

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME :

**VALORISATION DES EAUX USEES EPUREES DE LA STEP
DE ZEMMOURI ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU
POUR L'IRRIGATION A L'AVAL DE LA STATION**

Présenté par :

M^r : HAMTOUCHE Samir

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et prénom	Grade	Qualité
M^r T. KHETTAL	M C.A	Président
M^{me} O.AZIEZ	M A.A	Examinatrice
M^{me} D.DJOUDAR	M A.A	Examinatrice
M^r D.KOLIAI	Ingénieur en Chef	Examineur
M^{me} S.LEULMI	M A.A	Examinatrice
Mr M.N.CHABACA	M C.A	Promoteur

Septembre 2012

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 mon promoteur Monsieur M.N.CHABACA pour son enthousiasme, sa disponibilité et sa confiance en nos compétences pour mener à bien ce travail.
- Toute ma gratitude pour mes parents, mes sœurs et mes frères pour ses soutiens moraux et financiers.
- Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, surtout Mr S.YAHIAOUI, Mme LEULMI et Mme BAHBOUH .
- Que les membres de jury trouvent ici le témoignage de notre reconnaissance pour avoir bien voulu juger notre travail.
- A toute l'équipe de la station d'épuration de Zemmouri .
- Je tiens aussi à remercier mes amis qui m'ont aidé pendant la réalisation de ce projet.

.....Samir HAMTOUCHE.....

Dédicace

*Je dédie ce travail à ma mère et à mon père, envers lesquels
je ne saurai exprimer ma reconnaissance et ma gratitude,
Que dieu tout puissant les garde pour moi.*

*À mes frères : Ali, Yacine, Rabah, et Yazid ainsi que mes sœurs
pour leur amour et leur soutien inconditionnel,*

À la mémoire de Boualem MAZOUZ

*À tous mes amis, surtout Said, Ali, Kaci, Jugo, Redouane, Mehdi,
Nourredine, M'hend, Aziz, Ahmed, Massi, Soufiane et Hamza.
Sans oublier Abderrahmane.*

.....Samir HAMTOUCHE.....

ملخص

في هذه المذكرة قمنا بدراسة مشروع كيفية تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط 15 هكتار الواقع في بلدية زموري بالمياه انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة الواقعة في نفس البلدية.

لهذا الغرض قمنا بدراسة عامة لمختلف خصائص المنطقة من حيث المناخ و من حيث الخصائص المتعلقة بنوعية التربة و كذلك نوعية المياه.

Résumé

L'objectif de ce projet est la conception d'un réseau d'irrigation pour alimenter avec les eaux usées épurées un périmètre de 15ha à partir de la station d'épuration de Zemmouri.

Pour cela nous avons fait une analyse des caractéristiques climatiques, pédologiques de la région ainsi que la qualité de l'eau d'irrigation.

Abstract

The aim of this project is the conception of the irrigation network that is going to nourish in worn-out waters treated the perimeter of 15ha localized in Zemmouri from its station of purification.

There fore, we have made a general study on the climatic feature as well as the characteristic of the soil, of the region and the quality of water irrigation.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Etat des lieux de l'utilisation des eaux usées épurées dans le monde et en Algérie

Introduction	1
I-1. Objectif de la réutilisation des eaux usées	1
I-2. Historique de la réutilisation des eaux usées	2
I-2-1. En Amérique.....	2
I-2-2. En Méditerranée	3
I-2-3. Australie	3
I-2-4. En Chine et en Inde	3
I-3. La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie	3
I-3-1. Situation des stations d'épurations	3
I-3-2. Perspectives de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture	4
I-4. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées.....	5
I-4-1. Le risque microbiologique.....	5
I-4-1-1. Le consommateur	5
I-4-1-2. Cultures légumières	6
I-4-1-3. Le personnel d'exploitation.....	6
I-4-2. Le risque chimique	6
I-4-2-1. Éléments traces	6
I-4-2-2. Substances nutritives	7
I-4-2-3. Les eaux souterraines (nappes).....	8
I-4-3. Le risque environnemental	8
I-4-3-1. Avantages environnementaux d'utilisation des eaux usées.....	8
I-4-3-2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement.....	8
I-5. Origine des eaux usées	9
I-5-1. Les eaux usées domestiques	9
I-5-2. Les eaux usées industrielles.....	10
I-5-3. Les eaux de ruissellement.....	11
I-6. Composition des eaux usées	11
I-6-1. Microorganismes	11
I-6-2. Matières en suspension et matière organique	12
I-6-3. Substances nutritives	12

I-6-4. Éléments traces	13
Conclusion.....	13

Chapitre II : Présentation de la STEP

II-1. Présentation de la commune de Zemmouri	14
II-1-1. Situation dans le cadre régional	14
II-1-2. Aspects physiques de la commune.....	15
II-1-3. Population	16
II-1-4. Assainissement de la commune	17
II-1-5. Alimentation en eau potable de la commune	18
II-2. Présentation de la STEP de Zemmouri	18
II-2-1. Localisation	19
II-2-2. Les procédés de traitement des eaux usées	19
II-2-2-1. Prétraitement et traitement primaire.....	20
II-2-2-2. Traitement secondaire	22
II-2-2-3. Traitement complémentaire.....	24
II-2-2-4. Prétraitement des boues.....	24
II-3. Etude des analyses.....	25
II-3-1. Objectif de traitement.....	25
II-3-2. Définition de la pollution à traiter	26
II-3-3. Les analyses obtenues par le laboratoire de la wilaya de Boumerdes.....	26
II-3-3-1. Les paramètres de pollution analysés.....	26
II-3-3-2. Interprétation des résultats d'analyses.....	28
II-3-3-3. Les analyses des autres paramètres physico-chimiques	31
II-3-4. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation.....	32
II-3-5. Classification des eaux d'irrigation.....	33
II-3-5-1. Classification mondiale de la FAO	33
II-3-5-2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory).....	34
II-3-6. Calcul du SAR et SAR ajusté.....	35
Conclusion.....	37

Chapitre III : Données climatiques, pédologiques, occupation des sols

Introduction	38
III-1. Présentation du site	38
III-1-1. Localisation.....	38
III-2. Climatologie.....	39
III-2-1. Précipitations.....	39
III-2-2. Températures.....	40
III-2-3. La vitesse du vent	41
III-2-4. Humidité relative	41
III-2-5. Insolation.....	42
III-2-6. Évaporation.....	43
III-3. Classification de climat.....	45
III-3-1. Classification du climat selon l'indice d'aridité de Marton.....	45
III-3-2. Classification du climat selon le diagramme d'Emberger	46
III-4. Pédologie.....	47
III-4-1. Introduction.....	47
III-4-2. Classification du sol de la région d'étude.....	48
III-4-2-1. Fertilité.....	48
III-4-3. Caractéristiques physiques du sol.....	48
III-4-3-1. La texture	48
III-4-3-2. La Structure.....	49
III-4-3-3. La perméabilité	49
III-5. Occupation des sols.....	50
III-5-1. Terrains à faible rendement	50
III-5-2. Zones de maraîchage.....	50
III-5-3. Zones de céréaliculture	50
Conclusion.....	51

Chapitre IV : Détermination des besoins en eaux des cultures

Introduction	52
IV-1. But de l'étude.....	52
IV-2. Étude hydrologique.....	52

IV-2-1. Choix de type de loi.....	52
IV-2-2. Homogénéisation de la série pluviométrique	53
IV-2-3. Étude des pluies moyennes annuelles.....	56
IV-2-3-1. Ajustement à la loi de Gauss	56
IV-3. Calcul des besoins en eaux des cultures	62
IV-3-1. L'évapotranspiration.....	62
IV-3-1-1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration.....	62
IV-3-1-1-1. Méthodes directes	63
IV-3-1-1-2. Méthodes indirectes	63
IV-3-1-2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence	64
IV-3-1-3. Calcul de La Pluie efficace	65
IV-3-1-4. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	66
IV-3-2. Besoins en eau des cultures	66
IV-3-2-1. Choix des cultures.....	66
IV-3-2-2. Répartition des cultures	67
IV-3-2-3. Besoin en eaux des cultures	68
IV-4. Lessivage	70
IV-4-1. Relation entre la salinité de l'eau d'irrigation et la salinité du sol	70
IV-4-2. Sensibilité des plantes à la salinité de l'eau.....	71
Conclusion.....	72

Chapitre V : Dimensionnement de réseau et choix de la technique d'irrigation

Introduction	73
V-1. Généralité.....	73
V-2. Les différents systèmes d'irrigation.....	73
V-2-1. L'irrigation gravitaire.....	73
V-2-1-1. Avantages de l'irrigation par gravité	74
V-2-1-2. Inconvénients de l'irrigation par gravité.....	74
V-2-2. L'irrigation goutte à goutte	74
V-2-2-1. Avantages de l'irrigation goutte à goutte.....	74
V-2-2-2. Inconvénients de l'irrigation goutte à goutte	74
V-2-3. L'irrigation par aspersion.....	75
V-2-3-1. Avantages de l'irrigation par aspersion	75
V-2-3-2. Inconvénients de l'irrigation par aspersion.....	75

V-3. Choix de la technique d'irrigation convenable.....	75
V-4. Description d'un réseau d'irrigation à la goutte à goutte.....	75
V-4-1. Critères de choix de la méthode de micro-irrigation.....	76
V-4-2. Champ d'application de micro irrigation.....	76
V-4-3. Composition d'une installation d'irrigation goutte à goutte	76
V-4-3-1. Groupe de pompage	77
V-4-3-2. Filtre à sable	77
V-4-3-3. Filtre à tamis.....	78
V-4-3-4. Régulateur de pression	78
V-4-3-5. Les goutteurs	78
V-4-3-6. Les distributeurs	78
V-4-3-7. Les rampes et les portes rampe	78
V-4-3-8. Les conduites principales	79
V-5. Projection d'un système d'irrigation goutte à goutte.....	79
V-5-1. Données générales	80
V-5-2. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée	81
V-5-2-1. Influence du taux de couverture du sol	81
V-5-2-2. Besoins d'irrigation brute B_{brut}	82
V-5-2-3. Pourcentage de sol humidifié	82
V-5-2-4. Doses d'arrosage	83
V-5-2-5. Durée d'arrosage.....	84
V-5-3. Calcul de l'installation	84
V-5-4. Calcul hydraulique du réseau	85
V-5-4-1. Conditions hydrauliques	85
V-5-4-2. Calcul de la rampe.....	86
V-5-4-3. Calcul du porte-rampe.....	87
V-5-4-4. La conduite principale.....	88
V-6. La pression en tête de l'installation.....	89
V-7. Choix de la pompe	90
V-8. Capacité du bassin d'irrigation	91
V-9. Adduction.....	91
V-9-1. Type d'adduction	91
V-9-2. Dimensionnement de la Conduite d'adduction gravitaire (STEP-Station de pompage)	92

V-9-3. Dimensionnement de la Conduite d'adduction par refoulement (Station de pompage-Réservoir tampon)	94
V-9-4. Choix des pompes	98
V-9-5. Dimensionnement de la Conduite d'adduction gravitaire (Réservoir tampon-Bassin d'irrigation)	98
Conclusion.....	100

Conclusion générale

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Perspectives de traitement et de la réutilisation des eaux usées en irrigation.	5
Tableau I-2 : Composants majeurs typiques d'eau usée domestique	10
Tableau II-1 : Population de Zemmouri selon le RGPH 2008	17
Tableau II-2 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes).....	26
Tableau II-3 : Caractéristiques de l'eau a l'entrée de la STEP	26
Tableau II-4 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Boumerdes pour les eaux brutes de l'année 2012	27
Tableau II-5 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Boumerdes pour les eaux épurées de l'année 2012.....	27
Tableau II-6 : Les normes de rejet en Algérie	27
Tableau II-7 : Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP	31
Tableau III-1 : Caractéristiques géographiques de la station de Boumerdes	39
Tableau III-2 : Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm).....	39
Tableau III-3 : Températures moyennes mensuelles en (C°)	40
Tableau III-4 : Vitesses moyennes mensuelles de vent (m/s)	41
Tableau III-5 : Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en (%).....	42
Tableau III-6 : Insolation moyenne mensuelle en heures par jour.	42
Tableau III-7 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne.....	43
Tableau III-8 : Précipitations et températures moyennes mensuelles	44
Tableau III-9 : Classification de climat selon Marton	46
Tableau III-10 : Différentes classes de perméabilité	49
Tableau III-11 : Quelques valeurs de coefficients de perméabilité (K)	50
Tableau IV-1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm)	54
Tableau IV-2 : Test de Wilcoxon.....	55
Tableau IV-3 : Ajustement à la loi de Gauss	58
Tableau IV-4 : La pluie moyenne mensuelle de fréquence de probabilité 80% pour une période sèche	60
Tableau IV-5 : Table du χ^2 (de Pearson III).....	61
Tableau IV-6 : Evapotranspiration de référence ET_0 calculée à l'aide du logiciel CROPWAT ...	65
Tableau IV-7 : Pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT	66
Tableau IV-8 : Les cultures choisies.....	67
Tableau IV-9 : Occupation de sol en fonction des cultures	67
Tableau IV-10 : Calendrier culturel	68
Tableau IV-11 : Besoins en eau mensuels des cultures	69
Tableau IV-12 : Tableau récapitulatif des besoins en eaux totaux des cultures	70
Tableau IV-13 : Facteur de concentration en fonction de la fraction de lessivage.....	71

Tableau IV-14 : Taux de rendements des cultures en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation.....	71
Tableau V-1 : Caractéristiques générales du réseau localisé	85
Tableau V-2 : Caractéristiques générales du réseau localisé	88
Tableau V-3 : Coefficients K', m, β pour différents types du tuyau.....	93
Tableau V-4 : Caractéristiques des conduites de la variante d'adduction.....	93
Tableau V-5 : Calcul de la HMT.....	96
Tableau V-6 : Calcul des frais d'amortissement.....	97
Tableau V-7 : Calcul des frais d'exploitation	97
Tableau V-8 : Le Bilan.....	97
Tableau V-9 : Caractéristiques des pompes en fonction de leur nombre.....	98
Tableau V-10 : Coefficients K', m, β pour différents types du tuyau.....	99
Tableau V-11 : Caractéristiques des conduites de la variante d'adduction.....	99

Liste des figures

Figure I-1 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines	2
Figure II-1 : plan de situation de la commune de Zemmouri	15
Figure II-2 : Emplacement de la STEP de Zemmouri	19
Figure II-3 : Arrivée de l'eau.....	20
Figure II-4 : Relevage des eaux par vis d'Archimède	21
Figure II-5 : Dégrilleur	21
Figure II-6 : Déssableur-dégraisseur	22
Figure II-7 : Bassin d'aération.....	23
Figure II-8 : Clarificateur.....	23
Figure II-9 : Canal de comptage et désinfection (chloration).....	24
Figure II-10 : épaisseur des boues	25
Figure II-11 : Comparaison entre la MES des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012.....	28
Figure II-12 : Comparaison entre la DBO ₅ des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012.....	29
Figure II-13 : Comparaison entre la DCO des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012.....	30
Figure II-14 : Comparaison entre la conductivité des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012	30
Figure III-1 : Plan de situation du périmètre.	38
Figure III-2 : Diagramme bioclimatique d'Emberger	47
Figure V-1 : Parties essentielles d'un réseau de micro-irrigation (VERMEIREN et al 1983).....	77
Figure V-2 : Décomposition de l'îlot	80
Figure V-3 : Zone du sol humidifié.....	83
Figure V-4 : La pression en tête de l'installation (schéma)	90
Figure V-5 : Schéma d'adduction	92
Figure V-6 : Courbes caractéristiques de la pompe.	98

Liste des graphes

Grphe III-1 : Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm)	39
Grphe III-2 : Températures moyennes mensuelles	40
Grphe III-3 : Vitesses moyennes mensuelles de vent (m/s)	41
Grphe III-4 : Humidité relative (%)	42
Grphe III-5 : Insolation moyenne mensuelle en h/j.....	43
Grphe III-6 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne	44
Grphe III-7 : Diagramme ombrothémique de Gaussen.....	45
Grphe IV-1 : Ajustement à une loi de Gauss	59

Liste des planches

Planche n° 1 : Plan de la STEP

Planche n° 2 : Occupation des sols

Planche n° 3 : Projection de réseau

Planche n° 4 : Profil en long

Liste des abréviations

RGPH : Recensement Général de la Population a l'Horizon ;

DHW : direction d'Hydraulique de Wilaya ;

DBO : Demande Biochimique en Oxygène ;

DCO : Demande Chimique en Oxygène ;

MRE : Ministère des Ressource en Eau ;

MES : Matières En Suspension ;

STEP : STation d'EPuration.

Introduction générale

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

La pollution des eaux de surface et souterraines est possible par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et de pesticides en agriculture. La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier.

La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

Dans ce contexte, notre étude s'intéressera particulièrement à l'effet de l'utilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration de Zemmouri ;

. L'évaluation de cet impact nécessite entre autre, la connaissance de la qualité de l'eau usée brute et traitée par des analyses physico-chimiques.

Cette contribution a pour objectif :

- d'apprécier la qualité des eaux épurées réutilisées pour l'irrigation ;
- de mettre en évidence l'impact des eaux usées sur les différentes composantes de l'environnement : sol et végétaux.

CHAPITRE I :

**Etat des lieux de l'utilisation des
eaux usées épurées dans le monde et
en Algérie**

Introduction

On appelle réutilisation des eaux usées le second usage qui pourrait être fait de ces eaux une fois qu'elles sont épurées. Le second usage est, la plupart du temps, différent du premier.

La réutilisation peut être réalisée de deux manières :

- La réutilisation directe : qui correspond à l'emploi immédiat des eaux usées, après épuration ; sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel,
- La réutilisation indirecte : qui correspond à l'emploi des eaux usées épurées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel (cours d'eau, barrage, nappe d'eau souterraine....)

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

I-1. Objectif de la réutilisation des eaux usées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est la protection de l'environnement en premier degré, en plus 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 fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de la réutilisation peuvent être définies :

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

Les plus grands projets de la réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (Ecosse, 2001).

La figure suivante résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine.

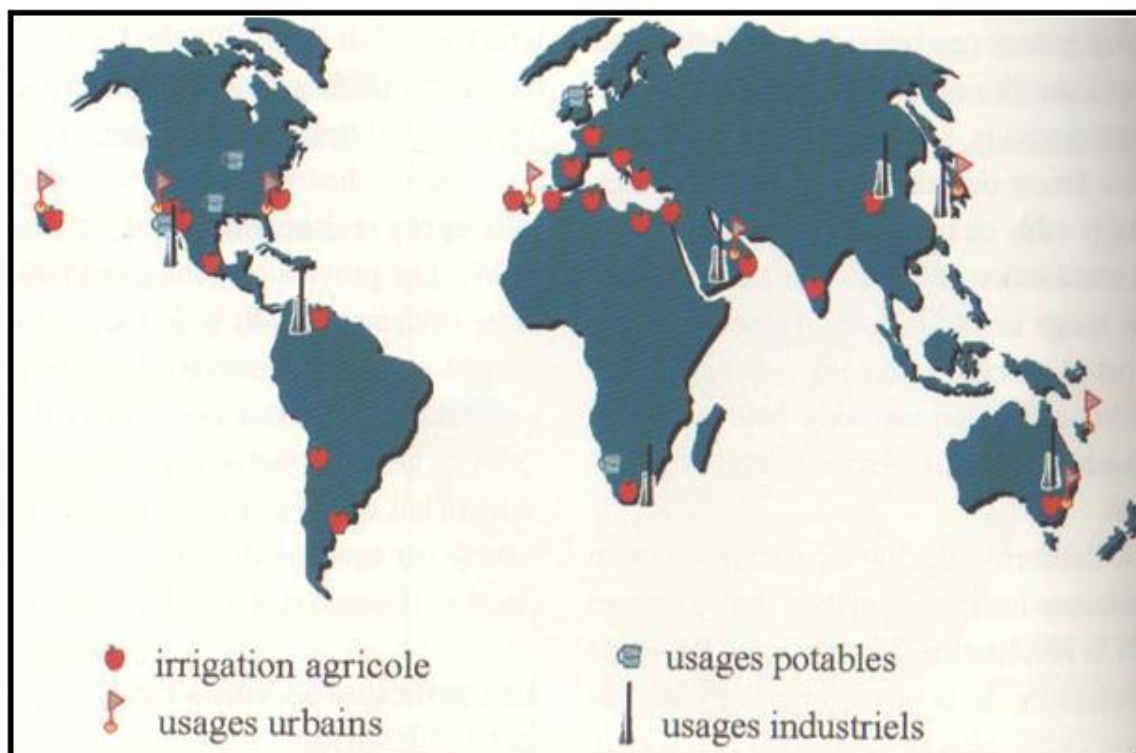


Figure I-1 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

I-2. Historique de la réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées est une pratique très ancienne. Au milieu du 19^e siècle, de nombreuses villes d'Amérique du Nord et d'Europe ont adopté l'irrigation des cultures comme moyen d'éliminer leurs eaux résiduaires. La raison essentielle était d'empêcher la pollution des cours d'eau et non l'amélioration de la production agricole.

I-2-1. En Amérique

Aux États-Unis, 34 états disposent de réglementations ou de recommandations relatives à l'usage agricole des eaux usées. Les grandes réalisations sont en Californie où les eaux usées sont utilisées pour irriguer le coton, le maïs, l'orge et la betterave à sucre et en Floride, où en plus des parcs et des golfs, 3000 ha de cultures et de pépinières sont irriguées par les eaux usées traitées. Au Mexique, les eaux usées brutes de Mexico sont réutilisées pour l'irrigation agricole dans le cadre d'un plus grand projet d'irrigation (irrigation de 90000 hectares de maïs, d'orge et de tomates). Pour l'ensemble des villes mexicaines la superficie irriguée par les eaux usées brutes est de l'ordre de 250 000 ha

I-2-2. En Méditerranée

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé sur le pourtour sud de la Méditerranée. La Tunisie est le premier pays de l'Ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau usées épurée. On compte environ 6400 hectares irrigués par les eaux usées traitées dont presque 70% sont situés autour de Tunis, lieu de production des eaux usées. Les cultures irriguées sont les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires etc.).

I-2-3. Australie

L'Australie est un continent sec. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisqu'un quart du continent concentre 80% des précipitations. Le plus ancien périmètre irrigué au monde se trouve à Melbourne (créé en 1897) et il comporte 4000 ha.

I-2-4. En Chine et en Inde

La Chine et l'Inde, deux pays très peuplés et qui risquent d'être en stress hydrique dans la prochaine décennie, pratiquent à grande échelle la réutilisation des eaux usées en irrigation agricole. Pour l'ensemble des villes chinoises, on compte 1 330 000 ha irrigués par les eaux usées. Pour l'Inde, le total s'élève à 73000 ha (Mara et Cairncross, 1991).

I-3. La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

Les ressources en eau en Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Pour une population de 38 millions d'habitants, les ressources renouvelables en eau sont de 550 m³/an par habitant. Cette moyenne est très faible comparée à la moyenne des pays du Moyen Orient et de l'Afrique du Nord qui est de 1,250 m³ ou à la moyenne mondiale qui est de 7,500 m³. Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare. Dans ces conditions déficitaires en ressources en eau, le secteur de l'agriculture est le plus gros demandeur en eau. [5]

I-3-1. Situation des stations d'épurations

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

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

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

➤ **STEP à boues activées**

Cent une (101) STEP seront en service avant 2012. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m³/j pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras), à 750 000 m³/j pour la STEP de Baraki (Alger) [7].

➤ **Lagunage**

Quatre-vingt treize (93) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré seront en service avant 2012. Les capacités installées varient de 320 m³/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (Ain Temouchent) à 42 000 m³/j pour la STEP de Ouargla [7].

I-3-2. Perspectives de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

Travaux

Quatre projets totalisant une superficie de 3000 ha

- ✓ Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.
- ✓ Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1214 ha.
- ✓ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- ✓ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha [7].

Étude

Trois projets totalisant une superficie de 9000 ha.

- ✓ Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8100ha.
- ✓ Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Médéa sur une superficie de 255ha.
- ✓ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saida sur une superficie 330 ha [7].

Tableau I.1 : Perspectives de traitement et de la réutilisation des eaux usées en irrigation.

	2010	2015	2020	2025	2030
Volume d'eau usée intercepté (hm ³ /an)	501	708	972	1.208	1.271
Volume d'eau usée épurée (hm ³ /an)	257	399	561	705	762
Surface à irriguer par les EUE sans stockage (ha)	21.773	34.485	48.279	59.876	64.431
Surface à irriguer par les EUE avec 100% de stockage (ha)	36.288	57.476	80.466	99.794	107.385

Source: [MRE 2009]

I-4. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

Les risques liés à une REUE agricole sont :

- Le risque microbiologique ;
- Le risque chimique ;
- Le risque environnemental.

