

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

DEPRTEMENT 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 Drainage

THEME :

**IRRIGATION D'UN PERIMETRE DES PALMERAIES A
PARTIR DES EAUX USEES EPUREES DE LA STATION
D'EPURATION DE TOUGGOURT
(W.OUARGLA)**

Présenté par :

M^r BOUHAFS Djamel Eddine

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r M.MESSAHEL	Professeur	Président
M^{me} L.S BAHBOUH	M A. A	Examinatrice
M^{me} H.BOUCAMA	M A. A	Examinatrice
M^{me} S.HARKAT	M A. B	Examinatrice
M^r A.AYAD	M A. A	Examineur
M^r O.RAISSI	Ingénieur en Chef	Promoteur

Septembre-2012

DEDICACES

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

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

✚ *A mon père.*

✚ *A mes frères.*

✚ *A mes sœurs,*

✚ *A tous mes amis de l'ENSH; spécialement (Nabil, Fouad, Abderrazzaq, Redoane, Chahine, Salm,...)*

.....BOUHAFS DJAMEL EDDINE.....

REMERCIEMENT

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 Mr. RAISSI. Omar, pour ces multiples efforts et ces apports précieux afin de mener ce travail à terme.

Toute ma gratitude pour mes parents et mes sœurs et mes frères pour leurs soutiens moraux et financiers.

Je remercie Mme BAHBOUH pour répondre à nos questions.

Je remercie le président et les membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Je tiens à présenter pour l'occasion tout mon respect à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.

Je remercie tous mes amis particulièrement, Ibrahim, Rabah, Hamza, Sofiane, Yacine, Nadir... .

Enfin, à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin je leurs dis merci.

Djamel Eddine

ملخص

إن الهدف من هذه الدراسة هو تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط 30 هكتار الواقعة بمنطقة بني سود بمياه السقي, انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة الواقعة ببلدية تقرت ولاية ورقلة .

لهذا الغرض قمنا بدراسة دقيقة لنوعية المناخ التربة والمياه.

Résumé

Le but de cette étude est la conception d'un réseau d'irrigation qui va alimenter en eaux usées épurées le périmètre de Ben Yassoad de 30 HA à partir de la station d'épuration de Touggourt(W.Ouargla).

Pour cela une étude précise de la qualité du climat, du sol et de l'eau a été faite.

Abstract

The purpose of this study is to design the irrigation system that will supply a perimeter of 30 HA situated on Ben Yassoad by dirty water purified from the cleaning station of Touggourt (Ouargla).

To achieve this aim, we have made an accurate study of the climate quality, soil and water.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Délimitation de la région d'étude

I.1- Présentation	1
I.1.1- Localisation de la région de Touggourt	1
I.1.2-Positionnement géographique	1
I.2- Climatologie	3
I.2.1- Caractéristiques climatiques	4
I.2.1.1- Précipitations.....	4
I.2.1.2- Précipitations moyennes mensuelles	4
I.2.1.3- Précipitations interannuelles	5
I.2.1.4- Température	6
I.2.1.5- L'humidité	7
I.2.1.6- Le vent	7
I.2.1.7- L'évaporation	8
I.2.1.8- La durée d'insolation	9
I.2.2- Régime climatique	10
I.2.2.1- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	10
I.3- Classification de climat	11
I.3.1- Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTON	11
I.3.2- Climagramme d'Emberger	12
I.4- Géomorphologie	14
I.5- Géologie	14
I.6- Pédologie	16
I.7- Hydrogéologie	16
I.8- Topographie	17
Conclusion	17

Chapitre II : Généralités sur les eaux usées et les Procédés d'épuration

Introduction.....	18
II.1- Caractéristiques des eaux usées	18
II.1.1- Origine des eaux usées	18
II.1.1.1-Les eaux usées domestiques	18
II.1.1.2-Les eaux usées industrielles	18
II.1.1.3- Les eaux de ruissellement	18
II.1.2- Origine de la pollution dans les eaux usées	19
II.1.2.1-La pollution organique.....	19
II.1.2.2- La pollution microbiologique	19
II.1.2.3-La pollution minérale	19
II.1.3- Les principaux paramètres de la pollution	19
II.1.3.1- Paramètres physiques	19
a)- La température	19

b)- La turbidité	19
c)- La conductivité	19
d)- Couleur et odeur	19
e)- Les matières en suspension (M.E.S)	20
f)- Les matières volatiles en suspension (M.V.S)	20
g)- Les matières minérales (M.M)	20
h)- Les matières décantables et non décantables	20
i)- Le pH	20
II.1.3.2- Les paramètres chimiques	21
II.1.3.2.1- La demande biochimique en oxygène (D.B.O5)	21
II.1.3.2.2- La demande chimique en oxygène (D.C.O)	21
• Relation entre DCO et DBO5	21
II.1.3.3- Les paramètres complémentaires	21
a)- Le phosphore	21
b)- L'azote	22
c)- L'équilibre nutritionnel	22
II.1.3.4- Paramètres biologiques	22
II.2- Etapes et procédés de traitement des eaux usées	23
II.2.1- Le relevage	23
II.2.2- Les prétraitements.....	23
a- Dégrillage.....	23
b- Dessablage – déshuilage.....	23
II.2.3- Le traitement primaire.....	24
II.2.4- Les traitements secondaires	24
II. 2.4.1- Le procédé biologique	24
• Les procédés intensifs ou artificiels.....	25
• Les procédés extensifs ou naturels.....	25
II.2.4.2- Le procédé physico-chimique.....	26
II.2.4.3- Procédé d'épuration par oxydation alternée.....	26
II.2.5- Les traitements complémentaires.....	27
• Désinfection.....	27
• Lagunage de finition.....	28
• Filtration.....	28
Conclusion.....	28
Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation	
Introduction	29
III. 1 Exemple de réutilisation des eaux épurées dans le bassin méditerranéen	29
-Tunisie.....	29
- La réutilisation des eaux usées épurées en France	30
III.2-Normes actuellement en usage	31
• Normes et critères OMS et FAO	31
III. 3- Qualité des eaux usées pour l'irrigation	32
III. 3.1- Qualité microbiologique	33
III. 3.2- Qualité chimique	35
III.3.2.1- La salinité	35

III.3.2.2.1- Classification mondiale (F.A.O)	35
III.3.2.2.2- Classification Russe	35
III.3.2.3- Chlore et sodium	36
-Le Bore.....	37
-Sodisation	37
III.3.3-Eléments traces et métaux lourds	38
a. Les dérivés carbonés	39
b. Minéralisation	39
c. La teneur en éléments fertilisants.....	39
• L'azote	40
• Le phosphore	40
• Le potassium	40
• Autres nutriments	40
III.4- Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation.....	40
III.4.1- Avantages environnementaux	40
III.4.2- Effets négatifs potentiels sur l'environnement	41
III.4.2.1- Effets sur le sol	41
III.4.2.2- Effets sur les eaux souterraines	41
III.4.2.3- Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues)	42
III.4.2.4-Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion)	42
Conclusion	42
Chapitre IV : Présentation de la STEP de Touggourt	
IV.1. Station d'épuration de Touggourt	43
IV.1.1 Données techniques	43
IV.2- Etapes de traitement	44
IV.2.1-Equipement de la station	44
IV.2.1.1-Dégrillage mécanique	44
IV.2.1.2- Epuration biologiques.....	44
IV.2.1.3- Clarification	45
IV.2.1.4- Epaisseur de boues.....	45
IV.2.1.5- Retour des boues	46
IV.2.1.6-Lits de séchage des boues	46
IV.3-Laboratoire	48
IV.4-Stations de pompage dans la région de Touggourt	48
• Point de rejet N°01	49
• Point de rejet N°02	49
• Point de rejet N°03	49
• Point de rejet N°04	49
• Point de rejet N°05	49
• Point de rejet N°06	49
• Point de rejet N°07	49
IV.5-Analyse d'urbanisme	49
IV.5.1-Population et évolution démographique	49
IV.5.2-Réseau d'alimentation en eau potable	50

IV.5.3-Evaluation du débit	50
IV.5.4-Calcul des charges polluantes	50
IV.5.4.1-Charges en DBO5	50
IV.5.4.2-Les charges en matières en suspension (MES)	51
IV.5.4.3-Les charges en DCO	51
IV.6-Canal Oued Righ	52
IV.7-Les paramètres analysés.....	53
IV.7.1- Interprétation des résultats	54
IV.7.2-les métaux lourds	54
• Discussion des résultats	55
IV.8- Classification des eaux de la STEP	55
* Pour la conductivité électrique CE.	55
*Pour la Coefficient d'adsorption du sodium S.A.R	55
Conclusion	56
Chapitre V: Besoins en eau des cultures	
Introduction	57
V.1-Etude hydrologique	57
V.1.1-Homogénéité de la série pluviométrique	57
V.1.1.1- Test de Wilcoxon	58
V.1.2-Ajustement à la loi de Gauss	60
• Commentaire	63
V.1.2.1- Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss	63
• Test de Khi carrée	63
V.2-Détermination de l'année de calcul	64
V.3-La pédologie des sols	64
V.3.1- Description morphologique de la région de Touggourt	65
V.3.1.1- Classification des sols	65
V.3.1.2-Relation plante – sol – eau	65
V.4-L'évapotranspiration	66
L'évapotranspiration de référence	66
L'évapotranspiration potentielle	66
L'évapotranspiration réelle	66
V.4.1- Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration	66
V.4.1.1-Méthodes directes	67
• L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique	67
• Le bac évaporant	67
• L'évaporomètre piche	67
V.4.1.2- Méthodes indirectes	67
1) Formule de Blaney et Criddle	67
2) Formule de Turc	68
3) Formule de Penman	68
V.4.2-Calcul de l'évapotranspiration	69
V.5-Calcul de la pluie efficace	70
V.6-Les besoins en eau	71
V.6.1-Les besoins en eau des cultures suivant le calendrier cultural	71

V.7-Détermination des besoins en eau des cultures	72
1-L'évapotranspiration maximale de la culture	72
2-Besoins en eau des cultures en irrigation localisée	72
3-Besoin en eau d'irrigation	73
a) Le besoin d'irrigation net, Bnet	73
b) Le besoin d'irrigation brut, Bbrut	73
c) Les besoins en eau pour le lessivage	73
V.8-Calcul des débits à transiter par le réseau collectif	74
V.8.1-Débits spécifiques	74
V.8.2-Débits caractéristiques	75
Conclusion	75
Chapitre VI : Dimensionnement	
Introduction	76
VI.1- Les techniques d'arrosage des cultures	76
VI.1.1- L'irrigation gravitaire	76
VI.1.1.1- L'irrigation par ruissellement	76
a) Les avantages	76
b) les inconvénients	76
VI.1.1.2- l'irrigation par submersion	76
a) Les avantages	76
b) Les inconvénients	77
VI.1.1.3- l'irrigation par infiltration	77
a) les avantages	77
b) Les inconvénients	77
VI.1.2- l'irrigation par aspersion	77
a) Les avantages	77
b) les inconvénients	77
VI.1.3- l'irrigation localisée	78
a) les Avantages	78
b) Les inconvénients	78
VI.2- L'obstruction des goutteurs	79
VI.2.1- Colmatage physique	79
VI.2.2- Colmatage biologique	79
VI.2.3- Colmatage chimique	79
VI.2.4- Accumulation des sels	79
VI.3- Choix des techniques d'arrosage convenable	80
VI.4- Champ d'application de la micro irrigation	80
VI.5- Description d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte	80
VI.5.1- Groupe de pompage	81
VI.5.2-Filtre à sable	81
VI.5.3- Filtre a tamis	81
VI.5.4- Régulateur de pression	82
VI.5.5- Les goutteurs	82
VI.5.6- Les distributeurs	82
VI.5.7-Les conduites	82
VI.5.7.1-Les rampes	82

