comporte 04 unités, au niveau de chaque unité deux bassins séparés.

III.3.3.1Bassin de dénitrification :

L'eau prétraitée arrive premièrement dans ce bassin, dans le quel pour sera faite l'élimination de la pollution azote à partir des bactéries spécifique (nitrosomonas, nitrobacter).

Le bassin à une forme rectangulaire et est équipé d'un mélangeur de fond, assurant l'agitation du milieu, ensuite l'eau nitrifiée est déverse vers les bassins d'aération.

Chaque bassin de dénitrification a les dimensions suivantes :

- Volume : 725m³
- Longueur : 187,5m.
- Largeur : 8m.
- Hauteur d'eau : 9m.
- Hauteur béton : 5,6m.

III.3.3.2. Bassin d'aération :

La forme du bassin d'aération est rectangulaire, IL est alimenté en eau dénitrifiée, l'aération dans le bassin est réalisée à l'aide d'aération de surface à vitesse lente, chaque bassin est équipé de trois aérateurs 75kw chacun.

Ce milieu favorable provoque le développement des bactéries, qui action physique et physico-chimique elles retiennent la pollution organique, et s'en nourrissent.

Il existe au niveau de chaque bassin une sonde de mesure d'oxygène dissous pour assurer le déclenchement automatique des aérateurs on cas de diminution de la concentration de cet élément.

Pour la protection du béton, chaque bassin est équipé d'un système d'injection de l'eau pour casser les mousses formées par l'aération. Chaque bassin d'aération a les dimensions suivantes :

- Volume : 13068m³
- Longueur : 66m.
- Largeur : 44m.
- Hauteur d'eau : 4,5m.
- Hauteur béton : 5,6m.

Le mélange (boues et eau) du bassin biologique est envoyé vers la tour de réparation.



Photo III.5 : Bassins d'aération de la STEP de la ville de Médéa

❖ Les équipements :

- Quatre mélangeurs submersibles de 4 km (y compris le système de relevage).
- Quatre déversoirs.
- Douze aérateurs de surface.

- Quatre sondes de mesure de l'oxygène dissous.
- Chaque bassin est équipé d'un système d'injection de l'eau pour casser la mousse formée par l'aération.

❖ **Tour de répartition :**

La mixture en provenance des bassins d'aération est transportée gravitairement vers une chambre de répartition divisant les eaux vers deux bassins de décantation secondaire chaque déversoir de cette tour est équipé de glissières destinées à recevoir des batardeaux d'eau d'isolement pour éventuellement y passer un ou les deux décanteurs.

Dans ce cas la liquide mixte sera évacuée via le trop plein de sécurité de cet ouvrage vers le by passer général de la station.

III.3.3.3. Décantation secondaire :

Dans la station d'épuration il existe deux décanteurs secondaires de forme circulaire de 46 m de diamètre avec une surface de 1661 m² et une profondeur d'eau de 4 m en périphérique.

Les boues viennent des bassins d'aération et sont introduit dans le décanteur secondaire par une tuyauterie noyée dans le béton de radier (600mm de diamètre) et aboutissement dans une jupe siphonoïde de tranquillisation pour éviter la formation des vagues dans le décanteur.

Les boues se déposent dans le fond et sont raclées vers une fosse à boues centrale à l'aide d'un pont racleur tournant muni de raclettes de fond et de surface pour ramener les flottants vers le récepteur de flottants, se dernier se déplace sur le bord du bassin autour d'un point centrale d'assise, à vitesse de rotation de 0,04m/s.

Les eaux clarifiées sont ensuite d'assise, à vitesse de dernière étape de traitement et qui est la désinfection.

Quand aux boues décantées elles sont envoyées vers le tour de recyclage ou vers l'épaississeur.

Le décanteur est composé de :

Lame crantée

Lame parois siphonoïde

Regard des eaux clarifié

Regard d'évacuation des flottants.



Photo III.6 : Décantation secondaire de la STEP de la ville de Médéa

III.3.3.4.Puisard a boues :

Le puisard a boues est en communication hydraulique avec les deux décanteurs par l'intermédiaire de tuyauteries à boues installées sous les ouvrages tube télescopique qui loge dans le puisard

Les boues sont relevées en moyen de trois vis d'Archimède au débit unitaire de 1300m³/h.

Le déversement des vise se fait dans une chambre ou se trouve deux vannes télescopiques, l'une alimente graviteitment le circuit des boues en excès c'est-à-dire vers l'épaississement on directement les lits de séchage, l'autre alimente en cas nécessité, le bassin d'aération retenue pour l'éventuelle stabilisation aérobie des boues en excès.

Les différents débits prélève par les vannes télescopique sont contrôles par un débitmètre électromagnétique.

Une indication locale du débit permet un ajustement précis de la vanne télescopique.

Les boues de recirculation la tête des bassins par un canal équipé d'un jaugeur venturi d'une échelle gradue en m³/h

III.3.3.5.Recirculation des boues :

Les boues du décanteur secondaire sont dirigées vers la tour de recyclage, ensuite la concentration des boues activées dans les bassins de traitement biologique se fait par un canal équipé d'un jaugeur venturi permet de mesurer le débit recyclé.

Le recyclage des boues se fait à partir des trois vis d'Archimède "deux fonctionnent et l'autre en secours" quand aux boues en excès elles sont pompées vers l'épaississeur.

III.3.3.6Chloration :

Le bassin de chloration est en béton armé, d'un volume de l'ordre de 700m³, le bassin de chloration est équipé de 04 bassin transvasent d'un bassin à l'autre et cela pour laisser le temps au chlore pour désinfecter l'eau équipé et la désinfection est assurée par l'eau de javel.



Photo III.7 : Bassin de chloration de la STEP de la ville de Médéa

III.3.4.Traitement des boues :

Après traitement biologique, les boues constituent le résidu de la station d'épuration de Médéa.

Les boues qui arrivent à l'épaisseur sont d'origine soit de :

- La tour de recyclage "boues en excès".
- Bassin d'aération "boues stabilisées".

III.3.4.1.Epaisseur à boues:

Les boues en excès sont dirigées vers l'épaisseur, qui est de forme circulaire est réalisé en béton armé de 14m de diamètre et d'une hauteur utile de 4m, le fond du bassin à une pente de 1/10.

Les boues sont introduites dans le bassin par le centre, dans une jupe siphonide de réparation ou l'épaisseur se fait par une double action de la gravité et de mécanisme ainsi facilitant de l'écoulement l'eau des boues, tandis que le surnageant des eaux débordent dans une goulotte périphérique équipé de lames crantées et retournent aux pieds des vis de recirculation par pompage.

Les boues épaissees sont reprises par pompage et renvoyée vers les lits de séchage.

Le mécanisme de l'épaississement est composé essentiellement.

Une tête de commande centrale en acier galvanisée vers de sortie de la tête de commande.

Deux bars de raclage portant des lames de balayage de radier, la herse d'épaississement et les racleurs centraux

Le cylindre central d'alimentation suspendu au point diamétrale support.

Un arbre central en acier galvanisé accouplé à l'axe de sortie du têt de commande

III.3.4.2.Les lits de séchage :

Le séchage des boues équipé s'effectue à l'air libre dans des surfaces étendues aménagées spécialement pour ça.

Chaque lit de séchage est composé de diverses couche de matériaux "sable et gravies" avec granulométrie de plus fine vers la surface du lit.

Dans notre station il existe 14 lits de séchage conçue d'un tond en béton équipé d'un tuyau de drainage perforé, pour permettre l'évacuation de l'eau filtrée vers l'entrée de la station.

Les boues de séchage seront stockées dans air spéciale appelée "air de stockage", après ils seront envoyés vers l'utilisation ou vers la décharge publique.

III.3.5.Laboratoire:

Il existe dans la STEP un laboratoire pour les analyses de l'eau à l'entrée et à la sortie.

On trouve dans ce laboratoire plusieurs appareils comme :

- Spectrophotomètre DR/2000: pour mesurer plusieurs paramètres (Po_4^{-3} , So_4^{-2}).
- Microscope: pour l'observation microscopique.
- Conductimètre LF90: pour mesurer la conductivité de l'eau.
- ❖ L'oxymétrie oxi 92 : pour calcul l' O_2
- Balance à peser.
- Réacteur DCO.
- Incubateur de la DBO_5 .
- Etuve MES à $T^\circ = 105^\circ\text{C}$.
- Four a moufle à $T^\circ = 500$ à 600 : Pour mesures les MES.

III.4. Analyses réalisées par le laboratoire de la station d'épuration:

III.4.1. Les paramètres de pollution :

Les facteurs qui peuvent « modifier la composition » et « l'état des eaux » sont nombreux et constituent autant de pollutions élémentaires. Il peut y avoir dans variations :

- ❖ de caractéristiques physiques:
 - Matières en suspension
 - Température
 - Conductivité
 - Couleur
 - Radioactivité
- ❖ de caractéristiques chimiques:
 - Apports de matières solubles, organiques ou minérales
- ❖ de caractéristiques organoleptiques :
 - goût couleur.

Pour évaluer le niveau de pollution des eaux de la station d'épuration sur l'environnement une série d'analyses ont été effectuées.

Ces analyses ont portées sur :

DCO : Etant donné la diversité des corps organiques contenus dans une eau résiduaire, la connaissance de leur nature ne serait d'aucune utilité pour l'épuration biologique.

L'oxydation du glucose répond à la relation :



L'oxydation chimique représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène, en particulier les sels minéraux oxydables (sulfures, sulfites, hyposulfites ...sels) métalliques de valence inférieure et la majeure partie des composées organiques.

DBO5 : La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène consommée dans des conditions d'essai (incubation à 20°C et à l'obscurité) pendant un temps (5 jours) pour assurer par voie biologique, l'oxydation de certaines matières organiques contenues dans l'eau et qu'on appelle les matières biodégradables.

MES : Cette matière est obtenue par les différences entre le poids des matières totales

et des matières décantables (matière qui se dépose après un temps de repos de deux heures) donne le poids de matière colloïdale en suspension.

O₂ dissous : C'est probablement le facteur le plus importante de maintien de la pureté des eaux par autoépuration. En l'absence d'oxygène, il y a bien prolifération de bactéries anaérobies mais le résultat de leur métabolisme conduit à des produits nocifs.

III.5.- Les paramètres analysés :

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

Température, Conductivité, pH, DCO, DBO₅, MES, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, et PO₄³⁻.

Les paramètres physiques tels que la température et le pH, la mesure a été réalisé in- situ par contre les paramètres chimiques tels que DCO, DBO₅... etc. la mesure a été effectuée au laboratoire tout en tenant compte du mode de conservation de l'échantillon, afin d'éviter l'évolution de l'effluent entre le moment de prélèvement et celui de l'analyse.

Ainsi les analyses ont porté sur les éléments toxiques et les minéralisations globales.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

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

Eau brute			
<u>Paramètres physico-chimiques :</u>		<u>Minéralisation globale :</u>	
PH	8.21	Calcium (Ca)	80 mg /l
Conductivité à 20 °C	280 µs /cm	Magnesium (Mg)	38 mg /l
Température	13.5 °C	Dureté (TH)	36 mg /l
MES	602 mg /l	Sulfate (SO ₄)	90 mg /l
Ammonium (NH ₄)	9.0 mg /l	Bicarbonate (HCO ₃)	604 mg /l
Nitrates (NO ₃)	33.6 mg /l		
Nitrites (NO ₂)	11.0 mg /l		
Sulfure d'hydrogène	0.014 mg /l		
DCO	780 mg /l		
DBO ₅	340 mg /l		

Phénols	0.903 mg /l	
phosphate (PO ₄)	0.01 mg /l	

Source : ONA (MEDEA)

Tableau III.6 : Les résultats des analyses obtenus pour l'eau épurée.

Eau épurée		
<u>Paramètres physico-chimiques :</u>		
PH	7.78	
Conductivité à 20 °C	278 µs /cm	
Température	12.9 °C	
MES	5 mg /l	
Ammonium (NH ₄)	4.3 mg /l	
Nitrates (NO ₃)	30.3 mg /l	
Nitrites (NO ₂)	12.5 mg /l	
Sulfure d'hydrogène	0.007 mg /l	
DCO	45 mg /l	
DBO ₅	10 mg /l	
Phénols	0.426 mg /l	
phosphate (PO ₄)	0.05 mg /l	
		<u>Minéralisation globale :</u>
		Calcium (Ca) 97 mg /l
		Sodium (Na) 85mg/l
		Magnesium (Mg) 29 mg /l
		Dureté (TH) 36 °F
		Sulfate (SO ₄) 125 mg /l
		Bicarbonate (HCO ₃) 540 mg /l

Source : ONA (MEDEA)

III.5.1.- Interprétation des résultats :

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

La température et le PH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet ;

L'eau épurée est moyennement dure, donc le problème d'entartage de canalisation est à Prendre en considération dans le cas de l'utilisation dans l'agriculteur ;

La conductivité qui est de 278 $\mu\text{s}/\text{Cm}$ est bonne et elle nous renseigne sur la minéralisation de l'eau épurée ; et d'après la valeur de la conductivité $200 < (278 \mu\text{s} / \text{cm}) < 333$ donc la minéralisation est moyen.

Les valeurs de DCO et DBO5 et MES répondent largement aux normes de rejets (DCO $< 90\text{mg}/\text{l}$, DBO5 $< 30\text{mg}/\text{l}$, MES $< 30\text{mg}/\text{l}$) ;

La teneur de l'eau épurée en éléments nutritifs est assez élevée notamment en composés azotes.

*** Pour coefficient d'adsorption du sodium S.A.R**

S.A.R est calculé par la formule suivante :

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

Avec : Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} en meq / l

Elle distingue quatre classes:

- S1 - $\text{S.A.R} < 10$:L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- S2 - $10 < \text{S.A.R} < 18$:Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau .
- S3 - $18 < \text{S.A.R} < 26$:Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.
- S4 - $\text{S.A.R} > 26$:Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

Détermination du S.A.R

$$\text{S.A.R} = \frac{3,7}{\sqrt{\frac{2,42 + 4,85}{2}}} = 1,9$$

Notre eau a un S.A.R = 1,9; c'est-à-dire appartient à la classe S1. ce sont des eaux faiblement alcalines et peuvent être utilisées du point de vue alcalin pour tous les sols avec peu de danger de donner un taux de Na échangeable qui est nocif pour les sols et pour les plantes.

Pour la toxicité le problème peut être posé dans le futur par l'accumulation des éléments toxiques.

Conclusion

D'après les résultats qui on été obtenu avant et après le traitement on remarque que le traitement effectuée par la STEP de MEDEA est efficace (rendement est de l'ordre de 97%), et que les normes des rejets sont respectés; donc il n'y a pas un risque sur le milieu récepteur

CHAPITRE IV

Présentation du périmètre à irriguer

Introduction

Ce chapitre fera l'objet d'une présentation globale du site d'étude (périmètre), du point de vue situation géographique et conditions climatiques.

L'étude détaillée des principaux facteurs climatiques, vont nous permettre de déterminer le type de climat caractérisant la zone d'étude.

La connaissance et l'analyse des différents facteurs climatiques du périmètre sont indispensable dans le cadre d'une conception d'un réseau d'irrigation, puisqu'elles sont à la base de divers calculs, tels que : le calcul des besoins en eau des cultures nécessaire dans le dimensionnement.

IV.1.1. Localisation du site :

Le périmètre d'oued Lahreche (145.5 ha) se situe environ à 20 km au sud-ouest de la ville de Médéa, sous la route vers la commune d'Oued Harbil. La station d'épuration de la ville de Médéa se trouve dans le périmètre qui possède une capacité préliminaire de 26000 m³/j et qui va atteindre 39000 m³/j à l'horizon 2020.

IV.1.2. Situation Géographique :

Le périmètre d'oued Lahreche est réparti sur plusieurs zones éparses touchant une partie de la commune de Médéa et une autre de la commune de Oued Harbil La partie Est du périmètre occupe les parcelles s'étendant entre la station d'épuration et l'intersection des routes entre Médéa –Oued Harbil et la STEP sur une distance de 3Km.

La partie Est occupe les parcelles s'étendant entre l'intersection et le foret et plonge à 3 Km en avale vers Oued Lahreche.

Sur la limite du périmètre d'irrigation, le réseau routier est bien développé et présente des chemins avec couverture d'asphalte, ainsi que des pistes.