I-4-1. Le risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes.

Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes [3].

I-4-1-1. Le consommateur

La protection du consommateur passe par une réglementation de la qualité sanitaire des eaux utilisées pour l'irrigation. D'autre part, la qualité bactériologique dépend des cultures pratiquées. Pour certaines, un niveau de 10⁴ à 10⁵ bactéries coliformes sera acceptable. Pour d'autres, ce niveau pourra descendre à moins de 100 / 100 ml, nécessitant ainsi une désinfection de l'eau.

I-4-1-2. Cultures légumières

Presque tous les cas d'épidémies cités dans la littérature concernent la consommation de végétaux crus et l'utilisation d'eaux résiduaires brutes, de matière de vidange ou de boues brutes. Compte tenu de l'efficacité des traitements d'épuration et de la désinfection, l'utilisation des eaux résiduaires sur des végétaux à consommer crus est inacceptable, quel que soit le stade de traitement (Maait, 1997). Des cas de contaminations fécales par l'intermédiaire de produits végétaux arrosés par des eaux usées brutes ont déjà été mis en évidence, même si cet exercice est difficile. Par exemple, Froese (1998) rapporte une étude faite par Herwaldt en 1997 dans laquelle une épidémie de Cyclosporiose (*Cyclospora cayetanensis*) a été corrélée à une consommation de framboises importées.

I-4-1-3. Le personnel d'exploitation

Quelques études menées sur le risque sanitaire pour le personnel font ressortir que ce risque n'est pas plus élevé que pour le personnel travaillant sur les stations d'épuration.

Dans le cas des travailleurs agricoles, le risque est plus élevé pour les helminthes. En laboratoire, il a été mis en évidence que l'exposition aux entérovirus est plus élevée, même si sur le terrain il n'y a pas eu d'augmentation de cas cliniques ; 6 études listées par Devaux montrent que les travailleurs agricoles sont légèrement plus exposés que la population normale ou que les personnels de station d'épuration et les égoutiers ; les nouveaux travailleurs sont plus sensibles que les anciens : il semble y avoir une adaptation immunitaire aux bactéries et aux virus.

I-4-2. Le risque chimique

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 (FAO, 2003).

I-4-2-1. Éléments traces

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

Les métaux qui présentent les risques les plus notables sont:

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

I-4-2-2. Substances nutritives

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

▪ L'azote

En quantité excessive peut :

- ✓ Perturber certaines productions,
- ✓ Retarder la maturation de certaines cultures (abricots, agrumes);
- ✓ Altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucres des fruits ;
- ✓ Accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales, limiter le développement des jeunes racines. [7]

▪ Les nitrates

L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais et les eaux d'épuration. L'azote n'est pas absorbé par les plantes, volatilisé, ou emporté par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate. [12]

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

▪ Le potassium

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium et une augmentation des pertes par drainage en sols légers. [7]

▪ Le phosphore

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

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

La décomposition et la minéralisation de ces algues, lorsqu'elles meurent, consomment de l'oxygène dissous. Autrement dit, plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène, particulièrement dans les eaux du fond. En dessous d'un certain seuil, on parle généralement de 4 mg d'oxygène par litre, les conditions de vie deviennent difficiles pour la faune et la flore. [7]

I-4-2-3. Les eaux souterraines (nappes)

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

Les nappes captives (nappes qui ont une couche imperméable au-dessus qui empêche l'eau et donc les polluants de s'infiltrer) sont plus protégées, mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué. [7]

I-4-3. Le risque environnemental

I-4-3-1. Avantages environnementaux d'utilisation des eaux usées

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

- La suppression de rejets 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 telle que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.
- La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

I-4-3-2. 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 des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- La propagation des microorganismes pathogènes (FAO, 2003).

a. 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. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. 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 (FAO, 2003).

B. 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 (FAO, 2003). La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe.

C. Effet sur les eaux superficielles

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu (Baumont 2004).

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs. Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). 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 (FAO, 2003).

I-5. Origine des eaux usées

Selon Eckenfelder, (1982), les eaux usées proviennent de trois sources principales :

- 1- Les eaux usées domestiques ;
- 2- Les eaux usées industrielles ;
- 3- Les eaux de ruissellement

I-5-1. Les eaux usées domestiques

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

- les eaux-vannes, qui correspondent aux eaux de toilette ;
- les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle,

douche/bain, etc.

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

- la composition originale de l'eau potable, qui elle-même dépend de la composition de l'eau utilisée pour produire l'eau potable, de la qualité du traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature des canalisations, etc. ;
- les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc.

Tableau I-2: Composants majeurs typiques d'eau usée domestique

Constituants	Concentration (mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous (TDS) *	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore	100	50	30
Alcalinité (en CaCO₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO₅	300	200	100

* que les montants de TDS et les chlorures devraient être augmentés par les concentrations de ces composants dans l'eau issue des voitures.

I-5-2. Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

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

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

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables.

I-5-3. Les eaux de ruissellement

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméables, en général en zone urbaine, sont collectées par un réseau qui peut-être le même que celui qui collecte les eaux usées, ou non.

I-6. Composition des eaux usées [6]

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-6-1. 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 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridiums. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10⁴/l. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde.

✓ 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 comprises entre 10³ et 10⁴ 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'oeufs d'helminthes peut-être évalué entre 10 et 103/l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *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 oeufs. Les oeufs 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-6-2. 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-6-3. 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-6-4. Éléments 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.

Conclusion

Les effluents peuvent constituer un approvisionnement d'appoint et leur réutilisation doit être envisagée. Néanmoins, les décisions concernant cette réutilisation ne peuvent se fonder sur des considérations d'ordre général. Elles doivent tenir compte des aspects relatifs à l'eau, au sol, à la plante, à l'environnement et en particulier à la santé publique.

Nous pouvons conclure qu'il y a un besoin d'options technologiques pour protéger la santé des populations, mais elles devraient employer une quantité modérée d'énergie à moindre coût. Une qualité appropriée est nécessaire à la réutilisation de l'eau, sans prétendre qu'il soit nécessaire d'atteindre un risque de niveau zéro, en particulier en prenant en compte les normes pour les produits alimentaires qui ont un risque potentiel plus élevé.

CHAPITRE II :

Présentation de la STEP

II-1. Présentation de la commune de Zemmouri

II-1-1. Situation dans le cadre régional

La commune de Zemmouri se situe au Nord de la Wilaya, son chef-lieu de commune est l'agglomération de Zemmouri qui se positionne au Centre de la commune, et qui constitue le point de convergence de la plus part des localités à travers le territoire communal ce dernier couvre une superficie de 5050 Ha avec une population de 26 408 Habitants selon le RGPH 2008.

La commune de Zemmouri limitée par :

Au Nord : Par la Mer Méditerranée

A l'Est : Par la commune de Leghata

Au Sud : Par la commune de Si Mustapha

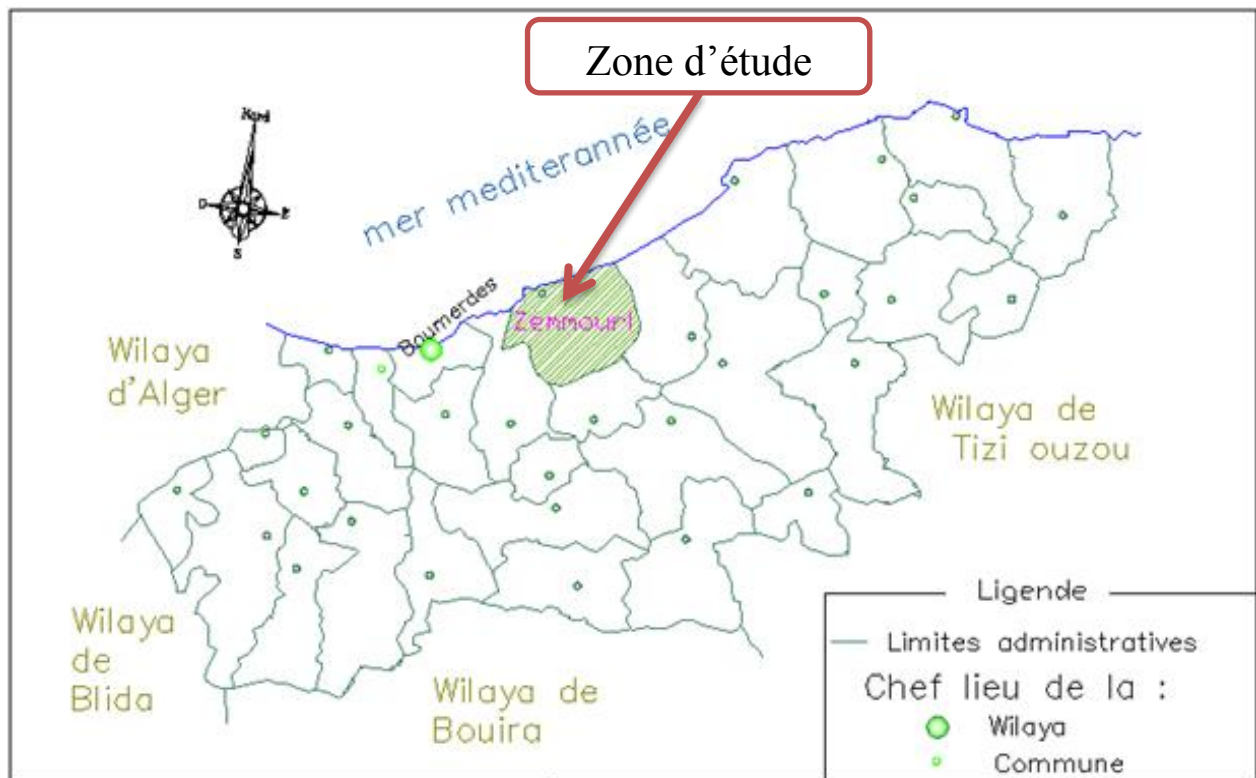
A l'Ouest : Par la commune de Thenia

La commune de Zemmouri dispose d'un réseau de communication important permettant ainsi une bonne accessibilité à travers le territoire communal, en l'occurrence la RN 24D reliant le chef-lieu à Si Mustapha et la RN 24 desservant Boumerdes à Dellys via le littoral. Aussi l'existence de chemins de Wilaya permet la communication des différentes localités de la commune tout en desservant les communes limitrophes (CW 220, CW 25) quant au reste du réseau, il se compose de chemins vicinaux et de piste carrossable reliant les différentes fractions de la zone éparsée.

Concernant l'armature urbaine, de la commune hormis l'agglomération chef-lieu, la commune de Zemmouri se compose de trois agglomérations secondaires à savoir Zemmouri El Bahri au Nord Ouest, Zaatra au Sud sur la RN 24D, Safsaf nabi à l'Ouest sur la RN 24, et dernièrement la fraction de Bousara.

Concernant les relations à promouvoir du point de vue échanges et communications on cite la RN 24 (axe d'envergure régional) permettant la liaison entre Boumerdes et la wilaya de Tizi-Ouzou. Aussi la communication avec la commune de Thénia prédispose Zemmouri à avoir des relations intenses à travers le CW 25, qui devrait faire l'objet de rénovation, vu son état médiocre.

L'autre commune ayant des relations fortes avec Zemmouri, Si Mustapha qui se situe au Sud et desservie par la RN 24D. Cette dernière joue un rôle important dans le schéma de structure régional et permet ainsi de collecter un flux considérable de population originaire des wilayas limitrophes surtout en période estivale. [1]



Source : Wikipédia Echelle : 1/25 000

Figure II-1 : plan de situation de la commune de Zemmouri

II-1.2. Aspects physiques de la commune

La commune de Zemmouri est caractérisée par quatre (4) grands ensembles topographiques distincts à savoir :

- une zone de montagne située au Nord Ouest de la commune dont l'altitude moyenne avoisine les 400 m.
- un ensemble de petites collines situées au Centre de la commune dont l'altitude varie entre 90 et 110 m.
- une plaine littorale large de 1 km avec des pentes inférieures à 3 %.
- En fin, un cordon dunaire qui longe toute la côte. [1]

a. Climat

La situation géographique du site se caractérise par une position bioclimatique humide, c'est un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons, l'une froide et humide en hiver, l'autre chaude et sèche en été.

La pluviométrie atteint les 800 mm / an, quant aux vents, on note l'alternance de la brise de montagne avec celle de la vallée.

b. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la commune est assez riche à travers la commune et se compose essentiellement de :

- Oued El Merdja au centre de la commune.
- Oued Boudissa à l'est de la commune.

-Oued Zaatra au Sud de la commune.

c. Cadre géotechnique

L'étude des paramètres physico mécaniques, obtenus à partir des investigations et essais géotechniques des formations géologiques, révèle des caractéristiques géotechniques moyennes à bonnes dans l'ensemble exception faite des alluvions récentes. On peut donc distinguer 4 zones géotechniques dans notre secteur :

- La zone des sables rouges d'âge quaternaire présentant des caractéristiques géotechniques moyennes à bonnes, qui occupent la plus grande superficie dans la ville de Zemmouri.
- La zone des sable dunaires (sable fins à grossiers) d'âge quaternaire ayant de bonnes caractéristiques géotechniques avec une surface d'extension Est Ouest.
- La zone des formations alluvionnaires (au niveau des oueds) présentant des caractéristiques géotechniques mauvaises. Le tassement est le problème caractéristique de cette zone.
- La zone de la formations marneuse, altérée au sommet et saine à la base, présente des caractéristiques géotechniques bonnes dans l'ensemble. Cette formation marneuse se trouve souvent en profondeur au niveau de Zemmouri et en surface à Zaatra, et est très homogène ce qui exclut tout tassement.

Cadre sismique

L'Algérie du nord fait partie de la ceinture tectonique alpine méditerranéenne ou l'activité sismique est très importante.

Tout projet d'urbanisation dans une région donnée nécessite la prise en compte du facteur sismique caractérisant la zone à urbaniser.

Il s'agit d'un paramètre qui a été souvent à l'origine de pertes considérables aussi bien sur le plan vies humaines que matériels.

La région d'Alger – Boumerdes, appartenant au segment central de la chaîne tellienne de l'Algérie du Nord, est caractérisée par une déformation tectonique africaine et eurasienne.

Une synthèse des données sismotectoniques de la région d'Alger _ Boumerdes montre que notre zone d'étude se situe dans une province caractérisée par une activité néotectonique.

Cette activité est témoignée par la présence de failles actives potentielles, telles que celles du sahel, de Thénia, la faille Sud mitidjienne, et celles supposées en mer.

Le zoning sismique établi par le R.P.A 2003 suite au séisme du 21mai 2003 et qui a touché la région de Boumerdes et ses environs, situe la région de Zemmouri dans une zone de forte sismicité. [1]

II-1-3. Population

La population de la commune est évaluée à 26 408 habitants selon le RGPH 2008.

En constatant sur terrain qu'il y a eu un apport important de population et qui est nettement visible à travers le nombre de nouvelles constructions édifiées dans la période (1998 / 2008).

Tableau II-1: Population de Zemmouri selon le RGPH 2008

Dispersion	Population en 1998	Taux d'accroissement global	Population en 2008	Pourcentage
Chef-lieu	8697	3,82 %	12 650	48 %
Zaatra	2865	1,33 %	3269	12 %
Zemmouri el-bahri	1500	6,25 %	2749	10 %
Safsaf nabi	1662	7,08 %	3293	12 %
Bousara	-	***	987	4 %
Total A.S	6027	5,50 %	10 298	39 %
Zone éparsé	6282	-5,79 %	3460	13 %
Total	21 006	2,31 %	26 408	100 %

Source : PDAU Zemmouri

- A.S : Agglomération secondaire

II-1-4. Assainissement de la commune

Le chef-lieu de Zemmouri est doté d'un réseau d'assainissement de type unitaire, ce dernier est composé de collecteurs dont les diamètres varient de Ø 300mm à Ø 800mm.

On constate l'existence de déversoir d'orage permettant la séparation des eaux pluviales qui sont rejetées vers le milieu naturel alors que les eaux usées sont évacuées vers la station d'épuration.

Zemmouri el Bahri

Le réseau d'assainissement est de type unitaire, le diamètre varie entre Ø 300mm et Ø 600mm.

Tous les rejets sont dirigés vers la station de relevage.

Zaatra

Zaatra est doté d'un réseau de type unitaire, il est en bon état, tous les rejets se font à ciel ouvert (vers l'oued). .

Les diamètres varient de Ø 300mm à Ø 400mm.

Safsaf Nabi

Le réseau d'assainissement est de type unitaire, on constate deux types de buses, en béton comprimé et en PVC, les diamètres varient entre Ø 300mm à Ø 400mm.

On constatera trois (3) rejets vers l'exutoire naturel (oued), et un rejet orienté vers la station de relevage de Zemmouri.

II-1-5. Alimentation en eau potable de la commune Chef-lieu Zemmouri

Le chef-lieu de Zemmouri est alimenté à partir des forages situés au niveau de F.Sahel, véhiculé par refoulement avec une conduite de diamètre Ø 110mm en PEHD et en Fonte jusqu'au réservoir 2x1500 m³ de Si Mustapha, à partir de ce dernier l'eau est véhiculé gravitairement avec un conduite de diamètre Ø 250 mm en PEHD jusqu'au réservoir 2 x 500 m³ de Zemmouri.

Des extensions vers divers projets réalisés depuis ont été également effectuées sans oublier les réseaux alimentant les nouveaux chalets.

a. Réseau d'adduction

Le réseau d'adduction est en bon état, opérationnel, pour le préserver et le protéger, il faudra lui donner une servitude de 6 m.

b. Réseau de distribution

Le réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Zemmouri est en mauvais état, et vu sa vétusté il est primordial de le rénover et l'adapter au nouvel aménagement prévu dans cette présente étude, pour cela nous avons établi deux variantes.

Zemmouri el Bahri

Zemmouri El Bahri est alimenté à partir d'un réservoir de 150 m³ lui-même alimenté par le réservoir 2x500 m³ situé à Zemmouri (Chef Lieu).

Zaatra

L'alimentation en eau potable de Zaatra est effectuée à partir du réservoir de 200 m³. Le réseau de distribution est de type maillé et en bon état.

Safsaf Nabi

Safsaf Nabi est alimenté à partir du réservoir 500 m³. Le réseau de distribution est de type ramifié, de diamètre 50/60 en bon état.

II-2. Présentation de la STEP de Zemmouri

L'objectif principal d'une station d'épuration 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.

À 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 d'opération et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

- **le traitement préliminaire.** Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute ;
- **le traitement primaire.** Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants ;
- **le traitement secondaire.** Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires ;
- **le traitement tertiaire et/ou avancé.** Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques.

II-2-1. Localisation

Le site de la STEP est situé au Sud Est de Zemmouri, à environ 16 km à l'Est de la ville de Boumerdes. Elle est implantée sur le bord d'oued arara où il était prévu de rejeter les eaux usées épurées.

La station d'épuration est prévue pour traiter les eaux usées de la commune de Zemmouri. D'une capacité de 25 000 EH, Elle a été mise en service en Janvier 2002. Ses coordonnées GPS sont : N36°47'22,25'' E3°36'43,27''.



Echelle : 1/350

Figure II-2 : Emplacement de la STEP de Zemmouri

II-2-2. Les procédés de traitement des eaux usées

La séparation des graisses est indispensable pour épandage et traitement biologique ultérieur, de plus les eaux peuvent être particulièrement chargées en MES et c'est pour ça que les prétraitements et traitements primaires sont nécessaires pour faciliter les traitements secondaires.

Les étapes de traitement sont les suivantes :

II-2-2-1. Prétraitement et traitement primaire

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

a. Arrivée de l'eau et Relevage

L'effluent brut arrive d'une manière gravitaire à la station. Il est relevé respectivement par une vis d'Archimède. Dès que l'effluent a atteint son niveau d'entrée du prétraitement, il est acheminé gravitairement vers :

- ❖ Le By-pass total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station ;
- ❖ L'alimentation du prétraitement en aval. [2]

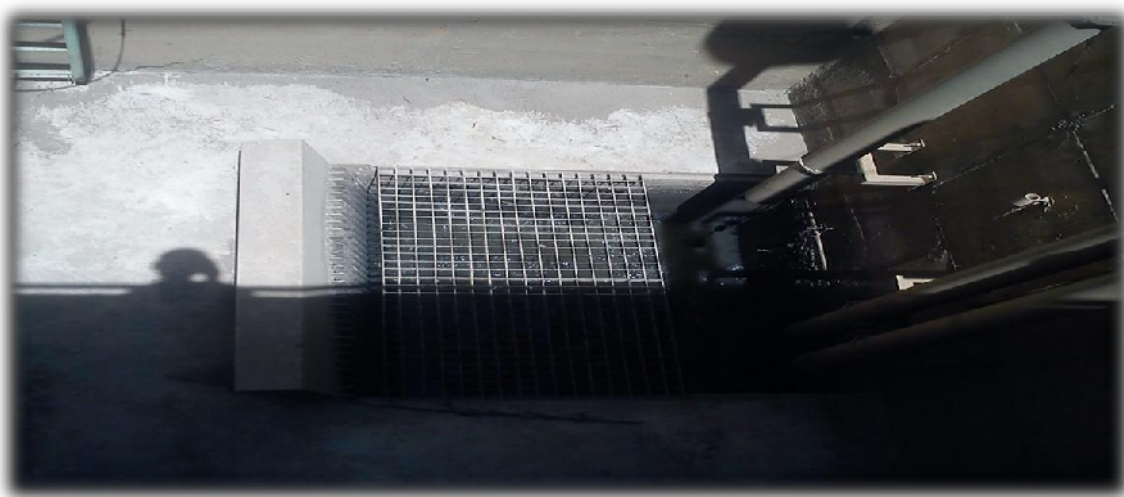


Figure II-3 : Arrivée de l'eau



Figure II-4 : Relevage des eaux par vis d'Archimède

b. Dégrillage

L'ensemble de dégrillage comporte 1 dégrilleur automatique fin de type à champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20 mm, le dégrillage grossier ayant déjà été assuré à l'entrée de la station.

Les refus sont évacués par un convoyeur à vis vers une benne ou tout autre dispositif de stockage.

En cas d'avarie ou d'entretien sur le dégrilleur automatique, il est prévu un canal de by pass équipé d'un dégrilleur de secours à champ droit à nettoyer manuel et espacement entre les barreaux de 20 mm. Il est isolé par des batardeaux en aluminium à commande manuelle.

Tous les canaux de dégrillage sont isolables par le même dispositif de barreaux en aluminium. [2]



Figure II-5 : Dégrilleur

c. Dessablage-dégraissage

Les ouvrages circulaires de dessablage dégraissage ont pour but :

- ❖ L'élimination par décantation de la grande partie des sables de dimensions supérieures à 150-200 μm ;
- ❖ L'élimination d'une grande partie des matières flottantes (graisse, écume...) en partie supérieure des ouvrages. [2]



Figure II-6 : Désableur-dégraisseur

II-2-2-2. Traitement secondaire

a. Bassin d'aération

Les eaux prétraitées sont dirigées vers deux (2) bassins d'aération munis de turbines type « anti-rotor » permettant l'aération prolongée de la culture bactérienne à l'origine du traitement.

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

- ❖ Nombre de bassins02
- ❖ Volume unitaire.....3000 m^3
- ❖ Profondeur.....4.5 m
- ❖ Nombre d'aérateur.....03 pour chaque bassin [2]



Figure II-7 : Bassin d'aération

b. Clarification et ouvrage de recirculation

c

Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bêche de recirculation attenante aux bassins d'aération. Une partie des boues est recirculée en tête d'aération sous le nom de liqueur mixte et une partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur.