VI.5.7.2- Les porte- rampes	83
VI.5.7.3- Les conduites principales	83
VI.6- Données générales	83
VI.6.1- Cultures	83
VI.6.2- Caractéristique de goutteur	83
VI.6.3- Caractéristiques des conditions climatiques	84
VI.6.4- Caractéristiques des conditions de travail	84
VI.7- Besoins journalier pour l'irrigation localisée	84
VI.8-Projection du réseau d'irrigation localisée	84
VI.8.1.1-La dose pratique =dose nette maximale	84
VI.8.1.2-La dose nette pratique réelle	85
VI.8.1.3-dose brute	85
VI.8.1.4-Fréquence d'arrosage	85
VI.8.1.5-Dose fictive à apportée	85
VI.8.1.6-durée d'arrosage	85
VI.8.1.7-durée d'arrosage journalier	85
VI.8.1.8-nombre de poste	86
VI.8.1.9-Surface d'un poste	86
VI.8.1.10-Surface correspondant à une rampe	86
VI.8.1.11-Nombre de rampes par postes	86
VI.8.1.12-nombre de goutteur par rampe	86
VI.8.2-Calcul hydraulique	86
VI.8.2.1-Débit d'une rampe	86
VI.8.2.2-débit de porte rampe	87
VI.8.2.3-pert de charge	87
VI.8.2.4-dimensionnement des différents segments du réseau	87
1) Diamètre des rampes	87
2) diamètres des portes rampes	88
VI.8.2.5-Calcul de la canalisation principale	88
VI.9-Capacité du bassin d'irrigation	89
VI.9.1 -Dimensionnement du bassin d'irrigation	89
VI.10-Adduction	89
VI.10.1 -Types d'adduction	89
VI.10.1.1 -Adduction gravitaire	89
VI.10.1.2 -Adduction par refoulement	90
VI.10.1.3 -Adduction mixte	90
VI.10.2 -Adduction et types d'écoulement	90
VI.10.2.1 -Ecoulement à surface libre	90
VI.10.2.2-Ecoulement en charge	90
VI.10.3-Choix du tracé	90
VI.10.4-Choix du matériau	90
VI.10.5-Etude des variantes	91
VI.10.6-Dimensionnement de l'adduction gravitaire	91
VI.10.6.1 -Détermination du diamètre de la conduite gravitaire	91
VI.10.7-Détermination de Hmt de la pompe	92
VI.10.8-Dispositif anti-bélier	93

VI.10.9 -Appareillage d'équipement du réseau	93
VI.10.9.1 -Vannes	93
VI.10.9.2 -Vanne de sectionnement	94
VI.10.9.3-Ventouses	94
VI.10.9.4-Vidange	94
VI.10.9.5-Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air	94
VI.10.9.6-Clapet de non retour	94
Conclusion	94
Chapitre VII : Aspect économique	
Introduction	95
VII.1-Devis du réseau d'irrigation au goutte à goutte	95
VII.1.2-Dépenses des équipements	95
VII.1.3-Dépenses des travaux	96
• Calcul du volume de déblai et remblai	96
Conclusion	97
Conclusin générale	

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I	
Tableau I-01: coordonnées de la station météorologique de la région de Touggourt	4
Tableau I-02: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2010).....	4
Tableau I-03: Précipitations moyennes interannuelles à la station de Touggourt (1990-2010).....	5
Tableau I-04: Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2010).....	6
Tableau I-05: L'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990-2010)	7
Tableau I-06: Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt.....	7
Tableau I-07: Evaporation moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990 – 2010)	8
Tableau I-08: La durée d'insolation mensuelle interannuelle à la station de Touggourt(1990-2010)	9
Tableau I-09: Données de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle	10
Tableau I-10: Classification de climat selon MARTON	12
Chapitre III	
Tableau III-01: Normes de réutilisation des eaux usées épurées	31
Tableau III-02 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté par Pettygrove et Assano 1988).....	32
Tableau III-03: Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)	34
Tableau III-04: Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation (Richards, 1969 in PERIGAUD1977).....	35
Tableau III-05: Concentrations en Na ⁺ et Cl ⁻ de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles (a,b).....	36
Tableau III-06: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable	37
Tableau III-07: Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).....	38
Tableau III-08: Valeurs indicatives pour l'appréciation d'une eau d'irrigations (AYERS, ASCE 1977, IR2 pp135-154) de l'université de Californie.....	40
Chapitre IV	
Tableau IV-01: Matériel utilise au niveau de laboratoire.....	48
Tableau IV-02: comparaison entre capacité de la station et les rejets de Touggourt.	52
Tableau IV-03: Les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.	53
Tableau IV-04: Les résultats des analyses obtenus pour l'eau épurée.	54
Tableau IV-05: Les résultats des analyses obtenus pour les métaux lourds.....	54
Chapitre V	
Tableau V-01: Test de Wilcoxon pour la série des données de la station de Touggourt.....	59
Tableau V-02: Ajustement à la loi Normale (loi de Gauss)	61
Tableau V-03: table du χ^2	63
Tableau V-04: L'Année de calcul.....	64

Tableau V-05: résultats du profil de sol.....	65
Tableau V-06: Evapotranspiration en mm/mois.....	70
Tableau V-07: Les pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT.....	71
Tableau V.08: Besoins en eau des palmiers dattiers	74
Tableau V.09: les besoins total	74

Chapitre VI

Tableau VI-01: calculs des paramètres pour les Palmiers.....	86
Tableau VI-02: calcul de Dcal de la rampe.	87
Tableau VI-03: calcul de Dcal de la porte rampe.....	88
Tableau VI-04: Les caractéristiques de la pompe	92

Chapitre VII

Tableau VII-01: Facture des pièces de réseau d'irrigation localisée.....	95
Tableau VII-02: Facture des pièces d'adduction, pompage et le bassin.	96
Tableau VII-03: Calcul de terrassement.	97

LISTE DES FIGURES

Chapitre I	
Figure I-01 : Situation géographique de la ville de Touggourt (maps.google.fr)	1
Figure I-02 : Situation géographique de la région de Touggourt.....	2
Figure I-03 : Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d’après Cahiers de Sécheresse, N: 1/98 (Internet).....	3
Figure I-04 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	4
Figure I-05 : Variation des précipitations interannuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	5
Figure I-06 : Variations des températures moyennes mensuelles minimales et maximales à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	6
Figure I-07 : Variation de l’humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	7
Figure I-08 : Variation de Vitesse moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	8
Figure I-09 : Variation de l’évaporation moyenne mensuelle à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	9
Figure I-10 : Variation de durée d’insolation mensuelle interannuelle à la station de Touggourt durant la période (1990-2010).....	10
Figure I-11 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	11
Figure I-12 : Situation de Touggourt selon le Climmagramme d’Emberger	13
Figure I-13 : Le canal de l’Oued Righ dans la région de Touggourt	14
Figure I-14 : Carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique 1/500 000 de l’Algérie, (feuille de Constantine sud).....	15
Figure I-15 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002	16
Figure I-16 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal la région de Touggourt OSS (2003b).....	17
Chapitre IV	
Figure IV-01 : Positionnement de la station d’épuration de Touggourt.....	43
Figure IV-02 : Entrée des eaux usées.....	44
Figure IV-03 : Degrilleur mécanique	44
Figure IV-04 : Bassin d’aération	45
Figure IV-05 : Décanteur.....	45
Figure IV-06 : Epaisseur.....	46
Figure IV-07 : Vis Archimède.....	46
Figure IV-08 : lit de séchage.	46
Figure IV-09 : Les ouvrages de la STEP de Touggourt.....	47

Figure IV-10 : représentation des points de rejet de Touggourt (STEP Touggourt, 2011). 48

Chapitre V

Figure V-01 : Graphique d'ajustement annuel des pluies moyennes (1990-2010)
à la loi normale Station de Touggourt 62

Chapitre VI

Figure VI-01 : Irrigation par Aspersion..... 78

Figure VI-02 : Irrigation localisée par Distributeur. 78

Figure VI-03 : Filtre à tamis 81

LISTES DES PLANCHES

PLANCHE I : Adduction et réseau de distribution

PLANCHE II: Profile en long : conduite de refoulement STEP-Lagunes

PLANCHE III : Profil en long : conduite de refoulement Lagune-Retenue de Bainem

PLANCHE IV : Dimensionnement du réseau d'irrigation

INTRODUCTION GENERALE

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

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

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

Dans ce cadre, on a mené cette étude sur un périmètre d'une superficie de 30 Ha, localisé dans la région de (Ben Yassoued) Touggourt. Il s'agit de concevoir un réseau d'irrigation sur ce périmètre afin d'éviter toute évolution négative sur le milieu récepteur. En effet, les eaux de la station d'épuration de Touggourt seront mobilisées dans ce domaine Pour cela, il est envisagé des analyses physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux pour une éventuelle utilisation dans l'irrigation.

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

CHAPITRE 1

Délimitation de la région d'étude

I.1- Présentation:

Le périmètre à irriguer (Ben Yassoued) se trouve au sud-est de la ville de Touggourt wilaya d'Ouargla, la superficie de ce périmètre est de 30 hectares dont Les limites sont la route RN°16 et la STEP au Nord, le canal d'Oued Righ à l'Est et la ville de Ben Yassoued à l'ouest.

I.1.1- Localisation de la région de Touggourt :

Touggourt dépend administrativement de la wilaya d'Ouargla qui fut la capitale de l'Oasis. Touggourt, historiquement capitale de l'Oued Righ, chef-lieu de commune et de daïra, la ville détient une indéniable à vocation de pôle régionale et de centre de transit.

I.1.2-Positionnement géographique :

Géographiquement, Touggourt est située à 33° 16' de latitude Nord, 6° 04' de longitude Est et à 55 mètres d'altitude. Elle est à :

- 160 km d'Ouargla, chef-lieu de wilaya ;
- 160 km de Hassi Messaoud ;
- 220 km de Biskra ;
- 450 km de Constantine ;
- 620 km d'Alger.