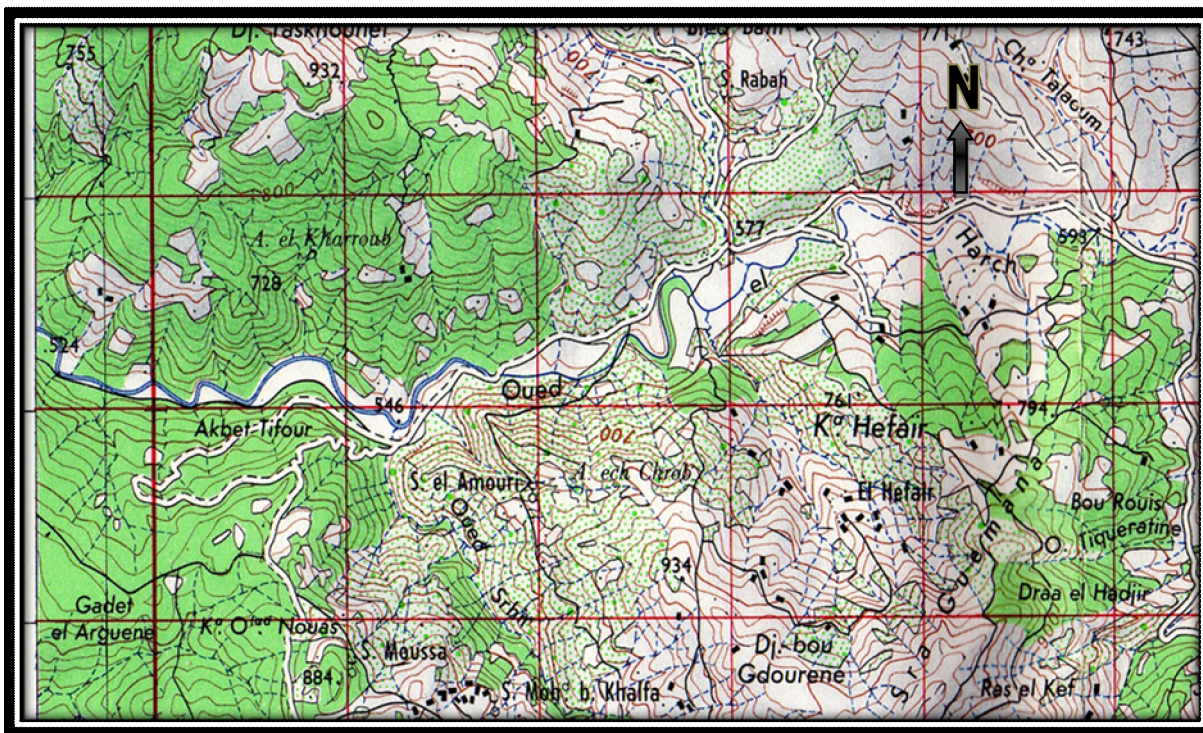


Figure IV.1 : Carte de situation – Echelle 1/100000

IV.1.3. Relief & Hydrographie :

La région de Médéa est située dans la zone sud des piémonts de l'atlas Blidéen, c'est une zone au climat humide, avec un relief de fortes pentes, ce dernier est très accidenté, les altitudes varient de 900 m au nord à 400 m au sud de la commune.

Oued Lahreche présente une vallée rétrécie et coule de Nord à Sud dans l'oued principale qui Oued Harbil.

Le bassin présente plusieurs chaâbats touffues de végétation mettant en évidence un écoulement périodique durant l'année.

IV.2. Les conditions climatiques :

Dans ce chapitre, nous allons utiliser les données de la station météorologique de Médéa qui a les caractéristiques suivantes :

Tableau IV.1 : Coordonnées de la station pluviométrique

Code	Station	X (km)	Y (km)	Altitude (m)	Pluviométrie* (mm)
01 15 09	Médéa	504.85	329.8	935	599.91

*pluviométrie calculée à partir des séries d'observation de 28 ans (1977-2004)

Source : ANRH

a) Précipitations :

La quantité et le régime des précipitations dans la zone du périmètre d'irrigation d'Oued Lahreche mettent en évidence l'influence sur le climat de la région.

Les valeurs totales des précipitations annuelles et leur répartition mensuelle ainsi que les précipitations maximales journalières sont évaluées sur la base des données des observations de la station météorologique de Médéa qui se trouvent à proximité du périmètre d'irrigation Oued Lahreche et dont les relevés sont les plus représentatifs.

Tableau IV. 2 : Répartition de la pluviométrie mensuelle donnée par la station.

Station	Précipitations Mensuelles 1977/2004 (mm)												
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Année
Médéa 011509	20,2	52,5	71,5	99,8	81,6	68,89	76,70	64,34	42,48	11,99	5,39	4,54	599,91

ANRH DE BLIDA

Avec une pluviométrie moyenne d'environ 599.91 mm par an, on peut dire d'ores et déjà que la zone souffre d'un déficit en eau important, et que l'irrigation sera une nécessité absolue.

Une analyse plus poussée des données nous permet de distinguer les saisons suivantes :

- La saison pluvieuse : cette saison dure 7 mois elle va du mois de octobre jusqu'à mois d'Avril, pendant cette période nous enregistrons 77% des précipitations totales annuelle avec des maximale réparties entre Novembre et Mars.
- La saison moyennement pluvieuse : cette saison dure 2 mois la trouve au début de la saison sèche (Mars), ainsi qu'à la fin de cette dernière (Octobre).

La saison sèche : cette saison dure 4 mois elle va du mois de Juin jusqu'à au mois de Septembre, on enregistre pendant la période allant de mois de juillet au mois d'Août des minimale qui peuvent atteindre les 1% des pluies annuelles.

b) Nébulosité :

La nébulosité, c'est la fraction du ciel couverte par des nuages. Un ciel entièrement couvert est représenté par 10 et un ciel clair par 0.

La moyenne annuelle de la nébulosité de la station de Médéa est 4.1

Tableau IV.3 Moyennes mensuelles et annuelles de la nébulosité (Octa)

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Médéa	5.2	5.6	5.9	4.7	4.1	2.9	1.6	2.0	3.4	3.8	4.9	5.1	4.1
Ciel couvert=10	Ciel clair			En dixièmes la fraction couverte par des nuages									

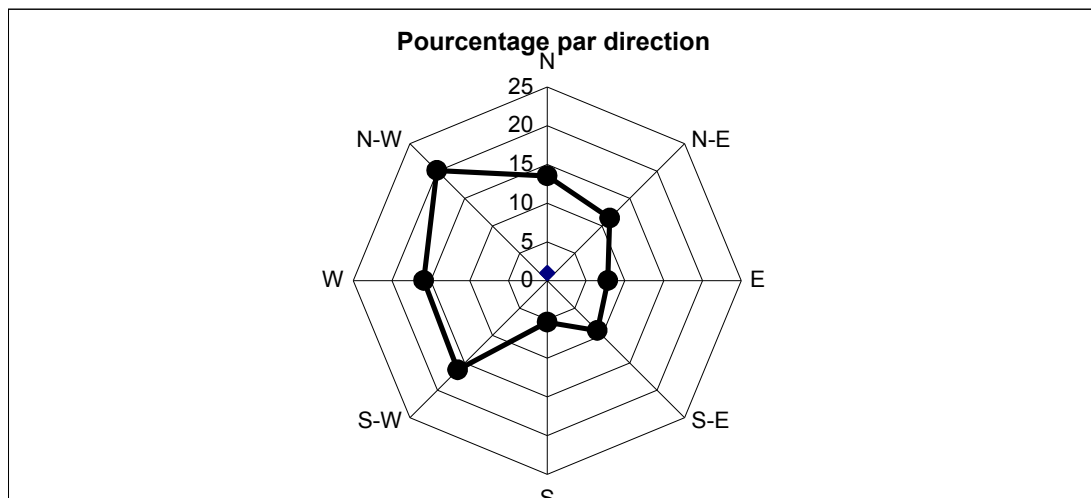
C) Les vents :

Il ressort du tableau IV.4 et de la figure IV.2, que les vents dominants sont ceux des directions Nord-Ouest pour la saison froide et Nord pour la saison chaude.

Tableau IV. 4 : Pourcentage du vent par direction

Direction du vent	N	N-E	E	S-E	S	S-W	W	N-W	Total
Pourcentage par direction	13.5	11.4	7.8 3	9.11	5.39	16.3	15.9	20.1	100

Source : Station de Médéa **ONM Dar El Baydha**

**Figure IV. 2** Pourcentage du vent par direction

Les moyennes mensuelles et annuelles de la force du vent représentées dans le tableau IV.5. Pour la station de Médéa sont exprimées en degré de l'échelle télégraphique, en degré beaufort, en m/s et en km/h.

Tableau IV.05 : Moyenne mensuelles et annuelle de la force du vent-station de Médéa (Octa)

Echelle	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Télégraphique	1.50	1.80	2.20	1.80	1.80	1.40	1.50	1.60	1.50	1.30	1.70	1.50	1.62
Beaufort	2.00	2.39	2.66	2.39	2.39	1.86	2.00	2.13	2.00	1.73	2.26	2.00	2.15
m/s	3.53	4.24	4.74	4.24	4.24	3.30	3.53	3.77	3.53	3.06	4.00	3.53	3.81
Km/h	12.72	15.26	16.96	15.26	15.26	11.87	12.72	13.56	12.72	11.02	14.41	12.72	13.71

Source : Station de Médéa ONM Dar El Baydha 1985/1993

La vitesse moyenne mensuelle du vent observée dans la station de Médéa oscille entre 3,30 et 4,71 m/s avec une moyenne annuelle de 3,81 m/s (ce qui correspond à des vents modérés).

d) Evaporation :

Les valeurs de l'évaporation moyenne mensuelle et annuelle des plans d'eau dans la région d'étude sont estimées à partir des données d'observation mesurées sous abri avec l'évaporomètre PICHE au niveau de la station météorologique de Médéa.

Tableau. IV.6 : Evaporation mensuelle et annuelle

		J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
Evaporation	mm	48,1	55,3	89,4	98,7	142,3	201,8	262,8	253,6	150,6	111,3	61,1	46,5	1521,5
	%	3,16	3,63	5,88	6,49	9,35	13,26	17,27	16,67	9,90	7,32	4,02	3,06	100%

Source : Station de Médéa ONM Dar El Baydha 1984/1997

Ce tableau montre que l'évaporation est importante entre le mois de mai et septembre correspondant à un volume évaporé de 78,82% et faible du mois de novembre à mars où le volume évaporé est de 21.18 %

d) Températures :

Le régime de température dans la région du périmètre d'irrigation de Oued Lahreche, se caractérise par, un été sec et très chaud et un hiver froid et humide.

Les températures d'air moyennes et extrêmes, mensuelles dans la région étudiée, sont présentées dans le tableau ci-après, ces données ont été observées au niveau de la station météorologique de Médéa.

Tableau IV.07 : Distribution mensuelle de la température de l'air au niveau de la station de Médéa (1994-2003)

Température °C	Mois												Moyenne
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	
Moyen	20,8	15,45	11	6,4	6,75	6,7	9,75	12,3	15,4	20,4	24,6	24,4	14,5
Maximum	27	21,1	14,7	9,7	10,3	10,7	14,3	17,7	21,4	27,1	32,2	31,8	19,8
Minimal	14,6	9,8	7,3	3,2	3,2	2,7	5,2	6,9	9,4	13,7	17	17	9,2

La température d'air moyenne annuelle, est de 14,5°C. L'été est très chaud avec une température moyenne mensuelle de 21°C jusqu'à 26°C. Exceptionnellement, les plus hautes températures peuvent atteindre 33°C.

L'hiver est relativement doux avec des températures moyennes mensuelles de 6,5°C, les plus basses températures de l'air, peuvent tomber jusqu'au moins de 2 à 3°C.

e) La neige :

Le tableau IV.8 indique que les trois stations se caractérisent par un nombre très estimable des jours d'enneigement. Ce qui va favoriser l'alimentation des nappes souterraines.

Tableau IV8 : Nombre moyen de jour de neige

Station	Altitude (m NGA)	Nb moyen de jours où il neige	Nb moyen de jours d'enneigement
Médéa	935	14.1	18.1

Source : Station de Médéa ONM Dar El Baydha

f) Humidité :

Nous enregistrons au niveau de la station de Médéa une humidité moyenne annuelle de l'ordre de 66%. La distribution mensuelle de l'humidité de l'air est donnée ci-dessous

Tableau IV.9 : Distribution mensuelle de l'humidité relative de l'air (1992-2003) (en %)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moy Année
Moyenne	80	76	71	70	65	55	46	49	63	70	79	81	67
Minimale	64	59	53	51	46	37	29	31	42	52	63	67	49
Maximale	91	90	87	86	82	73	64	67	82	86	91	92	82

Source : Station de Médéa ONM Dar El Baydha

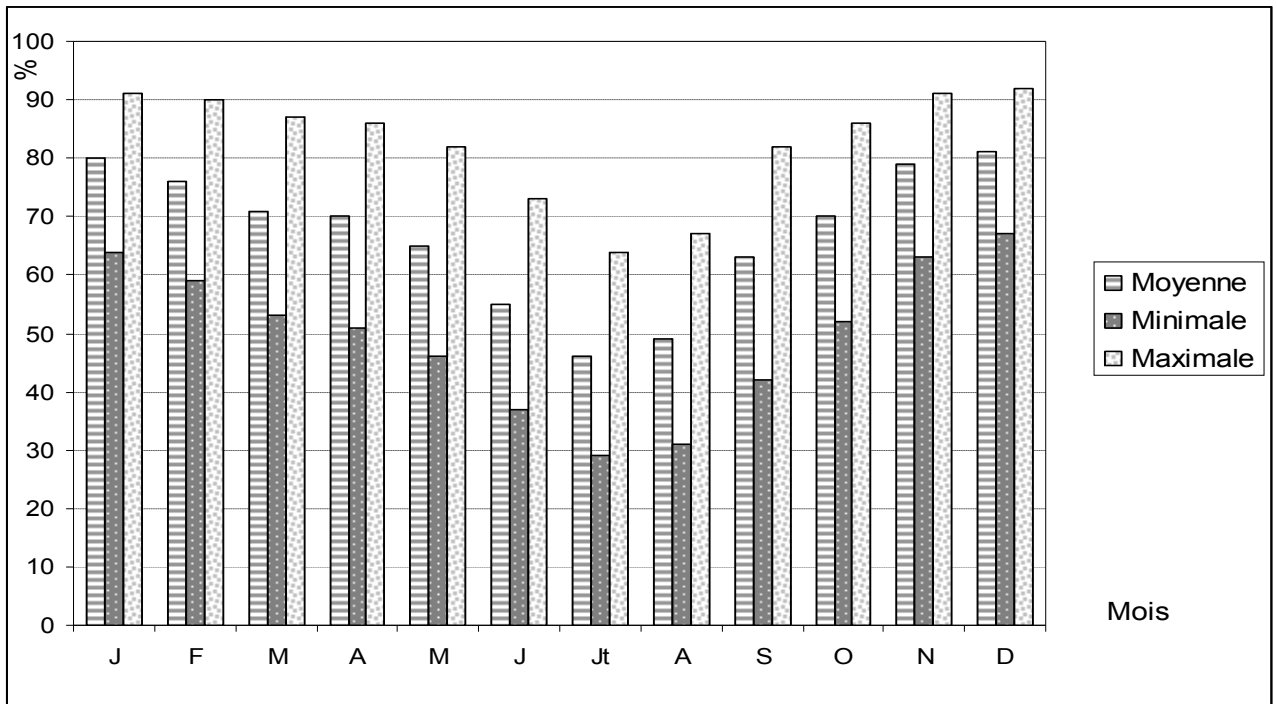


Figure IV.03 : Humidité relative de l'air (en %)

Le graphique ci-dessus présente la répartition mensuelle de l’Humidité relative de l’air. A travers lequel, nous remarquons que les taux d’Humidité les plus élevés sont enregistrés en saison hivernale.

g) Grêle :

La grêle qui provoque, en général, des dégâts sur la production végétale, est très peu répandue dans la zone d’études. On remarque que les maximums sont notés entre le mois de décembre et le moins mars pour la station de Médéa.

Tableau IV.10 : Nombre moyen de jours grêle

Station	Altitu	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Médéa	935	0.7	0.9	0.9	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.0	5.3

Source : Le climat de l’Algérie

h) Gelée blanche :

La gelée s’observe à partir du mois de novembre jusqu’à la fin du mois d’avril avec un maximum de 5 jours au mois de décembre de février pour Médéa et 9 jours au mois de janvier pour Mongorno.

Tableau IV.11 : Nombre moyen de jours de Gelée

station	Altitu	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Médéa	935	3.8	4.5	0.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.1	13.4

Source : Le climat de l'Algérie 1995/2003

i) Sirocco :

Le maximum de fréquence a lieu généralement pendant le mois de juillet. Son effet principal est l'augmentation du phénomène d'évaporation.

Tableau IV.12 : Nombre moyen de jours de sirocco

Station	Altitu	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Médéa	935	0.1	0.2	1.1	1.1	1.2	2.9	5.1	2.3	0.8	0.7	0.7	0.3	16.5

Source : Le climat de l'Algérie 2001

j) Orages :

Ce sont des pluies torrentielles à caractère local qui se déversent durant toute l'année avec des fréquences importantes en période de printemps et été.

Le tableau IV.13 traite des moyennes mensuelles et annuelles des nombres de jours des orages.

Tableau IV.13 : Nombre moyen de jours d'orage

mois	Jan	Fev	mar	avr	mai	jui	jui	août	sep	oct	nov	dec	Année
Station de Médéa	0.4	0.3	0.7	0.9	2.6	2,4	1,6	2.0	2.4	1.4	0.6	0.4	15.7

Source : Le climat de l'Algérie 1995/2002

IV.3. Conditions Géologiques :

L'ensemble des formations géologiques au niveau du périmètre de Oued Lahrech constituent des dépôts continentaux d'Albien, de Cénomaniens, de l'argile inférieure et l'argile supérieure et enfin le gré supérieur et le gré inférieur.