Les eaux décantées sont recueillies par surverse dans une rigole périphérique pour être dirigées vers la désinfection et le canal de comptage. [2]



Figure II-8 : Clarificateur

II-2-2-3. Traitement complémentaire

Canal de comptage et désinfection de l'eau traitée

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

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

- ❖ Largeur des canaux1 m
- ❖ Volume total.....150 m³
- ❖ Temps de séjour.....20 mn

La dose de chlore prévue est de 10 g/m³ et est assurée par un ensemble de chloration partir de chlore gazeux. [2]



Figure II-9 : Canal de comptage et désinfection (chloration)

II-2-2-4. Prétraitement des boues

a. Épaississement des boues

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

Caractéristiques dimensionnelles

- ❖ Diamètre inférieur9 m

Caractéristiques fonctionnelles

- ❖ Charge massique.....30 kg/m²/j
- ❖ Concentration de sortie moyenne.....20 g/l minimum
- ❖ Volume journalier à transférer en déshydratation.....528 m³

Les boues épaissies sont reprises au fond de l'ouvrage pour être refoulées vers la déshydratation à l'aide d'une pompe à vitesse variable. [2]



Figure II-10 : épaisseur des boues

b. Déshydratation mécanique des boues sur bandes presseuses

Les boues épaisies sont d'abord floculées avant d'être envoyées sur une bande presseuse SUPERPRESS ST 3. L'ajout de polymère en faible quantité est nécessaire afin d'améliorer la filtrabilité des boues

Caractéristiques générales SUPERPRESS :[2]

- ❖ Largeur de bonde2 m
- ❖ Capacité unitaire150 kg MS/m/h
- ❖ Temps de fonctionnement journalier
 - Avec un SUPERPRESS en service13.6 kg/j
- ❖ Consommation de polymère moyenne.....20 kg/j
- ❖ Siccité des boues déshydratées15± 1 %
- ❖ Masse journalière de boues produites.....4 t/j boues sèches

Conclusion

L'étude faite au niveau de cette partie nous a permis de connaître les ouvrages de la station et les équipements utilisés.

Enfin, le débit à la sortie (débit maximal) de la STEP après épuration est de 1400 m³/j il est à noter qu'il est rejeté à l'oued de Arara après l'ajout de chlore avec des quantités bien précises, ce qui est très important pour une réutilisation pour les cultures, car une importante dose de chlore a des répercussions néfastes sur les plantes.

II-3. Etude des analyses

II-3-1. Objectif de traitement

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

Tableau II-2 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)

paramètres	unité	Valeurs seuils
Température	°C	< 30
pH	-	5.5 à 8.5
Oxygène dissout	mg O2/l	>5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote totale	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	<02
Coliformes fécaux	mg/l	<20
Huile et graisse	CF/100mL	<1000 CF/100mL

Source : ONA de Zemmouri

II-3-2. Définition de la pollution à traiter

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes

Tableau II-3 : Caractéristiques de l'eau a l'entrée de la STEP

paramètres	unités	valeurs
Volume journalier	m ³	6300
Débit moyen 24h	m ³ /j	263
Débit de point temps sec	m ³ /h	440
Débit de point temps de pluie	m ³ /h	785
MES journalières	kg/j	1985
DBO ₅ journalière	kg/j	2140

Source : ONA de Zemmouri

II-3-3. Les analyses obtenues par le laboratoire de la wilaya de Boumerdes

II-3-3-1. Les paramètres de pollution analysés

Les facteurs qui peuvent modifier l'état de l'eau sont nombreux et constituent autant de polluants. Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques suivant :

Les paramètres physiques tels que le PH et la température, la mesure a été réalisée in-situ par contre les paramètres chimiques tels que la DBO5, DCO, MES...ect ; la mesure a été effectuée au laboratoire de STEP de la Boumerdes 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. [2]

Tableau II-4 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Boumerdes pour les eaux brutes de l'année 2012

<i>Mois</i> <i>Paramètres</i>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
MES (mg/l)	260.87	240	390.25	260.75	310.8
DBO ₅ (mg d'o ₂ /l)	240	193.75	220	210	199
DCO (mgd'o ₂ /l)	441.75	394.77	541.5	461	489.9
NO ₃ ⁻ (mg/l)	7.34	10.45	17.64	20.37	13.46
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	-	14,7	7,8	21,35	14,27
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.429	0.64	0.12	0.25	0.45
PH	7,44	7,67	7,35	7,54	7,48
Conductivité (µs/cm)	892	1123	1140	914	1116
T (°c)	14,5	14,5	15	20	19
Turbidité(FTU)	234	242	375	327	227

Source : ONA de Zemmouri

Tableau II-5 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Boumerdes pour les eaux épurées de l'année 2012

<i>Mois</i> <i>Paramètres</i>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
MES (mg/l)	20	20	10	12	9
DBO ₅ (mg d'o ₂ /l)	14.75	15.3	9.75	7.5	6.95
DCO (mgd'o ₂ /l)	36.25	35.75	20.475	16.3	15.75
NO ₃ ⁻ (mg/l)	24,04	30,74	31	32.34	34,32
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	6	10,8	6,2	12,55	8,20
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.429	0,8	0,29	0,26	1,12
PH	7.40	7.40	7.49	7.42	7.51
Conductivité (µs/cm)	652,5	722	782	774,5	763
T (°c)	14,5	14	16.98	21	18,7
Turbidité(FTU)	10.7	16.22	20.43	30,5	26.64

Source : ONA de Zemmouri

Les cases vides et les autres paramètres physico-chimiques qui ne sont pas mentionnés dans les tableaux ci-dessus signifient que les analyses n'ont pas été effectuées, cela est dû au manque de réactifs au niveau du laboratoire.

- **Interprétation du tableau**

L'eau épurée répond aux normes requises pour les eaux de rejets

Tableau II-6 : Les normes de rejet en Algérie

Paramètres	Unités	Valeurs Limitées maximales
Température	°c	30
PH	-	6,5-8,5
MES	mg/l	35
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
DCO	mg d'O ₂ /l	120

Les normes de rejet en Algérie (suite)

DBO5	mg d'O2/l	35
Aluminium	mg/l	3
Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005
Cyanures	mg/l	0,1
Fluore et composés	mg/l	15
Indices de phénols	mg/l	0.3
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Huiles et graisses	mg/l	20
Cadmium	mg/l	0.2
Cuivre total	mg/l	0.5
Plomb total	mg/l	0,5
Chrome total	mg/l	0,5
Etain total	mg/l	2
Manganèse	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	0,3
Nickel	mg/l	0,5
Fer	mg/l	3
Chlores	mg/l	5

Source : ONA de Zemmouri

II-3-3-2. Interprétation des résultats d'analyses

a. Matière En Suspension (MES)

Cette matière est obtenue par la différence entre le poids des matières totales et les matières décantables (matières qui se déposent après un temps de repos de deux heures) donne le poids de matière colloïdale en suspension.

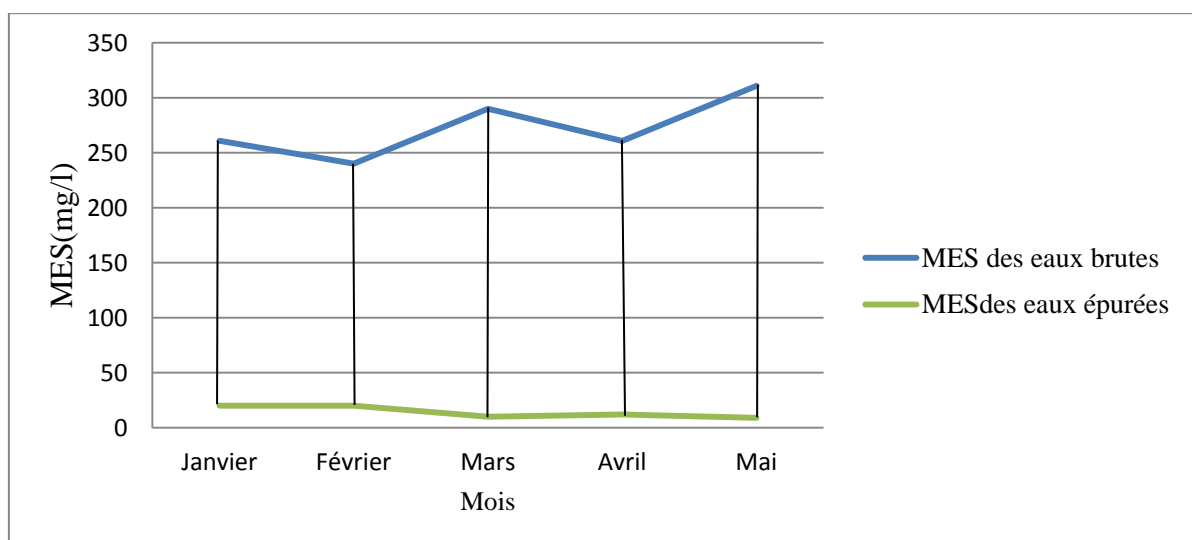


Figure II-11: Comparaison entre la MES des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

• Interprétation

On remarque qu'il y a une grande différence entre la charge polluante (MES) des eaux épurées et celle des eaux brutes, ce qui implique le bon traitement de ces dernières.

✓ Les valeurs de MES sont dans les normes de rejets algériennes, donc on n'a pas des problèmes du colmatage des distributeurs du système d'irrigation localisée. Pour des précautions, une filtration efficace préalable et adaptation des distributeurs sont recommandées.

✓ Le taux d'élimination des MES est efficace, est de l'ordre de 94.78 %.

b. Demande biologique en oxygène (DBO5)

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

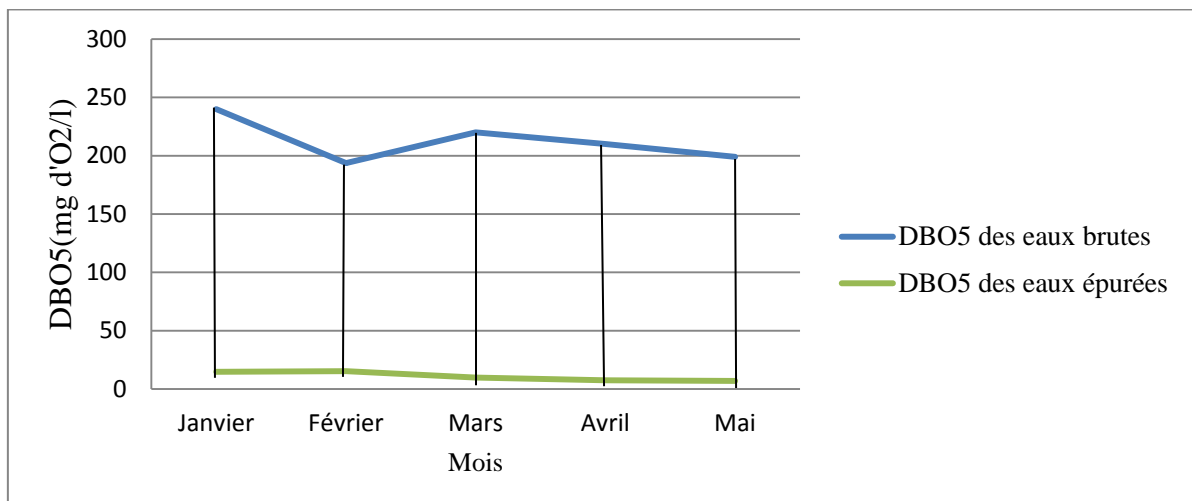


Figure II-12: Comparaison entre la DBO₅ des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

• Interprétation

IL y a une grande diminution de la demande biologique en oxygène (DBO5) des eaux épurées par rapport à la DBO₅ des eaux brutes tous ça est dû au :

- ✓ Bon réglage de taux de recyclage des boues
- ✓ Le bon réglage du temps d'aération qui a pour conséquence la reproduction du floc bactérien.
- ✓ Les valeurs de DBO5 répondent aux normes de rejets algériennes (tableau N°II-6).
- ✓ Le taux d'élimination de la DBO5 est efficace, est de l'ordre de 94.89 %.

c. Demande chimique en oxygène (DCO)

Étant donné la diversité des corps organiques contenus dans une eau résiduaire, la connaissance de leurs natures ne serait d'aucune utilité pour l'épuration biologique. Par contre

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, ...sels) métalliques de valence inférieure et la majeure partie des composés organiques.

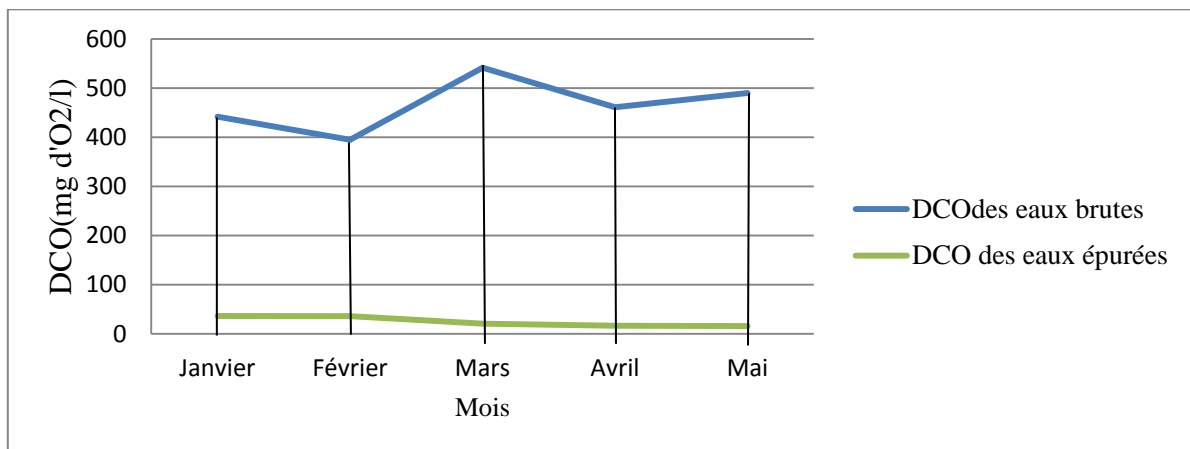


Figure II-13: Comparaison entre la DCO des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

• Interprétation

IL y a une grande diminution de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux épurées par rapport à la demande des eaux brutes tout ceci est dû au :

- ✓ Bon réglage de taux de recyclage des boues et le bon réglage du temps d'aération.
- ✓ Les valeurs de DCO répondent aux normes de rejets algériennes.
- ✓ Le taux d'élimination de la DCO est efficace, est de l'ordre de 94.65 %.

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. Ce rapport est égal à 2.46 (541.5/220), signifie que l'effluent de la station est biodégradable (voir le tableau N°II-4).

d. Conductivité

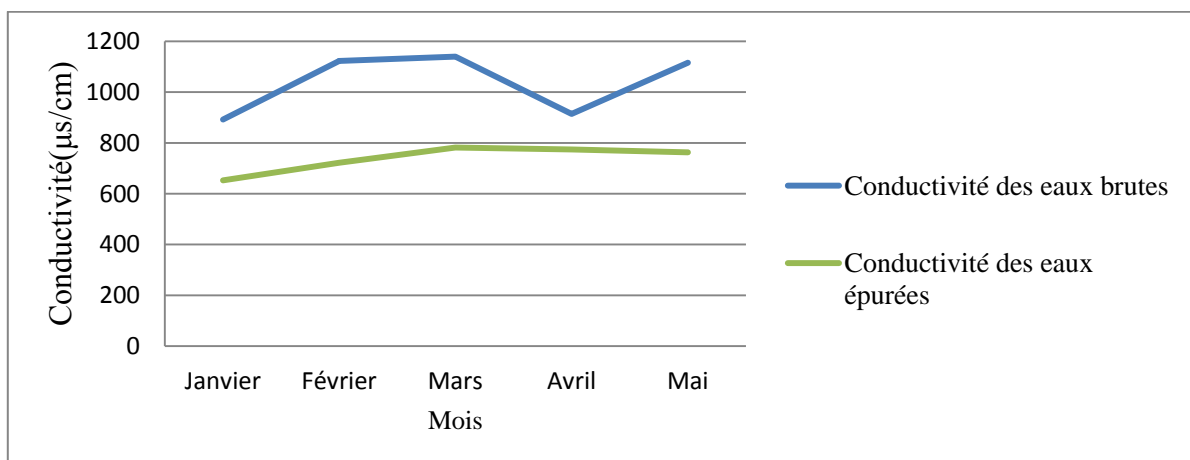


Figure II-14: Comparaison entre la conductivité des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

•Interprétation

D'après la figure II-14 on remarque une diminution de la conductivité des eaux épurées par rapport à celle des eaux brutes. Elle nous renseigne sur la minéralisation de l'eau épurée.

e. La température et le PH

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

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

f. Les autres paramètres du tableau N°II-5

La teneur très faible en nitrates NO_3^- ne pose aucune restriction à l'usage.

La teneur très faible en nitrites NO_2^- ne pose aucune restriction à l'usage.

L'azote ammoniacal : Sa présence en grande quantité dans les eaux épurées est synonyme de contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. L'ammoniac présente une forte toxicité pour les organismes vivants lorsqu'il est sous sa forme non ionisée (NH_3). La teneur en ammonium augmente en fonction du pH et de la température.

II-3-3-3. Les analyses des autres paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques des eaux usées épurées de la STEP de Zemmouri sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-7 : Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP

Minéralisation globale	Unité	Valeurs obtenues
Calcium	mg/l	48
Magnésium	mg/l	10
Sodium	mg/l	21
potassium	mg/l	3.75
Chlorure	mg/l	80
Sulfate	mg/l	201
Bicarbonates	mg/l	49
Carbonates	mg/l	2

Source : ONA de Zemmouri

•Interprétation

- ✓ La teneur moyenne de potassium dans les eaux épurées de la STEP de Zemmouri est de 3.75 mg/l, donc elle est dans les normes d'irrigation.
- ✓ On note essentiellement la présence du sodium et du chlore, en quantité dans les normes (FAO 1985), donc nous n'avons pas le risque des brûlures des feuilles. Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion .L'apport des eaux sera mieux adapté par l'irrigation localisée ou de surface. La teneur des bicarbonates (49 meq/l) fait que le degré de restriction à l'usage est léger à modéré (FAO 1985).
- ✓ On note aussi la présence de calcium, sulfate et le magnésium dans les normes.

II-3-4. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation

L'irrigation avec les eaux usées épurées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (microorganismes pathogènes, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc.).[10]

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

Les indices de qualité de l'eau qui doivent être mesurés sont interprétés à base des différentes organisations et laboratoires parmi lesquelles : [10]

• Guide de l'U.S Salinity Laboratory

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

Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient.

Avec une eau de qualité médiocre, on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques, il faut alors mettre en œuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole. [10]

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

Salinité ; perméabilité ; toxicité.

Un guide pour l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques, est représenté sous forme d'un tableau (voir Tableau II-6)

• Contraintes chimiques

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

Les effluents à dominante domestique (le rapport **DCO/DBO5<2,5, DCO<75mg/l**) et

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

II-3-5. Classification des eaux d'irrigation

Parmi les différents paramètres physico-chimiques d'une eau d'irrigation, la salinité en constitue l'aspect le plus important. L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sels entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement, parallèlement un excès de sodium peut engendrer l'alcalinisation et la dégradation de la structure du sol. Deux paramètres permettent d'apprécier, pour une étude sommaire les risques dus à la salinité : [10]

- Conductivité électrique(CE) exprimée en (mmhos/cm);
- Le SAR (% de Na échangeable).

❖ Définition de la salinité d'une eau

La salinité d'une eau est un terme utilisé pour faire référence à la concentration totale d'ions inorganiques majeurs (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^-) dissous dans cette eau.

Elle exprime la concentration totale des cations ou anions en solution et non la somme des concentrations de ces cations et anions.

Pour des raisons de commodité analytique, un indice pratique de salinité électrique « CE » exprimée en ds/m ou en mmhos/cm.

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

Les eaux d'irrigations, en fonction des dangers que peuvent entraîner leur utilisation, sont réparties en plusieurs classes. Plusieurs auteurs s'étant intéressés de très près à la qualité des eaux d'irrigations ont proposé différentes classes d'eau salée comme nous allons voir. [10]

II-3-5-1. Classification mondiale de la FAO

Pour CE égal ou compris entre :

- 1g/l → bonne pour l'irrigation
- 1-3g/l → faiblement salée
- 3-5g/l → moyennement salée
- 5-10g/l → fortement salée
- >10 g/l → extrêmement salée

Si le sol et l'eau d'irrigation sont pauvres en calcium (Ca), une alcalinisation du sol peut se produire du fait de l'adsorption de Na^+ par le complexe adsorbant du sol surtout dans les proportions dépassant 1-3 g/l. Généralement au delà de 1 g/l il est nécessaire d'avoir un bon

drainage du sol, un régime de lessivage et une technique élevée des travaux agro-techniques du sol. [10]

II-3-5-2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory)

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation. Proposée par le laboratoire de Riverside (RICHARDS 1954), elle est basée essentiellement sur trois(3) paramètres :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation et la teneur en bore des eaux pouvant être destinées à l'irrigation. [10]

C'est-à-dire :

- Conductivité électrique « CE » exprimée en (mmhos/cm) ;
- Le SAR (% de Na échangeable).
- La teneur en bore.

a. Classification selon la salinité de l'eau CE

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

- **C1** : $0 < CE < 0,25$ mmhos/cm : L'eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols et il est peu probable qu'elle provoque des difficultés. Un certain lessivage est nécessaire, mais celui-ci fait partie des pratiques normales d'irrigation, sauf sur les sols de très faibles perméabilités.
- **C2** : $0,25 < CE < 0,75$ mmhos/cm : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.
- **C3** : $0,75 < CE < 2,25$ mmhos/cm : l'eau à forte salinité, inutilisable pour les sols à drainage restreint.
- **C4** : $2,25 < CE < 5$ mmhos/cm : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- **C5** : $CE > 5$ mmhos/cm : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers). [10]

b. Classification selon le risque d'alcalinisation SAR

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

- **S1** : $SAR < 10$: L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- **S2** : $10 < SAR < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol.

Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

- **S3** : $18 < \text{SAR} < 26$: Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelque temps.
- **S4** : $\text{SAR} > 26$: Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique. [10]

❖ Commentaires

Ces types de classification et d'autres sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée.

La qualité d'une eau d'irrigation doit être évaluée en fonction des conditions spécifiques dans lesquelles elle est utilisée, c'est à dire la nature des cultures, le type de sol, les modes d'irrigations, les pratiques culturales et les conditions climatiques. En raison de toutes ces réserves, les classifications existantes doivent être utilisées comme indicateurs et être vérifiées en fonction des conditions locales d'utilisation. [10]

II-3-6. Calcul du SAR et SAR ajusté

a. Calcul de SAR

Les unités : on a d'après le bulletin de la FAO n°29 : 1 meq/l = 10 mmhos/l

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Mg} + \text{Ca}}{2}} = \text{SAR} = \frac{0,91}{\frac{0,833 + 2,4}{2}} = 0,72 \quad \longrightarrow \quad \text{(II-1)}$$

✓ SAR < 6 : l'eau n'est pas alcaline

Certains auteurs ont mis en évidence que ce terme de SAR est insuffisant pour rendre compte du risque d'alcalinisation qui introduit une eau d'irrigation donnée.

b. Calcul de SAR ajusté

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

$$\text{SAR ajusté} = \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Mg} + \text{Ca}}{2}} * [1 + (8,4 - \text{PHc})] \quad \longrightarrow \quad \text{(II-2)}$$

Avec : Na, Ca et Mg : déterminées par l'analyse de l'eau, exprimés en meq/l ;
PHc : calculé à l'aide de la table ;

$$\text{PHc} = (\text{pK2} - \text{PKc}) + \text{P} (\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{P} (\text{A/K}) \quad \longrightarrow \quad \text{(II-3)}$$

(PK2-PKc) : s'obtient en faisant la somme de **(Ca+Mg+Na)** en meq/l

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

P (A/K) : s'obtient en faisant la somme de **(CO3+HCO3)**

D'où :

$$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} = 2.4 + 0.833 + 0.91 = 4.14 \text{ meq/l}$$

$$\text{Ca} + \text{Mg} = 2.4 + 0.833 = 3.23 \text{ meq/l}$$

$$\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^- = 0 + 0.8 = 0.8 \text{ meq/l}$$

D'après la table des données de base pour le calcul de PHc (voir l'annexe n° 1) :

$$\text{PK2-PKc} = 2.2$$

$$\text{P (Ca + Mg)} = 2.78$$

$$\text{P (A/K)} = 3.1$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{PK2-PKc} = 2.2 \\ \text{P (Ca + Mg)} = 2.78 \\ \text{P (A/K)} = 3.1 \end{array} \right\} \longrightarrow \text{PHc} = (\text{PK2-PKc}) + \text{P (Ca+Mg)} + \text{P (A/K)}$$

$$= 2.2 + 2.78 + 3.1 = 8.08$$

$$\text{D'où : SAR ajusté} = \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Mg+Ca}}{2}} * [1 + (8.4 - \text{PHC})] = \text{SAR} * [1 + (8.4 - \text{PHC})]$$

$$= 0.72 * [1 + (8.4 - 8.08)] = 0.95$$

PHc = 8.08 < 8,4 et SAR_{ajusté} = 0.95 > SAR = 0.72 ça implique que l'eau a tendance à précipiter le CaCO₃ du sol.