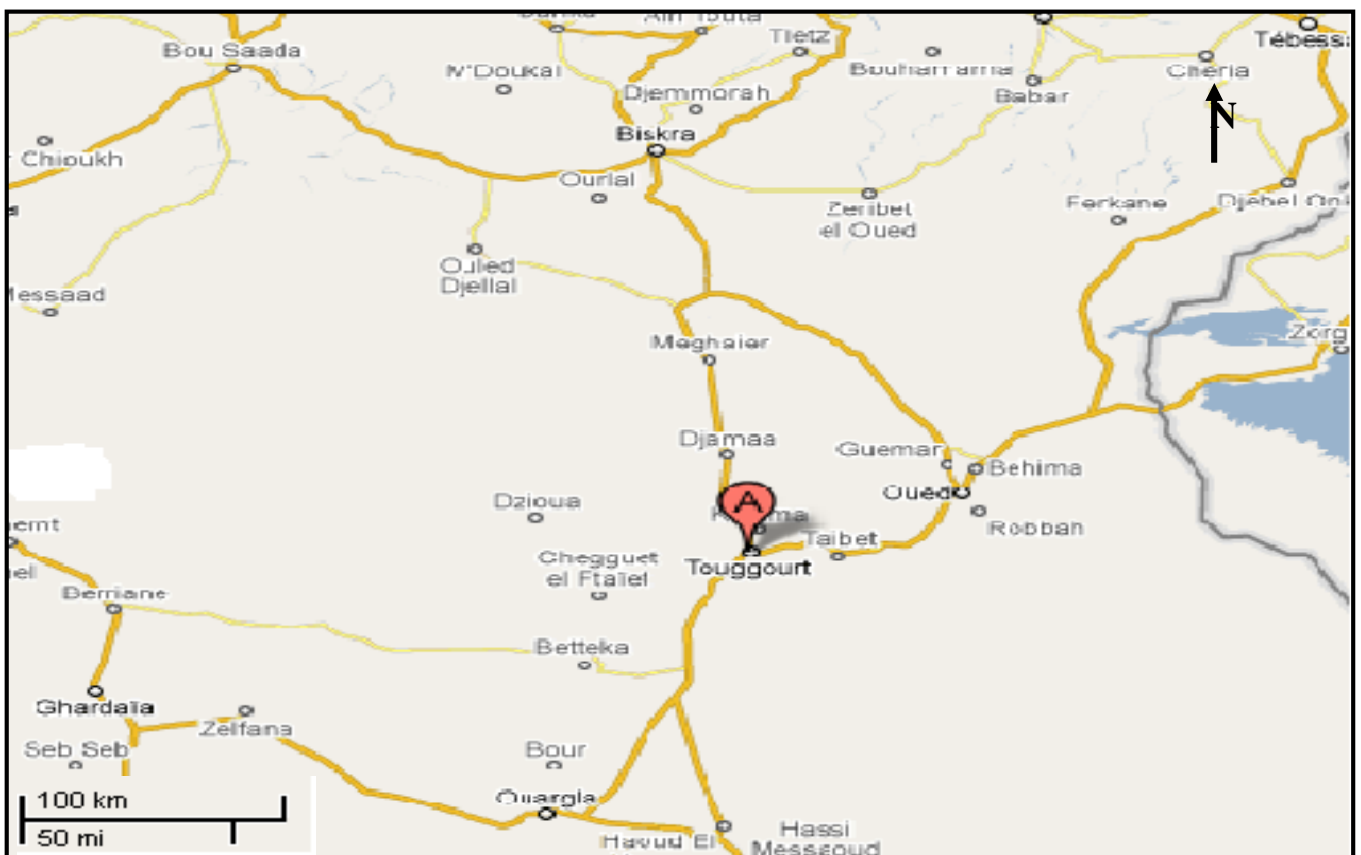


Figure I-01 : Situation géographique de la ville de Touggourt (maps.google.fr)

Chapitre I : Délimitation de la région d'étude

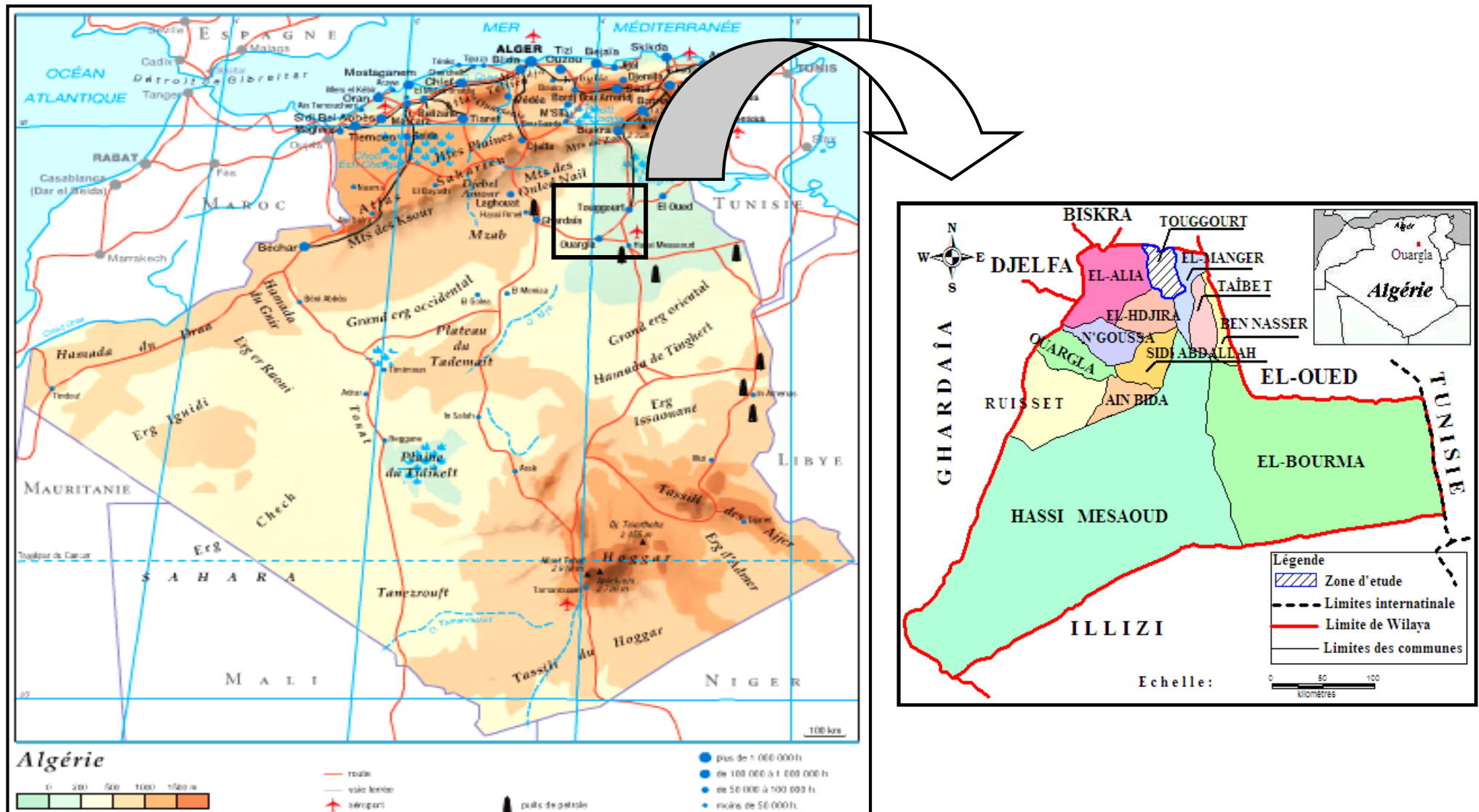


Figure I-02: Situation géographique de la région de Touggourt

I.2- Climatologie :

Le climat affecte une bonne partie des activités humaines, telle que la production agricole, la production et la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telles que l'eau, les aspects essentiels de l'environnement relevant immédiatement de la climatologie.

L'objet de ce chapitre est l'étude des paramètres hydroclimatologiques mesurés depuis une vingtaine d'années à la station de Touggourt, représentative du climat régnant sur notre zone d'étude. Nous analyserons successivement : les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, températures de l'air, humidité relative, durée d'insolation, vitesse de vent et l'évaporation mesurée au niveau de cette station.

La carte ci-dessous présente les différents sous-bassins versants du Sahara algérien, et les principales stations météorologiques.

Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par L'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), la zone étudiée appartient au sous-bassin versant N° 04, incluse dans le grand bassin saharien N° 13.

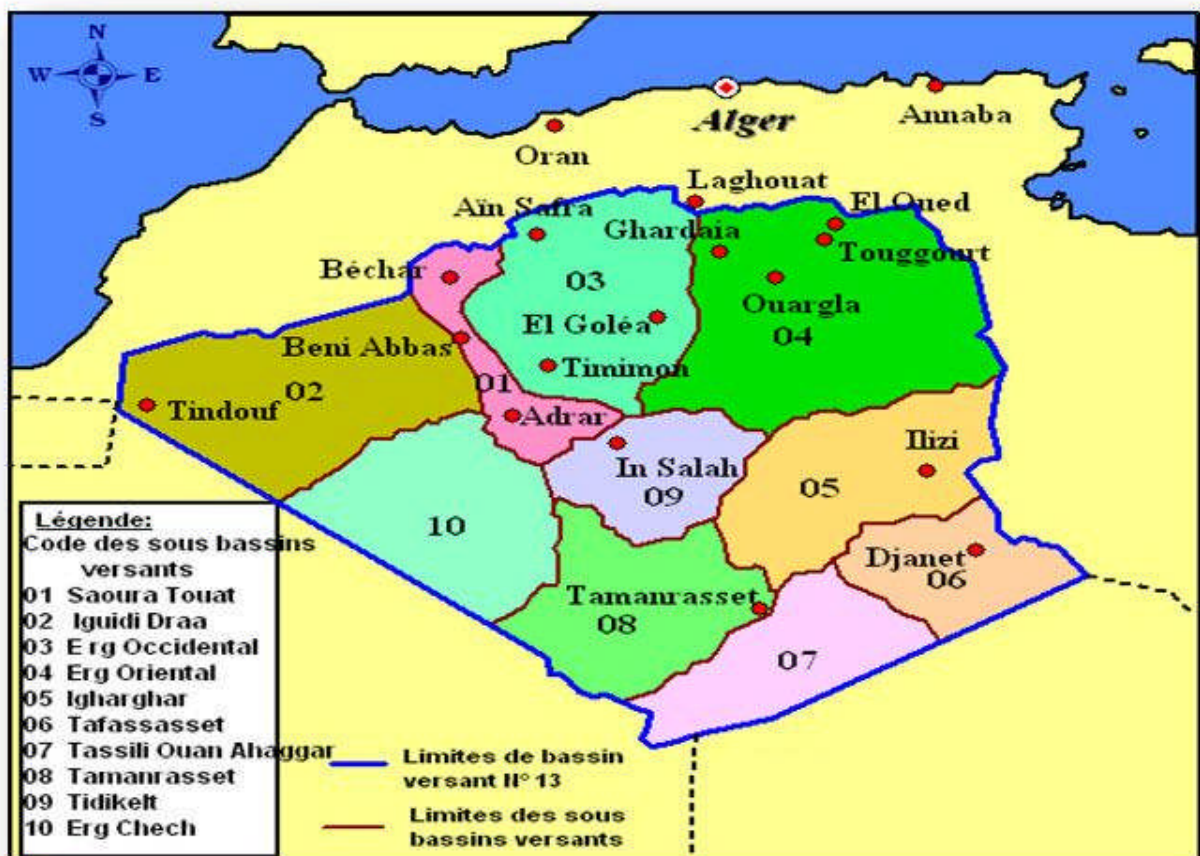


Figure I-03: Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse, N° : 1/98 (Internet)

Chapitre I : Délimitation de la région d'étude

I.2.1- Caractéristiques climatiques :

Tableau I-01 : coordonnées de la station météorologique de la région de Touggourt

Coordonnées	Latitude(X)	Longitude(Y)	Altitude(Z)	Coud station
Station de Touggourt	814.655	282.25	62	130437

Source : (ONM) Touggourt

I.2.1.1- Précipitations:

Les précipitations proviennent des nuages. Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et sous l'effet de la pesanteur, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle (état liquide ou solide) : ce sont les précipitations.