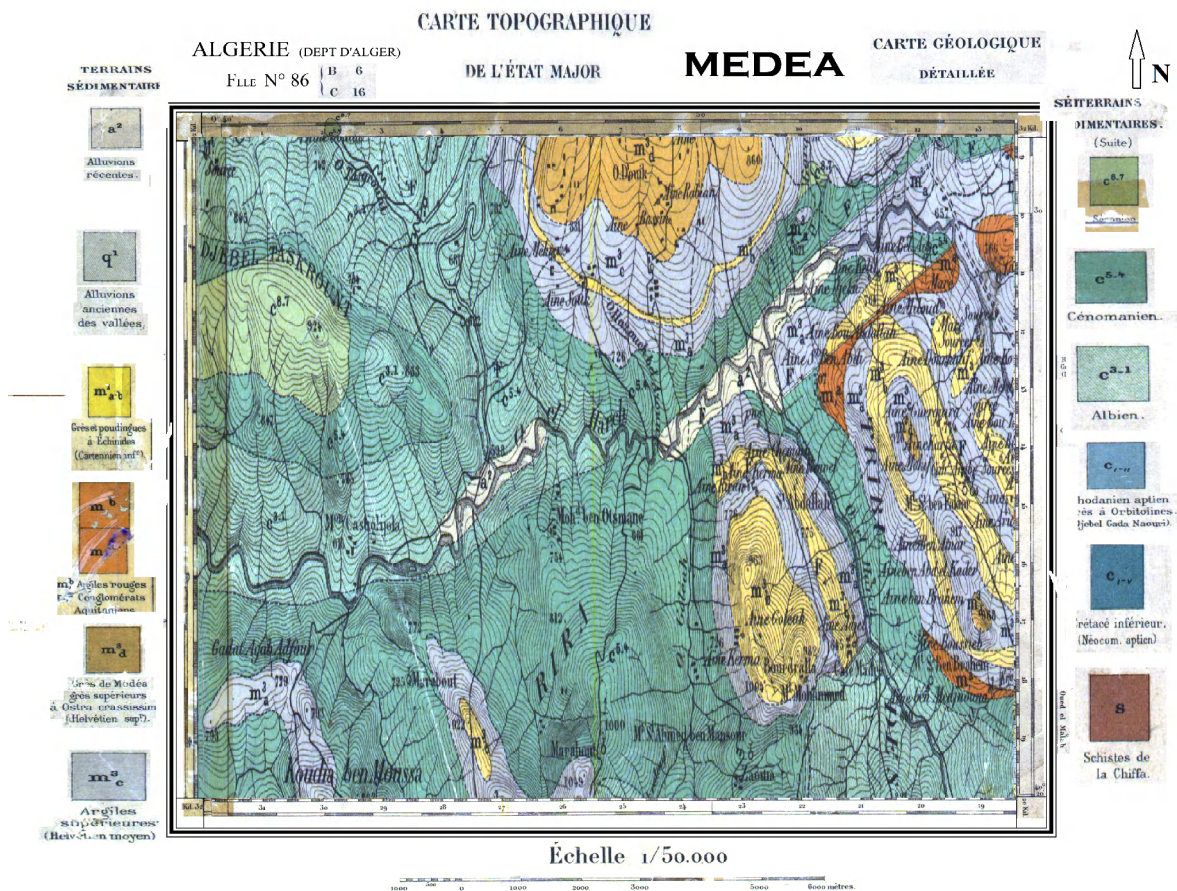


Figure IV.4 : Carte géologique de la région de Médéa Echelle 1/50000

IV.4.Représentation du diagramme de Gausson : (voir figure N° IV.5)

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. Pour la représentation de ces graphiques on à tableau suivant :

Tableau .IV.14: précipitations et températures moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	20.2	52.5	71.5	99.8	81.6	68.89	76.7	64.34	42.48	11.99	5.39	4.54
T (C°)	20,8	15,45	11	6,4	6,75	6,7	9,75	12,3	15,4	20,4	24,6	24,4

En résumé :

- Mois sec : $P (mm) \leq 2T (C^\circ)$
- Mois humide : $P (mm) \geq 2T (C^\circ)$

Avec : P (mm) : Précipitations moyennes mensuelles.:

T (C°) : Températures moyennes mensuelles

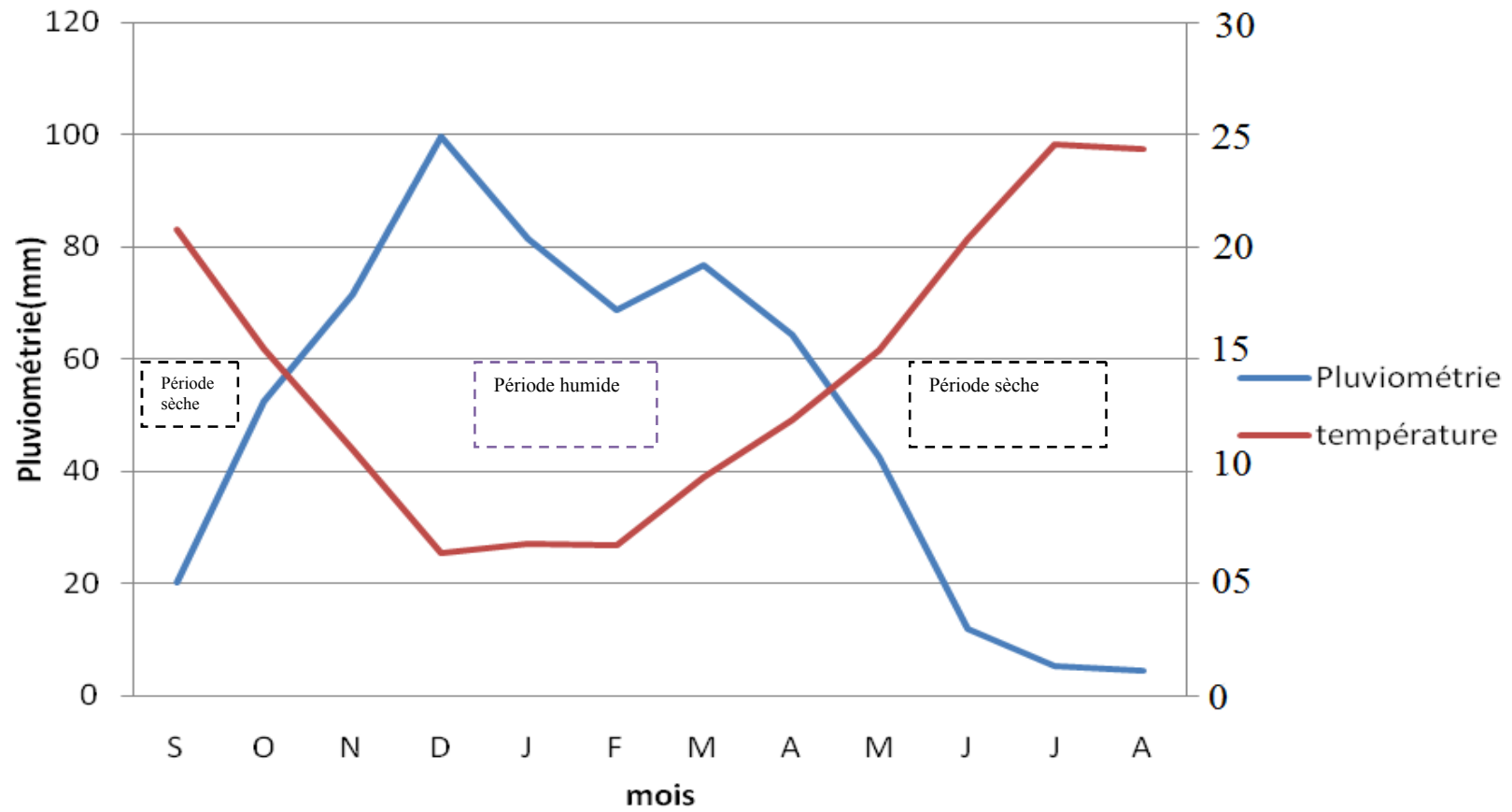


Figure IV.5 Diagramme ombrothermique de Gaussen

Nous pouvons constater de ce diagramme que nous avons deux saisons, l'une sèche qui dure 6 mois et qui va du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre, pendant cette période l'irrigation est une nécessité absolue.

La seconde période est humide, ces derniers 6 mois pendant laquelle le recours à l'irrigation peut être une nécessité si on enregistre un déficit en eau.

Cette analyse confirme donc les conclusions auxquelles nous sommes arrivées après le traitement des données pluviométriques du tableau IV.1.

IV.5.1. Classification de climat :

IV.5.1.1. Classification du climat selon l'indice de MARTON:

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

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

$$I_A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I_A : indice de MARTON

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

T : température moyenne annuelle en °C

Tableau IV.15: classification de climat selon MARTON

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

Pour : $P = 599,93 \text{ mm}$

$T = 14,5 \text{ °C}$

On aura : $I_A = \frac{599,93}{14,5 + 10} = 24,49$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime climatique Relativement humide, où l'irrigation est Parfois utile.

IV.5.1.2. Classification du climat selon le 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 :

$$P = 599.93 \text{ mm}$$

$$M = 32.2 + 273 = 305,2 \text{ K}^\circ$$

$$m = 2.7 + 273 = 275,7 \text{ K}^\circ$$

On aura :

$$Q = \frac{1000 * 599.93}{\frac{305.2 + 275.7}{2} (305.2 - 275.7)} = 70.02$$

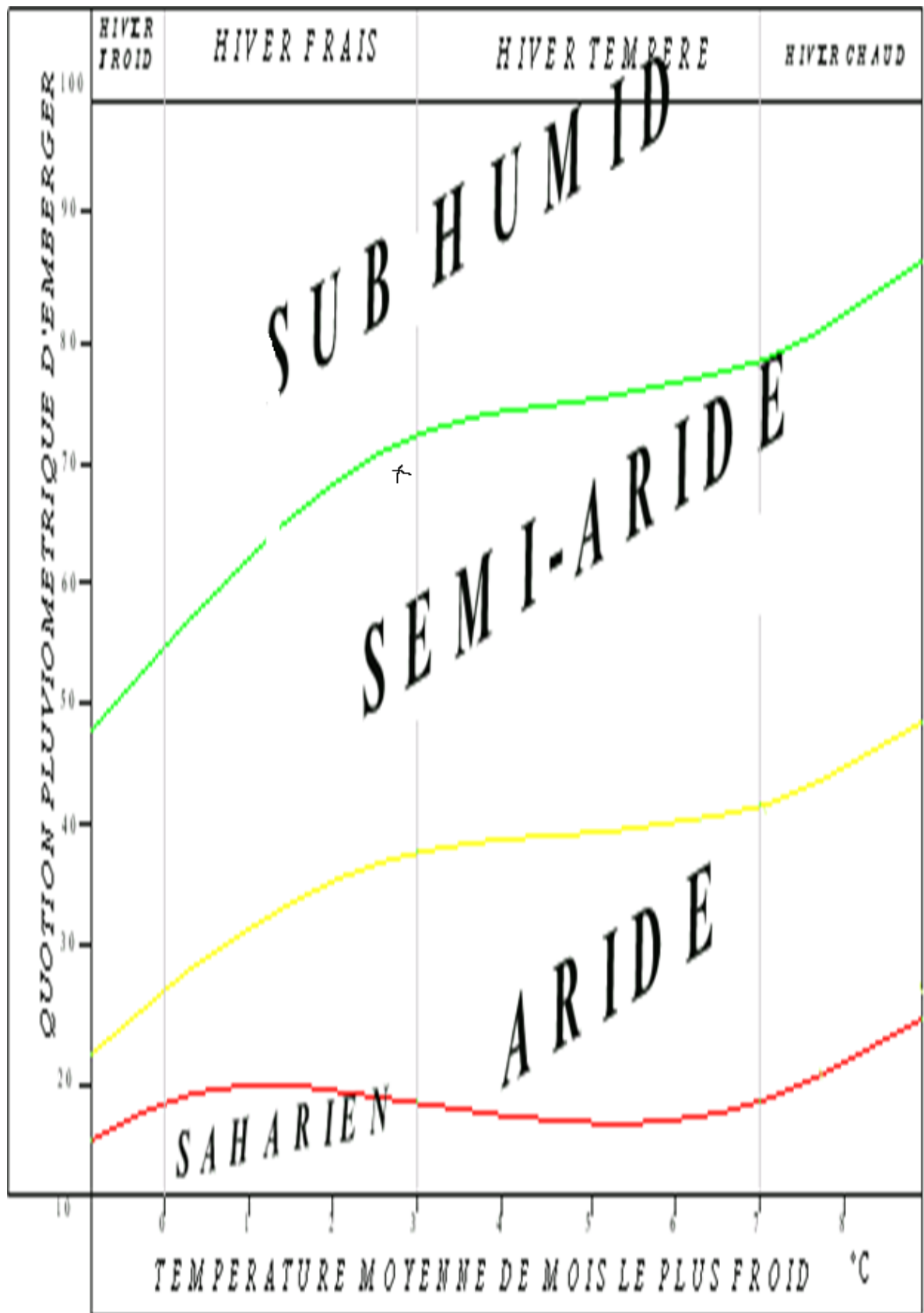


Figure IV.6 Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

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 semi aride à hiver frais.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité les principales données qui nous aiderons à connaître la nature du climat de la zone d'étude et on a déterminé les paramètres de calculs des besoins en eaux du périmètre.

Le diagramme ombrothermique nous a permis de distinguer deux période à savoir ; une période humide, et une autre sèche qui représente la période d'irrigation

CHAPITRE V

Besoins en eau des plantes

Introduction

Les cultures pour se développer, puisent du sol l'eau et les éléments nutritifs. La quantité d'eau donnée à la culture n'est pas entièrement absorbée par la culture, une partie percole et se perd en profondeur.

L'eau qui constitue la plante est libérée par transpiration à travers l'appareil foliacé, le reste est évaporé par le sol. L'ensemble de ces deux actions est l'évapotranspiration. Ce phénomène conditionne et détermine les besoins en eau des cultures.

V.1. HYDROLOGIE

Le présent chapitre a pour but de déterminer les caractéristiques des pluies de fréquences données, qui conditionnent l'étude de notre projet d'aménagement hydro-agricole, tels que : le calcul des besoins des cultures à projetée dans le périmètre, ainsi que : le dimensionnement de réseau de distribution.

V.1.2 Ajustement de la série pluviométrique :

On soumet la série pluviométrique annuelle de la station à l'ajustement à la loi Normale.

- **Ajustement à la loi Normale :**

L'ajustement des séries par la loi log- normale ou loi de Gumbel s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles. En effet sa fonction de répartition est de la forme :

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2H}} \int \text{Exp}\left(\frac{-1}{2xu2}\right) du$$

Pour notre projet, il sera utile de connaître les variations annuelles de la précipitation pour une période de retour de 5 ans.

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies annuelles sont regroupés dans le tableau V-1 et la figure V-1

TABLEAU V-1 : Ajustement à la loi de Gumbel

Ajustement à une loi de Gumbel								
Taille n=	28	Xo=	539.34					
		g=	115.55	I.C. à (en%)=	80	Gauss=	1.2817	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
566.4	372	1	0.017	-1.401	372	377.4233	315.754	418.8724
749.8	377.1	2	0.052	-1.086	377.1	413.8762	361.895	450.4876
874.1	380.5	3	0.086	-0.896	380.5	435.7502	389.085	469.9564
607.6	412.3	4	0.121	-0.749	412.3	452.8122	409.941	485.4949
536.8	445.1	5	0.155	-0.622	445.1	467.432	427.507	499.1132
600.8	450.8	6	0.190	-0.508	450.8	480.599	443.046	511.6609
459.2	459.2	7	0.224	-0.402	459.2	492.8347	457.211	523.5947
751.1	479.1	8	0.259	-0.302	479.1	504.4564	470.397	535.1992
611.4	485.5	9	0.293	-0.205	485.5	515.6778	482.86	546.6719
685.2	536.8	10	0.328	-0.110	536.8	526.6552	494.785	558.162
485.5	566.4	11	0.362	-0.016	566.4	537.5118	506.315	569.7907
412.3	590.7	13	0.431	0.172	590.7	559.2673	528.636	593.8753
610.7	600.8	14	0.466	0.268	600.8	570.3488	539.626	606.5228
689	607.6	15	0.500	0.367	607.6	581.686	550.628	619.704
445.1	610.7	16	0.534	0.468	610.7	593.3751	561.738	633.5268
450.8	611.4	17	0.569	0.573	611.4	605.5234	573.063	648.1156
713.5	626.3	18	0.603	0.683	626.3	618.2558	584.718	663.6191
751.4	685.2	19	0.638	0.800	685.2	631.7232	596.842	680.2223
372	689	20	0.672	0.924	689	646.115	609.601	698.1619
780.2	713.5	21	0.707	1.059	713.5	661.6772	623.207	717.7516
590.7	749.8	22	0.741	1.206	749.8	678.743	637.939	739.4214
377.1	751.1	23	0.776	1.371	751.1	697.7834	654.19	763.7853
626.3	751.4	24	0.810	1.559	751.4	719.501	672.534	791.7659
380.5	762.7	25	0.845	1.780	762.7	745.0192	693.888	824.8445
859.1	778.5	26	0.879	2.051	778.5	776.3116	719.85	865.6311
778.5	780.2	27	0.914	2.406	780.2	817.3714	753.647	919.417
479.1	859.1	28	0.948	2.935	859.1	878.5097	803.595	999.8812
762.7	874.1	29	0.983	4.052	874.1	1007.501	908.153	1170.47

réqence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.8	1.500	449.930	447.418	515.290	449.930	0.80	5.00
0.2	-0.476	296.251	361.102	426.026	296.251	0.20	1.25