D'après le tableau II-5, la valeur de la conductivité électrique « CE » égale à : 782 µs/cm.

$$\text{CE} = 739 \text{ µs/cm} = 0,739 \text{ mmhos/cm}$$

$$1 \text{ µs/cm} = 10^{-5} \text{ ds/cm} = 10^{-3} \text{ ds/m} = 10^{-3} \text{ mmhos/cm car: } 1 \text{ ds/m} = 1 \text{ mmhos/cm}$$

D'après le diagramme de classification de l'eau d'irrigation selon le laboratoire de salinité des USA, l'USDA 1954 (voir l'annexe 02) :

On aura :

✓ **SAR = 0.72** (classe S1), pas de problème de point de vue infiltration dans le sol. L'eau peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation (USSL).

✓ Ce = 739 µs/cm = 0.739 mmhos/cm, donc 0,25 < CE < 0,75 mmhos/cm : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.

D'après la classification de laboratoire USSL (voir l'annexe 02), l'eau épurée est de classe C2-S1 (SAR = 0.72 et Ce = 0.739 mmhos/cm).

Conclusion

L'étude faite au niveau de ce chapitre nous a permis de connaître les ouvrages de la station d'épuration (Dégrillage, relevage, dessablage déshuilage....) et les équipements utilisés. Ainsi que les analyses obtenues à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration de Zemmouri.

Les analyses effectuées sur les eaux résiduaires urbaines de la station de Zemmouri pour déterminer le rendement d'élimination de la charge polluante nous ont permis de conclure que plus de 94 % de la charge polluante est éliminée, témoin d'un bon rendement et de l'efficacité de traitement utilisé au niveau de la station d'épuration (Traitement biologique à boue activée).

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

CHAPITRE III :

**Données climatiques, pédologiques,
occupation des sols**

Introduction

L'eau en tant qu'élément de base indispensable à la vie, demeure dans son devenir et ses effets sur le milieu et la plante, un sujet de questionnement de première importance. La ressource en eau et la satisfaction des besoins agricoles est une équation épineuse que les agriculteurs s'efforcent de résoudre.

Les ressources disponibles et leur renouvellement climatique sont souvent déficitaires au regard des besoins.

Le climat et les conditions atmosphériques sont donc les éléments de base indispensables à connaître pour conduire une réflexion sur l'optimisation de l'eau disponible.

III-1. Présentation du site

III-1-1. Localisation

Le périmètre à irriguer se trouve dans la commune de Zemmouri.

La superficie de ce périmètre est de 367 hectares dont les limites sont :

La forêt du Sahel au Nord,

La route nationale N°24 au Sud,

Oued el Merdja à l'Est,

Oued Safsaf à l'Ouest.



Source : Institut Nationale de Cartographie

Echelle : 1/25 000

Figure III-1 : Plan de situation du périmètre.

III-2. Climatologie

Le climat se définit comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état de l'atmosphère et de son évolution dans un lieu donné.

Parmi ces phénomènes météorologiques, on peut citer : la précipitation ; la variation de température, l'évapotranspiration, le vent, l'humidité relative...etc.

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

La station climatique existante, susceptible d'être considérée comme représentative de la région d'étude, et possédante des données fiables.

Les caractéristiques géographiques de la station sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III-1 : Caractéristiques géographiques de la station de Boumerdes

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

III-2-1. Précipitations

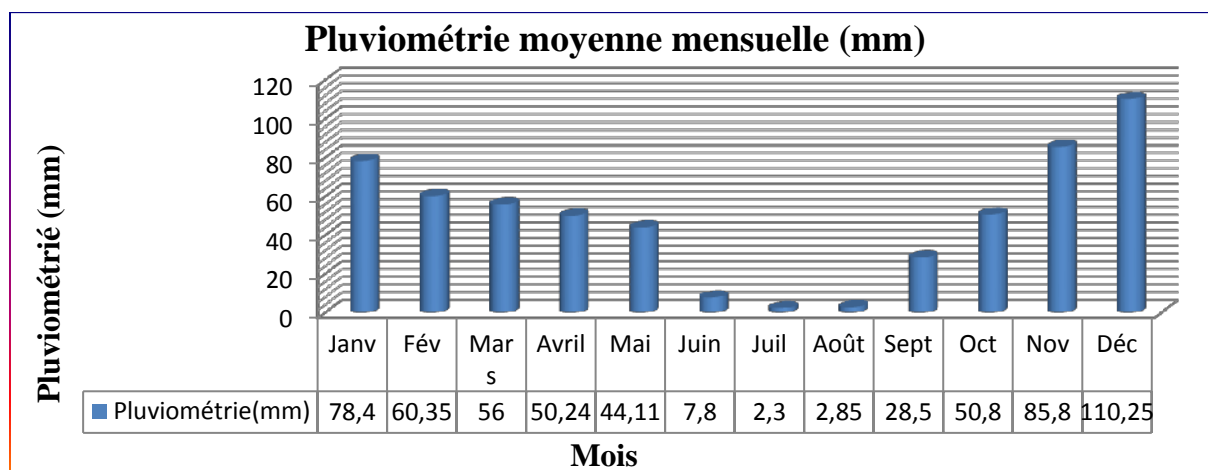
La station pluviométrique représentative est celle de Boumerdes, les données couvrent la période de 1985 à 2011. La répartition mensuelle des pluies est donnée par le tableau suivant :

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

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Pmoy	78.4	60.35	56.0	50.24	44.11	7.80	2.30	2.85	28.5	50.8	85.8	110.25

Source : (ANRH) Blida

Graphe III-1 : Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm)



• **Interprétation**

- Saison pluvieuse en novembre, décembre, janvier et février.
- Saison sèche en juin, juillet et août.
- Saison moyenne de septembre, octobre, mars, avril et mai.

III-2-2. Températures

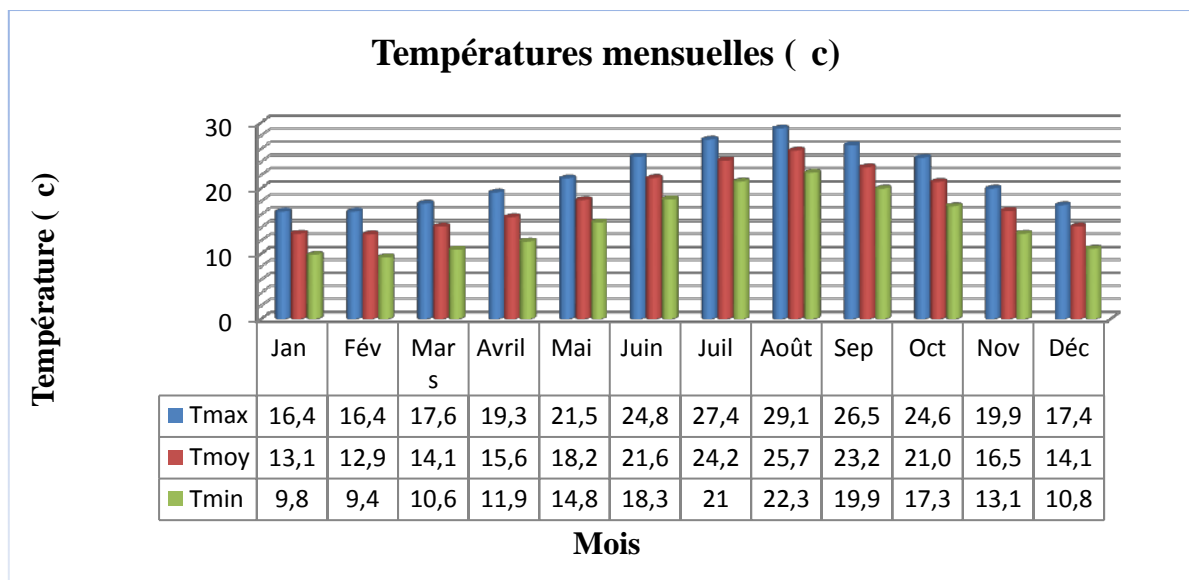
Les températures extrêmes et moyennes sur une période d’observation de 10 ans (1995 à 2004) sont représentées dans le tableau suivant :

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

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Tmax	16.4	16.4	17.6	19.3	21.5	24.8	27.4	29.1	26.5	24.6	19.9	17.4
Tmoy	13.1	12.9	14.1	15.6	18.2	21.6	24.2	25.7	23.2	21.0	16.5	14.1
Tmin	9.8	9.4	10.6	11.9	14.8	18.3	21.0	22.3	19.9	17.3	13.1	10.8

Source : (ONM) Dar El-Beida

Graphe III-2 : Températures moyennes mensuelles



• **Interprétation**

Les températures diminuent pendant les trois mois d’hiver (décembre, janvier, février) d’un minima de 12.9°C, elles progressent pendant les trois mois d’été (juin, juillet, août) d’un maxima de 25.7°C, l’écart entre ces deux extrêmes donne une amplitude thermique de 12.8°C, la température moyenne annuelle est 18,3 °C.

Le mois le plus chaud de l'année étant celui d'août avec 25.7°C, le plus frais est celui de février 12.9°C.

III-2-3. La vitesse du vent

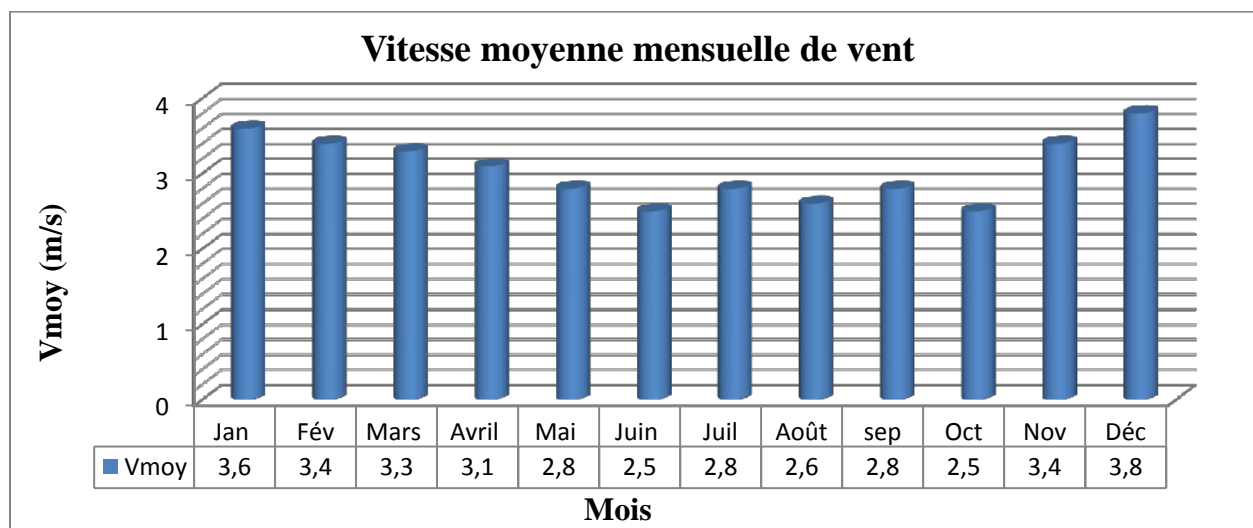
Le vent constitue un facteur exerçant une grande influence sur les cultures et les systèmes d'irrigations. Il est caractérisé par sa vitesse et sa direction. Son étude nous semble nécessaire pour l'orientation et l'implantation des brises vents.

Tableau III-4 : Vitesses moyennes mensuelles de vent (m/s)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	sep	Oct	Nov
V (m/s)	3.6	3.4	3.3	3.1	2.8	2.5	2.8	2.6	2.8	2.5	3.4

Source : (ONM) Dar El-Beida

Graphes III-3 : Vitesses moyennes mensuelles de vent (m/s)



- **Interprétation**

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

III-2-4. Humidité relative

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

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

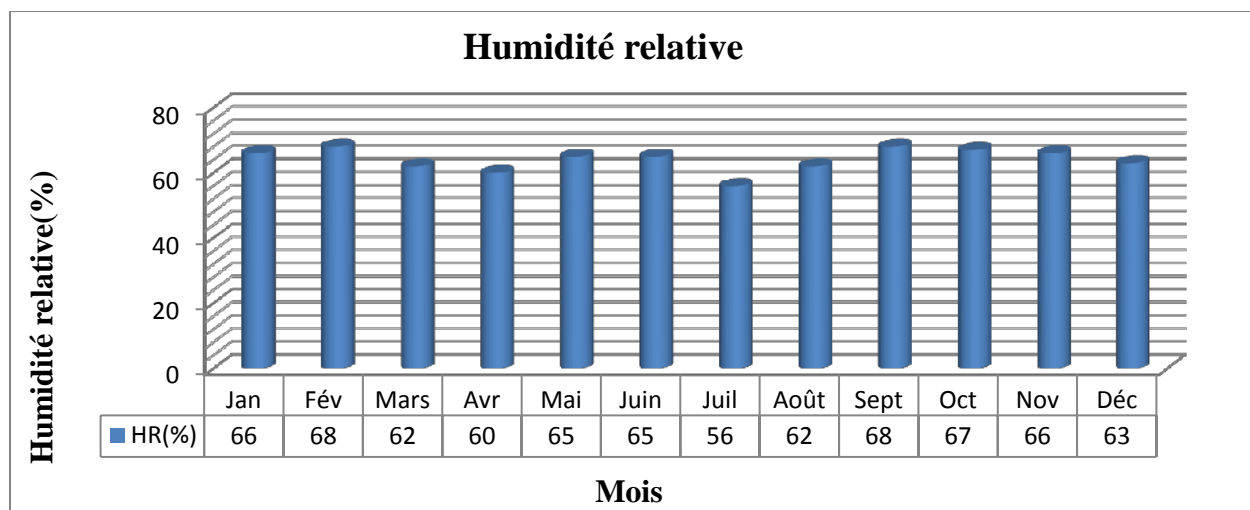
Les valeurs d'humidité relative mensuelles moyennes de la région, mesurée au psychomètre sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III-5 : Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en (%)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
HR _{moy} (%)	66	68	62	60	65	65	56	62	68	67	66	63

Source : (ONM) Dar El-Beida

Graphes III-4 : Humidité relative (%)



- **Interprétation**

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

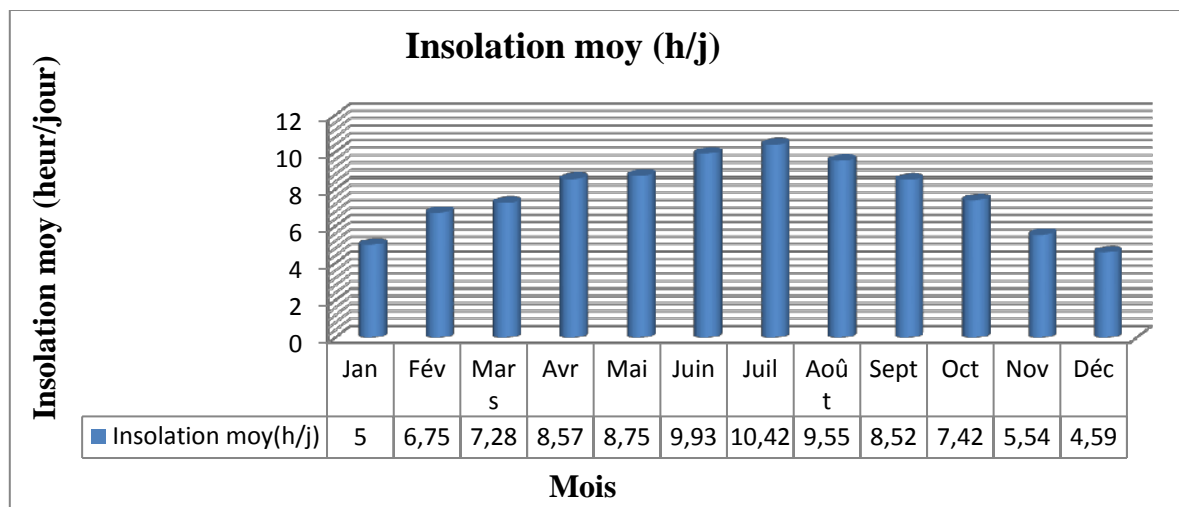
III-2-5. Insolation

Le phénomène d'insolation est le nombre d'heures pendant lesquelles le soleil a brillé pendant la journée.

Tableau III-6 : Insolation moyenne mensuelle en heures par jour.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Heure/j	5.0	6.75	7.28	8.57	8.75	9.93	10.42	9.55	8.52	7.42	5.54	4.59

Source : (ONM) Dar El-Beida

Graphe III-5 : Insolation moyenne mensuelle en h/j

- **Interprétation**

L'insolation est enregistrée durant toute l'année avec des valeurs variables, les plus importantes ont lieu en période chaude allant d'Avril au mois de Septembre, la valeur la plus élevée est celle du mois de Juillet avec 10.42 heures. D'après le graphe suivant, elle atteint le minimum au mois de Décembre avec 4.59 heures/jour.

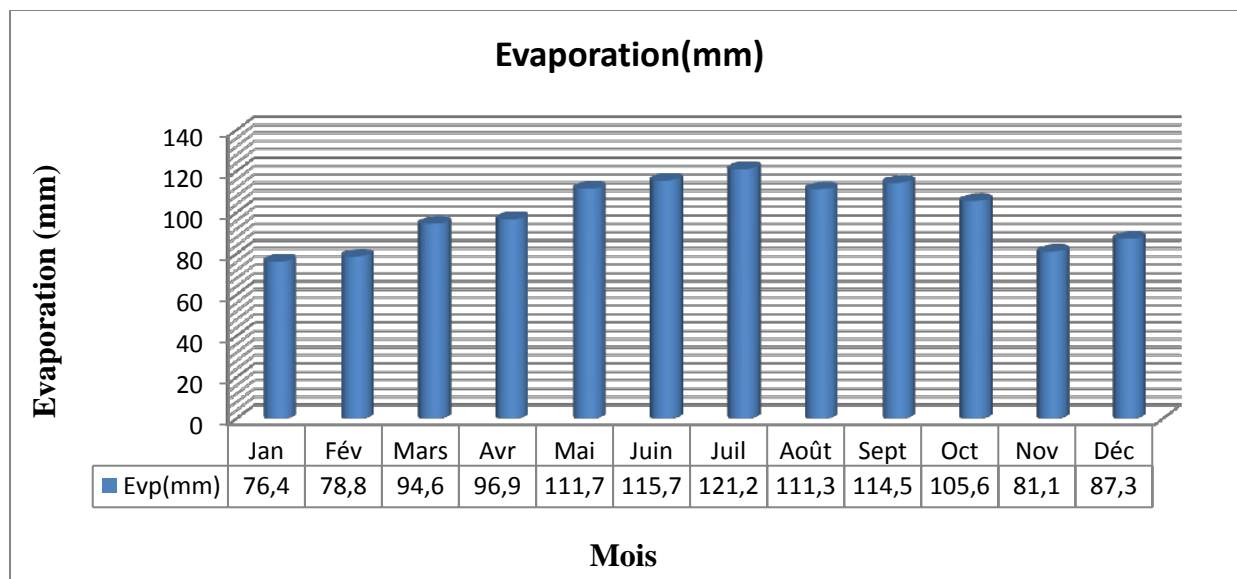
III-2-6. Évaporation

L'évaporation est un problème physique qui croit avec la température et la sécheresse de l'air. La quantité d'eau évaporée pendant un temps donné dépend de plusieurs facteurs liés d'une part à l'état de l'atmosphère et d'autre part à la surface évaporante.

Tableau III-7 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne

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

Source : (ONM) Dar El-Beida

Graphes III-6 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne

- **Interprétation**

- ✓ L'évaporation est maximale dans le mois de juillet, elle atteint 121.2 mm;
- ✓ Une évaporation annuelle de 1195.1 mm

❖ **Représentation du diagramme de Gausson :(voir graphe III-7)**

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

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

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

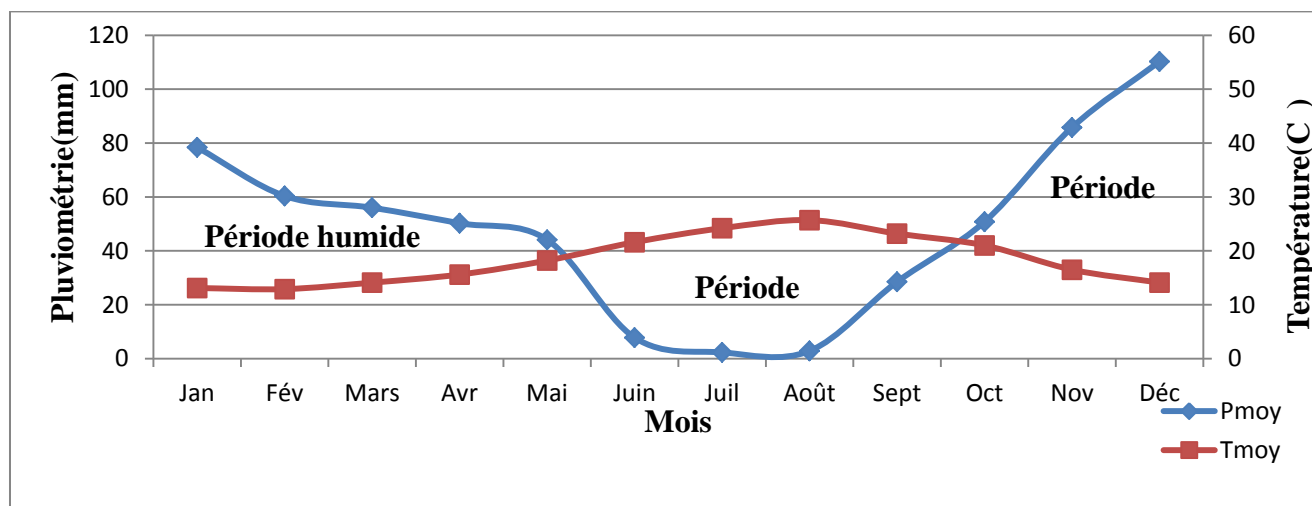
Tableau III-8 : Précipitations et températures moyennes mensuelles

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	78.4	60.35	56.0	50.24	44.11	7.8	2.3	2.85	28.5	50.8	85.8	110.25
T (C°)	13.1	13.0	14.1	15.6	18.1	21.5	24.2	25.7	23.2	20.9	16.5	14.1
2T (C°)	26.2	26	28.2	31.2	36.2	43	48.4	51.4	46.4	41.8	33	28.2

En résumé:

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

Graphe III-7 : Diagramme ombrothermique de Gaussen



- **Interprétation**

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

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

III-3. Classification de climat

III-3-1. Classification du climat selon l'indice d'aridité de Marton

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

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

$$I_A = P / (T+10) \longrightarrow \text{(III-1)}$$

Avec :

I_A : indice de Marton ;

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

T : température moyenne annuelle en °C.

Tableau III-9 : Classification de climat selon Marton

Valeurs de I_A	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

On a : $P_{\text{moy}} = 577.4 \text{ mm/an}$ et $T_{\text{moy}} = 18.3^\circ\text{C}$

On aura :

$$I_A = 577.4 / (18.3 + 10) = 20.40$$

Selon l'indice d'aridité calculé $20 < I_A = 20.40 < 30$, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime de climat relativement humide, où l'irrigation est parfois utile.