Les pluies ont un rôle primordial dans la constitution des réserves d'eau souterraine. Cependant seule une fraction des eaux pluviales arrivant sur le sol permet de recharger les nappes souterraines.

I.2.1.2- Précipitations moyennes mensuelles :

Le tableau ci-dessous représente les données des précipitations moyennes mensuelles calculées sur une période de 20 ans.

Tableau I-02: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuelle
P (mm)	8.64	7.35	6.48	6.78	23.87	3.50	7.25	6.96	4.73	0.93	0.73	4.01	81.21

Source : (ANRH) Touggourt

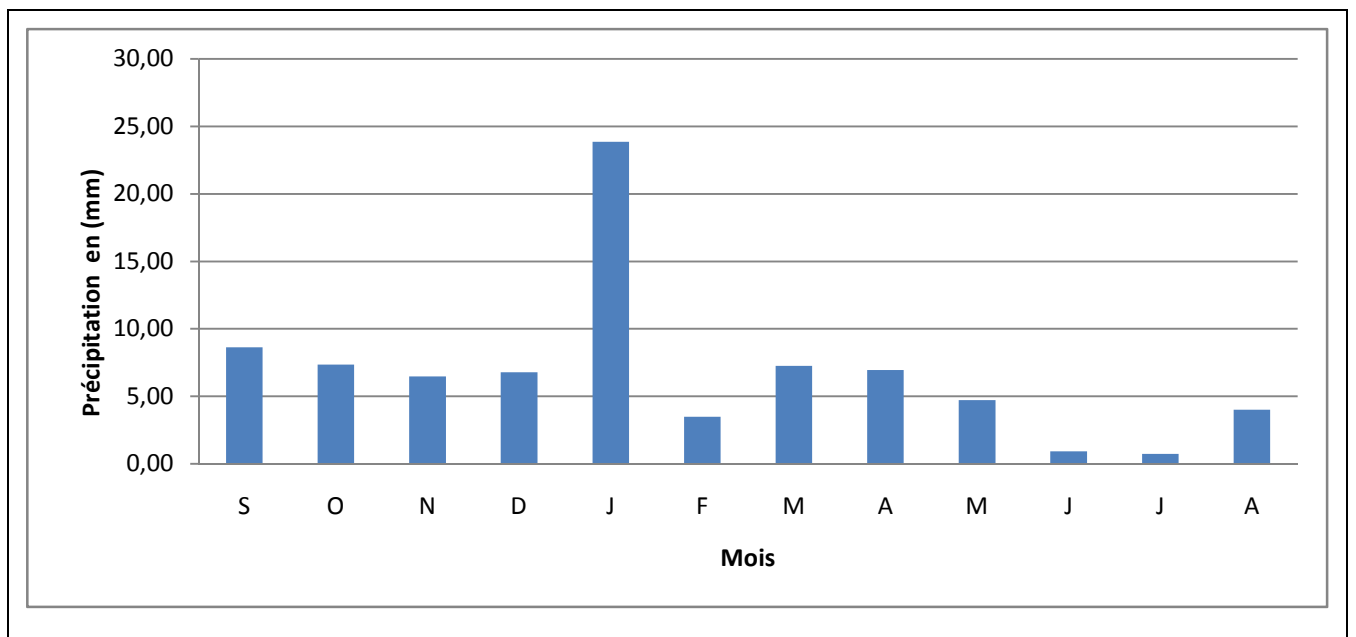


Figure I-04: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

Chapitre I : Délimitation de la région d'étude

La figure 04 montre l'évolution des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1990-2010). Ainsi, on remarque que la répartition des précipitations est irrégulière, la quantité maximale est observée au mois de Janvier, elle est de l'ordre de 23.78 mm par contre au mois de Juin et Juillet, elle est presque nulle, de même que pour les autres mois où elle est relativement faible.

I.2.1.3- Précipitations interannuelles :

Les précipitations moyennes interannuelles d'une durée d'observation de 20 ans (1990-2010) pour la station de Touggourt sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau I-03: Précipitations moyennes interannuelles à la station de Touggourt (1990-2010)

Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
1990/91	95,6	1995/96	74,95	2000/01	88,2	2005/06	55,1
1991/92	87,5	1996/97	76,35	2001/02	119	2006/07	80,8
1992/93	93,7	1997/98	55,3	2002/03	83,05	2007/08	66,4
1993/94	51,95	1998/99	61,5	2003/04	119	2008/09	105,7
1994/95	55,05	1999/00	55,9	2004/05	97,2	2009/10	93,45

Source : (ANRH) Touggourt

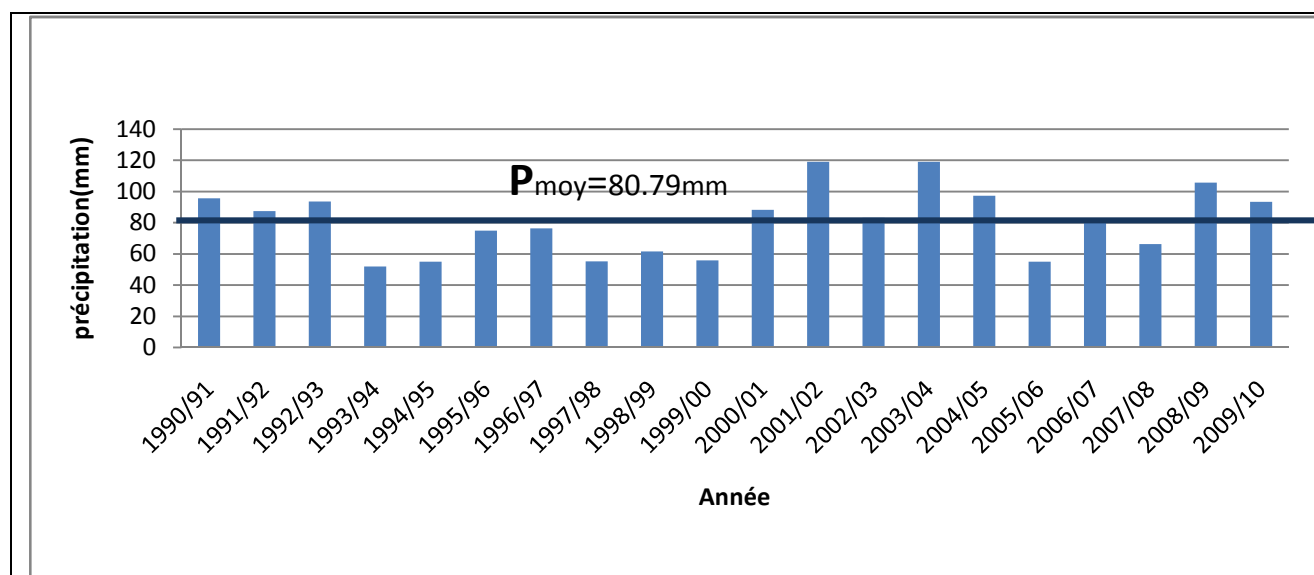


Figure I-05: Variation des précipitations interannuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

D'après l'histogramme, on remarque qu'une variabilité de la pluie annuelle est enregistrée au cours de la période (1990-2010). On remarque une valeur maximale annuelle de 119 mm pour l'année (2001-2002) et (2003-2004) qui représente les années la plus pluvieuse, et une valeur minimale annuelle de 51.95 mm enregistrée pour l'année (1993-1994), on remarque que 30% des valeurs sont supérieures à la moyenne et 70% des valeurs sont inférieures à cette dernière.

I.2.1.4- Température :

Dans notre région d'étude caractérisée par un climat Saharien, la température joue un rôle très important par son influence sur les autres paramètres météorologiques tel que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère.

Tableau I-04: Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moy
T min (°C)	22.12	16.47	9.50	5.46	4.58	5.90	9.90	13.69	18.70	23.50	26.66	26.06	15.21
T moy (°C)	28.92	23.08	15.74	11.32	10.43	12.73	16.75	20.71	25.90	31.24	33.68	33.59	22.01
T max (°C)	35.90	30.49	22.91	18.39	17.14	20.31	23.90	28.08	33.52	38.75	41.20	41.02	29.30

Source : (ONM) Touggourt

A partir du climat dans notre région d'étude, les températures se caractérisent par des valeurs maximales en été qui atteignent 41,20°C et des valeurs minimales enregistrées de l'ordre de 4,58°C quant à la moyenne annuelle correspondante à cette période, elle est de 22,01°C. La figure suivante représente les variations des températures moyennes mensuelles et montre que les mois les plus chaud sont : Juillet et Aout avec des températures qui dépassent 30 °C et les mois les plus froids sont : Décembre, Janvier et Février avec des températures inférieures à 6°C.

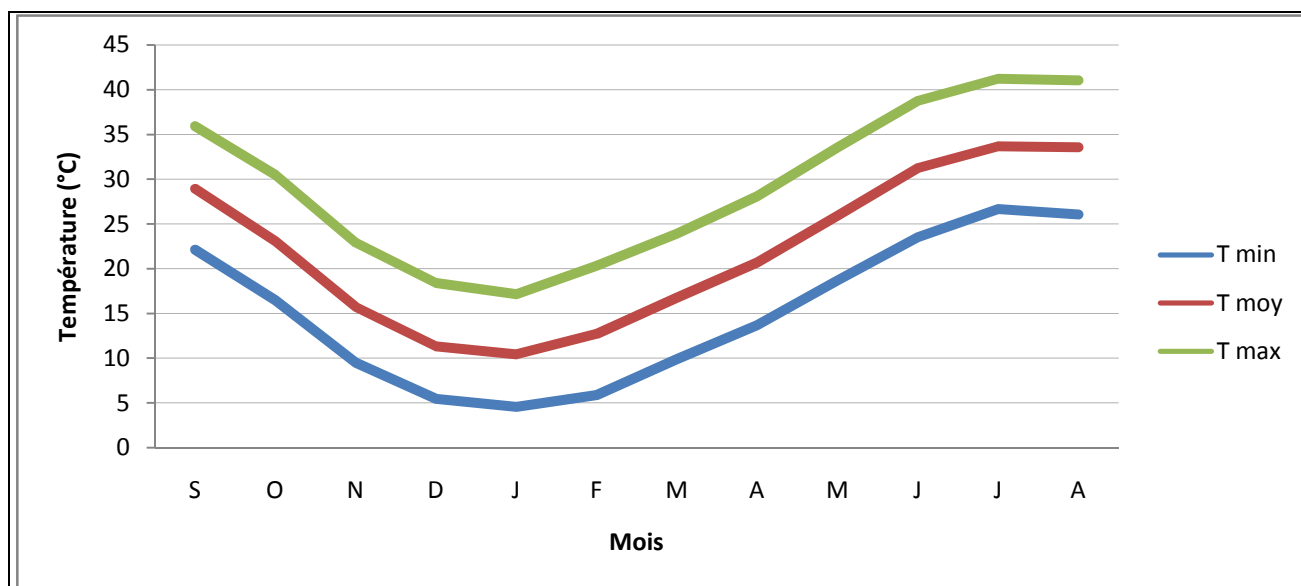


Figure I-06: Variations des températures moyennes mensuelles minimales et maximales à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

I.2.1.5- L'humidité :

L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Ceci s'explique par l'effet de la température qui est élevée en été et basse en hiver, et le maximum correspond au mois le plus froid.