Ajustement à une loi de Gumbel

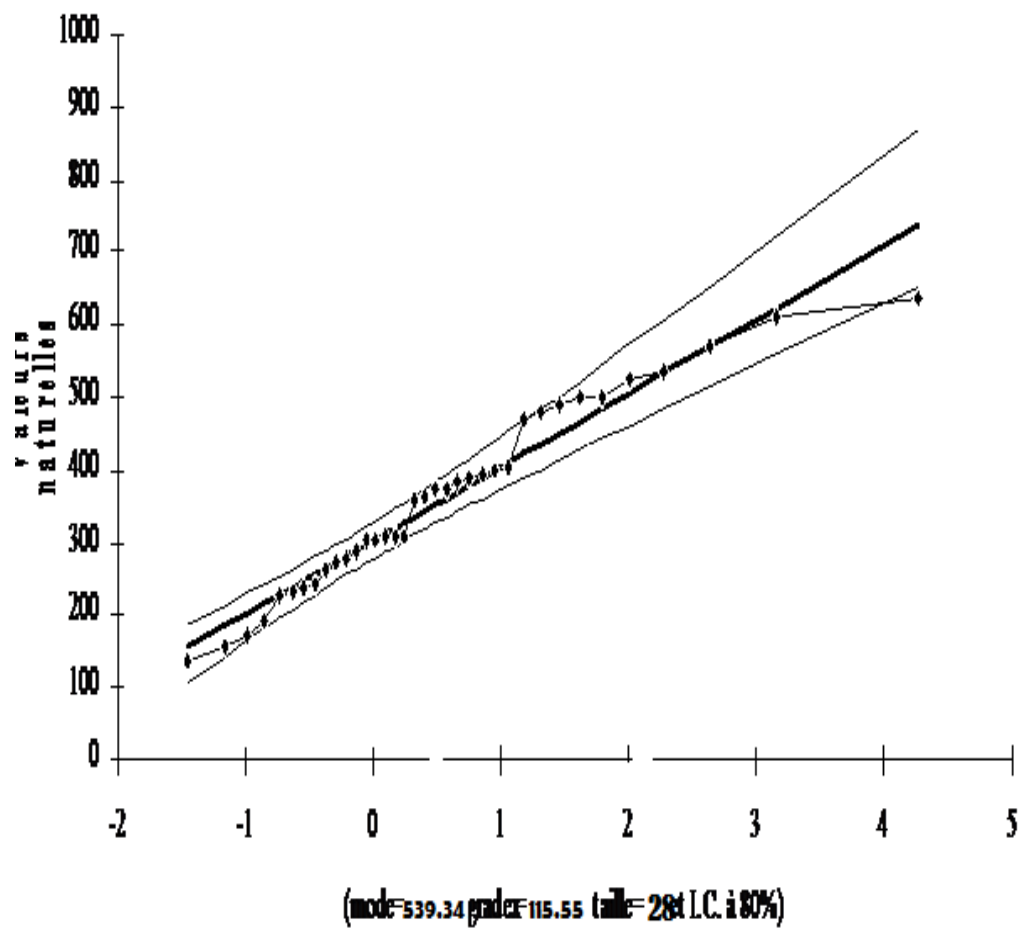


Figure V-1 ajustement a une loi de Gumbel

V.1.3. Détermination de l'année de calcul :

Détermination de l'année de calcul à pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante; elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%), (de l'année de calcul de P80%)

Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante :

$$P_{\text{moy } 80\% \text{ de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \cdot \frac{P_{\text{théorique (80\% annuelle)}}}{P_{\text{théorique (50\% annuelle)}}$$

$$P_{\text{théorique } 80\% \text{ annuelle}} = 449.93 \text{ mm}$$

$$P_{\text{théorique } 50\% \text{ annuelle}} = 599.91 \text{ mm}$$

P_{moy} De chaque mois sont données par le tableau suivant:

$$P_{\text{moy mensuelle de } 80\%} = \frac{P_{\text{théorique}}}{P_{\text{moy annuelle}}} \cdot P_{\text{moy mensuelle}}$$

Nous avons les résultats de calcul donnés par le tableau suivant :

Tableau V-3:L'Année de calcul.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct.	Nov	Dec	Année
P80%(mm)	61.2	51.67	57.53	48.26	31.86	8.99	4.04	3.41	15.15	39.38	53.63	74.85	449.93

V.2.1. Calcul de l'évapotranspiration (ETP) :

L'estimation des besoins en eau des plantes est selon l'espèce, liée à de nombreux facteurs climatiques : pluviométrie, température, hygrométrie, vent, etc. ...

L'évapotranspiration (ETP) met en relation ces facteurs. Les méthodes sont nombreuses et sont établies suivant les régions (bulletins FAO d'irrigation et de drainage « les besoins en eau des cultures »

Dans le cas du périmètre de Médéa, situé dans une zone semi-aride, on estimera l'ETP par la méthode de BLANEY – CRIDDLE, TURC et Penman&Moteith.

Les paramètres pris en considération dans le calcul de l'ETP sont relatifs aux données de la station de Médéa pour la pluviométrie (distribution mensuelle en corrélation avec la précipitation moyenne annuelle de la zone d'étude) et la température ; le pourcentage de la durée d'éclairement et la radiation maximale suivant la latitude de la zone d'étude et aux données de la station de Médéa pour la nébulosité et l'humidité relative.

V.2.1.1 Application de la formule de BLANEY et CRIDDLE:

$$E.T.P = 0,254 K_t (1,8 + 32) P$$

E.T.P: Evapotranspiration potentielle en mm/mois

$$K = K_c \cdot K_t$$

K_c = Coefficient variable en fonction de la culture et la région (coefficient cultural)

$K_t = 0,0173 (1,8 t + 32) - 0,314$: Coefficient climatique en fonction de la température

t : Température moyenne mensuelle en °C

P : Pourcentages d'heures diurnes pendant le mois considéré par rapport au nombre d'heures diurnes annuelles (durée d'éclairement) en fonction de la latitude (36°2N)

Les résultats sont présentés ci-après.

Tableau V-4 Calcul de l'ETP –Formule de BLANEY et CRIDDLE

Moins	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
t(°C)	20,8	15,45	11	6,4	6,75	6,7	9,75	12,3	15,4	20,4	24,6	24,4	14,5
P (%)	6,99	6,86	8,35	8,85	9,81	9,83	9,99	9,4	8,36	7,85	6,92	6,79	100
ETP (mm/mois)	109,39	75,94	57,62	41,03	40,63	47,96	64,2	78,48	94,24	119,5	135,57	133,02	996,26

V.2.1.2. Application de formule de TURC :

$$E.T.P = 0,40 (I_g + 50) t / t + 15$$

E.T.P: Evapotranspiration potentielle en mm/mois

I_g : Radiation globale du mois considéré en petites calories / cm²/ jour sur une surface horizontale.

t : Température moyenne mensuelle en °C

0,40 : Coefficient adopté pour tous les mois sauf le mois de février pour lequel la valeur 0,40 est remplacé par 0,37.

Le calcul de I_g est donné par la relation :

$$I_g = I_{gA} (0,18 + 0,62 h/H)$$

I_{gA} : Radiation mensuelle en fonction de l'altitude du lieu considéré en petites calories par cm^2 et par jour

$h/H = 1-n/10$: Insolation relative en pourcentage

H : Durée mensuelle du jour qui dépend de la latitude

h : Durée de l'insolation effective du mois

n : Nébulosité en acta.

Notons que lorsque l'humidité relative n'atteint pas 50%, la valeur trouvée pour l'ETP doit être multipliée par le terme correctif suivant :

$$\left(1 + \frac{50 - h_r}{70}\right)$$

La détermination de I_{ga} et H est faite d'après annexe 1, et annexe 2.

Tableau V-5 Calcul de l'ETP –Formule de Turc (avec $K_c=1$)

Moins	t(°C)	t/(t+15)	n (octa)	h/H	I_{ga}	I_g	H_r	Correction	ETP (mm)
Septembre	20,8	0,93	3,4	0,66	741,07	436,64	80	0,63	127,53
Octobre	15,45	0,91	3,8	0,62	584,54	329,91	76	0,68	80,43
Novembre	11	0,88	4,9	0,51	444,37	220,50	71	0,74	47,69
Décembre	6,4	0,81	5,1	0,49	379,31	183,51	70	0,75	27,22
Janvier	6,75	0,82	5,2	0,48	420,31	200,74	65	0,81	25,26
Février	6,7	0,82	5,6	0,44	533,82	241,71	55	0,94	35,09
Mars	9,75	0,87	5,9	0,41	708,95	307,83	46	1,05	54,05
Avril	12,3	0,89	4,7	0,53	846,58	430,57	49	1,01	85,43
Mai	15,4	0,91	4,1	0,59	946,94	516,84	63	0,84	109,25
Juin	20,4	0,93	2,9	0,71	981,12	608,49	70	0,75	134,82
Juillet	24,6	0,94	1,6	0,84	957,06	670,71	79	0,64	160,16
Août	24,4	0,94	2	0,8	871,59	589,19	81	0,61	164,45
Année	14,5	--	4,1	0,59	--	--	67	--	1010,46

V.2.1.3.. Méthode de Penman&Monteith modifiée :

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

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

Pour cela, nous adaptons 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 montrée que l'expression obtenue, prédirait de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaude et semi-aride. La formule de Penman&Monteith, modifiée, se présentant comme suite :

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

Où :

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

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

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

$F(u)$: Fonction liée au vent.

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

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

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

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel appelé 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 et fiables suivantes (&Chapitre I) :

- *Température : Les températures moyennes sont données en degré Celsius.
- *Humidité de l'air : L'humidité relative de l'air exprimé en pourcentage de (10 à 100).
- *Insolation journalière : L'insolation journalière donnée en heures d'insolation de (1 à 20).
- *Vitesse de vent. : La vitesse du vent peut être introduite en m/sec de (0 à 10).

Dans le tableau V.6, nous représentons l'évapotranspiration de référence ET_0 , calculée à l'aide du logiciel Cropwat, selon la formule de Penman&Monteith, modifiée

Tableau V.6: Evapotranspiration de référence de la zone de projet selon Penman&Monteith

Mois	Température °c	Humidité %	Vitesse du vent Km/jour	Insolation heures	Radiation Mj/m2	ETO mm/mois
septembre	20.8	65	305	5.2	9.1	1.70
Octobre	15.45	55	366	5.6	11.6	2.42
Novembre	11	46	410	5.9	14.6	3.63
Décembre	6.4	49	366	4.7	15.4	4.04
Janvier	6.75	63	366	4.1	15.9	3.99
Février	6.7	70	285	2.9	14.6	3.96
Mars	9.75	79	305	1.6	12.5	3.87
Avril	12.3	81	326	2.0	12.0	3.79
Mai	15.4	80	305	3.4	12.2	3.28
Juin	20.4	76	264	3.8	10.3	2.49
Juillet	24.6	71	346	4.9	9.2	2.06
Août	24.4	70	305	5.1	8.4	1.47
Année	14.5	67	329	4.1	12.1	3.06

V.3.1.Coefficient cultural kc :

Rappelons que c'est le coefficient de proportion entre l'évapotranspiration de la culture (ETR) et celle de l'évapotranspiration de référence ET0. Il incorpore les effets de la culture et de son taux l'évapotranspiration ne dépend que du pouvoir évaporant du milieu environnant, par contre les autres culture vont avoir des conditions liées soit à leur age soit à leur nature soit aux deux à la fois.

V.3. 2.Choix de l'E.T.P :

L'évapotranspiration a été calculée par la formule de BLANEY et CRIDDLE, Turc et Penman et Monteith dont les valeurs sont données par le tableau ci-après

Tableau V-7 Choix de l'évapotranspiration

Formule	<u>Turc</u> (mm/mois)	<u>PENMAN&MONTEITH</u> (mm/j)	<u>BLANEY et CRIDDLE</u> (mm/mois)
Septembre	127,53	1.70	108,06
Octobre	80,43	2.42	75,94
Novembre	47,69	3.63	57,62
Décembre	27,22	4.04	41,03
Janvier	25,26	3.99	40,63
Février	35,09	3.96	47,96
Mars	54,05	3.87	64,2
Avril	85,43	3.79	78,48
Mai	109,25	3.28	94,24
Juin	134,82	2.49	119,5
Juillet	160,16	2.06	135,57
Août	164,45	1.47	133,02
Année	1010.46/ans	1082.77/ans	996,26/ans

L'E.T.P calculée par la formule de Penman&Monteith est plus grande que celle de Turc.

Pour les calculs des besoins en eau des cultures, on adoptera l'ETP donnée par la formule de Penman&Monteith qui s'applique plus particulièrement aux zones arides et semi-arides.

V.4.1.Calcul de la pluie efficace :

Pour tenir compte des pertes, le programme Cropwat.8, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant

effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, etc.

Il est difficile d'évaluer les pluies efficaces sans avoir recours à des mesures effectuées pendant de longues périodes, en différents endroits.

Par conséquent, en l'absence de telles données, nous utiliseront couramment des méthodes expérimentales, cas de la méthode proposée et recommandée par l'United States Département of Agriculture-Soil Conservation Service. (U.S.D.A-S.C.S), basée sur les formules suivant, adaptée pour notre projet.

- $P_{\text{eff}} = P_{\text{Tot}}(1 - (0.2 \times P_{P\%} / 125))$ Pour $P_{P\%} < 250\text{mm}$.
- $P_{\text{eff}} = 125 + (0.1 \times P_{P\%})$ Pour $P_{P\%} > 250\text{mm}$.

P_{eff} : Pluie annuelle efficace en (mm/mois).

$P_{P\%}$: Pluie annuelle de probabilité de dépassement de 80%, en (mm).

Les valeurs de précipitations de probabilité de dépassement 80% ($P_{80\%}$) et la pluie efficace (P_{eff}) sont regroupées dans le tableau ci-après

Tableau V-8 Les précipitations efficaces dans les zones de projet

Mois	ETO (Penman&Monteith) mm/jour	Précipitation mm80%	P_{eff}. mm
Janvier	3.99	61.2	44.68
Février	3.96	51.67	37.72
Mars	3.87	57.53	41.99
Avril	3.79	48.26	35.23
Mai	3.28	31.86	23.26
Juin	2.49	8.99	6.56
Juillet	2.06	4.04	2.95
Aout	1.47	3.41	2.49
Septembre	1.70	15.15	11.06
Octobre	2.42	39.38	28.74
Novembre	3.63	53.63	39.15
Décembre	4.04	74.85	54.64
Total	1082.77/an	499.93	328.45

V.5.1. Les besoins en eau des cultures suivant le calendrier cultural :

L'appréciation des besoins en eau des cultures, par le logiciel **CROPWAT**, nécessite l'introduction des renseignements ci après :

*Durée des phases de croissance (en jour) : initiale, mi-saison, développement et récolte.

*Coefficients culturaux (K_c) : pour chaque phase de croissance.

*Profondeur d'enracinement (P) en (mètre) : deux valeurs sont entrées celle de la phase initiale et celle de la phase plein développement.

*Tariissement admissible (p) du sol, exprime en fraction d'humidités totales disponibles :

C'est le niveau critique de l'humidité du sol a partir du quel le stress du au manque d'eau se fait sentir, affectant l'évapotranspiration et la production de la plante.

*Coefficients de réponse du rendement K_Y : pour estimer les productions dues au stress hydrique, nous devons connaître les différents coefficients de réponse pour chaque phase de croissance.

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

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

Avec : B : besoin en eau d'irrigation (mm)

E.T.P : évapotranspiration (mm / jour)

RFU : réserve facilement utilisable

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}).D_a.Z$$

Avec : Y : degré de tariissement

D_a : densité apparente

Z : profondeur d'enracinement mm

H_{cc} : humidité à la capacité au champ

H_{pf} : humidité au point de flétrissement

P_{ef} : pluie efficace

$P_{ef} = A.pluie$; ou $A = 0,8$ à $0,9$

L'irrigation est fait lorsque $B > 0$, (d'après la formule.

Pour notre projet on a utilisé le logiciel **CROPWAT**.

Les résultats de calcul pour les différentes cultures sont reportes dans les tableaux.

Tableau V.3 : besoins en eau d'irrigation du blé dur.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/dec	mm/jour	mm/dec	mm/dec
Oct	1	Init ²	0.3	0.83	8.3	8.6	0
Oct	2	Init	0.3	0.75	7.5	10.9	0
Oct	3	Crois	0.3	0.7	7.8	12	0
Nov	1	Crois	0.32	0.71	7.1	12.9	0
Nov	2	Crois	0.35	0.73	7.3	14	0
Nov	3	Crois	0.39	0.72	7.2	16	0
Déc	1	Crois	0.42	0.7	7	18.9	0
Déc	2	Crois	0.45	0.66	6.6	21.2	0
Déc	3	Crois	0.48	0.75	8.3	19.6	0
Jan	1	Crois	0.52	0.84	8.4	17.5	0
Jan	2	Crois	0.55	0.94	9.4	16.2	0
Jan	3	Crois	0.58	1.14	12.5	15.4	0
Fév	1	Crois	0.62	1.35	13.5	14.3	0
Fév	2	Crois	0.68	1.38	13.8	13.2	0.6
Fév	3	Crois	0.68	1.41	14.2	13.9	0.3
Mar	1	Crois	0.71	1.54	15.4	15.2	0.2
Mar	2	Mi-sais	0.74	2.06	20.6	15.9	4.7
Mar	3	Mi-sais	0.75	2.74	27.4	14.9	12.5
Avr	1	Mi-sais	0.75	2.95	29.5	13.9	15.6
Avr	2	Mi-sais	0.75	3.14	31.5	13.1	18.4
Avr	3	Arr-sais	0.75	3.21	32.1	11.6	20.5
Mai	1	Arr-sais	0.64	2.96	29.7	10.1	19.6
Mai	2	Arr-sais	0.49	2.35	23.5	8.7	14.8
Mai	3	Arr-sais	0.35	1.82	18.2	4.8	13.4
Total					321.6	258.4	120.6

Tableau V.3 : besoins en eau d'irrigation du bersim.