III-3-2. Classification du climat selon le diagramme d'Emberger

La technique est fondée sur un diagramme dressé par Emberger qui nous renseigne sur le climat, ainsi que le type d'Hiver dominant d'une région. Pour cela, nous avons calculé, par l'expression (III-2) le quotient d'Emberger, que nous avons projeté sur le diagramme bioclimatique.

$$Q = \frac{1000 * P}{\left(\frac{M + m}{2}\right)(M - m)} \longrightarrow \text{(III-2)}$$

Tel que :

Q : quotient pluviothermique d'Emberger ;

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

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

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

Pour

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

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

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

$$\text{D'où } Q = (2000 * 577.4) / ((302.1)^2 - (282.4)^2) = 100.28$$

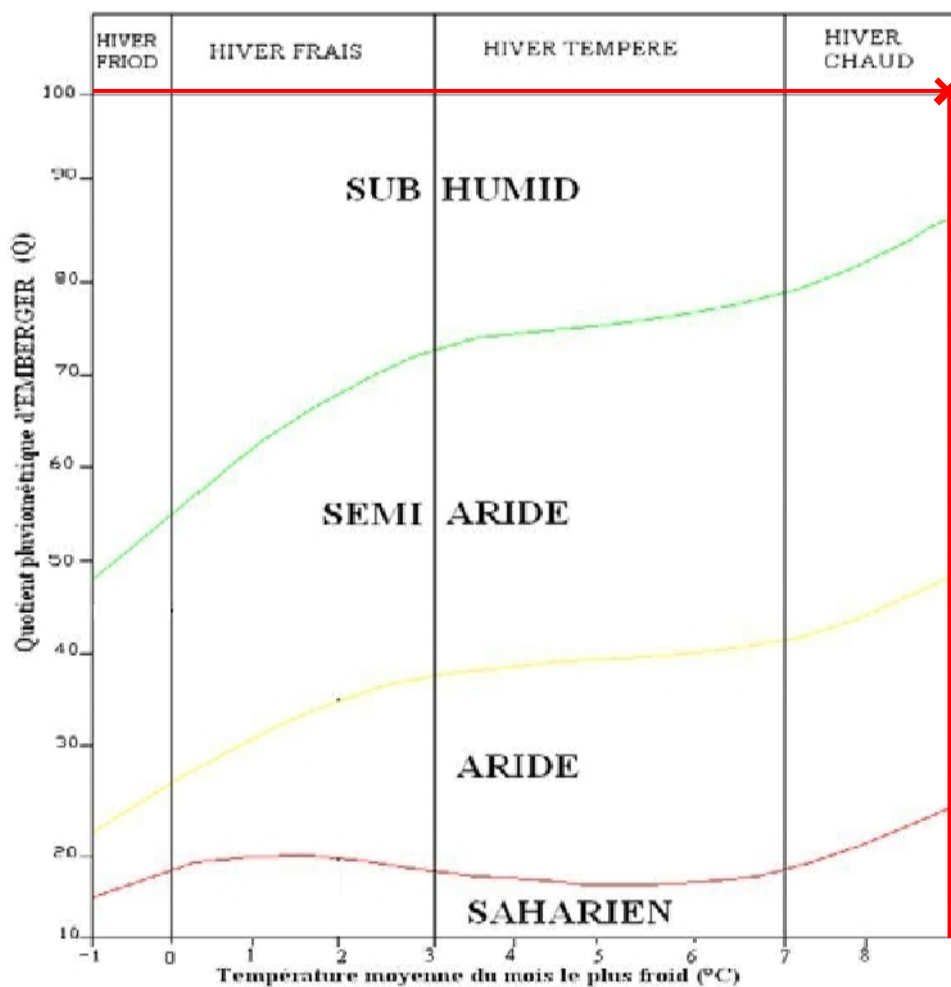


Figure III-2 : Diagramme bioclimatique d'Emberger

Après projection des valeurs ($Q=100.28$; $m=9.4^{\circ}\text{C}$) sur le diagramme bioclimatique d'Emberger nous pouvons conclure que le climat de la région est sub-humide à hiver chaud. Ces renseignements complètent la méthode de Marton, et qui sont d'une importance majeure.

III-4. Pédologie

III-4-1. Introduction

Le sol constitue l'un des facteurs de productions les plus importants, et la connaissance de la variabilité spatiale de ses propriétés est indispensable comme support d'aide à la décision pour le pilotage des travaux ; ainsi avant investissement, il est nécessaire d'établir un diagnostic de la variabilité des sols du périmètre projeté. En effet, il faut connaître la nature des sols, estimer leur surface et analyser leurs caractères pédologiques susceptibles de jouer un rôle majeur dans le développement, et la croissance des cultures.

III-4-2. Classification du sol de la région d'étude

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

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

Les caractéristiques essentielles de ces sols peuvent se résumer comme suit :

a. les sols peu évolués

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

b. les sols hydromorphes

Ils se différencient des sols peu évolués modaux par le caractère hydromorphe. Ils se caractérisent par des textures, généralement, fines à très fines.

c. les vertisols

Cette catégorie de sols couvre une superficie assez importante dans la région d'étude. Les traits morphologiques et analytiques de ces sols sont les suivantes :

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

III-4-2-1. Fertilité

En général on peut dire que :

- ces sols sont pauvres en matière organique, les vertisols étant souvent les mieux pourvus ;
- les teneurs en azote oscillent autour de 1 % ;
- les teneurs en calcium (CaCO_3 et calcaire actif) sont relativement faibles ;
- le sodium présente des teneurs insuffisantes qui ne pose pas des problèmes de salinité ;
- la teneur en bases échangeables est généralement moyenne et s'améliore sur les vertisols où l'on note un complexe absorbant élevé.

III-4-3. Caractéristiques physiques du sol

III-4-3-1. La texture

Les mesures de granulométrie montrent une relative hétérogénéité des sols avec toutefois une tendance générale à la "lourdeur", la plupart des profils présentant au moins un niveau nettement argileux.

III-4-3-2. La Structure

La structure d'un sol peut être appréhendée sous l'angle du mode d'arrangement de ses particules élémentaires ou, de façon plus quantitative, par le réseau d'espaces lacunaires issus de cet arrangement.

L'état de structure est contrôlé par la porosité, qui est le rapport du volume des vides du sol et le volume total, exprimé en % .elle dépend de la texture du sol, et elle est déterminée par la formule suivante :

$$P = \frac{D - D^a}{D} \cdot 100 \dots\dots\dots (III-3)$$

Avec D^a : densité apparente ;

D : densité réelle.

A.N :

$$P = \frac{2,1 - 1,6}{2,1} \cdot 100 = 32,81$$

III-4-3-3. La perméabilité

La perméabilité est la difficulté qu'à un sol à laisser circuler l'eau plus ou moins facilement ou définie par sa vitesse d'infiltration qui est la quantité maximale d'eau qui peut traverser le sol dans un temps donné; elle est exprimée en général en mm/h.

On peut définir en fonction de la valeur de K exprimée suivant diverses unités différentes classes de perméabilité

Tableau III-10 : Différentes classes de perméabilité

Type du sol	Vitesse d'infiltration k			
	cm/s	mm/h	m/s	m/j
Sols imperméables	10^{-5}	0.36	10^{-7}	0.00864
Sols peu perméables	10^{-4}	3.6	10^{-6}	0.0864
Sols moyennement perméables	10^{-3}	36	10^{-5}	0.864
Sols perméables	10^{-2}	360	10^{-4}	8.64
Sols très perméables	$>10^{-2}$	>360	$>10^{-4}$	>8.64

On peut aussi classer la perméabilité suivant la nature de sol.

Tableau III-11 : Quelques valeurs de coefficients de perméabilité (K)

matière	K (m/s)
Gravier	1 à 10^{-2}
Sable grossier	10^{-2} à 10^{-4}
Sable fin limoneuse	10^{-4} à 10^{-7}
Argile	10^{-7} à 10^{-10}

III-5. Occupation des sols

Dans cette étude, nous avons fait ressortir pour l'ensemble du territoire communal, l'utilisation agricole du sol afin de faciliter le traitement des informations et leur passage sur grille.

Ainsi les types d'occupation des sols sont subdivisés en trois catégories présentées en ordre décroissant selon leurs aptitudes agricoles.

III-5-1. Terrains à faible rendement

Ce sont l'ensemble des terres incultes de montagnes ayant une faible valeur agricole (Broussailles, forêts, maquis ...), ces terrains sont plus ou moins adaptés à l'urbanisation et cela suivant la morphologie du site, ces terrains occupent la partie Sud Ouest de la commune.

III-5-2. Zones de maraîchage

Ces terrains sont spécialisés dans les cultures céréalières, les maraîchages et l'arboriculture, même non dotés d'un système d'irrigations, ces parcelles doivent faire l'objet de terrains à protéger.

Cette catégorie occupe la partie Nord Est, ainsi que l'Est de la commune (arboriculture, vignes et maraîchage).

III-5-3. Zones de céréaliculture

Elles concernent surtout les grandes cultures (Zone de céréaliculture), leurs sols permettent une mécanisation du travail presque sans limitation, la disponibilité en eau abondante est assurée (pluviométrie et / ou irrigations), de ce fait elles présentent une très bonne aptitude pour l'agriculture.

Ces terrains se trouvent surtout au Sud et à l'Est de la commune.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité les principales données qui nous aiderons à connaître les caractéristiques de notre région d'étude concernant la climatologie, la pédologie et l'occupation des sols.

- La superficie de notre périmètre ;
- La classification du climat selon l'indice d'aridité de Marton et la classification selon le diagramme d'Emberger (Relativement humide selon Marton, sub-humide à hiver chaud selon le diagramme d'Emberger) où l'irrigation est utile ;
- Les classes de sols de la région d'étude ;
- En fin les cultures mise en place.

CHAPITRE IV :

Détermination des besoins en eaux des cultures

Introduction

Ce chapitre a pour but de calculer les besoins en eau des cultures sur la base des informations définies auparavant, conditionnant la conception de notre projet tels que : les conditions climatiques, cultures envisageables, systèmes agronomiques, l'intensité culturale, potentialités des sols, l'eau disponible, fertilité des sols, pratique culturale et méthodes d'irrigation.

Le calcul des besoins en eau d'irrigation est essentiel pour l'exploitation optimale d'un système d'irrigation. Il permet de prévoir la quantité d'eau à distribuer aux usagers et permet aussi de planifier l'utilisation des ressources hydriques. Les quantités d'eau nécessaire à l'irrigation doivent satisfaire divers types de besoins au niveau des champs.

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

IV-1. But de l'étude

Dans ce chapitre on va 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 projeter dans le périmètre

IV-2. Étude hydrologique

L'étude hydrologique dans notre cas a pour but de déterminer les précipitations mensuelles de fréquence au dépassement de 80%.

IV-2-1.Choix de type de loi

Ces critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet d'accepter ou de rejeter la loi (toute sinusite, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement). Et lorsque plusieurs d'entre elles sont adéquates, les critères de choix peuvent être les suivants :

- À qualité égale, la loi qui a le moins de paramètres est à retenir.
- À qualité égale et nombre de paramètres égal, il faut comparer les estimations des deux lois.

Si ces estimations sont voisines, il faut retenir la plus simple ; si elles sont nettement différentes, il faut prendre une nouvelle loi quitte à prendre un paramètre supplémentaire.

On essaie toujours d'ajuster une loi normale à un échantillon ou de se ramener à une loi normale par changement de variable. Généralement la loi de probabilité ajustable à l'échantillon est d'autant plus près à la normalité que la variable concerne une longue échelle de temps et que le coefficient de variation soit inférieur à 0,5

IV-2-2. Homogénéisation de la série pluviométrique

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique, on procède au test de Wilcoxon ou test des rangs (le plus puissant des tests non paramétriques). La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous :

On divise la série complète en deux sous séries y et x tel que : N1 et N2 représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries, considérant généralement $N2 > N1$.

On constitue par la suite, la série x unions y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre décroissant. À ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle. Mr Wilcoxon montre que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-après est vérifiée.

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

On calcule la quantité W_y :

$$W_y = \sum_{i=1}^n \text{rang} = 154 \quad \longrightarrow \text{(IV-1)}$$

W_y : Somme des rangs des sous séries X.

$$W_{\min} = \left[\frac{(N1+N2+1)N1-1}{2} - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N1N2(N1+N2+1)}{12}} \right] \quad \longrightarrow \text{(IV-2)}$$

$$W_{\max} = (N1+N2+1)*N1 - W_{\min} \quad \longrightarrow \text{(IV-3)}$$

$$U_{1-(\alpha/2)} = 0,7878$$

$$D'où: \begin{cases} W_{\min} = 146.184 \\ W_{\max} = 177.816 \end{cases} \quad \longrightarrow \quad 146.184 < W_y < 177.816$$

Après avoir vérifié la condition de M^r Wilcoxon, la série des précipitations moyennes annuelles de la station de Boumerdes est jugée homogène

Les données et les calculs sont représentés dans les tableaux (IV-1 et IV-2) :

Tableau IV-1 : Précipitations moyennes mensuelles en mm

Années	Sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Pluies annuelles
1985	0	0	0	59	59,7	64,1	194,8	32,4	0	14	16	1,5	441,5
1986	17,4	58,4	72,7	203,8	84,5	148	18,5	1,7	11,8	28,7	0	0	645,5
1987	0	35,4	106,7	71,5	36,3	39,9	47,8	32,8	23,5	40,4	0	0	434,3
1988	40,2	2,9	83,3	183,2	51,4	22,5	30	82,2	10,2	5,6	0	5,1	516,6
1989	22,4	44,4	30,2	44,6	101,2	0	34,9	91,9	40,6	3,6	0	0	413,8
1990	19,2	61,4	40,9	123,8	95,7	110,3	47,8	35,9	31,4	0	0	0	566,4
1992	0	0	0	0	0	0	30,2	68,7	31,9	0	0	0	130,8
1993	19,4	39,9	61,5	201,4	0	0	0,4	53,6	0	0	0	0	376,2
1994	0	67,3	52,2	94,7	124,7	49	94,9	27,6	0	18,8	0	18	547,2
1995	16,3	50	25,3	34,7	84,3	157,9	47,8	148,2	33	32	4,2	1,2	634,9
1996	16,5	71,5	30	21,6	20,2	18,7	8,5	85,9	19	6,6	1,8	2,2	302,5
1997	31,9	76,4	119,7	102,6	34,4	70,3	43	57,8	165,5	0	0	0	701,6
1998	27,2	68,5	119,6	65,5	118,7	120,5	71,3	24,3	1,8	3,6	0	4,2	625,2
1999	17,1	28,5	207,4	184,3	9,1	1,8	21,1	12,3	70,7	0	0,8	0	553,1
2000	9,5	48,6	89,5	57,6	146,2	58,3	0	33,3	19,4	0	0	0	462,4
2001	21,9	12	68,5	65	64,6	4,7	31,2	19,4	18,1	0	0	15,3	320,7
2002	25,7	72,2	232,3	173,2	226,9	113,8	28,1	112,5	19,5	0	0	0,8	1005
2003	31,2	43,4	44,6	99,5	102	44,7	75,2	62,2	177,1	0,2	27,3	0	707,4
2004	10,6	51,1	86,9	101,3	116,5	101,9	47,8	21,9	1,6	0	0	0	539,6
2005	51,3	57,1	83,4	95,1	141,4	119,1	28,8	2,8	165,4	0	0	4,8	749,2
2006	23,8	12,8	9,3	323,9	9,9	52,2	151,5	109,2	24,8	11,6	0	1,9	730,9
2007	52,2	101,9	116,4	100,5	11,9	18,8	99,2	21,2	93,7	4,1	6,5	0	626,4
2008	29,9	35,3	171,1	130,4	133,5	21,7	75,6	0	42,2	0	0	0	639,7
2009	153,1	48,1	123,2	148,7	101,6	58,8	112,7	99,6	75,4	25,8	0,6	16,2	963,8
2010	74,4	183,1	169,5	70,4	84,1	111,8	56,9	18,3	26	0	0	0	794,5
2011	83,5	102,4	115,1	83,3	110,5	84,1	120,6	70,2	45,7	10,5	0	5,8	831,7

Source : (ANRH) Blida

Tableau IV-2 : Test de Wilcoxon

Rangs	Série d'origine (mm)	Série X (mm)	Séries-Y (mm)	TRI (mm)	X U Y
1	441,5	441,5	625,2	1005	Y
2	645,5	645,5	533,1	963,8	Y
3	434,3	434,3	462,4	831,7	Y
4	516,6	516,6	320,7	794,5	Y
5	707,4	707,4	1005	749,2	Y
6	566,4	566,4	413,8	730,9	Y
7	130,8	130,8	539,6	707,4	X
8	376,2	376,2	749,2	701,6	X
9	547,2	547,2	730,9	645,5	X
10	634,9	634,9	626,4	639,7	Y
11	302,5	302,5	639,7	634,9	X
12	701,6	701,6	963,8	626,4	Y
13	625,2		794,5	625,2	Y
14	533,1		831,7	566,4	X
15	462,4			547,2	X
16	320,7			539,6	Y
17	1005			533,1	Y
18	413,8			516,6	X
19	539,6			462,4	Y
20	749,2			441,5	X
21	730,9			434,3	X
22	626,4			413,8	Y
23	639,7			376,2	X
24	963,8			320,7	Y
25	794,5			302,5	X
26	831,7			130,8	X

N1	N2	W_{\min}	W_Y	W_{\max}
12	14	146.183	154	177.816

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

IV-2-3. Étude des pluies moyennes annuelles

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

Pour cela, nous proposons l'ajustement de la série par la loi normale, appelée souvent loi de Gauss.

IV-2-3-1. Ajustement à la loi de Gauss

Le procédé de calcul consiste à :

- Classifier les valeurs de l'échantillon par ordre croissant
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées
- Calculer la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.

$$F(x) = \frac{n-0.5}{N} \longrightarrow \text{(IV-4)}$$

Avec :

- F(x) : représente la fréquence
- n : numéro d'ordre ;
- N : Numéro d'années observées

Calcul des caractéristiques de l'échantillon à savoir :

a. La moyenne arithmétique

$$\bar{X} = \sum \frac{x_i}{n} \longrightarrow \text{(IV-5)}$$

b. L'écart type

➤ Si ; n < 30

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{i=26} (X_i - \bar{X})^2} \longrightarrow \text{(IV-6)}$$

➤ Si n > 30

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^{i=26} (X_i - \bar{X})^2} \longrightarrow \text{(IV-7)}$$

c. La variable réduite de Gauss

$$U = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \longrightarrow \text{(IV-8)}$$

d. Le coefficient de variation

$$C_v = \frac{\delta}{\bar{X}} \longrightarrow \text{(IV-9)}$$

e. L'équation de la droite de Henry sur papier de probabilité gaussien

$$X_{p\%} = \bar{X} + \delta * U_{p\%} \longrightarrow \text{(IV-10)}$$

Avec:

XP%: précipitation de probabilité P%

Up%: variable réduite de Gauss = 1,28

\bar{X} : Moyenne arithmétique

δ : Écart type

Pour faire l'ajustement, nous avons utilisé le logiciel « Hydrolab » développé à l'université de Nice (France) par le C.N.R.S (Centre Nationale De Recherche Scientifique). Ce logiciel nous permet également de tracer le graphique d'ajustement (voir graphique IV-1) et de déterminer les principales caractéristiques de la série pluviométrique.

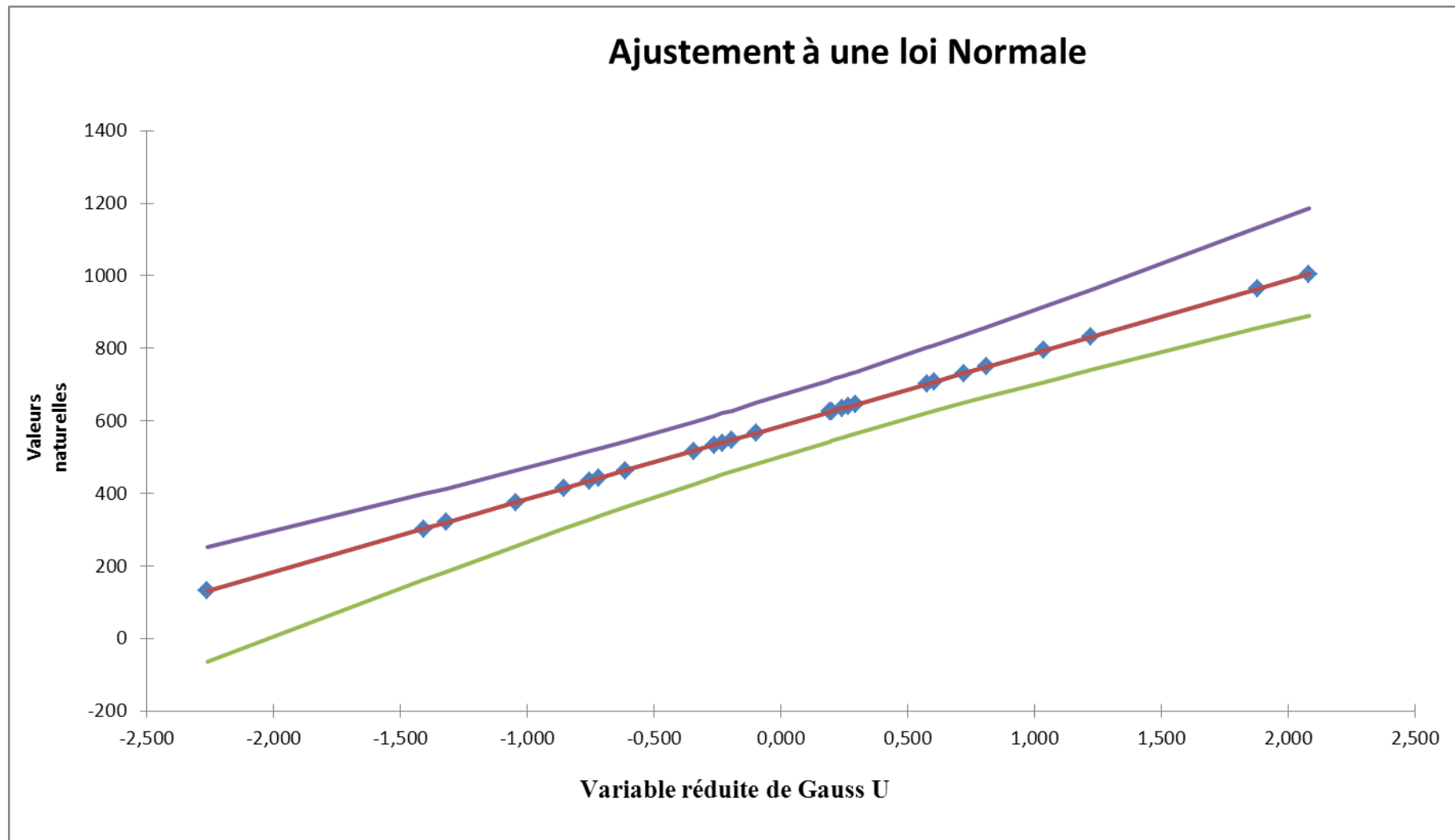
Les résultats d'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station pluviométrique de Boumerdes sont représentés dans le tableau IV-3.

Tableau IV-3 : Ajustement à la loi de Gauss

Taille=26		Moyenne=586.188 Ecart-type=201.227		I.C. à (en%)= 80 U Gauss=1.9604				
Valeur de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
441,5	130,8	1	0,0192	-2,263	130,8	130,798	-63,182	252,093
645,5	302,5	2	0,0577	-1,410	302,5	302,499	161,901	397,817
434,3	320,7	3	0,0962	-1,319	320,7	320,699	185,263	413,760
516,6	376,2	4	0,1346	-1,044	376,2	376,200	255,621	463,262
413,8	413,8	5	0,1731	-0,857	413,8	413,800	302,371	497,714
566,4	434,3	6	0,2115	-0,755	434,3	434,300	327,485	516,872
130,8	441,5	7	0,2500	-0,719	441,5	441,500	336,237	523,670
376,2	462,4	8	0,2885	-0,615	462,4	462,400	361,421	543,622
547,2	516,6	9	0,3269	-0,346	516,6	516,601	425,047	597,048
634,9	533,1	10	0,3654	-0,264	533,1	533,101	443,884	613,844
302,5	539,6	11	0,4038	-0,232	539,6	539,601	451,232	620,534
701,6	547,2	12	0,4423	-0,194	547,2	547,201	459,770	628,409
625,2	566,4	13	0,4808	-0,098	566,4	566,401	481,081	648,563
533,1	625,2	14	0,5192	0,194	625,2	625,201	543,994	712,635
462,4	626,4	15	0,5577	0,200	626,4	626,401	545,242	713,980
320,7	634,9	16	0,5962	0,242	634,9	634,902	554,035	723,543
1005	639,7	17	0,6346	0,266	639,7	639,702	558,969	728,975
707,4	645,5	18	0,6731	0,295	645,5	645,502	564,901	735,569
539,6	701,6	19	0,7115	0,574	701,6	701,602	620,665	800,961
749,2	707,4	20	0,7500	0,602	707,4	707,402	626,274	807,877
730,9	730,9	21	0,7885	0,719	730,9	730,902	648,731	836,171
626,4	749,2	22	0,8269	0,810	749,2	749,202	665,937	858,486
639,7	794,5	23	0,8654	1,035	794,5	794,503	707,598	914,656
963,8	831,67	24	0,9038	1,220	831,67	831,673	740,938	961,590
794,5	963,8	25	0,9423	1,877	963,8	963,804	855,135	1132,744
831,7	1005	26	0,9808	2,081	1005	1005,004	889,786	1187,069

Fréquence	U_{Gauss}	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure	Valeur	Fréquence théorique	Période de retour
0,8	0,841	755,512	671,817	866,234	755,512	0,8	5,0
0,5	0,000	586,188	502,649	669,728	586,188	0,5	2,0
0,2	-0,841	416,865	306,143	500,560	416,865	0,2	1,3

Graphe IV-1 : Ajustement à une loi de Gauss



Commentaires

Nous remarquons sur le graphique (IV-1) que toutes les valeurs observées sont très proches de la droite d'ajustement. Ce qui signifie que nous avons une bonne corrélation et que la loi d'ajustement considérée est bonne. Mais rien ne nous empêche de confirmer l'adéquation de la loi d'ajustement par un test de validité d'ajustement.