Le tableau suivant donne les valeurs de l'humidité moyennes mensuelles observées en 20 ans

Tableau I-05 : L'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
H (%)	44,38	50,57	59,86	66,48	66,67	52,71	48,76	42,57	38,71	33,67	31,14	33,67

Source : (ONM) Touggourt

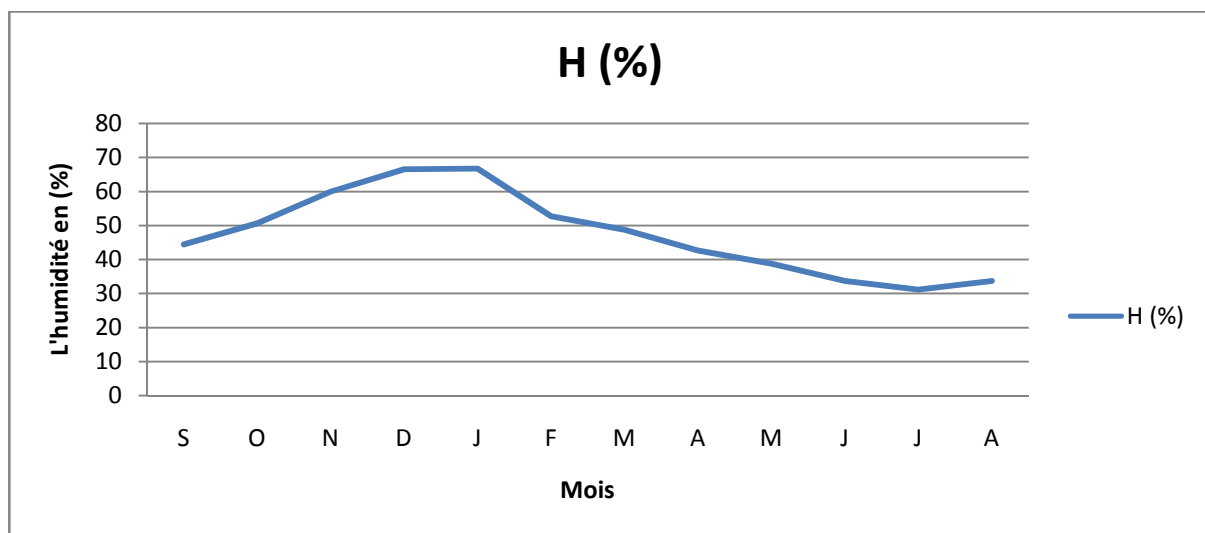


Figure I-07: Variation de l'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

On remarque que l'humidité augmente à partir du mois de Novembre jusqu'à Janvier au cours duquel est enregistrée une valeur moyenne maximale de 66.67%. Cependant elle diminue en été pour atteindre une valeur minimale en Juillet de l'ordre de 31.14%.

I.2.1.6- Le vent :

Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Touggourt (1990-2010) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I-06 : Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (en m/s)	2.91	2.54	2.48	2.45	2.41	2.62	3.32	3.84	3.91	3.48	3.26	2.92

Source : (ONM Touggourt)

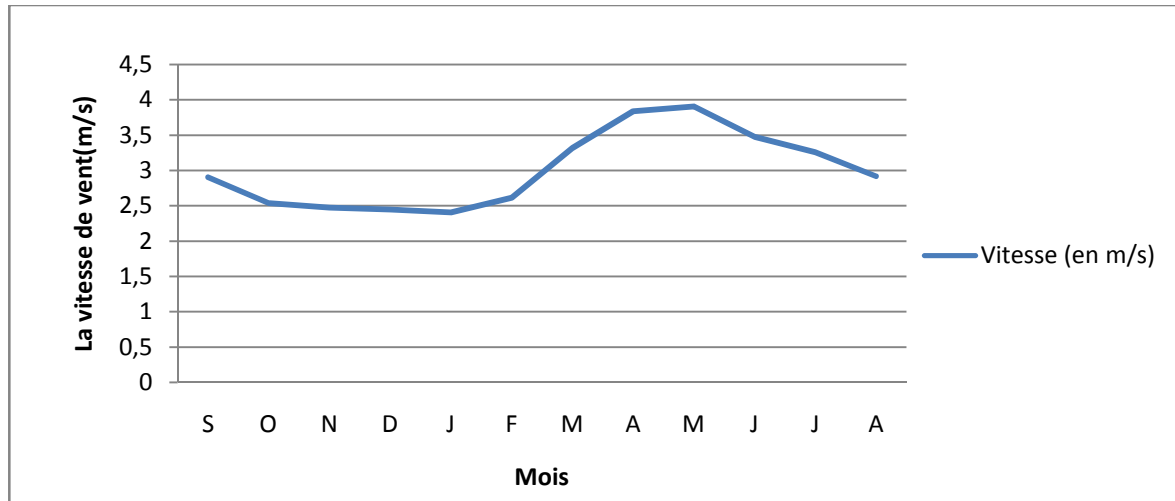


Figure I-08: Variation de Vitesse moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

On remarque d'après le tableau, que la vitesse minimale du vent est enregistrée au mois du Janvier, elle est de 2.41 m/s et la vitesse maximale est enregistrée en Mai et atteint 3.91m/s. Ces vents soufflent dans des directions différentes.

I.2.1.7- L'évaporation :

Les phénomènes d'évaporation interviennent dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations; sous forme liquide ou solide; atteignent la surface du sol. De plus l'humidité du sol, soit qu'elle provient des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité directement de la nappe phréatique ou par l'intermédiaire de la couverture végétale constitue un aliment important pour l'évaporation.

Nous avons indiqué dans le tableau ci-dessous la moyenne mensuelle de l'évaporation mesurée à Touggourt pour la période (1990 – 2010).

Tableau I-07 : Evaporation moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990 – 2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evaporation (mm)	254.68	194.8	127.61	98.2	84.72	119.2	188.95	232.45	301.26	363.91	385.74	332.93

Source : (ONM) Touggourt

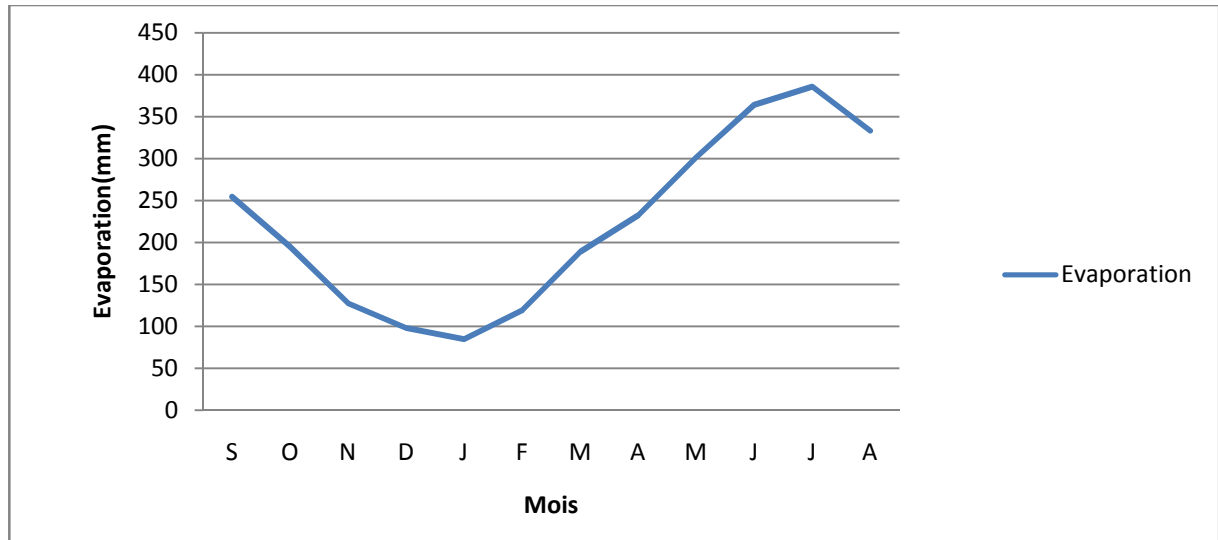


Figure I-09: Variation de l'évaporation moyenne mensuelle à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

Les données du tableau indiquent que la variation mensuelle de l'évaporation augmente en été et diminue en hiver, elle correspond à celle des températures. L'évaporation maximale est observée en Juillet, elle est de l'ordre de 385.74 mm et le minimum est enregistré en Janvier avec une valeur de 84.72 mm ce qui est logique vu que la température est le facteur principal qui influe sur l'évaporation.

I.2.1.8- La durée d'insolation :

L'insolation est la durée d'apparition du soleil, elle est exprimée en heure. Elle varie en fonction de l'altitude qui détermine la longueur des jours et le degré d'obliquité des rayons solaires. Le tableau suivant donne les valeurs d'insolation moyennes observées en 20 ans d'observation.

Tableau I-08 : La durée d'insolation mensuelle interannuelle à la station de Touggourt (1990-2010)

<i>Mois</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>
L'insol (h)	272,9	260,9	247,7	239,9	228,4	237,7	268,8	285,9	312,7	329,6	358	336,9

Source : (ONM) Touggourt

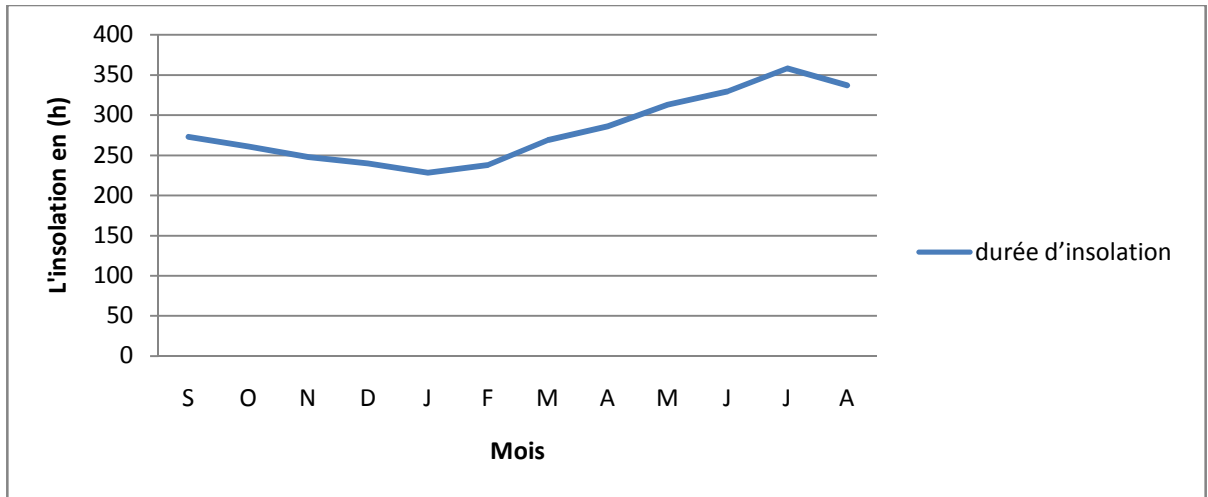


Figure I-10: Variation de durée d'insolation mensuelle interannuelle à la station de Touggourt durant la période (1990-2010)

D'après le tableau de répartition des insolation mensuelles (1990-2010), on remarque que les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre correspondent aux mois les plus chauds, et les mois de novembre, janvier, décembre et février sont les plus froids, donc le maximum atteint la durée de 358 heures d'insolation au mois de juillet et le minimum au mois de janvier avec une durée de 228.4 heures.