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/dec	ETc mm/ jour	Pluie eff. mm/dec	Bes. Irr. mm/dec
Oct	1	Init	0.5	2.94	29.4	8.6	20.8
Oct	2	Init	0.5	3.05	30.5	10.9	19.6
Oct	3	Init	0.5	2.89	28.9	12	16.9
Nov	1	Init	0.5	2.02	20.2	12.9	7.3
Nov	2	Init	0.5	1.86	18.6	14	4.6
Nov	3	Init	0.5	1.79	17.9	16	1.9
Déc	1	Init	0.5	1.51	15.1	18.9	0
Déc	2	Init	0.5	1.34	13.4	21.2	0
Déc	3	Init	0.5	1.55	15.5	19.6	0
Jan	1	Init	0.5	1.48	14.8	17.5	0
Jan	2	Init	0.5	1.52	15.2	16.2	0
Jan	3	Init	0.5	1.79	17.9	15.4	0
Fév	1	Init	0.5	1.43	14.3	14.3	0
Fév	2	Crois	0.5	1.42	14.2	13.2	1
Fév	3	Crois	0.55	1.41	14.1	13.9	0.2
Mar	1	Crois	0.63	2.03	20.3	15.2	5.1
Mar	2	Crois	0.69	2.36	23.6	15.9	7.7
Mar	3	Crois	0.76	2.01	20.1	14.9	5.2
Avr	1	Crois	0.83	2.59	25.9	12.3	13.6
Avr	2	Mi-sais	0.9	3.18	31.8	11.2	20.6
Avr	3	Mi-sais	0.91	3.59	35.9	11.1	24.8
Mai	1	Mi-sais	0.91	4	40	9.9	30.1
Mai	2	Mi-sais	0.91	4.06	40.6	8.7	31.9
Mai	3	Mi-sais	0.91	4.26	42.6	6.6	36
Jui	1	Mi-sais	0.91	4.49	44.9	4	40.9
Jui	2	Mi-sais	0.91	5	50	1.8	48.2
Jui	3	Mi-sais	0.91	5.55	55.5	1.5	54
Jui	1	Mi-sais	0.91	1.31	13.1	8.1	5
Jui	2	Mi-sais	0.91	1.21	12.1	10.9	1.2
Jui	3	Mi-sais	0.91	0.96	9.6	15.6	0
Aoû	1	Mi-sais	0.91	0.95	9.5	17.9	0
Aoû	2	Arr-sais	0.89	1.15	11.5	15.4	0
Aoû	3	Arr-sais	0.84	1.85	12	13.5	0
Sep	1	Arr-sais	0.77	2.04	10.3	14	0
Sep	2	Arr-sais	0.71	2.16	9.2	15.2	0
Sep	3	Arr-sais	0.66	2.24	8	8.2	0
Total					849.9	441	391.04

Tableau V.4 : besoins en eau d'irrigation des pommiers.

Mois	Décade	Phase	Coeff K _C	ET cult mm/déc	ET cult mm/jour	Pluie eff mm/déc	Besoins D'irri mm/jour	Besoins D'irri mm/déc
Mars	2	Init	0.60	1.84	18.4	3.2	1.20	6.0
Mars	3	Init	0.60	1.94	19.4	6.4	1.30	13.0
Avril	1	Init	0.60	2.04	20.4	6.4	1.39	13.9
Avril	2	Init	0.60	2.14	21.4	6.5	1.49	14.9
Avril	3	Init	0.60	2.32	23.2	7.2	1.59	15.9
Mai	1	Init	0.60	2.50	25.0	8.7	1.63	16.3
Mai	2	In/de	0.60	2.69	26.9	9.8	1.71	17.1
Mai	3	Dév	0.61	2.91	29.1	6.6	2.25	22.5
Juin	1	Dév	0.62	3.15	31.5	2.7	2.88	28.8
Juin	2	Dév	0.63	3.39	33.9	0.0	3.39	33.9
Juin	3	Dév	0.64	3.56	35.6	0.0	3.56	35.6
Juillet	1	Dév	0.66	3.78	37.8	0.1	3.77	37.7
Juillet	2	Dév	0.67	3.97	39.7	0.1	3.96	39.6
Juillet	3	Dév	0.68	3.85	38.5	1.4	3.71	37.1
Août	1	Dév	0.69	3.71	37.1	2.7	3.44	34.4
Août	2	Dév/mi	0.70	3.58	35.8	4.0	3.18	31.8
Août	3	Mi	0.70	3.34	33.4	5.7	2.77	27.7
Septbre	1	Mi	0.70	3.08	30.8	7.4	2.35	23.5
Septbre	2	Mi	0.70	2.83	28.3	9.1	1.92	19.2
Septbre	3	Mi	0.70	2.45	24.5	9.5	1.49	14.9
Octobre	1	Mi	0.70	2.06	20.6	10.0	1.07	10.7
Octobre	2	Mi	0.70	1.68	16.8	10.4	0.64	6.4
Octobre	3	Mi	0.70	1.44	14.4	13.8	0.06	0.6
Novbre	1	Mi	0.70	1.21	12.1	18.5	0.00	0.0
Novbre	2	Mi/arr	0.70	0.98	9.8	22.6	0.00	0.0
Novbre	3	Arr	0.71	0.93	9.3	17.6	0.00	0.0
Décbre	1	Arr	0.72	0.88	8.8	12.0	0.00	0.0
Décbre	2	Arr	0.73	0.83	8.3	6.8	0.16	1.6
Décbre	3	Arr	0.73	0.83	8.3	6.6	0.17	1.7
Janvier	1	Arr	0.74	0.82	8.2	6.7	0.15	1.5
Janvier	2	Arr	0.75	0.82	8.2	6.2	0.20	2.0
janvier	3	Arr	0.76	1.01	10.1	5.7	0.44	4.4
Février	1	Arr	0.77	1.21	12.1	5.2	0.69	6.9
Février	2	Arr	0.78	1.41	14.1	4.7	0.94	9.4
Février	3	Arr	0.78	1.75	17.5	5.2	1.23	12.3
Mars	1	Arr	0.79	2.10	21.0	5.8	1.52	15.2
Mars	2	Arr	0.80	2.45	14.5	3.2	1.81	5.1
Total					793.2	258.3		565.7

Tableau V.5 : besoins en eau d'irrigation des vignes de table.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/déc	mm/jour	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Init	0.91	1.71	17.1	15.2	1.9
Mar	2	Init	0.91	1.96	19.6	15.9	3.7
Mar	3	Init	0.91	2.13	21.3	14.9	6.4
Avr	1	Init	0.91	2.56	25.6	13.9	11.7
Avr	2	Init	0.91	3.06	30.6	13.1	17.5
Avr	3	Init	0.91	3.26	32.6	11.6	21
Mai	1	Init	0.91	3.49	34.9	10.1	24.8
Mai	2	Init	0.91	3.66	36.6	8.7	27.9
Mai	3	Init	0.91	3.98	39.8	6.6	33.2
Jui	1	Init	0.91	4.29	42.9	4	38.9
Jui	2	Init	0.91	4.47	44.7	1.8	42.9
Jui	3	Init	0.91	4.79	47.9	1.5	46.4
Jui	1	Init	0.91	5.12	51.2	1.2	50
Jui	2	Init	0.91	5.39	53.9	1.1	52.8
Jui	3	Crois	0.91	5.46	54.6	0.9	53.7
Aoû	1	Crois	0.96	5.48	54.8	0.7	54.1
Aoû	2	Crois	1.01	5.5	55	0.5	54.5
Aoû	3	Crois	1.07	5.47	54.7	1.7	53
Sep	1	Crois	1.13	4.72	47.2	2.7	44.5
Sep	2	Mi-sais	1.18	4.48	44.8	3.6	41.2
Sep	3	Mi-sais	1.19	3.67	36.7	5.9	30.8
Oct	1	Mi-sais	1.19	2.63	26.3	6.2	20.1
Oct	2	Mi-sais	1.19	2.35	23.5	7.3	16.2
Oct	3	Mi-sais	1.19	2.37	23.7	8.4	15.3
Nov	1	Mi-sais	1.19	2.08	20.8	13.9	6.9
Nov	2	Mi-sais	1.19	1.97	19.7	18.1	1.6
Nov	3	Mi-sais	1.19	1.72	17.2	19.5	0
Déc	1	Mi-sais	1.19	1.99	19.9	20.1	0
Déc	2	Mi-sais	1.19	1.76	17.6	21.2	0
Déc	3	Mi-sais	1.19	2.03	20.3	19.6	0
Jan	1	Mi-sais	1.19	1.94	19.4	19.5	0
Jan	2	Arr-sais	1.19	1.55	15.5	17.5	0
Jan	3	Arr-sais	1.15	1.43	14.3	16.8	0
Fév	1	Arr-sais	1.08	1.32	13.2	15.8	0
Fév	2	Arr-sais	1.02	1.25	12.5	14.6	0
Fév	3	Arr-sais	0.96	1.21	12.1	13.9	0
Total					1122.5	368	772.38

V.5.2. Bilan hydrique

L'irrigation doit combler la différence entre l'eau consommée par les cultures ($ETP \times K_c$) et la pluviométrie utilisable par les plantes (pluie efficace).

Les besoins en eau d'irrigation seront de :

$$B = K_c * ETP - (\text{Pluie efficace} + RFU)$$

L'irrigation n'est par conséquent pas nécessaire si $P_{\text{eff}} + RFU > ETP$.

CHAPITRE VI

Etude des schémas d'aménagement

VI.1. Caractéristiques pédologiques.

VI. 1.1. Sols

Une seule classe a été distinguée, la classe des sols peu évolués qui se développe sur quatre secteurs de la superficie délimitée du périmètre, on a :

1. Les sols peu évolués d'érosion :
2. Les sols peu évolués d'apport alluvial : sols vertiques
3. Les sols peu évolués d'apport alluvial : sols modaux

VI.1.2. Aptitudes culturales

Les sols peu évolués d'érosion sont non irrigables et représentent 145.50 ha. Les deux (02) aptitudes culturales, en irrigué, qui se dégagent sont :

Les sols vertiques d'apport alluvial : C11 M 11 B 33 = 45.50 ha

Les sols modaux d'apport alluvial : C11 M 15 B 41 = 100 ha

Soit une superficie totale de 145.50 ha sur 255 ha est apte à l'irrigation.

La signification des symboles des aptitudes concernées est indiquée sur le tableau ci-après.

Tableau VI.1. La signification des symboles des aptitudes concernées

Spéculation	Symbole	Aptitude Culturelle
Cultures céréalières et fourragères	C11	Moyenne pour la luzerne et bonne pour toutes les cultures céréalières.
	C21	Moyenne pour toutes les cultures.
Cultures arboricoles	B33	Moyenne pour pêcher, prunier, abricotier, olivier et figuier.
	B41	Moyenne pour pêcher, amandier, abricotier, olivier et figuier.

VI.2. Découpage du périmètre en îlots d'irrigation

- le découpage obéira à la structure foncière des exploitations. L'établissement des îlots d'irrigation est basé sur les principes ci-dessous :
- Les îlots d'irrigation sont constitués par une parcelle quand la taille est importante ou le groupement de plusieurs parcelles quand celles-ci sont de moindre importance.
- La détermination des îlots a été effectuée de façon à faire coïncider les limites des îlots avec les limites des parcelles existantes.

- La taille des îlots qui résulte de la superficie des parcelles du périmètre imposera la conception technique de l'ouvrage de livraison d'eau dans les limites des équipements proposés.

On retiendra que sur une superficie délimitée de 255 ha, on à :

- 80 ha non apte à l'irrigation (sols d'érosion)
- 29.5 ha non pas été retenus pour des raisons évidentes de configuration du réseau de distribution
- 145.50 ha apte à l'irrigation.

VI.3. Les objectifs de production

VI. 3.1. Production future dans le périmètre

Celles-ci sont très peu pratiquées aujourd'hui .Or, ce type de culture au double avantage de maintenir la fertilité du sol au sein des assolements et fournir des produits d'alimentation pour le cheptel (intérieur ou extérieur au périmètre).

Avec la généralisation de l'irrigation, la disparition de la jachère ne posera pas de problèmes pour les agriculteurs au profit des fourrages.

Les cultures céréalières en irrigué donneront de bons rendements et seront rémunérateurs pour les agriculteurs.

VI.3.2. Les assolements

En tenant compte des aptitudes culturales deux types d'assolement sont arrêtés sur l'ensemble du périmètre et correspondent à :

-Assolement A (C11 B33) : il s'agit d'un assolement triennal permettant la réalisation des cultures en trois (03) ans sur une superficie de 45.50 ha et comprenant les céréales et les fourrages

-Assolement B (C11 B41) : il s'agit d'un assolement triennal permettant la réalisation des cultures en trois (03) ans sur une superficie de 100 ha et comprenant les Cultures arboricoles.

VI.3.3. Occupation et taux d'occupation du sol :

Les assolements sont indiqués dans le tableau IV.2 occupation du sol ci-après en tenant compte de la proportionnalité de la répartition des différents types de cultures.

Le taux d'occupation est déterminé par des considérations économiques se référant à des périmètres existants en privilégiant les cultures les plus rentables.

Tableau VI.2. Occupation et taux d'occupation du sol

CULTURES	Assolement A		Assolement B		Total
	%	ha	%	ha	ha
FOURRAGERES :					
Blé			50	22.75	22.75
Bersim			50	22.75	22.75
ARBORICOLES :					
Pommier	39	39.00			39.00
Vigne	61	61.00			61.00
Total	100		100		145.50

La répartition d'occupation des sols, relative aux cycles culturaux retenus pour le projet, est tracée dans le calendrier ci-dessous :

Tableau VI.3 : Récapitulatif des principales cultures projetées au niveau du périmètre

MOIS	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet
CEREALE												
Blé dur												
CULTURES FOURRAGERES												
Bersim												
CULTURES ARBORICOLES												
Poirier/ Pommier												
Vigne de table												

VI.4. Système d'irrigation :

Compte tenu de la topographie du périmètre (altitude variant de 930 m à 880 m), la superficie à irriguer est soumise à une moyenne pression. C'est le système d'une irrigation gravitaire dont l'efficacité est de 0.70 (transport du réseau collectif jusqu'à l'irrigation de la parcelle)

VI.5. Efficacité de l'irrigation:

Les besoins bruts du périmètre, dépendent de l'efficacité de l'irrigation, c'est à dire des pertes d'eau qui se produisent à partir du point du captage, jusqu'à la satisfaction des besoins du rapport plante/sol. L'efficacité d'un réseau d'irrigation est définie par le rapport entre le besoin d'eau strictement nécessaire à la culture et le volume d'eau à introduire dans ce réseau.

La différence entre les deux volumes indique les pertes, qui évidemment devront être les plus limitées, afin d'éviter le gaspillage plus particulièrement, si les ressources en eau s'avéraient rares.

La formule communément employée pour l'estimation de l'efficacité d'un réseau d'irrigation, est donnée par l'expression:

$$E_i = E_t * E_a$$

Avec :

E_i : Efficacité d'irrigation en %.

E_t : Efficacité de transport en %.

E_a : Efficacité d'application de l'eau (Agronomique) en %.

Certains auteurs font une distinction ultérieure, tel que la formule:

$$E_a = E_d * E_u$$

Dans la quelle :

E_d : Efficacité de type de distribution en %.

E_u : Efficacité de l'uniformité de la distribution en %.

La thématique développée ci-après se base sur la formule:

$$E_i = E_t * E_d * E_u.$$

Avec :

VI.5.1-Efficacité de transport E_t :

On entend par transport, le trajet parcouru par l'eau du point de prélèvement (barrages, réservoirs, puits, etc...), au point de livraison à la parcelle (borne ou prise), qui peuvent être de nature diverses et avoir une incidence plus au moins forte en fonction des caractéristiques de l'adduction.

VI.5.2-Efficacité de distribution E_d :

L'efficacité de la distribution de l'eau à la parcelle, varie très sensiblement en fonction des modalités de la desserte adoptée, qui peuvent se grouper en cinq grandes catégories :

- *Irrigation par submersion.
- *Irrigation par ruissellement.
- *Irrigation par aspersion.

*Irrigation localisée.

*Irrigation souterraine.

VI.5.3- Efficacité de l'uniformité E_u :

Elle est indépendamment liée à la méthode de distribution adoptée. C'est la livraison égale, par une quantité d'eau optimale en tout point de la superficie irriguée, ce qui se produit très rarement. Pour assurer une bonne répartition, il faudra apporter un volume supérieur, dont l'excédent par rapport à la quantité nécessaire, se traduit par une perte. L'évaluation exacte des pertes (efficacité d'un réseau d'irrigation) est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent dans ces conditions.

En se basant sur le mode d'irrigation et les cultures envisagées, il est possible d'avoir en moyenne, les degrés d'efficacité suivants :

*Céréales, Luzernes, Vesce-avoines et Pommes de terre $\approx 0,75$

*Cultures Maraîchers $\approx 0,80$

*Agrumes, Arbres fruitiers et Vignes $\approx 0,85$

*Plasticultures. $\approx 0,85$

VI.6. Besoins en eau des assolements :

Suivant la répartition adoptée en superficie pour chaque culture et chaque assolement, les besoins nets mensuels et annuels sont donnés en mm dans les Tableau VI.5

Les coefficients culturaux, indiqués en première ligne des besoins, sont établis suivant des tirés de l'ANRH et le bulletin FAO d'irrigation et de drainage : n°24 « les besoins en eau des cultures » en tenant compte des stades végétatifs de chaque culture.

Les besoins en eau bruts des assolements préconisés ont été établis pour le cas d'une irrigation gravitaire avec une efficacité de 0,70.

Ce résultat représente une bonne sécurité pour le périmètre, surtout quand on sait que les eaux d'irrigation sont à forte salinité.

Tableau VI.4 : Besoins en eau d'irrigation du périmètre Médéa

CULTURES	Superficie en ha	Besoins nets mm/ha	Besoins nets m³/ha	Besoins nets Totaux m³	Efficienc e %	Besoins bruts m³/ha	Besoins bruts Totaux m³
CEREALE Blé dur	19,92	120,57	1205,68	24017,15	0,75	1603,55	36572,29
CULTURES FOURRAGER ES : Bersim	12,04	391,04	3910,36	47080,78	0,75	5200,78	118317,74
CULTURES ARBORICOL ES : Pommier	35,74	867,37	8673,69	309997,68	0,81	11536,01	449904,39
Vigne	46,10	772,38	7723,80	356067,18	0,81	10272,65	626631,65
TOTAUX m³	145,50	4727,13	47271,32	1009433,24	-----	62870,85	1231426,078

En se basant sur le plan cultural envisagé, les besoins bruts en eau du périmètre sont estimés à **1.23 hm³**.