La quantité de précipitations sur laquelle on peut compter quatre années sur cinq, correspond à une probabilité de **80%** et représente une année "normale" sèche. C'est la précipitation utilisée dans le dimensionnement d'un réseau d'irrigation, appelée souvent précipitation de projet.

Pour cela nous allons appliquer la formule ci-dessous :

$$P_{i_{moy}80\%} = \frac{P_{sec80\%}}{P_{50\%}} * P_{i_{moy}} \longrightarrow \quad (IV-11)$$

Avec :

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

$P_{i.moy}$: moyenne de pluies du mois « i » sur une période de 26 ans ;

$P_{sec.80\%}$: pluie annuelle estimée pour une fréquence de 80% ($P_{sec.80\%}=416,87\text{mm}$) ;

$P_{50\%}$: pluie moyenne annuelle pour les 26 ans ($P_{moy}=586,19\text{mm}$).

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

$P_{80\%}=416,865\text{mm}$ (année sèche)

$P_{50\%}=586,188\text{mm}$ (année normale)

$P_{20\%}=755,512\text{mm}$ (année humide)

A-N

$$\frac{P_{sec.80\%}}{P_{50\%}} = 0.71$$

Les valeurs de $P_{i.moy}$ sont représentées dans le tableau suivant ;

Tableau IV-4 : La pluie moyenne mensuelle de fréquence de probabilité 80% pour une période sèche

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
$P_{20\%}/P_{50\%}$	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
P moy (mm)	78,4	60,35	56	50,24	44,11	7,8	2,3	2,85	28,5	50,8	85,8	110,25
P_{80%} (mm)	55,66	42,85	39,76	35,67	31,32	5,54	1,63	2,02	20,24	36,07	60,92	78,28

La pluie annuelle de fréquence 80% est de 416.865 mm/an

Test de Khi carrée

- On calcule $\chi^2_{\text{calculé}}$
- On calcule le nombre de degré de liberté γ :
- On détermine $\chi^2_{\text{théorique}}$ sur la table de Pearson III (voir tableau (IV-5))

Avec : $\chi^2_{\text{théorique}} = g(g, a)$

La loi est adéquate pour une erreur $\alpha = 0.05$ si et seulement si : $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}}$.

Tableau IV-5 : table du χ^2 (de Pearson III).

$\alpha \backslash \gamma$	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	6.346	8.383	9.83	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877

$\chi^2_{\text{Calculé}} = 2.57$

$\gamma = 4$ D'après la table de Pearson du χ^2 on a :

$$\left[\begin{array}{l} \chi^2_{\text{Théorique}} = 9.488 \\ \chi^2_{\text{Calculé}} = 2.57 < \chi^2_{\text{théorique}} = 9.488 \end{array} \right.$$

Donc l'ajustement est vérifié.

On prend l'ajustement de Gauss car c'est le plus simple et consiste que deux paramètres.

Conclusion

Dans cette partie, nous avons traité les principales caractéristiques statistiques de la série pluviométrique, retenue comme représentative de la zone de projet.

Comme pour l'ajustement de la série de pluies moyennes annuelles, on a utilisé le test de Khi carré qui a montré un ajustement à considérer. Concernant l'ajustement des séries des pluies moyennes annuelles, on a utilisé la loi de Gauss.

Les calculs manuels des expressions statistiques vont prendre plus temps, mais avec l'utilisation de l'outil informatique, on aboutit facilement aux résultats, à l'aide des logiciels

tel que l'HYDROLAB, HYFRAN nous a permis l'élaboration des analyses statistiques les plus courantes en hydrologie.

IV-3.Calcul des besoins en eaux des cultures

En terme général, le besoin en eau d'une culture est équivalent au niveau d'évapotranspiration nécessaire à sa croissance optimale.

De façon précise, le besoin en eau est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture indemne de maladie et poussant dans une parcelle d'une surface supérieure à un hectare dans des conditions optimales de sol. Ces dernières consistent en une fertilité et une humidité suffisantes pour atteindre le potentiel de production de la culture dans le milieu considéré. [4]

IV-3-1.L'évapotranspiration

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en $m^3/ha/jour$, en $m^3/ha/mois$ ou en $m^3/ha/an$. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en $mm/jours$ par mois ou par an. [11]

On distingue : l'évapotranspiration de référence (ET_0), L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

- **L'évapotranspiration de référence :** est définie comme « le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15 cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive ». [11]

- **L'évapotranspiration potentielle :** Est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal abondant, bien alimenté en eau, lorsque l'énergie (évaporation de l'atmosphère) est le seul facteur qui limite cette évaporation. On peut définir l'ETP comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal présentant un développement foliaire maximum (au stade de pleine croissance) couvrant bien le sol, ce dernier étant à la capacité au champ, L'ETP correspond à la « demande d'évaporation » en eau « pouvoir » évaporant de l'air. [11]

- **L'évapotranspiration réelle :** Pendant une période déterminée (jour, mois, cycle végétatif complet), chaque parcelle va perdre, par transpiration et évaporation directe, une certaine quantité d'eau appelée évapotranspiration réelle ETR : celle-ci pourra bien sûr être inférieure ou égale à l'ETP selon que les conditions de celle-ci sont réunies ou non. [11]

IV-3-1-1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration

On distingue deux types :

- Les méthodes directes.

- Les méthodes indirectes.

IV-3-1-1-1. Méthodes directes

- **L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique**

L'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal.

- **Le bac évaporant**

Cet appareil très simple permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. Sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP.

- **L'évaporomètre piche**

Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lit directement sur les graduations du tube.

IV-3-1-1-2. Méthodes indirectes

Ces méthodes permettent de calculer l'ETP à partir de formules ne comportant que des données climatiques.

- **Formule de Blaney et Criddle**

A la suite de nombreuses expérimentations, Blaney et Criddle ont estimé que la température et la durée du jour étaient les facteurs déterminants de l'évapotranspiration potentielle. Ils ont proposé la formule suivante :

$$ETP = K (0,46t + 8,13) P. \longrightarrow (IV-12)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/jour.

t : température moyenne (en degré Celsius) durant la période considérée (généralement le mois).

P : pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la même période, par rapport à la durée moyenne du jour pour l'année.

K : Coefficient dépendant du stade végétatif de la culture et de la température moyenne (de la zone climatique).

- **Formule de Turc**

- Si l'humidité relative est supérieure à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \times \frac{T}{T+15} \quad \text{en (mm/mois)} \longrightarrow (IV-13)$$

- Si l'humidité relative de l'aire est inférieure à 50%. L'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \cdot \left(\frac{T}{T+15} \right) \cdot \left(1 + \frac{50-Hr}{70} \right) \longrightarrow (IV-14)$$

$$\text{Avec : } I_g = I_{ga} (0,18 + 0,62) \cdot \frac{h}{H} \longrightarrow (IV-15)$$

Tel que

ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : Radiation globale mensuelle (cal/cm²/jour).

Hr : L'humidité de l'air en %.

I_{ga} : Radiation maximale théorique.

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

h : durée d'insolation de la station considérée en heure/mois.

$\frac{h}{H}$: Insolation relative en heures.

• Formule de Penman

La formule donne les meilleures estimations de l'ETP, et ceci sous tous les climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important d'informations climatiques, rarement toutes disponibles sur une même station.

La formule est la suivante :

$$ETP = p'(t) \frac{Rn}{L} + \sigma \cdot \frac{Ea}{p(t) + \sigma} \longrightarrow (IV-16)$$

Tel que :

Rn : Rayonnement net « climatique ».

Ea : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air.

L : Chaleur latente de vaporisation (2.5.10⁶ J/kg)

σ : Constante psychrométrique (0,65 h la/°C)

p'(t) : Valeur de dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la température de l'air T.

IV-3-1-2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide du logiciel CROPWAT, Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les informations mensuelles de la station météorologique.

- Température : Les températures moyennes mensuelles sont données en degré Celsius.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprime en pourcentage %.
- Insolation journalière : L'insolation journalière donnée en heures d'insolation.
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en m/s.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ETo calculés à l'aide du logiciel

CROPWAT 8.0 sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Tableau IV-6 : Evapotranspiration de référence ET_0 calculée à l'aide du logiciel CROPWAT

Wilaya : Boumerdes				Station : Boumerdes			
Mois	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	Humidité (%)	Vent (Km/j)	Insolation (heure)	Radiation Mj/m ² /jour	ET_0 (mm/jour)
Jan	9.8	16.4	66	311.04	5	8.6	2.2
Février	9.4	16.4	68	293.76	6.75	12.5	2.44
Mars	10.6	17.6	62	285.12	7.28	16.1	3.26
Avril	11.9	19.3	60	267.85	8.57	20.6	4.08
Mai	14.8	21.5	65	241.92	8.75	22.5	4.45
Juin	18.3	24.8	65	216	9.93	24.7	5.16
Juillet	21	27.4	56	241.92	10.42	25.1	6.05
Août	22.3	29.1	62	224.64	9.55	22.6	5.51
Septembre	19.9	26.5	68	241.92	8.52	18.7	4.27
Octobre	17.3	24.6	67	216	7.42	14.2	3.21
Novembre	13.1	19.9	66	293.76	5.54	9.6	2.54
Décembre	10.8	17.4	63	328.32	4.59	7.7	2.38
Moyenne	14.9	21.7	64	263.52	7.7	16.9	3.8

IV-3-1-3. Calcul de La Pluie efficace

La pluie efficace « Peff » représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. Le choix de la méthode appropriée pour le calcul des précipitations efficaces demande une réflexion sérieuse. Différentes méthodes ont ainsi été développées, chacune prenant en compte le climat de la région où doivent s'effectuer les mesures. Le logiciel CROPWAT en propose quatre :

- La première formule propose un pourcentage fixe :

$P_{eff} = A * P_{moy}$, dans laquelle A est une fraction donnée par l'utilisateur. En général, A est compris entre 0,7 et 0,9.

- La deuxième formule a été développée à partir de données provenant de zones arides et semi-arides :

$P_{eff} = 0.6 * P_{moy} - 10$ pour $P_{moy} < 70$ mm/mois ;

$P_{eff} = 0.8 * P_{moy} - 25$ pour $P_{moy} > 70$ mm/mois.

- La troisième est une formule empirique développée localement. Les coefficients utilisés sont déterminés à partir d'une analyse des données climatiques locales :

$P_{eff} = A * P_{moy} + B$ pour $P_{moy} < x$ mm/mois ;

$P_{eff} = C * P_{moy} + D$ pour $P_{moy} > x$ mm/mois.

- La quatrième formule a été mise au point par le département américain de l'agriculture(USDA) :

$P_{eff} = P_{moy} * (1 - 0.2 * P_{moy} / 125)$ pour $P_{moy} < 250$ mm/mois

$$P_{\text{eff}} = 125 + 0.1 * P_{\text{moy}} \text{ pour } P_{\text{moy}} > 250 \text{ mm/mois}$$

En général, l'efficacité d'une précipitation diminue lorsque celle-ci augmente. Vu, que dans la plus part des cas quand les précipitations sont inférieures à 100 mm/mois l'efficacité sera approximativement de 80%, On optera pour la première méthode qui est la méthode du pourcentage fixe des précipitations

Les valeurs mensuelles de $P_{80\%}$ et P_{eff} sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV-7 : Pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT

Mois	Pluies 80% (mm)	Pluies efficaces (mm)
Janvier	55.66	44.6
Février	42.85	34.3
Mars	39.76	31.8
Avril	35.67	28.5
Mai	31.32	25.1
Juin	5.54	4.4
Juillet	1.63	1.3
Aout	2.02	1.6
Septembre	20.24	16.2
Octobre	36.07	28.9
Novembre	60.92	48.7
Décembre	78.28	62.6
Total	409.96	328

IV-3-1-4. L'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est la valeur réelle de l'évapotranspiration .Le plus souvent, elle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention. En plus, elle est considérée variable pendant la période de végétation. C'est l'évapotranspiration d'une culture exempte de maladies, poussant dans un champ jouissant de conditions : agronomiques, pédologiques, et climatiques.

IV-3-2. Besoins en eau des cultures

IV-3-2-1. Choix des cultures

Le choix de types de culture à mettre en place répond aux critères suivants :

- ✓ Les conditions climatiques de la région ;
- ✓ La disponibilité de l'eau ;
- ✓ L'aptitude culturale des sols basée sur l'étude pédologique.

Pour notre périmètre, les cultures que nous avons choisies sont représentées dans le tableau suivant

Tableau IV-8 : les cultures choisies

	Arboriculture	Culture fourragères et céréalières	Cultures maraichères
cultures	Olivier Orange	Blé dur Maïs Sorgo	Carotte Courgette Haricot Pomme de terre Concombre

IV-3-2-2. Répartition des cultures

La répartition des cultures sur les 367 ha est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-9 : Occupation de sol en fonction des cultures

Culture	Surface occupée	
	ha	%
Culture fourragères et céréalières		
Blé dur	172	46,87
Sorgho	45	12,26
Cultures maraichères		
Carotte	15	4,09
Courgette	20	5,45
Haricot	15	4,09
Pomme de terre	20	5,45
Concombre	15	4,09
Arboriculture		
Olivier	15	4,09
Orange	50	13,62
Totaux	367	100

Tableau IV-10 : calendrier culturel

	Cultures	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
arboriculture	Olivier	—————												
	Agrumes (Orange)	—————												
maraichage	Carotte		—————											
	Courgette				—————									
	Haricot			—————										
	Pomme de terre				—————					—————				
	Concombre						—————							
céréale	Blé dur	—————											—————	
fourragère	Sorgho					—————								

IV-3-2-3. Besoin en eaux des cultures

Il est nécessaire d'étudier les aptitudes culturales propres à chaque type de sol, et le choix des cultures convenables et adaptables au type de sol.

Les besoins en eau des cultures sont calculés par la formule suivante:

$$B = ETR - (P_{\text{eff}} + R_{\text{fu}}) \longrightarrow \text{(IV-17)}$$

Avec:

B : Besoins en eau d'irrigation (mm);

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/jour) ;

R_{fu} : La réserve facilement utilisable (mm) ; tel que

$$R_u = Y \cdot (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \cdot Z \cdot d_a \longrightarrow \text{(IV-18)}$$

Avec:

H_{cc} : Humidité à la capacité au champ;

H_{pf} : humidité du sol au point de flétrissement ;

Z : Profondeur d'enracinement (m) ;

D_a : Densité apparente ;

Y : degré de tarissement.

Tableau IV-11 : Besoins en eau mensuels des cultures

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	juin	Juill	Août	année
Culture													
Céréale et fourragère													
Blé dur			0	0	0	3.29	0	46.58	14.99	1.44			66.3
Sorgho	60.32							34.34	36.69	48.21	71.06	70.56	180.3
Maraichage													
Carotte						0	0	24.99	89	99.55	31.55		245.09
Courgette								4.19	52.27	45.05	36.55		138.07
Haricot							0	28.22	33.95	0			62.17
Pomme de terre							0	37.7	122.35	39.25	20.25		219.55
Concombre	0									0	62	103	165.48
Arboriculture													
Olivier	0	0	0	-	-	-	0	3	9	13	0	8	32.01
Agrume(Orange)	40.6	15.3	0	0	0	0	0	51.4	65.4	85.1	90.93	72.6	421.33
Totaux	0	0	0	0	0	3.29	0	218.36	356.12	292.27	250.73	160.48	1281.27

Tableau IV-12 : Tableau récapitulatif des besoins en eaux totaux des cultures

Culture	Superficie (Ha)	Besoins nets (mm)	Besoins nets (m ³ /Ha)	Efficienc e (%)	Besoins bruts (m ³ /Ha)	Besoins brutes totaux (m ³)
Céréale et fourragère						
Blé dur	172	66,3	663	0,75	884	152048
Sorgho	45	180,3	1803	0,75	2404	108180
Maraichage						
Carotte	15	245,09	2450,9	0,75	3267,87	49018
Courgette	20	138,07	1380,7	0,75	1840,93	36818,67
Haricot	15	62,17	621,7	0,75	828,93	12434
Pomme de terre	20	219,55	2195,5	0,75	2927,33	58546,67
Concombre	15	165,48	1654,8	0,75	2206,4	33096
Arboriculture						
Olivier	15	32	320	0,8	400	6000
Agrume(Orange)	50	421,33	4213,3	0,8	5266,625	263331,25
Totaux	367	1530,29	15302,9	-	20026,1	719472,58

Donc le volume annuel total nécessaire de ce périmètre est de **0.563 Hm³**

IV-4. Lessivage

Le lessivage est l'apport d'eau en supplément des besoins des cultures pour faire percoler en profondeur les sels cumulés dans la zone racinaire afin d'empêcher la salinisation des terres.

IV-4-1- Relation entre salinité de l'eau d'irrigation et salinité du sol

Les sels contenus dans l'eau d'irrigation peuvent être accumulés dans les sols après irrigation.

L'équation définissant la conductivité électrique du sol en fonction de celle de l'eau d'irrigation est :

$$EC_e = EC_w \cdot X \longrightarrow \text{(IV-19)}$$

Tel que : EC_e : Conductivité électrique du sol (mmhos/cm)

EC_w : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (mmhos/cm)

X : Facteur de concentration

Le tableau IV-13, montre la définition du facteur de concentration X en fonction de la fraction de lessivage LR :

Tableau IV-13: Facteur de concentration en fonction de la fraction de lessivage

Fraction de lessivage LR	Facteur de concentration X
0,05	3,2
0,1	2,1
0,15	1,6
0,2	1,3
0,25	1,3
0,3	1,2
0,4	0,9
0,5	0,8
0,6	0,7
0,7	0,6
0,8	0,6

Source : Bulletin de la F.A.O. n°29.

L'hypothèse qui a considérée que les pertes à la parcelle résultant du choix d'une efficience variant de **70 à 80%**, vont couvrir les fractions de lessivage, n'est pas totalement fondée, car ces pertes ne pourront couvrir qu'une partie de la fraction de lessivage.

Nous serions donc obligés d'admettre que les cultures envisagées subiront après plusieurs années, une chute de rendement de l'ordre de **10%**.

IV-4-2. Sensibilité des plantes à la salinité de l'eau

La tolérance des cultures en fonction des niveaux de rendement et de la conductivité électrique des sols donnée par le tableau ci-dessous.

Tableau VI-14 : Taux de rendements des cultures en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation

Cultures	Niveau de rendement en fonction de EC_e (mmhos/cm)				
	100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
Blé	6	6,7	8,7	12	20
Orge	8	10	13	18	28
Avoine	8	10	13	18	28
Orge-Berssim	6	7,4	9,5	13	20
Vesce-avoine	3	3,9	5,3	7,6	12
Févérole	1,6	2,6	4,2	6,8	12
Maïs	1,8	3,2	5,2	8,6	15,5
Sorgho	4	5,1	7,2	11	18
Tournesol	5	5,5	6,2	7,5	10

Tableau VI-14 : Taux de rendements des cultures en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation (suite)

Tabac	1,6	2,6	4,2	6,8	12
Pêcher	1,7	2,5	3,8	5,9	10
Prunier	3	3,9	5,3	7,6	12
Abricotier	1,6	2	2,6	3,7	6
Amondier	1,5	2	2,8	4,1	7
Olivier	2,7	3,9	5,5	8,4	14
Pommier	1,7	2,3	3,3	4,8	8
Figuier	2,7	3,8	5,5	8,4	14

Source : extrait du tableau VII-9 du bulletin n°29 de la F.A.O

Conclusion

L'étude qui a été faite au niveau de ce chapitre nous a permis la détermination des besoins en eau d'irrigation pour les différentes cultures que nous avons proposés précédemment.

En définitive, il faudra prévoir une disponibilité annuelle brute d'environ **0.563** Hm³d'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 V :

**Dimensionnement de réseau et choix
de la technique d'irrigation**

Introduction

L'irrigation est l'application de l'eau au sol dans le but de combler le déficit en eau, ce moyen donne les conditions favorables pour la croissance des plantes.

Quelque soit l'origine de l'eau (cours d'eau naturel, nappe souterraine, eau de barrage) et son mode de transport (canaux, conduite sous pression), le problème qui se pose est comment répartir cette eau sur le sol de façon, à ce que les plantes en tirent le maximum de profit. Cependant le moyen de répartition de l'eau sur le sol ne doit pas toujours répondre à ce critère d'une production maximale, donc on doit essentiellement envisager un choix minutieusement détaillé du mode d'irrigation et de la technique d'arrosage à compatibilité avec les contraintes de la région d'étude.

V-1. Généralité

Un réseau d'irrigation est l'ensemble d'organes, d'ouvrages et appareils qui assurent le transport, la répartition et la distribution à chaque exploitation agricole, dans chaque parcelle des eaux destinées à l'irrigation, sans oublier par ailleurs les organes qui doivent éventuellement évacuer les eaux en excès.

V-2. Les différents systèmes d'irrigation

Les différentes techniques d'arrosage rencontrées dans le monde peuvent être ramenées à (3) grands types :

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

V-2-1. L'irrigation gravitaire

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

Parmi les techniques d'arrosages gravitaires on distingue :

- L'irrigation par planche ;

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

V-2-1-1. Avantages de l'irrigation par gravité

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

V-2-1-2. Inconvénients de l'irrigation par gravité

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

V-2-2. L'irrigation goutte à goutte

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

V-2-2-1. Avantages de l'irrigation goutte à goutte

- Une économie d'eau très importante ;
- Une économie de main d'œuvre (système fixe) ;
- La non sensibilité aux vents forts ;
- Elle permet un dosage régulier en engrais ;
- L'humidité au voisinage des racines reste élevée ;
- Irrigation des terrains accidentés.

V-2-2-2. Inconvénients de l'irrigation goutte à goutte

- Risque d'obstruction des goutteurs ;
- Risque de salinisation ;
- Nécessite une main d'œuvre qualifiée;
- Coût élevé ;
- Contrôle difficile des goutteurs.

- Développement racinaire de cultures limité

V-2-3. L'irrigation par aspersion

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

V-2-3-1. Avantages de l'irrigation par aspersion

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

V-2-3-2. Inconvénients de l'irrigation par aspersion

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

V-3. Choix de la technique d'irrigation convenable

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

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

V-4. Description d'un réseau d'irrigation goutte à goutte

Le mode d'arrosage qui nous intéresse dans notre étude est l'irrigation localisée (micro-irrigation ou goutte à goutte).

Sur le plan international, différents termes sont utilisés pour désigner cette technique d'irrigation:

- **micro-irrigation** : terme choisi par la CIID (Téhéran 1976) en référence aux débits utilisés qui, contrairement aux autres techniques plus anciennes, aspersion et irrigation de surface, sont très faibles.
- **irrigation goutte à goutte** : terme utilisé par certains auteurs en référence à l'utilisation d'un type particulier de distributeur: le goutteur.
- **irrigation localisée**: terme choisi par l'organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, OAA, 1976) en raison des apports d'eau effectués au voisinage immédiat des plantes. C'est ce terme que nous utiliserons par la suite.

V-4-1. Critères de choix de la méthode de micro-irrigation [8]

On peut résumer les conditions d'utilisation de la micro-irrigation ainsi qu'il suit (Vermeiren, 1983) :

- Prix de l'eau élevé ou ressources en eau rares;
- Terrain en forte pente ou accidenté ;
- Rareté et cherté de la main d'œuvre ;
- Mauvaise qualité de l'eau (salinité).

V-4-2. Champ d'application de la micro irrigation

La micro irrigation est maintenant couramment utilisée pour les cultures suivantes :

- ✓ Cultures fruitières : Européennes, Méditerranéennes et Tropicales, sans aucune limitation ;
- ✓ Cultures maraîchères et florales de pleine terre : plein champ ou sous tunnels plastiques ;
- ✓ Cultures arbustives en pots ;
- ✓ Grandes cultures : coton, canne à sucre, maïs, betteraves sucrières, tabac, bananiers, ... etc.) [9]

V-4-3. Composition d'une installation d'irrigation goutte à goutte

Chaque parcelle doit être équipée d'un réseau composé d'une unité de tête qui est l'élément essentiel de tout réseau d'irrigation localisée. L'installation de tête a pour but de fournir de l'eau propre, éventuellement enrichie et traitée chimiquement, sous une pression régulée, et de la distribuer successivement vers tous les secteurs à irriguer.