I.2.2- Régime climatique :

I.2.2.1- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité.

En résumé:

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

Tableau I-09 : Données de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	8.64	7.35	6.48	6.78	23.87	3.50	7.25	6.96	4.73	0.93	0.73	4.01
2T (°C)	57.84	46.16	31.48	22.64	20.86	25.46	33.5	41.42	51.8	62.48	67.36	67.18

Source : (ONM) Touggourt

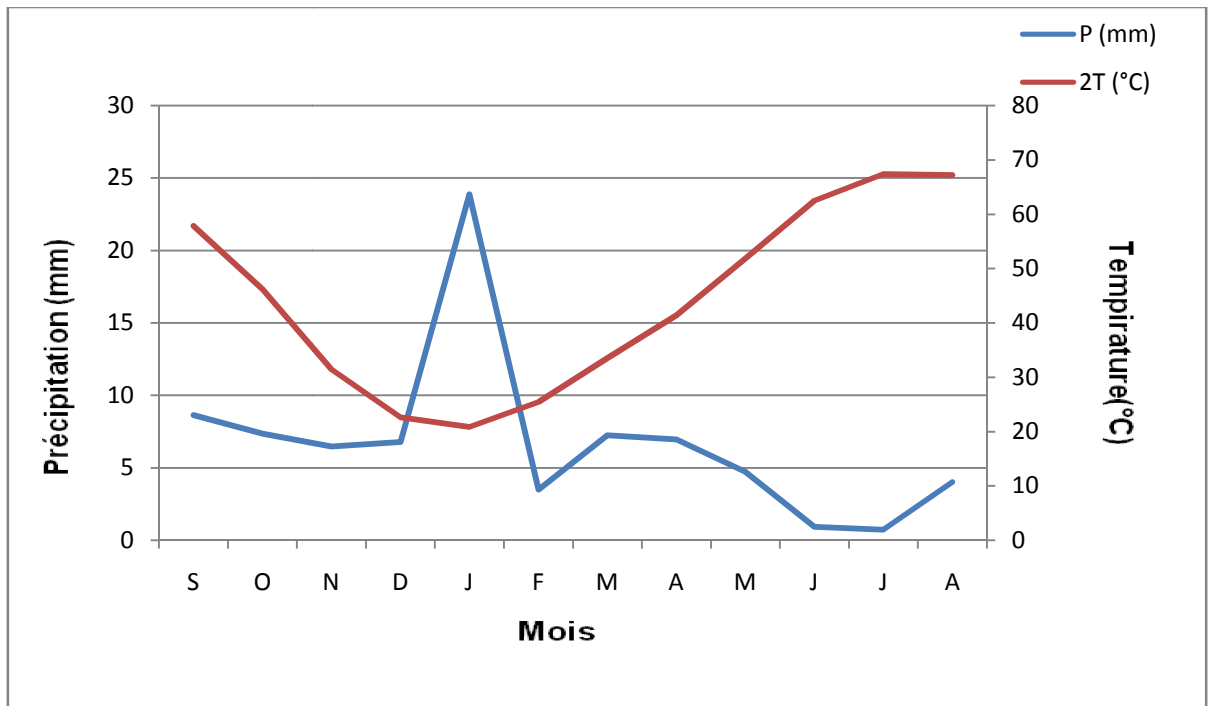


Figure I-11 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Dans le cas de notre région d'étude la courbe des pluies passe au-dessous de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse du mois de Juin à Septembre même en Janvier, le mois où les précipitations atteignent leur maximum.

I.3- Classification de climat :

I.3.1- Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTON

Pour enrichir plus l'idée sur le climat d'une région, le géographe de MARTONE a proposé en 1923 un indice d'aridité vite devenue célèbre fondé sur le régime des précipitations et des températures selon la formule suivante:

Il est défini par la relation suivante:

$$IA = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

Avec:

IA : indice climatique.

P: précipitation moyenne annuelle (mm/an) ;

T: température moyenne annuelle (°C).

Tableau I-10 : Classification de climat selon MARTON

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

Pour la station de Touggourt:

$P=81.21\text{mm}$ et $T=22.01^{\circ}\text{C}$, donc $\mathbf{IA} = 2.53$

On obtient un indice d'aridité : $\mathbf{IA} < 5$

Selon la classification de MARTONE, il s'agit d'un régime Désertique, où l'irrigation est Indispensable.

I.3.2- Climagramme d'Emberger

Emberger (1955) a établi un quotient pluviothermique à l'issue duquel il classe les différents types de climat.

Nous avons utilisés la formule de Stewart (1968) adaptée pour l'Algérie et le Maroc.

$$\mathbf{Q_3 = 3.43 P/M-m.} \quad (2)$$

Où :

$\mathbf{Q_3}$: quotient pluviothermique d'Emberger (1955) modifié par Stewart (1968) pour l'Algérie et le Maroc ;

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm ;

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en $^{\circ}\text{C}$;

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en $^{\circ}\text{C}$;

Pour :

$$P= 81,21\text{mm}$$

$$M= 41,20 + 273 = 314,2 \text{ K}^{\circ}$$

$$m = 4,58 + 273 = 277,58 \text{ K}^{\circ}$$

On aura:

$$\mathbf{Q_3 = \frac{3,43 \cdot 81,21}{314,2 - 277,58} = 7,61}$$

Chapitre I : Délimitation de la région d'étude

Grâce à cette formule il est possible de calculer le quotient pluviothermique de la région d'étude. Les calculs donnent Q_3 égale à 7,61 avec $m = 4.58C^\circ$. Ce qui permet de classer la région dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (figure N°12)

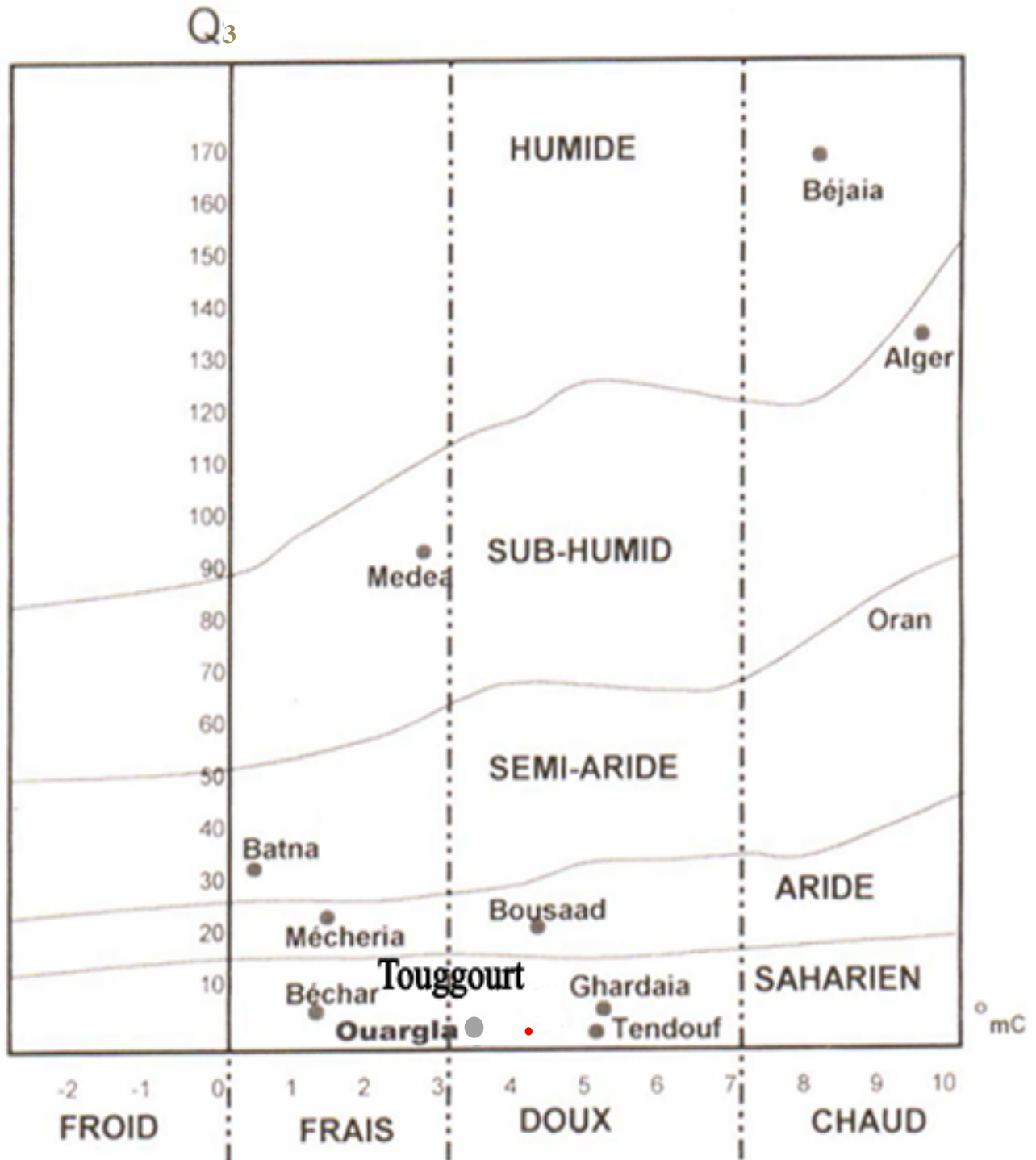


Figure I-12 : Situation de Touggourt selon le Climmagramme d'Emberger

I.4- Géomorphologie :

La région de Touggourt occupe un large fossé en forme d'arc orienté Nord-Sud, le plus prenant son origine au Sud de la palmeraie d'El Goug débouchant sur le chott Merouane.