VI.6.1. Besoins bruts en eau d'irrigation suivant l'assolement A et B :

Pour une meilleure rationalisation de la ressource hydrique, il est souhaitable de déterminer les besoins bruts en eau des deux assolements pouvant être rencontrés à **50%**. Pour cela, nous avons définis ci-après, deux assolements, représentant deux situations à la limite :

*L'assolement "A" : du type céréalier fourragère, composé des cultures suivantes :

-Bersim 50 %.

-Blé 50 %.

*L'assolement "B" : du type arboricoles, caractérisé par les cultures suivantes :

- Pommier 39 %.

-Vigne 61 %.

Les besoins annuels nets en eau (m³/ha) des deux assolements, sont résumés ci-

dessous. Voir Tableau VI.6

Tableau VI.5. Les besoins annuels nets en eau (m³/ha) des deux assolements

ZONE	ASSOLEMENTS	BESOINS NETS m3/ha
PERIMETRE	A	5116,044
	B	16397,49

Compte tenu des valeurs d'efficacité de l'assolement "A" est de l'ordre de **0,75**, tandis que dans le cas de l'assolement "B" l'efficacité moyenne pondérale est égale à **0,81**.

Les besoins en eau bruts annuels en m³/ha, pour les deux assolements envisagés dans le périmètre du Bas Isser Algérois sont résumés comme suit :

Tableau VI.6 : Besoins nets et bruts en eau du périmètre du Médéa.

ZONE		BESOINS (m3/ha)	
		NETS	BRUTS
A	0,75	5116,044	6821,392
B	0,81	16397,49	20243,8148
Total		21513,53	27065,2068

Les besoins annuels bruts en eau pour les deux assolements : "A" et "B", s'élèvent au total à **2,33 hm³**, ventilés comme suit :

VI.7. Débit caractéristique des assolements :

Le débit caractéristique des assolements a été déterminé pour le mois de pointe de chaque assolement. Il a été considéré une activité de 31 jours dans le mois et une irrigation de 20 heures par jour.

$$q = \frac{B}{T * t * E * 3.6}$$

Avec :

B : besoins nets en eau des cultures (m³/ha).

T : durée de l'irrigation en jours (T = 31).

t : durée de l'irrigation en heures par jour (t = 20h).

E : valeurs de l'efficacité des irrigations.

Tableau VI.7 : débit caractéristique de chaque assolement

Assolement	Mois de pointe	Superficie (ha)	Débit (l/s/ha)
A	Mai	45.50	0,84
B	Août	100.00	1.22

CONCLUSION :

L'hypothèse de prévoir deux assolements est basée sur les besoins bruts en eau, issus de cette proposition, sont de l'ordre de 1.23 hm³.

En définitive, il faudra prévoir une disponibilité annuelle brute d'environ 1.23 hm³ d'eau d'irrigation, qui permettra aux agriculteurs de permuter et de diversifier leur plan de cultures, tout en garantissant leur besoins en eau d'irrigation, avec une marge de sécurité satisfaisante.

CHAPITRE VII

Adduction et réseau de distribution

INTRODUCTION :

Le réseau collectif de distribution d'eau, est essentiellement constitué par des canalisations enterrées, livrant l'eau sous pression aux différents exploitants, par l'intermédiaire des bornes (prises) d'arrosages.

Le développement de ces réseaux de dessert, par les conduites sous pression, est lié principalement, à la rationalisation de la ressource en eau et particulièrement la généralisation des méthodes d'irrigation modernes à la demande. C'est dans ce contexte, que notre attention dans ce chapitre s'est accentuée à la mise au point de la méthodologie d'optimisation du réseau de distribution d'irrigation sous pression, présentée ci-après

VII.1. L'irrigation à la demande :

Cette technique laissant le choix à l'agriculteur d'utiliser sa propre borne (prise) d'irrigation en temps opportun. C'est le mode le plus couramment retenu, néanmoins, très complexe, car les appels de débits sont totalement aléatoires.

VII.2. L'irrigation au tour d'eau :

C'est un mode de dessert spécifique et très rigide, il en existe deux types :

-Avec un tour d'arrosage, à module fixe et uniforme sur tout le réseau, chaque irrigant pourra irriguer au cours d'un tour d'eau, pendant une durée proportionnelle à la surface irriguée.

-Avec un tour d'arrosage à module variable sur tout le réseau : dont les conduites de dessert sont calculées de manière à obtenir un fonctionnement continu au cours du tour d'eau et en fonction de la surface irriguée.

L'inconvénient de ce mode, est le respect de tour d'arrosage, qui nous mène à concevoir un organisme de contrôle. Pour apporter une solution adéquate à ce problème, nous devons prévoir deux modalités :

VII.2.1 Tour d'arrosage à la borne :

Chacune des bornes du réseau reçoit un débit correspondant au débit fictif continu des superficies irriguées qu'elles desservent. Ce débit constitue alors, le module qui est utilisé successivement par les différentes prises de la borne et pendant des durées proportionnelles aux superficies desservies. Chaque borne est équipée d'un limiteur de débit commun aux différentes prises.

VII.2.2 Tour d'arrosage à l'antenne :

Dans le cas des petites propriétés, les modules disponibles lors de l'application des modalités précédentes, pourront être trop faibles, d'où l'option de regrouper plusieurs bornes sur une seule antenne donnée. Le débit fictif continu relatif aux superficies irriguées, desservies par cette antenne, constituera le module d'irrigation, successivement délivré aux différentes prises de l'antenne.

Dans le cadre de notre projet, on adopte une distribution d'eau d'irrigation à la demande, caractérisée par une souplesse, en laissant l'irrigant utiliser selon sa convenance sa prise d'irrigation.

VII.3. Description et choix de la variante:

La variante d'adduction retenue par la direction d'hydraulique de la wilaya de Médéa du périmètre Médéa, la quelle je l'approuve de mon coté, car elle répond aux conditions hydrauliques de desserte du périmètre d'irrigation en présentant une meilleur gestion, exploitation, et facilite l'étude et la réalisation du projet.

Le principe de cette variante, schématisée par la figure VII.1, est la conduite des eaux d'irrigation du STEP de Médéa, jusqu'à la station de pompage située à **100m** en aval, sur la rive droite de l'oued Lahrach. A la sortie de la station de pompage, la conduite d'adduction se dirige dans la direction Nord, pour aller rejoindre le réservoir implanté à la côte **636NGA**.

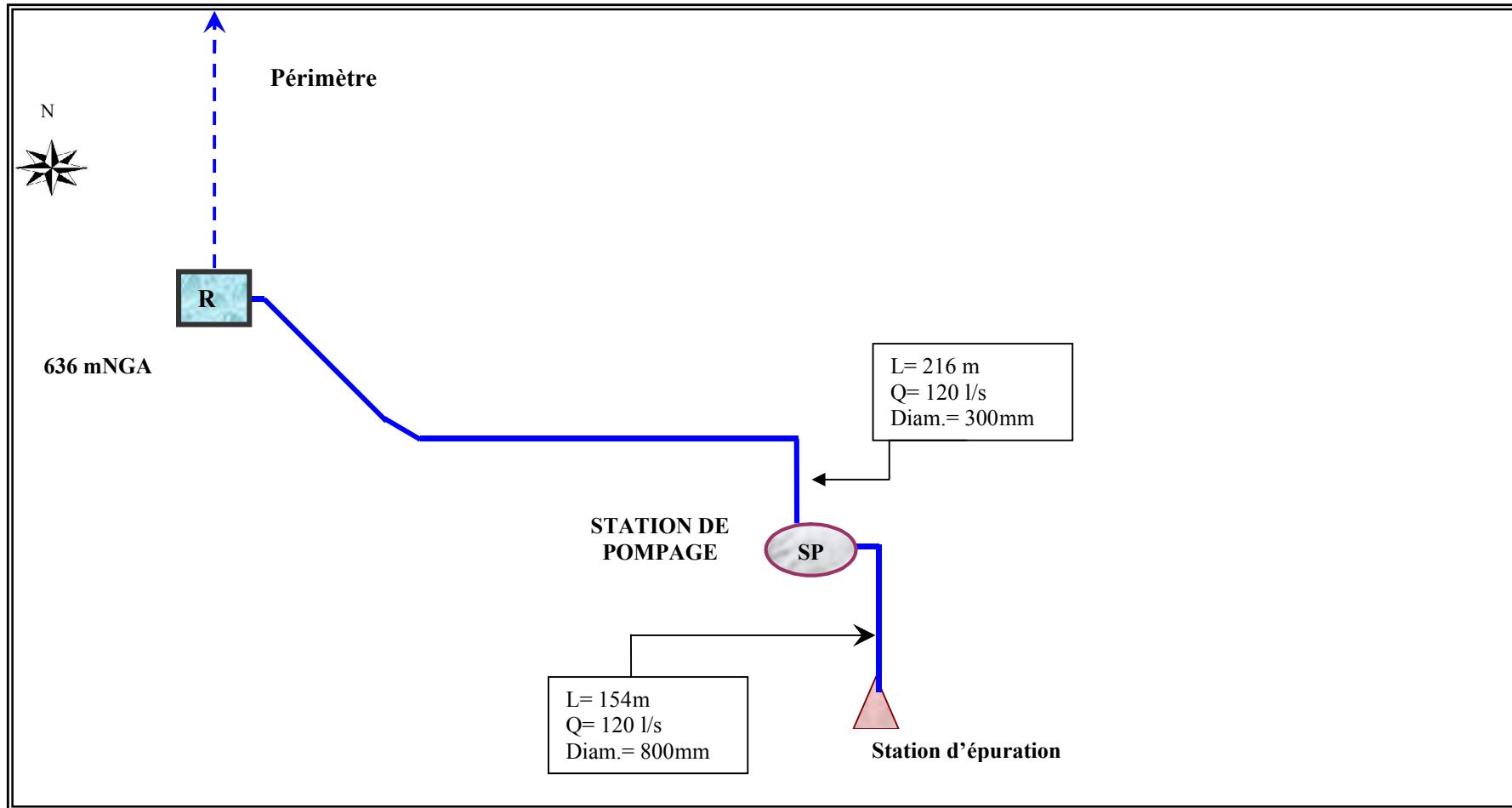


Figure VII.1 Schéma de la variante d'adduction retenue pour le périmètre d'oued laherache

VII.4. Trace du réseau et positionnement des bornes.

La position des bornes résulte du découpage en îlots qui a fait l'objet d'une étude particulière. Les principes généraux sont rappelés ci-après :

- Desserte individuelle des exploitations par une prise d'eau constituée soit par une borne d'irrigation (grande parcelle : supérieure à une dizaine d'hectares), soit par une tubulure de borne (petites exploitations), dans ce cas la borne peut desservir jusqu'à 4 parcelles.
- Positionnement dans la mesure du possible des bornes au point haut de l'îlot afin de laisser libre choix à l'exploitant sur son mode d'irrigation.
- Dans le cas du Micro-parcellaire, la desserte de plusieurs parcelles se fera à partir d'une borne à plusieurs tubulures (4 max) pour une surface totale cumulée de 5 ha.
- Eviter dans la mesure du possible de desservir un exploitant par plusieurs bornes.

Le tracé du réseau est projeté suivant le principe de proximité : plus courte distance pour relier l'ensemble des bornes au réseau de conduites principales, en tenant compte des contraintes du terrain qui limitent fortement les possibilités de choix : les règles générales suivies sont les suivantes :

- La recherche d'un tracé au plus court et avec le minimum de changement de direction concerne principalement la conduite maîtresse : celle du périmètre qui relie la station d'épuration et celles des périmètres aval et amont.
- Eviter dans la mesure du possible de faire passer des conduites en plein champs
- Essayer de positionner la borne le plus proche de chaque parcelle à desservir afin d'éviter de pénaliser des exploitants par des têtes mortes trop longues
- Les conduites suivront au maximum (dans la mesure du possible) les routes et pistes et éviterons les plantations et zones bâties.

VII.5 Calcul des débits

VII.5.1. Débit fictif continu.

Le débit à la borne est calculé pour satisfaire les besoins en eau des cultures les plus exigeantes : valeurs exprimées en doses mensuelles efficience, pour la zone moyenne pression.

Cultures fourragères (Bersim) 143.09 mm

Cultures Céréale (Blé) 54.47 mm

Cultures Arboricoles 176.76 mm (valeur maximale)

On retiendra la valeur la plus élevée de 176.76 mm.

On admettra que pour cette culture la plus exigeante et au mois de pointe, les besoins en eau soient apportés presque en continu : 20 heures par jour - 30 jours par mois soit un débit à la parcelle de :

$$q = (1767.6 * 1000) / (30 * 20 * 3600 * 0.8 * 3.6) = 0,82 \text{ l/s/ha}$$

0.8 : efficience à la parcelle

Le débit fictif (0.82 l/s/ha) correspond au grand réseau c'est à dire par rapport à l'ensemble du périmètre, mais il ne pourra pas satisfaire les besoins en eau au niveau des parcelles.

Les conduites terminales du réseau, qui desservent les superficies inférieures à 30 ha, sur laquelle on peut avoir la culture la plus exigeante, le débit dans la canalisation sera calculé par le débit fictif continu à la parcelle, soit $Q = 1,50 \text{ l/s/ha}$.

VII.5.2. Débits aux bornes :

$$Q_b = q \times S$$

q = débit fictif continu (l/s/ha)

S = Superficie (Ha)

Le débit minimal admissible d'exploitation et avec l'accord de l'administration est choisi à 20 l/s majoré à 15 %.

VII.5.3. Débit dans les tronçons :

Le calcul de débit des tronçons se fait de l'aval vers l'amont. Pour chaque tronçon de conduite on détermine la superficie desservie par ce tronçon, ensuite on détermine le débit transit pour ce tronçon en appliquant la loi de débit.

$$Q = q_0 * S \quad \text{Si} \quad S \leq S_0$$

$$q = \left(\frac{S_1 - S}{S_1 - S_0} * (q_0 - q_1) \right) + q_1 \quad Q = q * S \quad \text{Si} \quad S_0 < S < S_1 \quad \text{avec:}$$

$$Q = q_1 * S \quad \text{Si} \quad S \geq S_1$$

Avec:

S : surface desservie par la borne (ha)

S_0 : surface moyenne des ilots type. ($S_0 = 30 \text{ ha}$)

S_1 : surface alimentée par la plus grande branche ($S_1 = 200\text{ha}$)

q_0 : débit spécifique de la culture la plus exigeant le mois de pointe (l/s/ha)

q_1 : débit spécifique moyen du périmètre pendant le mois de pointe (l/s/ha).

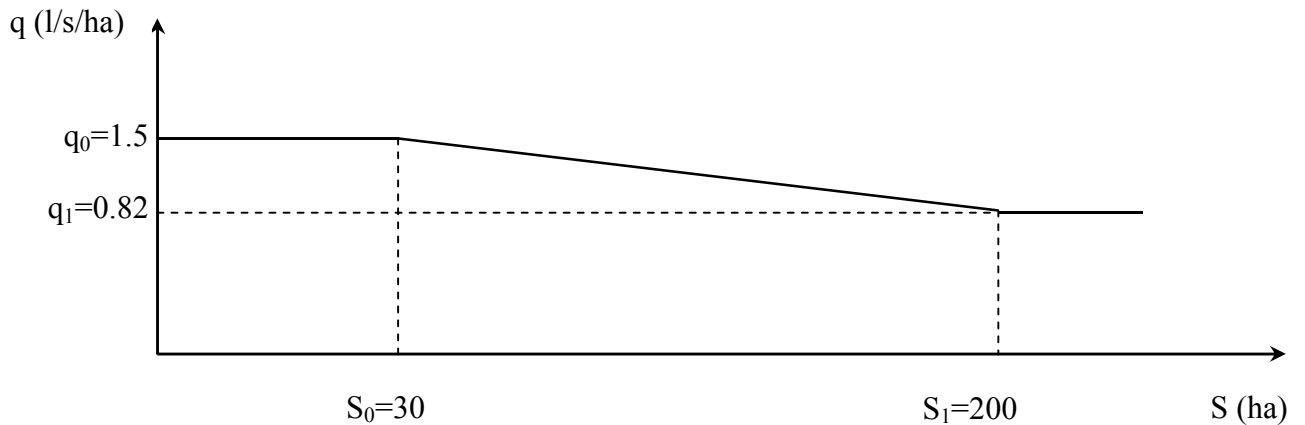


Figure VII.2: Représentation graphique de la loi de débit.

Pour les superficies de 200 ha sur laquelle est réalisé l'assolement moyen du périmètre, le débit dans la canalisation sera calculé par le produit du débit continu moyen pour l'ensemble du périmètre soit 0,82 l/s/ha, par la superficie (ha) ;

$$Q = 0,82 \times 200 = 164 \text{ l/s.}$$

Lorsque la superficie est $30\text{ha} < S < 200\text{ha}$, le débit dans la canalisation varie linéairement de 45,0 à 119.31 l/s/ha.

Superficies $S < 30 \text{ ha}$, $Q = 1,50 \times S$.