Cette unité reliée au point de fourniture de l'eau, est généralement constituée des éléments suivants :

- ❖ Groupe de pompage ;
- ❖ Vanne ;
- ❖ Filtre à sable ;
- ❖ Débit mètre : pour contrôler le débit et le régler en fonction du bassin.
- ❖ Régulateur de pression : pour régler la pression ;
- ❖ Porte- rampes d'arrosage ;
- ❖ Conduites principales enterrées ;
- ❖ Rampe munie de goutteurs d'un écartement fixe selon le mode de plantation des cultures.

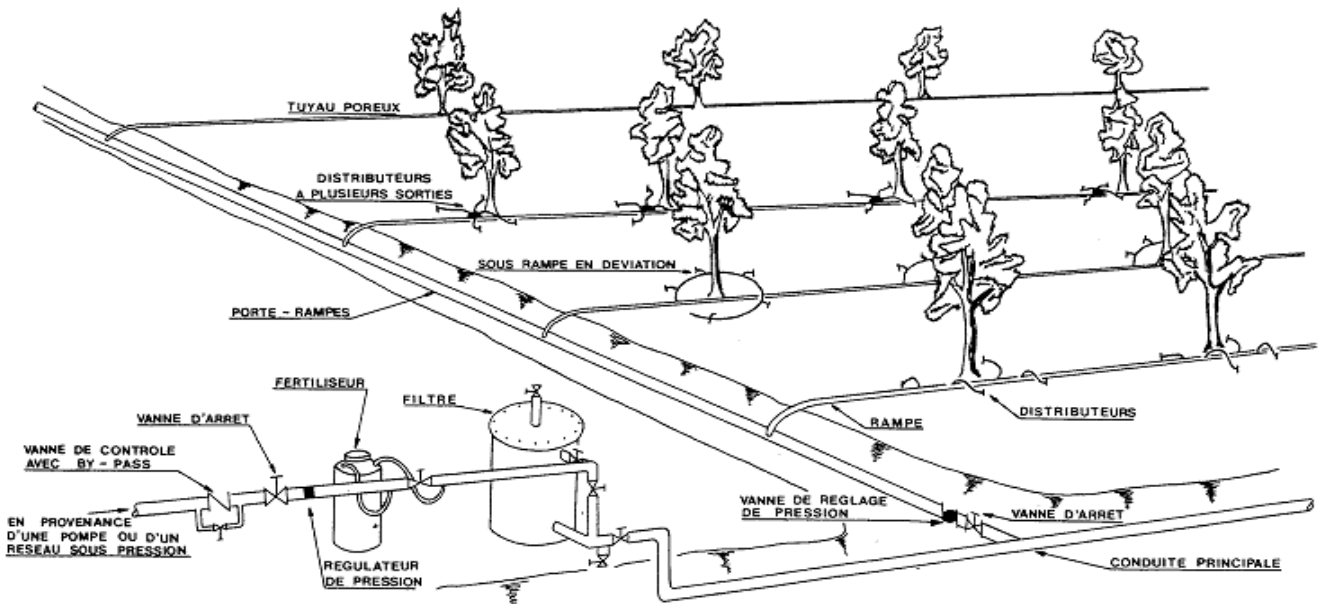


Figure V-1 : Parties essentielles d'un réseau de micro-irrigation (Vermeiren et al 1983)

V-4-3-1. Groupe de pompage

Le groupe de pompage est mis à la sortie du bassin d'accumulation, il peut être soit :

V-4-3-2. Filtre à sable

Le filtre à sable est une cuve à pression remplie d'une épaisse couche de sable calibrée qui arrête les éléments solides en suspension dans l'eau qui la traverse, il est indispensable pour arrêter les éléments organiques. Le sable peut être roulé ou concassé. Le sable peut être roulé d'une seule granulométrie, permet une filtration plus homogène. Pour un bon fonctionnement, le filtre doit retenir les particules de granulométrie supérieure à 1/7 de la plus petite dimension de passage de l'eau dans le distributeur.

V-4-3-3. Filtre à tamis

C'est une cuve à pression contenant une paroi filtrante au tamis en plastique ou en acier inox, dont les mailles varient de 80 à 150 μ , les particules de dimension supérieures à cette maille sont arrêtées par le tamis.

V-4-3-4. Régulateur de pression

Il permet de contrôler la pression en tête et la conduite principale.

V-4-3-5. Les goutteurs

Les goutteurs apportent l'eau à la surface du sol de manière ponctuelle.

Le rôle des goutteurs est de fournir un faible débit (quelques litres par heure). La pression de l'eau est dissipée dans le goutteur puis l'eau est évacuée à l'extérieur à pression nulle.

Au niveau de chaque poste on dénombre deux goutteurs par arbre d'un débit égal à 4 l/h pour chacun.

V-4-3-6. Les distributeurs

En irrigation localisée, l'eau est transportée le long des rangés des cultures et distribuée au voisinage des plantes.

Les distributeurs apportent l'eau au niveau du sol :

- ✓ ponctuellement : les goutteurs
- ✓ en diffusion : les mini diffuseurs
- ✓ linéairement : les gaines perforées

V-4-3-7. Les rampes et les portes rampe

La plupart des conduites en plastiques utilisées en irrigation sont fabriquées à partir des quatre matériaux suivants :

- Le chlorure de polyvinyle PVC ;
- le polyéthylène PE, de basse densité (PEBD) ou de haute densité (PEHD) ;
- le polypropylène PP ;
- l'acrylonitrile –butadiène styrène, ABS

Parmi eux, le PEBD et le PEHD sont les plus utilisés en irrigation localisée, en raison de sa plus grande résistance à la pression, le PVC est le plus économique dans les gros diamètres,

alors que les PE (moins résistants) sont surtout utilisés en petits diamètres, pour les rampes et parfois les portes- rampe. [4]

a. Les rampes

La plupart des rampes sont en tuyaux PE noir de basse densité (PEBD). Ce matériau est flexible et pas trop sensible au soleil, ce qui est important car les rampes sont posées à la surface du sol.

Les diamètres intérieurs vont de 05 à 25 mm, mais les plus courants sont 10, 12, 15 et 16 mm. L'épaisseur de parois est de 03 ou 04 mm suivant la pression (la pression de l'eau dans le tuyau réduit le risque de « craquage », mais il faut faire attention pendant la pause car il est très facile d'endommager les tuyaux lors de leur déroulement).

Les craquelures des tuyaux PE constitués de plusieurs fentes longitudinales peuvent être un problème lorsqu'on utilise les raccords cannelés extérieurement, c'est le cas des distributeurs en ligne lorsque le diamètre extérieur de la cannelure du distributeur est trop grand par rapport au diamètre du tuyau utilisé pour constituer la rampe. [4]

b. Les porte-rampes

Les porte-rampes sont en PE ou en PVC, de 20 à 80 mm de diamètre, la majorité entre 20 et 50 mm de diamètre intérieur, le choix du diamètre dépend en partie du calcul hydraulique en partie du type de raccordement aux rampes parfois le porte-rampe sera d'un diamètre supérieur au diamètre nécessaire du point de vue hydraulique surtout si la rampe pénètre simplement par pression dans un trou réalisé dans la paroi du porte-rampe. [4]

V-4-3-8. Les conduites principales

Elles sont semblables en irrigation localisée à ce qu'elles sont en aspersion classique, mais peuvent être plus petites et d'une pression inférieure en raison de l'utilisation des débits et des pressions plus faibles.

Dans les petits réseaux on peut utiliser des tuyaux PE mais il est plus fréquent de les faire en PVC. [4]

Elles relient le bassin d'irrigation au reste de l'installation au moyen des vannes. Tout au long de son parcours elle alimente les porte- rampes.

V-5. Projection d'un système d'irrigation goutte à goutte

La parcelle à irriguer se trouve dans la commune de Zemmouri.

Dont les limites sont :

La foret du Sahel au Nord,
La route nationale N°24 au Sud,
Oued el Merdja à l'Est,
Terrains agricoles à l'Ouest.

La superficie de cette parcelle est de 15 ha ($L=500$ m, $l=300$ m).

On partage cet îlot en huit postes de dimensions 1,875 ha ($L=150$, $l=125$).

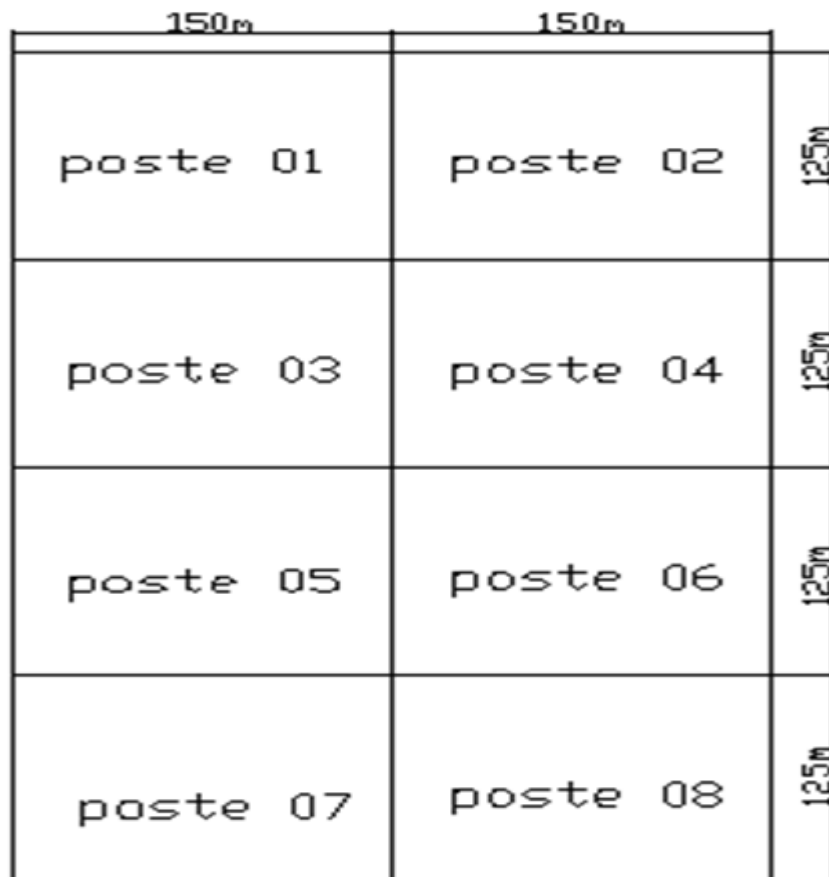


Figure V-2 : Décomposition de l'îlot

V-5-1. Données générales

Culture : orange

- Espacement entre arbres : 5 m
- Espacement entre arbres rangs : 5 m

Caractéristique de goutteur

- Débit nominal : 4 l/h

- Pression nominale : 10 mce
- Espacement entre deux goutteurs : 1m

V-5-2. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée

V-5-2-1. Influence du taux de couverture du sol

Principalement l'irrigation localisée est utilisée pour les cultures en ligne où une partie seulement de la surface est occupée par les plantes ; donc les chiffres des besoins en eau déterminés par les méthodes où toute la surface est considérée à irriguer doivent être multipliés par un coefficient de réduction « K_r » dépendant du taux de couverture « C_s »

Le coefficient K_r est donné par plusieurs formules comme :

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

$$K_r = \frac{C_s}{0,85} \longrightarrow (V-1)$$

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

$$K_r = C_s + 0,5(1 - C_s) \longrightarrow (V-2)$$

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

$$K_r = 0,1 + C_s \longrightarrow (V-3)$$

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

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

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

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

On prend le ($K_r = 0.71$),

Irrigation traditionnelle demanderait pour le mois de pointe $M_{\text{pointe}} = 1,65 \text{ mm} / \text{jour}$

(Tableau (IV-11) des besoins en eau dans le chapitre IV).

En irrigation localisée les besoins se réduisent à

$$ETM_{\text{Localisé}} = ETM_{\text{pointe}} * K_r \longrightarrow (V-4)$$

$$ETM_{\text{Localisé}} = 90.93 \cdot 0,8 = 72.744 \text{ mm/mois}$$

V-5-2-2. Besoins d'irrigation brut B_{brut}

C'est le volume d'eau d'irrigation nécessaire en pratique. B_{net} et B_{brut} sont liées par l'équation (V-5). La dose brute d'arrosage dépend en fait de l'uniformité de l'irrigation et de l'efficacité du réseau.

$$B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}}}{C_u} \longrightarrow \text{(V-5)}$$

Donc
$$B_{\text{brut}} = \frac{72.744}{0,9} = 80.83 \text{ mm / mois}$$

C_u : coefficient d'uniformité

$$C_u = 90\%$$

V-5-2-3. Pourcentage de sol humidifié

Le pourcentage du sol humidifié est déterminé soit :

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

$$\frac{P}{100} = \frac{n \cdot S_{\text{pd}} \cdot Sh}{S_a \cdot S_r} \longrightarrow \text{(V-6)}$$

Avec :

P : Pourcentage du sol humidifié ;

n : Nombre de points de distribution par arbre ;

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

Sh : Largeur de la bande humidifiée (m) ;

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

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

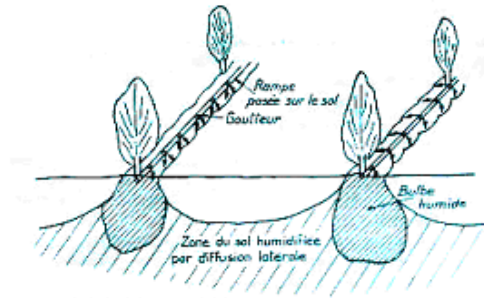


Figure V-3 : Zone du sol humidifié

D'où :

$$P = 100 \cdot \frac{2 * 1 * 5}{5 * 5} = 40 \% \longrightarrow (V-7)$$

V-5-2-4. Doses d'arrosage

La dose d'arrosage maximale nette qui peut être apportée par arrosage s'exprime comme en irrigation par aspersion, mais en tenant compte du fait que seule une partie du volume de sol est humidifiée. [3]

$$Dose_{nette} = (H_{cc} - H_{pf}) * e * Z * \frac{P}{100} \longrightarrow (V-8)$$

Tel que :

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

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

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

e : degré de tarissement admis ;

Z : profondeur d'enracinement (mm) ;

P : pourcentage du sol humidifié (%).

Les caractéristiques hydriques pour un sol limoneux en moyenne est :

$$H_{cc} = 22\%$$

$$H_{pf} = 10\%$$

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

$$Z = 1200 \text{ mm} \quad \text{La valeur de } Z \text{ dépend des cultures (voir l'annexe 03).}$$

$$P = 0.4$$

$$D_{o s e_{nette}} = (0.22 - 0.1) * \frac{2}{3} * 1200 * \frac{40}{100} = 38.4 \text{ mm}$$

Donc la fréquence minimale

$$f = \frac{D_{nette}}{ETMr} = \frac{38.4}{2.42} = 16 \text{ jours .}$$

V-5-2-5. Durée d'arrosage

$$t = \frac{b_{brute} * E_g * E_r}{q_g} \longrightarrow \text{(V-9)}$$

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

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

Q_g : Débit du distributeur en l/h.

$$t = \frac{80.83 * 1 * 5}{2 * 4} = 50 \text{ heures / 17 jours}$$

V-5-3. Calcul de l'installation

❖ Nombre de rampes

$$N_{rampe} = \frac{L_p}{E_R} \longrightarrow \text{(V-10)}$$

L_p : la longueur de poste ;

E_R : l'écartement entre rampes.

❖ Nombre d'arbres

$$N_{arbre} = \frac{L_R}{E_A} * N_R \longrightarrow \text{(V-11)}$$

Avec L_R : la longueur de la rampe

E_A : l'espace entre deux arbres

N_R : le nombre de rampes

❖ Nombre de goutteurs

$$N_{Goutteur} = N_A * 2 \quad \text{2 goutteurs par arbre}$$

N_A : le nombre d'arbres

Tableau V-1 : Caractéristiques générales du réseau localisé

Poste	Superficie ha	Rampe		Nombre d'arbres	Nombre de goutteurs
		Nombre	Longueur		
I, II, III, IV, V, VI, VII et VIII	1,875	30	125	750	1500
Total	15	240	-	6000	12000

V-5-4. Calcul hydraulique du réseau

V-5-4-1. Conditions hydrauliques

La variation maximale du débit entre goutteur :

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

La variation maximale de la pression.

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

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

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = n \cdot \frac{\Delta H}{H(n)} \longrightarrow \quad (V-12)$$

Avec :

$q(g)$: débit nominal du goutteur ;

$H(n)$: pression nominale.

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

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

La répartition de la perte de charge est :

Perte de charge singulière : $p.c.s = 10\% \cdot \Delta H = 0.2 \text{ m}$

Perte de charge linéaire : $p.c.l = \Delta H - p.c.s = 1.8 \text{ m}$

1/3 sur les porte- rampes P.d.c (pr) = 0,6 m c e ;

2/3 sur les rampes P.d.c (r) = 1,2 m c e.

V-5-4-2. Calcul de la rampe

❖ Débit de la rampe

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

$$Q_R = N_G \cdot Q_G \longrightarrow (V-13)$$

Avec :

Q_R = Débit de la rampe en l / h ;

N_G = Nombre de goutteurs par rampe ;

Q_G = Débit d'un goutteur en l / h.

Le débit de la rampe varie donc selon le nombre de goutteurs sur la rampe, c'est à dire suivant le nombre d'arbres et la longueur de la rampe.

❖ Le diamètre

Le diamètre est calculé d'après la formule (V-14)

On propose que les rampes en PEBD

$$\emptyset (\text{cal}) = \left[\frac{\text{P.d.c (r)} \times 2,75}{0,478 \times Q(r)^{1,75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} \longrightarrow (V-14)$$

Avec :

P.d.c (r) : La perte de charge dans la rampe ;

Q(r) : Le débit de la rampe en l/h ;

L(r) : La longueur de la rampe en m.

❖ La perte de charge

La perte de charge est déterminée après le choix du diamètre par la formule suivante

$$J_r = \frac{0,478}{2,75} \cdot D r^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L r \longrightarrow \quad (V-15)$$

Tel que :

J = Perte de charge en m ;

D = Diamètre en mm ;

Q = Le débit en l / h ;

L = Longueur en m.

V-5-4-3. Calcul du porte-rampe

❖ Débit du porte-rampe

Le débit d'un porte-rampe est calculé par la relation

$$Q_{PR} = Q_R \cdot N_R \longrightarrow \quad (V-16)$$

Avec :

Q_{PR} = Débit du porte rampe en l / h ;

N_R = Nombre de rampes ;

Q_R = Débit d'une rampe en l / h.

❖ Le diamètre

Le diamètre du porte rampe est calculé par la formule ci-dessous

On propose que les porte-rampes en PEHD

$$\varnothing \text{ (cal)} = \left[\frac{P.d.c \text{ (pr)} \times 2,75}{0,478 \times Q(\text{pr})^{1,75} L(\text{pr})} \right]^{-\frac{1}{4,75}} \longrightarrow \quad (V-17)$$

❖ La perte de charge

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

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

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

Tableau V-2 : Caractéristiques générales du réseau localisé

Rampe						Porte-rampe					
L (m)	Q (l/h)	D _{cal} (mm)	D _N (mm)	V (m/s)	J (mce)	L (m)	Q (l/h)	D _{cal} (mm)	D _N (mm)	V (m/s)	J (mce)
125	200	12.95	16	0.276	0.44	150	6000	51	50	0.707	0.66

V-5-4-4. La conduite principale

❖ Le débit

Le débit de la conduite principale est calculé par la formule

$$Q_{c,p} = N_G \cdot Q_G \longrightarrow \quad (V-19)$$

N_G : nombre de gouteurs totale

Q_G : Débit d'un goutteur en l/h

Donc : $Q_{c,p} = 4 \cdot 12000 = 48000$ l/h

❖ La longueur :

On a : $L_{C,P} = 380$ m

❖ Le diamètre :

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

$$\varnothing = \sqrt[3]{Q} \longrightarrow \quad (V-20)$$

Q ; débit en m^3/s

$$\varnothing = \sqrt[3]{1,33 \cdot 10^{-2}} = 115 \text{ mm.}$$

On choisit un diamètre commercialisable de 125 mm.

❖ La perte de charge

Elle est donnée toujours par la formule suivante

$$J = \frac{0,478}{2,75} \cdot 125^{-4,75} \cdot 48000^{1,75} \cdot 380 = 1,13 \text{ m.c.e.}$$

Donc la perte de charge de la conduite principale $P.d.c = 1,13$ m.c.e.

❖ **La vitesse :**

La vitesse dans la canalisation principale est donnée par :

$$Q = V \cdot S \longrightarrow (V-21)$$

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

$$V = 1,09 \text{ m/s} \quad (0,8 \leq V \leq 1,2) \text{ .acceptable.}$$

V-6. La pression en tête de l'installation

Elle est calculée à partir du point le plus défavorable (figure V-4)

$$P = P_G + J(R) + J_{AB}(PR) + P_{Fi} + J_{tot} \longrightarrow (V-22)$$

Avec : P_{Fi} : la perte de charge dans le filtre ($P_{Fi}=2 \text{ mce}$)

Avec :

P = Pression en tête de l'installation en m ;

P_G = Pression d'un goutteur = 1 bar ;

$J(R)$ = perte de charge dans la rampe en m ;

$J_{AB}(PR)$ = Perte de charge dans le porte- rampe ;

P_{Fi} : la perte de charge dans le filtre ;

J_{tot} = Perte de charge totale ; $J_{tot} = (1,1 \div 1,15) * J_{lin}$.

J_{lin} = Perte de charge linéaire en m ; tel que : $J_{lin} = J_{BF}(CP) + J_{FE}$

Tel que :

$J_{BF}(CP)$ = Perte de charge dans la conduite principale en m ;

AN :

$$P = 10 + 0,44 + 0,66 + 1,2 (1,13 + 0,015) + 2 = 14,47 \text{ m}$$

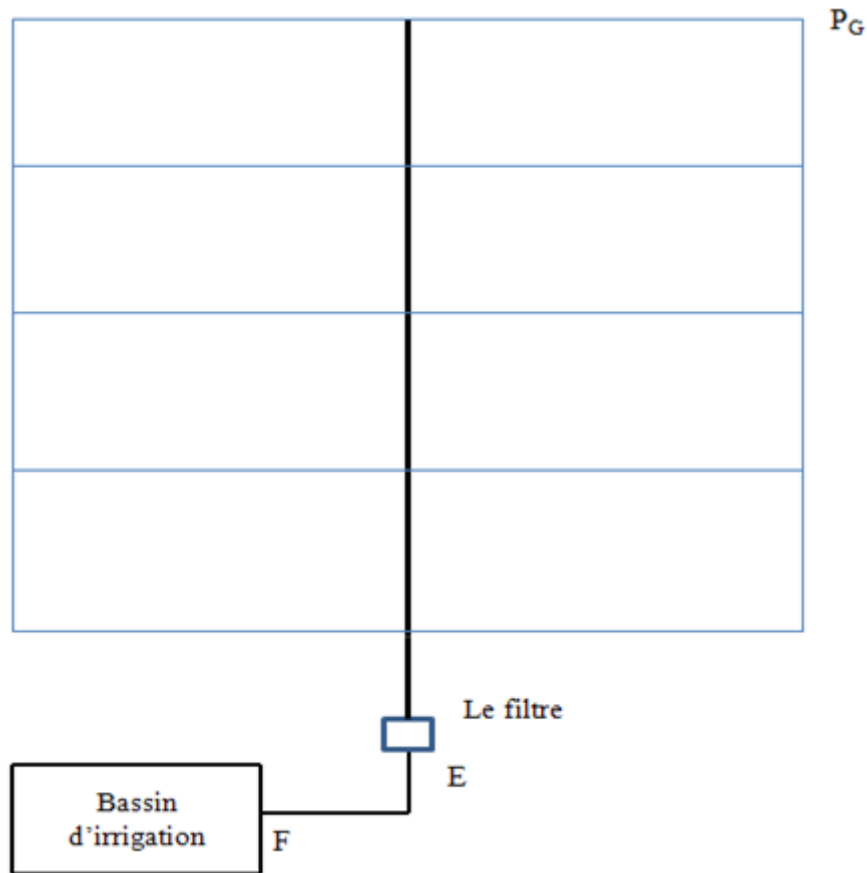


Figure V-4 : La pression en tête de l'installation (schéma)

V-7. Choix de la pompe

Le choix de la pompe se fait selon les deux caractéristiques suivantes.