La pente générale est de l'ordre de 1%. La dénivellation entre le haut et le bas du paysage est de quelques mètres seulement, les pentes sont faibles et le relief est peu marqué reposant sur les formations mio-pliocènes et éocènes qui s'infiltrent progressivement vers le nord. (INRA, 2012)

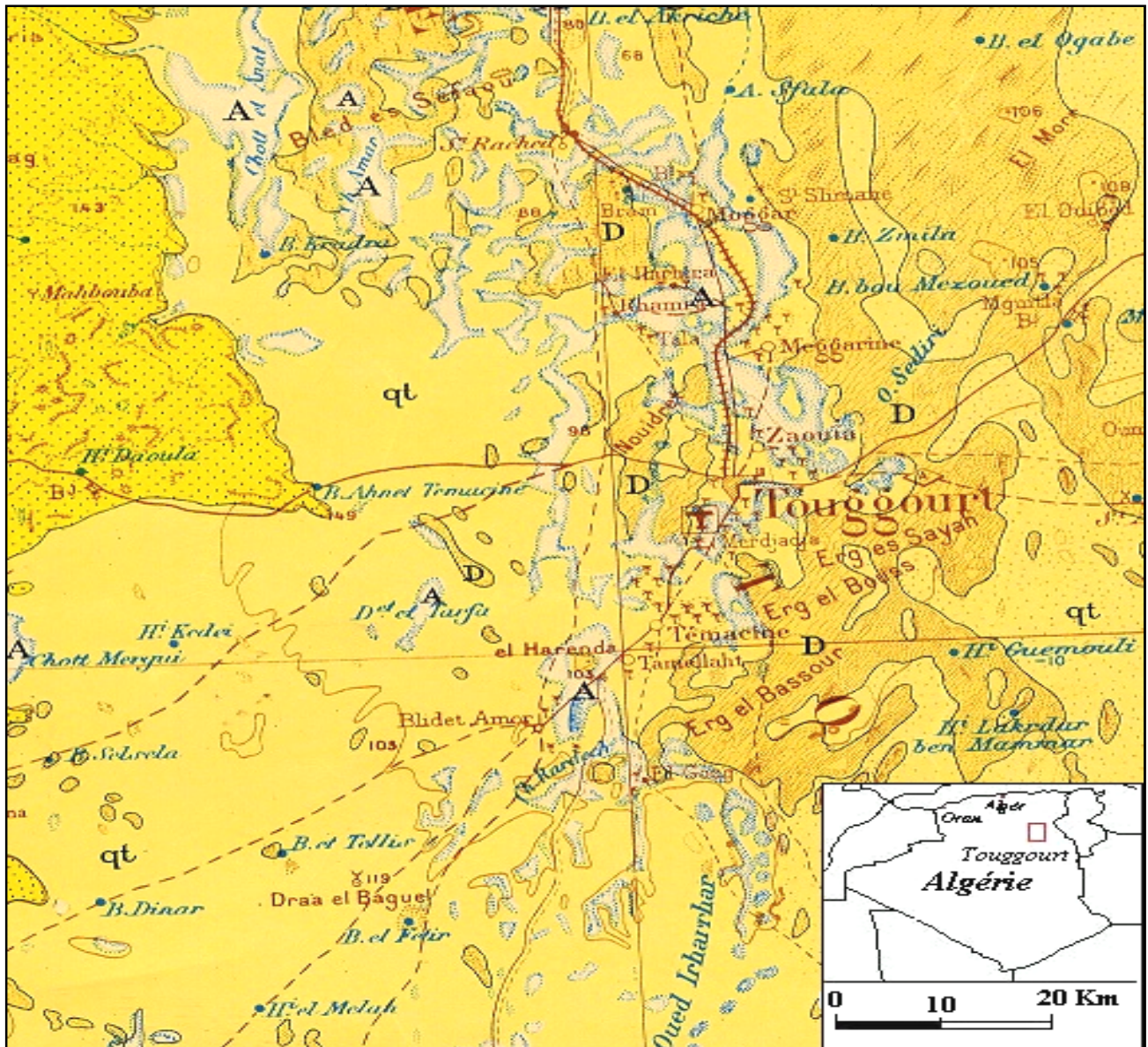


Figure I-13: Le canal de l'Oued Righ dans la région de Touggourt

I.5- Géologie :

La région de Touggourt se présente comme une cuvette synclinale du grand bassin sédimentaire du bas Sahara. Ce dernier se situe entre la bordure septentrionale du Hoggar et la bordure méridionale de l'Atlas Saharien. Avec plus de 600km de diamètre, il couvre 720.000 km² de superficie et s'étend des pieds de l'Aurès au Nord jusqu'au tassili au Sud. Tous les terrains, depuis le cambrien jusqu'au tertiaire, sont dissimulés en grande partie par le grand Erg Oriental, soit 125.000km². Cependant quelques affluents sont observés sur les bordures. (INRA, 2012)

Chapitre I : Délimitation de la région d'étude



Légende :

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 30px;">A</td> <td>Alluvions actuelles, lacs, marécages, Dayas, chotts, sebkhas, limons et croûtes gypso-Salines.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">D</td> <td>Dunes récentes.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">qt</td> <td>Quaternaire continental : alluvions, regs, terrasses.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">qm</td> <td>Quaternaire marin : plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">qc</td> <td>Calabrien : grès marins formations dunaires associées.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">qv</td> <td>Villafranchien : calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">pv</td> <td>Pliocène continental et Villafranchien non séparés.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">pc</td> <td>Pliocène continental poudingues, calcaires lacustres.</td> </tr> </table>	A	Alluvions actuelles, lacs, marécages, Dayas, chotts, sebkhas, limons et croûtes gypso-Salines.	D	Dunes récentes.	qt	Quaternaire continental : alluvions, regs, terrasses.	qm	Quaternaire marin : plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent.	qc	Calabrien : grès marins formations dunaires associées.	qv	Villafranchien : calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges.	pv	Pliocène continental et Villafranchien non séparés.	pc	Pliocène continental poudingues, calcaires lacustres.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 30px;">p</td> <td>Pliocène marin Conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">mp</td> <td>Pontien (localement équivalent du mc)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ms</td> <td>Miocène terminal marin et lagunaire : couche à tripoli, marnes à gypse.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">mm</td> <td>Miocène supérieure marin : calcaire, grès ; argiles</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">mc</td> <td>Miocène continental anté Pontien</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">mi</td> <td>Miocène inférieur marin (burdigalien)</td> </tr> </table>	p	Pliocène marin Conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées	mp	Pontien (localement équivalent du mc)	ms	Miocène terminal marin et lagunaire : couche à tripoli, marnes à gypse.	mm	Miocène supérieure marin : calcaire, grès ; argiles	mc	Miocène continental anté Pontien	mi	Miocène inférieur marin (burdigalien)
A	Alluvions actuelles, lacs, marécages, Dayas, chotts, sebkhas, limons et croûtes gypso-Salines.																												
D	Dunes récentes.																												
qt	Quaternaire continental : alluvions, regs, terrasses.																												
qm	Quaternaire marin : plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent.																												
qc	Calabrien : grès marins formations dunaires associées.																												
qv	Villafranchien : calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges.																												
pv	Pliocène continental et Villafranchien non séparés.																												
pc	Pliocène continental poudingues, calcaires lacustres.																												
p	Pliocène marin Conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées																												
mp	Pontien (localement équivalent du mc)																												
ms	Miocène terminal marin et lagunaire : couche à tripoli, marnes à gypse.																												
mm	Miocène supérieure marin : calcaire, grès ; argiles																												
mc	Miocène continental anté Pontien																												
mi	Miocène inférieur marin (burdigalien)																												

Figure I-14 : Carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique 1/500 000 de l'Algérie, (feuille de Constantine sud).

I.6- Pédologie :

Au Sahara, la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sol minéraux, sols peu évolués sols halomorphes et sols hydromorphes. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable.

La fraction organique est très faible (inférieur à 1%) et ne permet pas une bonne agrégation.

Ses sols squelettiques sont très peu fertiles car leur rétention en eau est très faible, elle représente environ 8% en volume d'eau disponible. (INRA, 2012)

I.7- Hydrogéologie :

Les ressources en eau souterraines du Sahara septentrional sont contenues dans deux grands aquifères qui s'étendent au delà des frontières Algériennes. Ceux du continental intercalaire (CI) et des complexes terminaux (CT).

Les formations sont constituées par une série de dépôts alternativement marins et continentaux dans un vaste bassin sédimentaire.

Dans la région d'Oued Righ il existe plusieurs niveaux aquifères dont : la nappe phréatique au Nord et le complexe terminale d'âge du sénomo-éocène carbonaté est d'âge de mio-pliocène sablo-argileux, et continental intercalaire d'âge du crétacé inférieur. . (INRA, 2012)

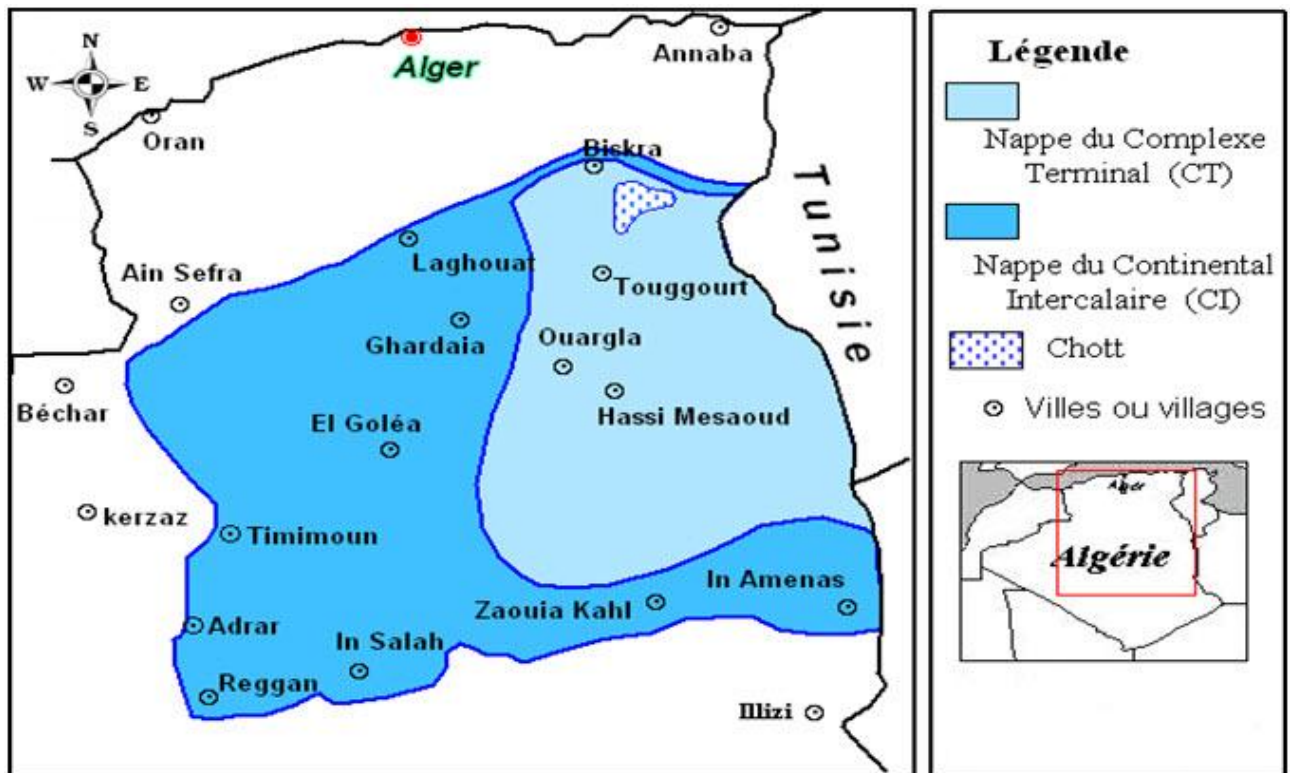


Figure I-15 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002

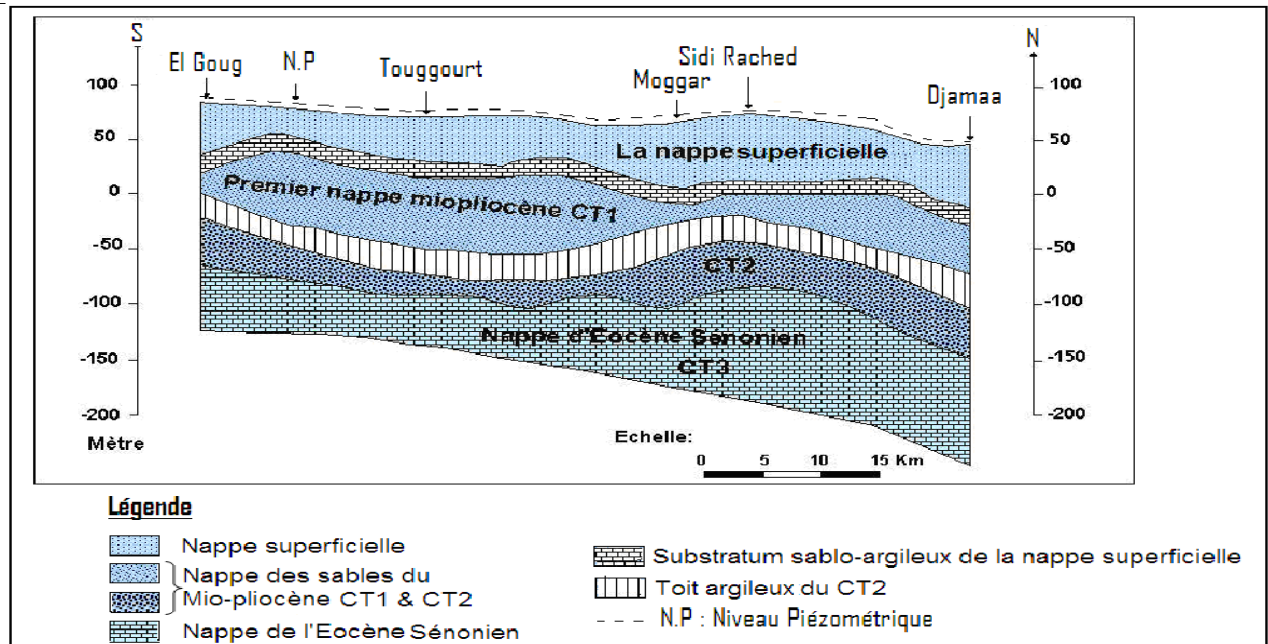


Figure I-16 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal la région de Touggourt OSS (2003b).