VII.6. Calcul des diamètres des canalisations :

VII.6.1. Réseau de conduites enterrées en amont de la borne :

Le calcul des diamètres du réseau est effectué par la méthode de LABYE consistant à rechercher la solution la plus économique de répartition des diamètres de manière à desservir toutes les bornes avec la pression nécessaire à leur bon fonctionnement. Les données de ce calcul sont les suivantes :

-cotes piézométrique de départ : soit la cote du plan d'eau dans le réservoir (niveau des plus basses eaux) :

Cote de réservoir : 640,50 m NGA

-Pressions imposées amont borne :

4 bars dans le cas d'une irrigation par aspersion

1 bar dans le cas d'une irrigation par gravitaire modernisé

-Série de diamètres et prix par diamètre

-Débit, longueur de chaque tronçon

-Formule de perte de charge : la formule utilisée est celle de Lechapt et Calmon donnant des résultats proches de la formule de Collebrook :

$$j = 1,54 Q^{1,96} D^{-5,19}$$

j = perte de charge en mm/m

Q = débit en m³/s

D = diamètre en mètres

Tableau VII.1 Vitesse limites supérieures et inférieures

DIAMETRE (M)	PRIX M.L.(DA)	V.MINI (m/s)	V.MAXI (m/s)
0.100	278.00	0.10	1.50
0.125	311.00	0.15	1.50
0.150	370.00	0.17	1.50
0.200	514.00	0.30	1.60
0.250	663.00	0.32	1.65
0.300	833.00	0.34	1.70
0.400	1245.00	0.35	1.91
0.500	1420.00	0.38	2.04
0.600	1603.00	0.39	2.19
0.700	1783.00	0.40	2.29
0.800	2186.00	0.42	2.39
0.930	2648.00	0.45	2.50
1.000	2760.00	0.47	2.70
1.100	3058.00	0.47	2.80
1.250	3724.00	0.50	2.90
1.600	4611.00	0.52	3.00

VII.6.2. Conditions de pression dans le réseau :

La topographie de périmètre avec des dénivelées extrêmes de 90 mètres entre les zones agricoles les plus hautes et les plus basses conduit à fortes variations de pression dans les réseaux, malgré l'organisation des infrastructures hydrauliques fractionnées en fonction des altitudes.

Il en a résulté une zone à forte pression et une zone gravitaire présentée ci-après.

Tableau VII.2 – Répartition des débits par tronçon

Nom	Longueur	Diamètre	Débit	Vitesse	PdC Total.	Pdc mm/m
N3 -B14	28.7	200.0	19.99	0.64	0.06	2.02
B14 -B15	214.0	200.0	18.60	0.59	0.38	1.77
B15 -B16	306.9	150.0	11.18	0.63	0.86	2.80
B16 -B16'	132.2	150.0	10.01	0.57	0.30	2.28
B17 -B16'	262.4	150.0	7.73	0.44	0.37	1.41
B15 -B19	98.5	100.0	5.19	0.66	0.48	4.87
B03 -B04	172.1	250.0	31.02	0.63	0.26	1.54
B04 -B05	80.0	250.0	28.84	0.59	0.11	1.34
B05 -B06	270.0	250.0	26.06	0.53	0.30	1.11
B06 -N2	292.1	250.0	24.59	0.50	0.29	1.00
N2 -B07	133.8	150.0	9.18	0.52	0.26	1.94
B07 -B08	133.5	100.0	5.75	0.73	0.79	5.88
B08 -B09	123.3	100.0	3.49	0.44	0.29	2.33
N2 -B10	92.7	200.0	15.41	0.49	0.12	1.25
B10 -B11	79.6	150.0	12.60	0.71	0.28	3.49
B03 -N1	104.2	250.0	34.98	0.71	0.20	1.92
N3 -N4	242.5	300.0	57.37	0.81	0.48	1.98
N4 -B21	28.3	80.0	1.75	0.35	0.05	1.93
B21 -B22	8.0	80.0	0.89	0.18	0.00	0.55
N4 -B23	255.9	300.0	55.62	0.79	0.48	1.87
B23 -N5	128.8	300.0	54.14	0.77	0.23	1.78
N5 -B25	234.8	300.0	52.39	0.74	0.39	1.67
N5 -B24	171.0	80.0	1.75	0.35	0.33	1.93
B26 -B27	137.1	300.0	49.64	0.70	0.21	1.51
B27 -N6	75.0	300.0	48.68	0.69	0.11	1.46
B30 -B31	532.0	250.0	33.49	0.68	0.94	1.77
B31 -B32	285.2	250.0	30.44	0.62	0.42	1.49
B32 -B33	430.0	200.0	26.97	0.86	1.51	3.52
B33 -N7	360.8	200.0	23.44	0.75	0.98	2.71
B35 -B36	320.2	200.0	15.47	0.49	0.40	1.26
B36 -B37	398.8	150.0	8.46	0.48	0.67	1.67
B37 -B38	978.7	100.0	5.43	0.69	5.18	5.29
B38 -B39	150.0	80.0	1.57	0.31	0.24	1.58
B38 -B40	358.5	100.0	2.11	0.27	0.33	0.92
B34 -N7	306.0	100.0	5.93	0.76	-1.91	-6.23
N6 -B30	241.8	250.0	35.54	0.72	0.48	1.98
N6 -B28	174.0	150.0	13.14	0.74	0.66	3.77
B28 -B29	240.0	100.0	7.64	0.97	2.39	9.96
B1 -N1	420.0	300.0	37.51	0.53	0.09	0.90
N1 -B02	2.0	80.0	2.53	0.50	0.01	3.81

B11 -B12	127.5	150.0	8.90	0.50	0.23	1.83
B19 -B20	55.0	100.0	3.94	0.50	0.16	2.92
B18 -B16	137.5	60.0	0.54	0.19	0.12	0.89
B12 -B13	114.5	100.0	1.76	0.22	0.08	0.66
B25 -B26	128.7	300.0	50.17	0.71	0.20	1.54
N3 -NP	132.0	400.0	77.36	0.62	0.11	0.85
NP -B1	60.0	300.0	42.44	0.60	0.07	1.13
R -NP	3.0	600.0	119.80	0.42	0.00	0.26
N7 -B35	100.0	200.0	17.51	0.56	0.16	1.58

Tableau VII.3 – Répartition de la pression par Noeud

Nom	Type	Côte sol(m)	Côte Piézo	Pression(m)	Débit de borne(l/s)
R	Réservoir	636.99	640.50	0.00	119.80
N3	Nœud	599.92	640.46	40.47	0.00
B14	Borne	599.52	640.45	40.81	1.39
B15	Borne	600.02	640.40	39.93	2.23
B16	Borne	608.86	640.19	30.23	0.63
B16'	Borne	614.26	640.12	24.53	2.28
B17	Borne	635.55	639.74	2.87	7.73
B20	Borne	605.47	639.45	33.84	3.94
B03	Borne	621.91	640.14	18.23	3.96
B04	Borne	610.60	639.88	29.28	2.18
B05	Borne	610.37	639.56	29.40	2.78
B06	Borne	613.16	638.67	26.31	1.47
N2	Nœud	616.07	637.80	23.11	0.00
B07	Borne	618.08	637.54	20.84	3.43
B08	Borne	622.82	636.75	15.31	2.26
B09	Borne	622.88	636.47	14.96	3.49
B10	Borne	622.04	637.33	17.02	2.81
B12	Borne	624.75	636.82	13.80	7.14
N1	Nœud	628.13	640.34	12.21	0.00
B21	Borne	595.56	640.39	44.29	0.86
B22	Borne	592.70	640.37	47.15	0.89
B23	Borne	596.50	640.43	42.93	1.48
N5	Nœud	596.60	640.41	42.60	0.00
B24	Borne	595.20	640.30	43.67	1.75
B26	Borne	594.83	640.36	43.78	0.53
B27	Borne	595.05	640.31	43.35	0.96
B30	Borne	592.61	640.23	45.20	2.05
B28	Borne	591.50	635.55	46.14	5.50
B31	Borne	587.18	640.14	49.69	3.05
B32	Borne	580.47	639.96	55.98	3.47
B33	Borne	577.32	639.75	57.61	3.53
B34	Borne	583.07	637.71	48.98	5.93
B35	Borne	578.88	639.56	54.92	2.04
B36	Borne	568.03	639.43	65.36	7.01
B37	Borne	560.12	639.37	72.61	3.03

B38	Borne	560.09	639.20	67.46	1.75
B39	Borne	555.00	638.96	72.31	1.57
B40	Borne	545.48	638.87	81.74	2.11
N4	Nœud	595.63	640.45	44.28	0.00
B1	Borne	634.53	640.43	5.90	4.93
N7	Nœud	578.43	639.62	55.52	0.00
N6	Nœud	594.87	640.28	43.42	0.00
B29	Borne	594.50	633.16	40.75	7.64
B02	Borne	618.08	640.33	22.25	2.53
B11	Borne	628.48	637.05	10.30	3.70
B13	Borne	622.34	636.74	16.13	1.76
B19	Borne	604.80	639.92	34.67	1.25
B18	Borne	626.50	640.16	12.47	0.54
B25	Borne	595.67	640.38	43.14	2.22
NP	Nœud	635.00	640.50	5.50	0.00

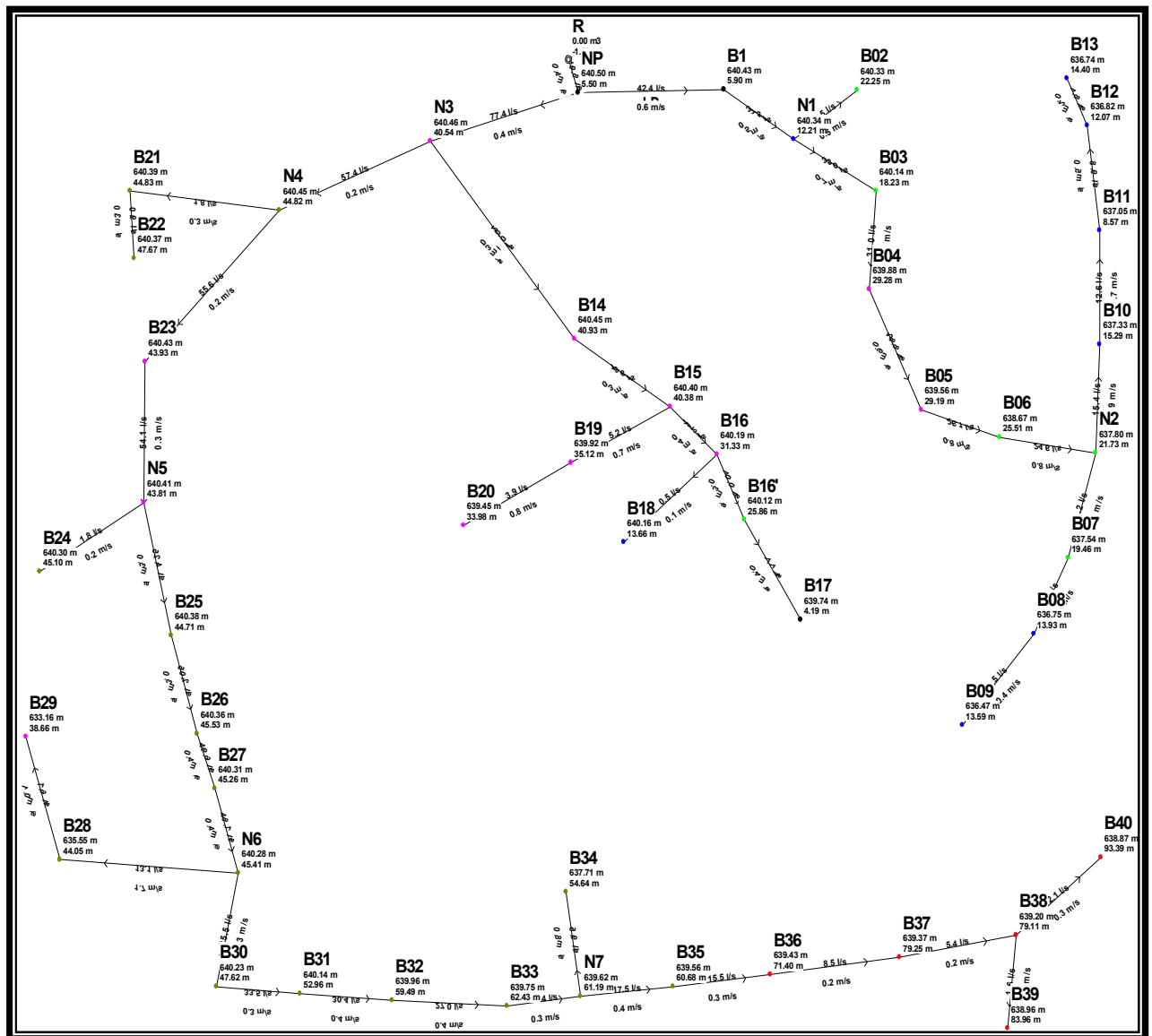


Figure VII.3: SCHEMA DE CALCUL

1/ Zone à forte pression (pression statique supérieure à 7 bars)

Cette zone est localisée sur les bornes B36. B37. B38. B39 et B40 (quelques dizaines d'hectares)

Dans ces bornes il est prévu :

- les appareillages sont dimensionnés pour une pression de 16 bars
- prévu de réalimenter à partir du réseau collectif, ne pourront pas être raccordées directement sur ce réseau, car leurs équipements internes ne sont pas prévus pour la pression de 7 bars ou plus. Des bornes d'irrigation équipées de régulateurs de pression sont prévues pour effectuer ces raccordements. A l'arrêt de l'irrigation la borne devra obligatoirement être fermée.

2/ Zone gravitaire

Le réseau est calculé pour desservir sous 1 bar minimum la totalité des îlots situés en zone gravitaire. Le tableau des caractéristiques des bornes montre la pression statique souvent supérieure à 4 bars en zone gravitaire, il sera donc possible de pratiquer l'aspersion hors des mois de pointe. Certaines bornes qui disposent d'une pression comprise entre 2 et 3 bars pourront pratiquer l'irrigation localisée (vergers).

3/ Conditions de pression en fonctionnement hiver

Les pressions en mode de fonctionnement hivernal (transfert) sont différentes de celles du fonctionnement en été. Les réseaux ont été calculés pour le fonctionnement été, ce qui suppose qu'en hiver pendant le transfert, les réseaux soient isolés de l'adducteur.

VII.7. Les ouvrage d'adduction :

VII.7.1. Conduite d'adduction gravitaire (STEP---Station de pompage)

Le choix du diamètre de la conduite est effectué de façon à ce que la vitesse d'écoulement dans la canalisation soit admissible et comprise entre : **0,2 à 2,00 m/s**, et cela, afin de ne pas provoquer certaine contrainte d'ordre technique : risque de coups de bélier violents lors des changements brusques du régime d'écoulement ou difficulté d'alimenter correctement les points à desservir.

Tableau VII.4 : Caractéristiques des conduites de la variante d'adduction

Tronçon	Qtotale	penne	diamètre	Qps	Vps	H	V
	(l/s)	(mm/m)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m)	(m/s)
STEP--Station pompage	120	5	800	750	1,43	0,198	1,02

VII.7.2 Station de pompage

La première étape pour dimensionner la station de pompage est de déterminer le débit demandé. Celui-ci représente la somme des débits des deux couloirs qui fonctionnent en même temps.

La seconde étape est de déterminer la pression manométrique totale à la quelle ce débit doit être porté. Elle comprend la pression de service (charge) des conduites, la perte de charge due aux frottements dans l'ensemble des sections, les pertes singulières dues aux connections et pièces spéciales et enfin la hauteur géométrique. Cette dernière est la différence de niveau entre la côte de la station et celles des deux réservoirs

Les données de bases présentées ci-après, sont issues des calculs de besoins en eau du périmètre et d'optimisation des conduites d'adduction.

Débit nominal de la station pompage : $Q = 120 \text{ l/s}$

Diamètre de refoulement Sp -R : $D = 300 \text{ mm}$

Longueur de refoulement Sp-R : $L = 200 \text{ m}$

La hauteur manométrique est donnée par la formule de M Lechapt et Calmon.

$$HMT = hg + y + P_r$$

Avec :

HMT : Hauteur manométrique totale en m.

hg : Hauteur géodésique en m.

Δh : Pertes de charge totales en m

P_r : Pression requise nécessaire à la sortie (0,5 ÷ 1,5)m.

*Hauteur manométrique totale SP-R : $HMT_1 = 40.49 \text{ m}$.

*Puissance absorbée section $P = 63,18 \text{ Kw}$.

Le nombre d'unité de pompage principale est fonction du débit nominal total que l'on doit refouler. Pour rendre l'encombrement de la station plus économique, le nombre de pompe doit être le plus restreint possible.

$$Q < 1\text{m}^3/\text{s} \Rightarrow (1 \div 2)\text{pompes.}$$

Tableau VII.5 : Caractéristiques des pompes.

Station de pompage	Unité	Quantité
Groupe de pompes installées	U	2
Groupe de pompes de réserve	U	1
Débit nominal d'une pompe	m^3/s	0.06
Hauteur de refoulement	M	40.79
Rendement hydraulique	%	80
Puissance absorbée	Kw	63.18
NPSHr	M	2

Il sera placé à la sortie des groupes l'appareillage suivant d'amont vers l'aval :

- ventouse à double effet,
- 1 manomètre,
- clapet de non-retour à membrane,
- un compteur de volume de type irrigation,
- vanne d'isolement avec by-pass,
- réservoir anti-bélier à membrane,
- vanne de vidange manuelle.
- limiteur de débit.

VII.7.2.1 Dispositif anti-bélier :

Etant donné l'importance des débits transportés et des vitesses atteintes dans les canalisations, il faut porter une attention particulière à la protection contre les coups de bélier.

Les coups de bélier sont dus à une variation de la vitesse de l'eau qui entraîne des variations de pression d'autant plus accusées que le gradient par rapport au temps de la variation de vitesse est plus grand.

Le démarrage d'une pompe crée une onde de surpression qui se propage dans la canalisation de refoulement. En général, cette surpression est moins dangereuse que celle créée par l'arrêt des pompes, et c'est d'autant plus qu'il est facile d'imposer, par

un jeu de relais chronométrique, un échelonnement dans le démarrage des pompes, alors que, quel que soient les précautions prises, une disjonction électrique entraîne l'arrêt brutal et simultané de toutes les pompes.