- Débit de la pompe.
- Hauteur d'élévation.

➤ **Débit de la pompe**

$$Q = 48 \text{ m}^3/\text{h}.$$

➤ **Hauteur d'élévation**

$$\text{HMT} = V_{\text{eau-sol}} + H_P + H_{P-D} \longrightarrow \text{(V-23)}$$

Avec :

H_{P-D} : perte de charge dans la conduite reliant la pompe et la conduite d'amené

$$H_{P-D} = \frac{0,478}{2,75} * 125^{-4,75} * 48000^{1,75} * 2 = 0,006 \text{ m.c.e}$$

$$\text{HMT} = 0,2 + 14,47 + 0,006 = 14,68 \text{ m}.$$

La pompe a les caractéristiques ($Q=48 \text{ m}^3/\text{h}$, $\text{HMT}=14,76 \text{ m}$)

D'après le logiciel CAPRARI on trouve en fonction de (Q, HMT), une pompe de type MEC-A 1/50D.

V-8. Capacité du bassin d'irrigation

$$V_b = Q \cdot T_a + V_{inc} \longrightarrow (V-24)$$

Q : débit nécessaire à la parcelle ;

T_a : durée d'arrosage.

V_{inc} : volume d'incendie estimé à 20 m³.

$$V_b = 48 \cdot 2 + 20 = 116 \text{ m}^3$$

Le volume normalisé est le 200 m³.

Remarque : la station d'épuration de Zemmouri peut irriguer jusqu'à **18 ha**

V-9. Adduction

V-9-1. Type d'adduction

- Adduction gravitaire ;
- Adduction par refoulement ;
- Adduction mixte.

Remarque : Dans notre étude, on est appelé à choisir une adduction mixte.

Le principe de la variante d'adduction, schématisée par la figure (V-5), est la conduite des eaux d'irrigation de la STEP de Zemmouri, jusqu'à la station de pompage située à **36 m NGA** en aval. A la sortie de la station de pompage, la conduite d'adduction se dirige dans la direction Nord Ouest, pour aller rejoindre le réservoir tampon à une cote de terrain de **45 m NGA**. En suite les eaux sont véhiculées d'une manière gravitaire vers le bassin d'irrigation qui a une cote de terrain de **34 m NGA**.

Le schéma d'adduction est représenté dans la figure (V-5)

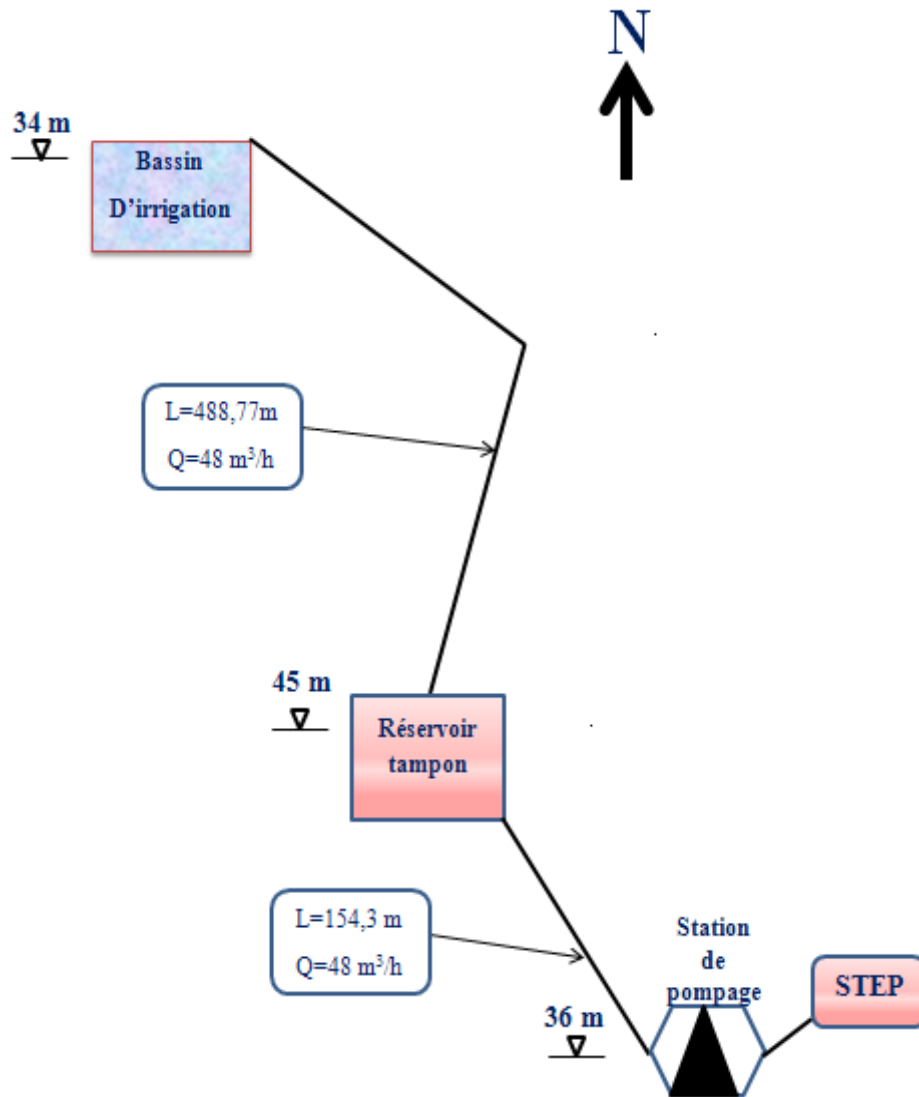


Figure V-5 : Schéma d'adduction

V-9-2. Dimensionnement de la 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.

Le calcul se fait avec la formule Darcy-Weisbakh

$$\Delta H_t = \frac{K' * L_e * Q^\beta}{D_{av}^m} \longrightarrow \quad (V-25)$$

- ΔH_t : Perte de charge totale (m)

- K' : Coefficient de frottement
- L_e : Longueur équivalente de la conduite (m)

$$L_e = L_g + L_{ee}$$

- L_g : Longueur géométrique de la conduite (m)
- L_{ee} : Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m)

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à 15% des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta H^{lin} \longrightarrow (V-26)$$

$$L_e = 1,15 * L_g$$

- Q : Débit véhiculé par la conduite (m^3/s) ;
- D_{av} : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;
- b : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;
- m : Exposant tenant compte du type du matériau.

Selon le type de matériau les coefficients K' , m et b sont donnés dans le tableau V-3

Tableau V-3: Coefficients K' , m , β pour différents types du tuyau

Tuyau	K'	m	β
Acier et fonte	0,00179 - 0,001735	5,1 - 5,3	1,9 - 2
Amiante-ciment	0,00118	4,89	1,85
PEHD	0,001052	4,772	2

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L_e * Q^\beta}{\Delta H_t}} \longrightarrow (V-27)$$

Pour notre étude, on prend : $K' = 0,001052$; $\beta = 2$; $m = 4,772$

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau (V-4).

Tableau V-4 : Caractéristiques de la conduite d'adduction gravitaire

Tronçon	Q	V	L_{eq}	ΔH	D_{calc}	D_{norm}
	(m^3/s)	(m/s)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)
STEP-Station de pompage	0.01333	0.427	5,75	1	56.14	63

V-9-3. Dimensionnement de la Conduite d'adduction par refoulement (Station de pompage-Réservoir tampon)

a) Dimensionnement de la conduite :

L'étude du dimensionnement consiste à déterminer le diamètre optimal en se basant sur les frais d'exploitation et les frais d'amortissement de la conduite qui augmente avec l'augmentation du diamètre.

b) Méthode de calcul :

Dans la pratique le diamètre optimal est déterminé par rapport à une fourchette de vitesse à respecter, ce diamètre est déterminé approximativement par les formules de BONIN et BRESSE, ces formules sont données comme suit :

$$\text{La formule de BONIN : } D = \sqrt{Q} \longrightarrow \text{(V-28)}$$

$$\text{La formule de BRESSE : } D = 1,5 \sqrt{Q} \longrightarrow \text{(V-29)}$$

Avec : D : Diamètre de la conduite en mètre.

Q : Débit véhiculé en m³/s.

Remarque : La formule de BRESSE n'est valable que pour les petits projets (longueur de conduite ≤ 1 Km).

• Hauteur manométrique totale :

La hauteur manométrique totale sera calculée de la manière suivante :

$$H_{mt} = H_g + \sum \Delta h \longrightarrow \text{(V-30)}$$

H_g : Différence de niveau entre le plan d'aspiration et le plan de refoulement (m)

$\sum \Delta h$: Somme des pertes de charge linéaires et singulières (m).

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **15%** des pertes de charge linéaires.

$$\sum \Delta h = 1,15 * \Delta h_p^{lin} \longrightarrow \text{(V-31)}$$

Δh_p^{lin} : Pertes de charge linéaires (m).

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^{5,3}} \quad (\text{Formule de Darcy-Weisbakh})$$

λ : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement.

$$\text{Avec : } \lambda = (1,14 - 0,86 \text{Ln} \frac{\varepsilon}{D})^{-2} \quad (\text{Formule de Nikuradzé})$$

D : diamètre de la conduite (m) ;

ε : Rugosité absolue de la conduite ;

- **Puissance de pompage :**

$$P = \frac{g * Hmt * Q}{\eta} \longrightarrow \quad (\text{V-32})$$

η : rendement de la station de pompage (82 %).

- **Energie consommée par le pompage :**

L'énergie consommée par la station de pompage le long d'une année est le produit de la puissance de pompage et d'heures de pompage par année.

$$E = P * t * 365 \longrightarrow \quad (\text{V-33})$$

E : énergie consommée pendant une année (Kwh) ;

P : puissance de pompage (Kw) ;

t : temps de pompage par jour (20 h).

- **Frais d'exploitation :**

Les dépenses annuelles de l'énergie sont le produit du prix unitaire du Kwh et de l'énergie consommée par année.

$$K = \delta * E \longrightarrow \quad (\text{V-34})$$

K : Dépenses annuelles d'énergie (DA) ;

E : Energie consommée par année (Kw) ;

δ : prix unitaire d'un Kwh imposé par la SONELGAZ ($\delta=5.71\text{DA}$)

- **Frais d'amortissement :**

Les frais d'amortissement est déterminé par la relation suivante :

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i \longrightarrow (V-35)$$

A : Frais d'amortissement (DA) ;

i : Taux d'annuité ; i = 8 % ;

n : Durée de l'amortissement de la conduite, n =15 ans.

$$A = \frac{0,08}{(0,08 + 1)^{15} - 1} + 0,08 = 0,1168 = 11,683 \%$$

Application numérique : Q=0.01333 m³/s

L=154.30 m

Hg=9 m

$$D_{ec} = \sqrt{Q} = 1.15 \sqrt{0.0133} = 0.173\text{m}$$

Tableau V-5: Calcul de la HMT

Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)	λ	Longueur(m)	ΔH_{total}	Hg	HMT(m)
110	1,403	0,3	154,3	93,77	9	102,77
125	1,087	0,3	154,3	47,62	9	56,62
140	0,866	0,3	154,3	26,12	9	35,12
160	0,663	0,3	154,3	12,87	9	21,87
200	0,425	0,3	154,3	3,94	9	12,94
250	0,189	0,3	154,3	0,46	9	9,46

Tableau V-6: Calcul des frais d'amortissement

D (mm)	Prix de ml (DA)	L (m)	prix tot DA	Famort (DA)
110	925,86	154,3	142860,198	16690,36
125	1198,69	154,3	184957,867	21608,63
140	1167,37	154,3	180125,191	21044,03
160	1959,12	154,3	302292,216	35316,8
200	3076,54	154,3	474710,122	55460,38
250	4759,95	154,3	734460,285	85807

Tableau V-7: Calcul des frais d'exploitation

Diamètre (mm)	Puissance (kw)	Energie (kwh)	F exploi (DA)
110	37,26	342781,9	1957284,65
125	31,62	266533,8	1521907,77
140	28,10	209626	1196964,52
160	27,40	195155	1114335,16
200	26,33	168233,3	960612,14
250	26,01	190748,7	1089174,82

Tableau V-8: Le Bilan

Diametre(mm)	Fexploit (DA)	Famort (DA)	bilan
110	1957284,65	16690,36	1973975,01
125	1521907,77	21608,63	1543516,40
140	1196964,52	21044,03	1218008,54
160	1114335,16	35316,8	1149651,96
200	960612,14	55460,38	1016072,53
250	1089174,82	85807	1174981,82

V-9-4. Choix des pompes

On note le nombre, le type et les caractéristiques des pompes dans le tableau V-9

Tableau V-9: Caractéristiques des pompes en fonction de leur nombre

n	Q appelé (l/s)	HMT appelée (m)	Type de pompe	η (%)	HMT (m)	Vitesse (tr/min)	N ^{bre} d'étage	P _{abs} (Kw)	(NPSH) _r (m)
1	13,33	12,94	MEC-A2/80	75,3	13,3	2800	3	2,37	3,28
2	6,65	12,94	MEC-A01/50	70,3	13,2	2800	4	1,31	2,22
3	4,43	12,94	MEC-A01/40	66,6	13,8	2900	4	0,95	2,13

En conclusion, le type choisi est **MEC-A2/80** avec une pompe de secours semblable

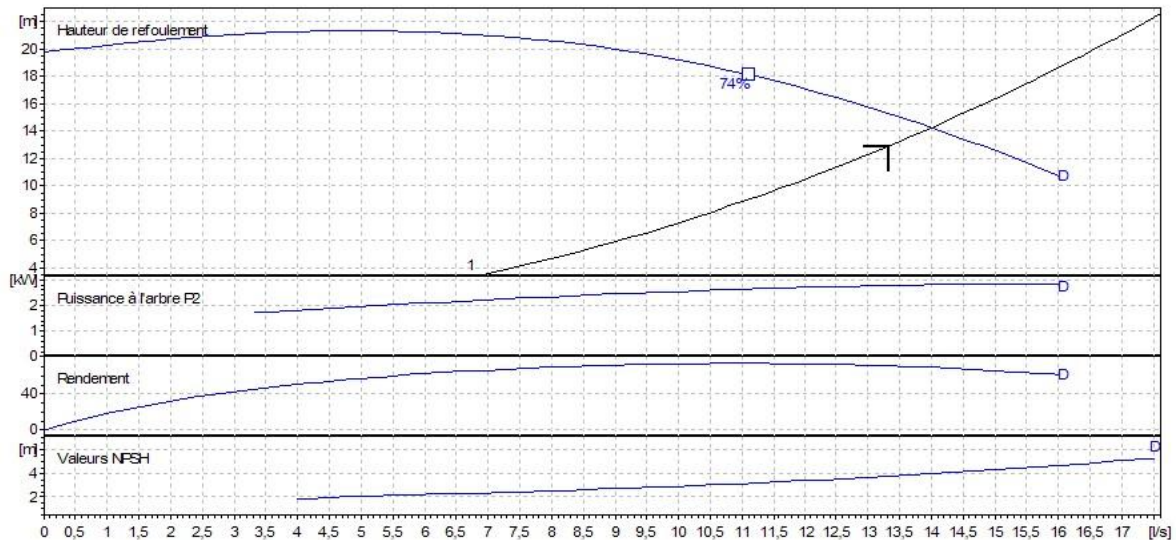


Figure V-6 : Courbes caractéristiques de la pompe.

V-9-5. Dimensionnement de la Conduite d'adduction gravitaire (Réservoir tampon-Bassin d'irrigation)

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de Darcy-Weisbakh :

$$\Delta H_t = \frac{K' * L_e * Q^\beta}{D_{av}^m} \longrightarrow \text{(V-36)}$$

- ΔH_t : Perte de charge totale (m)
- K' : Coefficient de frottement
- L_e : Longueur équivalente de la conduite (m)

$$L_e = L_g + L_{ee}$$

- L_g : Longueur géométrique de la conduite (m)
- L_{ee} : Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m)

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à 15% des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta H^{lin}$$

$$L_e = 1,15 * L_g$$

- Q : Débit véhiculé par la conduite (m^3/s) ;
- D_{av} : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;
- b : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;
- m : Exposant tenant compte du type du matériau.

Selon le type de matériau les coefficients K' , m et b sont donnés dans le tableau V-10

Tableau V-10: Coefficients K' , m , β pour différents types du tuyau

Tuyau	K'	m	β
Acier et fonte	0,00179 - 0,001735	5,1 - 5,3	1,9 - 2
Amiante-ciment	0,00118	4,89	1,85
PEHD	0,001052	4,772	2

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L_e * Q^\beta}{\Delta H_t}} \longrightarrow \text{(V-37)}$$

Pour notre étude, on prend : $K' = 0,001052$; $\beta = 2$; $m = 4,772$

Tableau V-11 : Caractéristiques de la conduite d'adduction gravitaire

Tronçon	Q	V	L_{eq}	ΔH	D_{calc}	D_{norm}
	(m^3/s)	(m/s)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)
Réservoir tampon-bassin d'irrigation	0.01333	0,524	563,236	10	90,46	90

Conclusion

Après la détermination des besoins en eau d'irrigation, cette dernière partie consiste à choisir la meilleure technique d'arrosage qui est adapté avec les données qui caractérisent notre parcelle.

La façon de distribuer l'eau aux plantes, la durée d'arrosage, la fréquence, le débit nécessaire, représente le calcul de base d'un réseau d'irrigation localisée pour un îlot.

En fin le dimensionnement des différents tronçons d'adduction (STEP-station de pompage-réservoir tampon-bassin d'irrigation).

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude est de caractériser au mieux les eaux usées de la station d'épuration de Zemmouri en vue d'une utilisation sans risque sur les périmètres agricoles.

Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que les eaux usées de la station d'épuration de Zemmouri sont d'une qualité favorable permettant de les utiliser dans le domaine agricole (l'irrigation), après les avoir stockées ou préalablement 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 Zemmouri, sans risque, dans le secteur agricole, surtout que la station est située au cœur de vastes terrains agricoles.

La répartition culturale, l'occupation du sol, ainsi que la production végétale de la situation de référence, sont très liées aux conditions climatiques de la région.

Un réseau d'irrigation a été conçu avec un dimensionnement adapté au type de sol, la nature des eaux et le débit disponible.

Parmi les recommandations proposées avant de généraliser cette pratique, il est important que les techniques de réutilisation des eaux usées épurées soient bien maîtrisées, pour cela il serait nécessaire :

- Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées ;
- Un traitement adapté aux conditions locales ;
- Une meilleure connaissance de l'impact sanitaire et écologique ou environnemental de la réutilisation.

Références Bibliographiques

- [1] DHW Boumerdes;
- [2] Office nationale d'assainissement (ONA), unité de Zemmouri;
- [3] Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A. (2004), Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, page 220;
- [4] BULLETIN DE FAO N°36,1983:l'irrigation localisée, calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement, FAO. Rome;

- [5] Boutin, B et MERCIER, PN, 1984 « traitement des eaux », page 101;

- [6] Jean-Antoine FABY, Office International de l'Eau Mai 1997
Direction de la Documentation et des Données avec l'appui technique de François ;
- [7] M.R.E.2007 - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées; BRISSAUD. Université de Montpellier ;
- [8] M. L. COMPAORE : Cours de micro irrigation 2003, page 6;

- [9] KULKER, 1988: La maîtrise de l'irrigation sous pression, aspersion et goutte à goutte. Edition NATHAN.Paris, page 78;

- [11] MICHEL DUCROCQ : Les bases de l'irrigation, technique et documentation, Lavoisier, Paris. Editions scientifiques universitaires. Liban ;

- [12] <http://www.lenntech.com/fran%E7ais/nitrate.htm>.

Liste des annexes

Annexe 01 :

Basic data for the calculation of pH_c . [$pH_c = (pK'_2 - pK'_c) + p(Ca^{++} + Mg^{++}) + p(Alk)$]			
Concentration (meq/L)	$pK_2 - pK_c$	$p(Ca^{++} + Mg^{++})$	$p(Alk)$
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.3	4.0
0.15	2.0	4.1	3.8
0.20	2.0	4.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.7	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.50	2.1	3.1	2.8
2.00	2.2	3.0	2.7
2.5	2.2	2.9	2.6
3.0	2.2	2.8	2.5
4.0	2.2	2.7	2.4
5.0	2.2	2.6	2.3
6.0	2.2	2.5	2.2
8.0	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.0
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

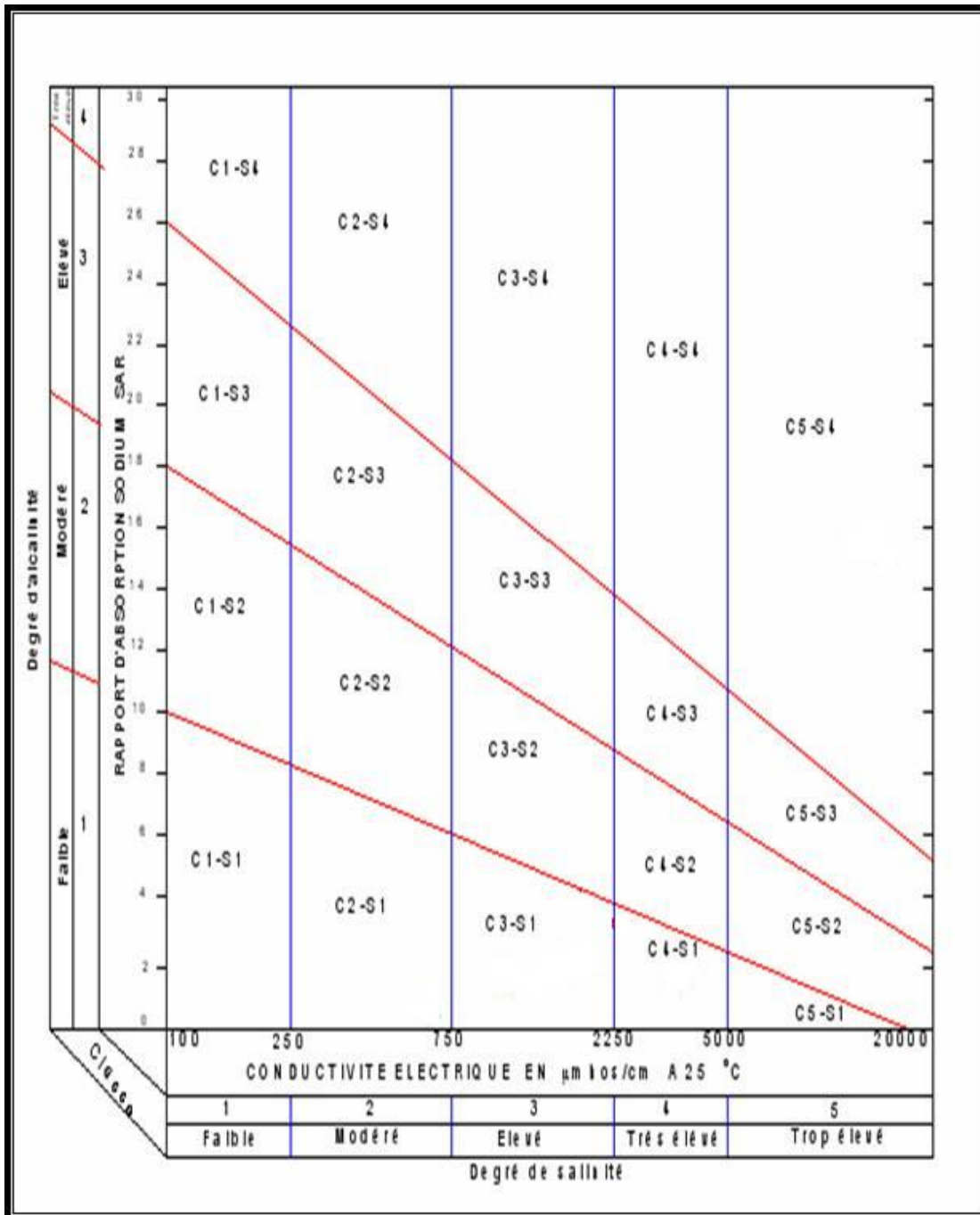
$(pK_2 - pK_c)$ is obtained from using the sum of Ca + Mg + Na in meq/L

$p(Ca + Mg)$ is obtained from using the sum of Ca + Mg in meq/L

$p(ALK)$ is obtained from using the sum of $CO_3 + HCO_3$ in meq/L

} obtained from water analysis

Annexe 02 :



SALINITY HAZARD

Diagram for the classification of irrigation water according to US Salinity laboratory (USD A1954)

Annexe 03 :

Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures

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