L'arrêt des pompes crée une onde de dépression, qui risque de mettre tout ou une partie de la conduite en cavitation et qui est suivie d'une onde de surpression très dangereuse.

VII.7.3 Réservoir de compensation :

Le réservoir de compensation devra assurer au minimum un stockage des eaux pour une durée de (8) heures pour les raisons suivantes :

- Il n'y a pas de pire catastrophe pour un périmètre irrigué que l'interruption de l'approvisionnement en eau, une réserve de sécurité est indispensable ;
- Le stockage dans un réservoir non couvert, participe à l'amélioration de la qualité de l'eau ;

La capacité de stockage des réservoirs de compensation sera définie par la formule suivante :

$$V = Q * T$$

Avec : Q : Débit de pointe en m³/s.

T : Heures de pointe en seconde ≈ 8 heures.

Sa capacité sera alors de **3500** m³ d'où on projette deux bassins rectangulaires identiques de dimensions :

$$L = 30 \text{ m}, l = 13 \text{ m}, \text{ et } H = 4,5 \text{ m}$$

VII.8. Appareillage d'équipement du réseau :

VII.8.1. Les borne d'irrigation :

Chaque îlot sera desservi par une borne d'irrigation à une, deux, trois ou quatre prises (tubulures) et chaque prise sera équipée d'un limiter de débit, un compteur et éventuellement réducteur de pression. Les diamètres des bornes en fonction des débits sont comme suit:

Tableau N°VII.6 : choix de diamètre de la borne

Débit fourni	Diamètre de la borne
$Q < 8$ l/s	D=65 mm
$8 < Q < 20$ l/s	D=100 mm
$20 < Q < 25$ l/s	D=150 mm
$Q > 25$ l/s	D=200 mm

VII.8.2.1. Vannes :

Elles sont nécessaires pour l'exploitation des réseaux, puisque permettent d'en isoler une partie pour l'intervention sans arrêter totalement l'irrigation.

Les vannes de section sont installées automatiquement au départ de toutes les branches et des sous branches.

VII.8.2.2. Vanne de sectionnement :

Les vannes de sectionnement sont utilisées dans le réseau d'irrigation pour isoler les appareils placés en dérivation sur le réseau sur lesquelles il sera possible d'intervenir pour réparation ou réalisation d'un piquage.

Assurer une rotation entre les deux secteurs, en cas où la STEP ne produit plus le débit nécessaire au périmètre

VII.8.3. Ventouses :

Comme nous l'avons dit précédemment les ventouses sont placées aux points hauts des adductions, voir le tableau ci-après.

Tableau N°VIII.7 : choix des ventouses

Diamètre de la conduite	Diamètre de l'orifice d'évacuation de l'air
$D < 500$ mm	D=80mm
$500 < D < 900$ mm	D=100mm
$900 < D < 1250$ mm	D=150mm

VII.8.4. Vidange :

Les vidanges sont placées au niveau des points bas pour permettre l'évacuation gravitaire de l'eau.

VII.8.5. Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air :

Ces ouvrages sont utilisés pour une entrée d'air aux points hauts pour éviter une mise en dépression des conduites : du fait d'une ligne piézométrique très proche du profil du terrain naturel. Ces ouvrages remplacent les ventouses qui ne peuvent pas fonctionner correctement sous très basse pression. La hauteur des cheminées est calculée par rapport aux plus hautes eaux dans le réservoir plus 50 cm.

VII.8.6. Clapet de non retour :

Les clapets de non retour sont utilisés pour éviter un retour d'écoulements, ces appareillages sont disposés dans des chambres de vannes et utilisés dans ces cas :

Maillage entre les points B1 et N1, afin d'alimenter le réseau à l'amont de la STEP

VII.9. Ouvrage de Génie Civil :

Les ouvrages de Génie Civil abritent l'appareillage de protection de distribution et d'exploitation installé sur le réseau.

On distingue deux sortes d'ouvrages de Génie Civil :

-les ouvrages types constitués par des éléments circulaires préfabriqués où la seule variable est la hauteur du regard. Ils concernent les bornes et l'appareillage isolé, tels que ventouses, vidange, vanne de sectionnement < 400 mm.

-les ouvrages individualisés (chambre de vannes) nécessaires dès que l'appareillage est regroupé.

Le dimensionnement des chambres de vannes est effectué en fonction du matériel à mettre en place et des impératifs de démontage et d'entretien. Les dimensions des ouvrages apparaissant sur les plans sont susceptibles d'être légèrement modifiées en fonction des cotes d'encombrement de la robinetterie qui sera installée à l'intérieur. Ces cotes seront donc vérifiées lors de l'élaboration des plans d'exécution.

CONCLUSION GENERALE

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

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

Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que les eaux usées de la station d'épuration de Médéa sont d'une qualité favorable permettant de les utilisées dans le domaine agricole (l'irrigation), après les avoir stockées ou préalable dans des bassins, et qu'elles ne présentent aucun danger sur le milieu récepteur.

L'enquête effectuée nous a permis de constater qu'il existe réellement des possibilités d'utilisation de l'eau épurée par la station de Médéa, sans risque, dans le secteur agricole, surtout que la station est située au cœur de vastes terrains agricoles.

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

- il faut adapter les systèmes d'irrigation à la qualité de l'eau employée,
- il faut optimiser l'apport d'eau et ajuster la fertilisation aux besoins des cultures,
- il faut avoir la possibilité d'irriguer un nombre de cultures suffisant (élargir la gamme des cultures).

Bibliographie

- [1] **Office International de l'Eau**. Caractérisation des eaux usées
- [2] **Office International de l'Eau** Mai 1997. **Jean-Antoine FABY**
Direction de la Documentation et des Données avec l'appui technique de **François BRISSAUD**. Université de Montpellier
- [3] **Monchy,H**, 1978 “Mémento d’assainissement” Ed. EYROLLES, Paris
- [4] **Abdelkader Gaid.**, épuration biologique des eaux usées, tome 1, éditions OPU
1984
- [5] **BOUTIN, B et MERCIER, PN**, 1984“Traitement des eaux usées »
- [6] **TIERCELIN J.R –Alain Vidal-** Traité d’irrigation, 2e édition
- [7] **FAO, 2003** : L’irrigation avec des eaux usées traitées, manuel d’utilisation

ANNEXE

ANNEXE N° 1. FORMULE DE TURC

Valeurs moyennes mensuelles de I_{g_a} en petites calories par cm^2 et par jour.

ANNEXE N° 2. FORMULE DE TURC

Durée mensuelle du jour H en heures par mois

(C'est-à-dire nombre d'heures où le soleil est au-dessus de l'horizon chaque mois).

ANNEXE N°3-les besoins nets en eau B_n : Mensuels et annuel (mm).

ANNEXE N°4 pluies moyennes mensuelles et annuelles observées au niveau de la station pluviométrique de Médéa durant la période (1977-2003).

ANNEXE N°5 Carte pédologique et des aptitudes culturales des sols

ANNEXE 1. FORMULE DE TURC

Valeurs moyennes mensuelles de I_{ga} en petites calories par cm^2 et par jour

LATITUDE NORD

Mois	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
Janvier	858	839	819	799	779	759	736	713	690	666	642	616	589
Février	888	875	862	849	835	821	804	786	768	750	732	711	690
Mars	890	887	884	881	877	873	866	858	850	842	834	820	806
Avril	862	869	876	882	888	894	896	898	900	901	902	898	894
Mai	816	830	844	858	872	885	894	903	912	921	930	934	938
Juin	790	807	824	841	857	873	886	898	910	922	934	942	950
Juillet	804	819	834	849	864	879	890	900	910	920	930	935	940
Août	833	843	853	862	871	880	885	890	894	898	902	900	898
Septembre	875	875	874	874	873	872	867	861	855	849	843	832	821
Octobre	880	870	860	850	840	830	815	800	785	770	755	736	717
Novembre	860	842	824	805	786	867	645	623	601	579	656	631	606
Décembre	842	821	800	779	757	835	710	685	660	635	610	581	531
	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
Janvier	562	537	508	480	451	422	393	364	335	306	278	250	222
Février	668	646	624	599	573	547	521	495	468	441	414	287	360
Mars	792	778	764	746	728	710	692	673	651	629	607	585	562
Avril	890	885	880	871	862	853	743	833	820	806	792	778	764
Mai	942	946	950	949	948	947	946	944	940	935	930	925	920
Juin	958	965	972	975	978	981	983	985	985	984	984	983	983
Juillet	945	950	955	956	957	957	958	958	954	950	946	942	938
Août	896	894	891	885	879	872	865	858	847	836	824	812	800
Septembre	810	799	788	773	758	742	726	710	690	670	649	628	607
Octobre	698	678	658	634	610	586	561	536	510	484	458	431	404
Novembre	580	554	528	501	474	446	418	390	362	333	304	275	246
Décembre	525	497	469	439	410	381	352	323	294	265	236	208	180

LATITUDE SUD

Mois	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°
Janvier	858	865	872	879	886	893	911	930	949	968	986	991	996	1001	1005	1009
Février	888	888	888	888	888	888	898	908	918	928	937	935	932	929	926	923
Mars	890	887	884	880	876	872	867	862	857	851	845	833	821	809	796	783
Avril	862	854	846	838	829	820	802	783	764	745	726	807	686	669	649	629
Mai	816	804	792	780	767	754	727	700	672	644	616	591	567	543	519	495
Juin	790	777	764	751	738	724	693	662	631	601	571	544	517	491	465	439
Juillet	804	794	782	771	760	748	717	687	657	627	597	572	547	522	497	473
Août	833	828	822	816	810	804	781	858	735	713	691	670	649	628	607	586
Septembre	875	875	874	873	872	871	858	845	832	820	808	793	778	763	748	734
Octobre	880	884	887	890	893	896	898	900	902	904	905	900	895	890	885	880
Novembre	860	868	876	884	892	900	915	929	943	957	971	975	978	981	984	987
Décembre	842	851	861	871	891	891	912	932	952	972	992	1000	1008	1016	1024	1031

ANNEXE 2. FORMULE DE TURC

Durée mensuelle du jour H en heures par mois

(c'est-à-dire nombre d'heures où le soleil est au-dessus de l'horizon chaque mois)

Latitude nord

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
Janvier	375	372	369	366	363	360	357	354	351	348	344	340	336
Février	342	341	339	337	335	333	331	330	328	327	325	323	321
Mars	375	375	375	374	374	374	374	374	373	373	373	373	373
Avril	363	364	366	367	369	370	371	373	374	376	378	379	381
Mai	375	378	381	384	387	390	393	396	399	402	406	410	418
Juin	363	366	369	373	377	381	384	388	392	396	400	408	412
Juillet	375	378	381	384	387	391	394	398	402	406	410	413	417
Août	375	377	379	381	383	386	388	390	392	394	397	399	402
Septembre	363	363	364	364	365	365	366	366	367	367	368	368	369
Octobre	375	374	373	372	370	369	368	367	366	364	363	361	360
Novembre	363	361	359	357	354	351	348	345	342	339	336	333	330
Décembre	375	372	369	365	361	357	354	350	342	342	338	334	330
	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
Janvier	332	328	324	320	316	311	306	301	294	287	280	273	266
Février	319	316	313	311	309	307	304	301	298	295	292	288	284
Mars	372	372	372	372	372	371	371	371	370	370	370	369	369
Avril	384	385	387	389	391	395	395	398	401	404	407	410	413
Mai	421	421	425	429	433	441	441	446	452	458	465	472	479
Juin	317	417	422	427	432	443	443	449	457	465	473	481	490
Juillet	421	425	355	434	439	449	449	455	462	469	476	484	492
Août	404	407	320	413	416	422	422	425	429	434	439	444	449
Septembre	369	370	317	371	372	373	373	374	375	376	377	378	379
Octobre	359	357	429	354	352	348	348	346	344	342	340	337	334
Novembre	327	324	410	316	312	304	304	300	295	290	284	278	272
Décembre	326	322	371	312	307	297	297	291	283	276	269	261	253

Latitude sud

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°
Janvier	375	378	381	385	389	392	395	399	403	406	410	413	417	421	425	429
Février	342	343	345	346	348	350	352	354	356	358	360	362	364	366	368	371
Mars	375	375	376	376	377	377	378	378	379	379	389	379	380	380	380	380
Avril	363	362	361	359	358	357	355	353	352	351	349	348	347	346	342	340
Mai	375	373	371	368	365	362	359	356	353	350	347	344	340	336	333	329
Juin	363	359	355	351	348	345	341	337	334	331	327	323	319	315	312	308
Juillet	375	372	369	366	363	360	357	354	351	347	343	339	335	331	327	322
Août	375	374	372	370	368	366	364	362	360	358	356	354	352	349	346	343
Septembre	363	363	362	362	362	362	361	361	361	360	360	360	359	358	358	357
Octobre	375	376	377	378	379	381	381	383	385	387	388	390	392	394	396	398
Novembre	363	365	368	371	374	377	380	383	386	389	392	395	398	401	405	409
Décembre	375	378	382	386	390	394	397	400	404	408	412	416	421	426	431	436

ANNEXE 3-les besoins nets en eau Bn : Mensuels et annuel (mm)

COEFFICIENTS CULTURAUX ET BESOINS EN EAU DES CULTURES (mm)														
CULTURES	S (ha)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O	Année
Bersim	22,75													
Besoins nets (mm)			57,32	13,79			1,23	18,01	59,60	98,01	143,09			391,04
Blé dur et tendre	22,75			0,4										
Besoins nets (mm)							0,879	17,465	54,4715	47,7525				120,568
Total	45.5		57,32	13,79			2,11	35,47	114,07	145,76	143,09	0,00	0,00	
Poirier/ Pommier	39													
Besoins nets (mm)		127,95	57,32	13,79			1,23	18,01	59,60	98,01	143,09	171,62	176,76	867,37
Vigne de table	61													
Besoins nets (mm)		116,47	51,69	8,54			0	12,06	50,2	85,99	128,26	157,21	161,96	772,38
Total	100	244,42	109,01	22,33			1,23	30,07	109,80	184,00	271,35	328,83	338,72	
Total	145.5	244,42	166,33	36,11			3,34	65,54	223,87	329,76	414,44	328,83	338,72	2151,35

ANNEX.4 pluies moyennes mensuelles et annuelles observées au niveau de la station pluviométrique de Médéa durant la période (1977-2004)

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1977	0	6	38.8	0	109.6	25.8	125.7	164.5	95.3	0	0	0.7	566.4
1978	8.7	173	86.9	38.5	72.9	163.5	98.8	80.3	13.2	12.7	0.4	0.6	749.8
1979	81	93.9	108.6	48.8	202.7	36.9	154.4	109.4	32.7	0.5	0	5.2	874.1
1980	21	20.4	34.3	245.5	27.3	82.8	26.9	92.9	35.5	3	0	18	607.6
1981	9.4	18.1	4.4	69.5	165.5	133.2	42.5	24.4	51.1	9.8	0	8.9	536.8
1982	31.4	50.1	225.6	157.7	0	42.9	35.2	29.1	9.2	0	18.6	1	600.8
1983	0	23.3	46.7	63.9	95.2	0	55.4	66.8	84.3	23.1	0	0.5	459.2
1984	0	143	60.5	161	55.3	74.6	140.3	18.6	97.4	0	0	0	751.1
1985	40.2	19.4	75.1	82.2	80.4	100.5	161.1	25.2	0	24.8	0	2.5	611.4
1986	39.4	48.8	75.7	141.1	118.9	198	20.9	13.2	11.7	17.5	0	0	685.2
1987	8	37.3	101.1	35.7	60.2	35	79.3	40.9	53.6	34.4	0	0	485.5
1988	31.3	25.9	32.4	196.2	10.9	36.7	55.3	115.2	14.7	17.5	10.2	21	567.3
1989	12.1	27.7	65.1	148.2	78.6	124.3	73.7	38	19	12.7	5.9	5.4	610.7
1990	14.7	87.2	27.9	16.5	238.2	12.6	70.2	105.4	80.5	25.6	8.7	1.5	689
1991	7.1	47.8	82.2	75.7	21.8	54.9	24.7	82	44.6	0	2.7	1.6	445.1
1992	42.3	19.4	92.4	68	101.9	63.4	1.3	54.8	7.3	0	0	0	450.8
1993	66.5	120	43.5	49.5	240.6	33.8	111.6	13.3	8.5	16.8	0	9.7	713.5
1994	34	53.8	53.8	75.3	93.3	211.5	54.5	87.8	49.8	14.5	17.3	5.8	751.4
1995	28.4	40.4	8.3	71.8	60.4	18.4	7.7	89.4	22	0	0	25.2	372
1996	34.8	74	185.6	103	29.5	76.3	22.5	95.5	157.5	1.5	0	0	580.2
1997	46.2	37.5	84.5	59	114.7	132.7	84.3	7	18.7	4.2	0	1.9	590.7
1998	10.9	40.2	76.1	164.9	12.5	2.5	7.7	42.8	19.5	0	0	0	377.1
1999	21.1	57.7	119.4	42.8	227.3	46.3	1.5	80.8	27.4	0	1.5	0.5	526.3
2000	40.4	4.4	69	51.6	62.6	27.9	51.4	35.4	16.6	0.8	4.7	15.7	380.5
2001	10.3	26.4	99.2	139	195	218.8	9.8	110.7	30.1	2.6	2.3	14.9	859.1
2002	40.4	56.2	134.4	179.3	85.4	48.3	78.7	54.1	87.6	6.8	3.6	3.7	778.5
2003	24.4	31.4	101.2	149	34	83.2	36.1	16.1	3.7	0	0	0	479.1
2004	46.3	92.5	60.4	89.1	135.3	86.3	37.1	16.2	184.9	2.7	5.9	6	762.7
année	20.20	52.50	71.50	99.80	81.60	68.89	76.70	64.34	42.48	11.99	5.39	4.54	599.91