I.8- Topographie :

Le chef lieu de l'agglomération de Touggourt présente une dépression par rapport à toute la région. Elle est caractérisée par une altitude moyenne de 60 à 80 m, et une déclivité de 0 à 2 %.

Conclusion :

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride de type saharien, présenté par une irrégularité annuelle et interannuelle par deux périodes différentes :

L'une est sèche et chaude se prolonge entre les mois de Mars et Novembre et l'autre est humide et froide s'étend entre Novembre et Février.

La plus forte température de l'ordre de 41.20°C est enregistrée au mois de Juillet au cours duquel l'évaporation est maximale et est de 385.74 mm tandis que la plus faible température est de 4.58°C correspond au mois de Janvier durant lequel l'évaporation est minimale atteignant une valeur de 84.72 mm

Quant aux précipitations, la quantité maximale a été observée en Janvier avec une valeur de 23.87mm et le taux minimal de 0.73mm a été observé au mois de Juillet.

Le mois le plus humide est Janvier caractérisé par une forte humidité de 66.67 % et le mois le plus sec est Juin caractérisé par une faible humidité de l'ordre de 31.14 %. La brillance de soleil est très élevée en Juillet et dure 358.09 heures ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

CHAPITRE II

Génialités sur les eaux usées

Introduction :

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et selon leur composition, représentant un danger réel pour les milieux récepteurs ou à leurs utilisateurs. Toute fois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, quantitativement et qualitativement.

II.1- Caractéristiques des eaux usées :

II.1.1- Origine des eaux usées : (W.W.Eckenfelder ,1982)

Les eaux usées proviennent principalement de trois sources :

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

II.1.1.1-Les eaux usées domestiques :

Ces eaux sont constituées par :

- 1- Eaux ménagères.
- 2- Eaux de vannes (les eaux de W-C).
- 3- Eaux de lavage.

En général, ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et de produit d'entretiens ménagers.

II.1.1.2-Les eaux usées industrielles :

Ces eaux proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. La qualité des ces eaux varie suivant le type d'industrie, elles contiennent des matières organiques, minérales, des produits fermentescibles et peuvent être chargées en matières toxiques difficilement biodégradables qui nécessitent un traitement spécifique. c.à.d. il est nécessaire de faire un prétraitement au niveau des usines avant d'évacuer ces eaux dans le réseau.

II.1.1.3- Les eaux de ruissellement :

Il s'agit de l'eau de pluie, des toits, des cours, des rues de drainage etc... , Elles véhiculent les huiles et les graisses déversées par certains services publics (stations de lavage, services mécaniques) ainsi que les sables, les argiles et les micros polluants.

II.1.2- Origine de la pollution dans les eaux usées : (Gaid. Abdelkader, T.1, 1987)

La pollution des eaux usées se manifeste sous forme minérale, organique et microbiologiques.

II.1.2.1-La pollution organique :

La pollution organique des eaux urbaines se compose principalement de protides, de glucides et de lipides ainsi que des détergents utilisés par les ménages et cuisines.

II.1.2.2- La pollution microbiologique :

L'eau usée est un milieu favorable pour le développement des germes pathogènes, la pollution microbiologique provoque chez l'homme des maladies hydriques tel que, la fièvre typhoïde, le choléra, la tuberculose.

II.1.2.3-La pollution minérale :

Elle est constituée essentiellement des métaux lourds en provenance des industries métallurgiques de traitement de minerais ou on peut citer le plomb, le cuivre, le fer, le zinc, le mercure....

II.1.3- Les principaux paramètres de la pollution : (Gaid, Abdelkader, T.1, 1987) ;(Degrémont ,2005)

Les paramètres spécifiques qui permettent d'évaluer le degré de pollution des eaux usées se présente sous deux formes :

II.1.3.1- Paramètres physiques :

a)- La température :

Elle a une influence déterminante sur l'activité des micro-organismes et sur la réserve d'oxygène pour le processus d'auto-épuration. Pour garantir le bon fonctionnement de certains ouvrages de la chaîne de traitement (dégraisseurs) cette température ne doit pas dépasser 30°C.

b)-La turbidité:

Elle indique la présence plus ou moins importante des M.E.S d'origine organique ou minérale.

c)-La conductivité:

C'est un paramètre qui varie en fonction de la concentration des sels en solution. Plus leur concentration ionique est grande ; plus la conductivité est grande. La mesure de la conductivité donne une idée sur la salinité de l'eau.

d)-Couleur et odeur :

La couleur d'une eau usée urbaine est grisâtre, mais certains rejets industriels (teinture, papeteries....) contiennent des colorants particulièrement stables. Il existe plusieurs gaz qui

donnent des odeurs, résultant d'une fermentation ou décomposition, parmi lesquels on peut citer NH_3 , H_2S

e)-Les matières en suspension (M.E.S) :

Se sont des matières insolubles, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non. La présence de matières en suspension dans l'eau réduit la luminosité et abaisse la productivité du milieu récepteur

Deux techniques sont utilisées pour le dosage des matières en suspension :

- Séparation par filtration (filtres en papier, membranes filtrantes).
- Centrifugation.

f)-Les matières volatiles en suspension (M.V.S) :

Elles représentent la partie organique des matières en suspension, elles sont mesurées par calcination à 600°C en deux heures, présentent en moyenne 70% à 80% des M.E.S.

g)-Les matières minérales (M.M) :

Elles représentent la fraction minérale des matières en suspension, c'est la différence entre les M.E.S et les M.V.S.

h)-Les matières décantables et non décantables :

Elles correspondent aux M.E.S qui se déposent au repos pendant une durée fixée conventionnellement en 2 heures. Les matières non décantables sont celles qui restent dans le surnageant et qui vont être dirigées vers le procédé de traitement biologique ou chimique.

i)- Le pH :

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif incrustant des eaux, il représente leur acidité ou leur alcalinité. Dans les procédés biologiques la valeur de pH est modifier par divers phénomènes tels que :

- ◆ La dégradation d'acide organique qui fait varier le pH de la zone acide à la zone neutre.
- ◆ La neutralisation du dioxyde de carbone produit par voie biogène fait varier le pH de la zone alcaline à la zone neutre.

Enfin, on constate bien que le pH est un facteur important dans le choix d'un procédé de traitement des eaux résiduaires pour les procédés aérobies de pH qui varie de 6.5 à 8. Pour la fermentation méthanique le pH varie entre 7,2 à 7,8.

II.1.3.2- Les paramètres chimiques :

II.1.3.2.1- La demande biochimique en oxygène (D.B.O5) :

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène exprimée en mg/l et consommée dans les conditions de l'essai d'incubation à 20°C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Pour être complète, l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Pour être complète l'oxydation biologique demande un temps de 21 à 28 jours. On obtient alors la DBO ultime.

Par convention, la DBO ultime, trop longue à aboutir, est remplacée par la DBO5, c'est-à-dire par la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation. La DBO5 ne représente normalement que la pollution carbonée biodégradable.

II.1.3.2.2- La demande chimique en oxygène (DCO) :

C'est la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction chimique de l'ensemble des matières organique, et minérale contenues dans l'eau usée. La détermination se fait par l'ajout à un volume d'échantillon d'une quantité connue d'oxygène sous forme d'un agent chimique efficace comme le bicarbonate de potassium, en milieu acide et chaud ce qui conduit à l'oxydation chimique.

• Relation entre DCO et DBO₅ :

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposées par les micro-organismes (bactéries, champignon).

Coefficient de biodégradabilité

$$K = \text{DCO} / \text{DBO}_5 \text{ (théorique).}$$

- $K = 1$: les eaux usées sont totalement biodégradable.
- $1 < K < 2.5$: le traitement biologique très possible.
- $2.5 < K < 3.2$: traitement biologique associé à un traitement physico-chimique.
- $K > 3.2$: traitement biologique impossible.

II.1.3.3- Les paramètres complémentaires :

a)-Le phosphore :

La forme minérale prépondérante du phosphore dans l'eau est l'orthophosphate. Il provient de la dégradation de la matière organique ou des polyphosphates (utilisés dans le traitement des eaux ou

comme adjuvants actifs dans les détergents). Sa présence dans l'eau peut également être liée à l'utilisation d'engrais,

b)- L'azote :

L'azote se présente sous diverses formes dans les eaux usées.

- Forme oxydée : azote nitreux, NO_2^- .
- Forme moléculaire : azote dissous, N_2 .
- Forme réduite : azote organique, NH_4^+ .

L'azote est l'un des éléments qui favorise la prolifération d'algues, par conséquent la réduction de sa teneur avant le rejet des eaux est plus que nécessaire.

Leur présence, est nuisible pour l'activité des micro-organismes donc perturbe le processus d'épuration biologique. Leur élimination se fait au cours de la phase de décantation de traitement.

c)- L'équilibre nutritionnel :

Le traitement biologique exige un certain équilibre nutritionnel qui permet la prolifération des micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique. Tout déséquilibre entraîne un faible rendement.

L'azote et le phosphore sont utiles pour le bon fonctionnement de l'épuration biologique.

$$\text{DBO}_5/\text{N}/\text{P} = (100\text{à}150)/5/1$$

$$\text{DBO}_5/\text{N} = 20$$

$$\text{DBO}_5/\text{P} = 100$$

$$\text{DCO}/\text{DBO}_5 = 2, 5$$

II.1.3.4- Paramètres biologiques:

Les micro-organismes présents dans les eaux usées sont à l'origine du traitement biologique, ils sont constitués :

- Des germes pathogènes (mycobactéries, colibacilles etc...).
- Des parasites (des œufs de vers etc...).
- Des champignons.

II.2- Etapes et procédés de traitement des eaux usées:

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

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

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

Le processus d'épuration comprend les étapes suivantes: (Monchy,H ,1974)

II.2.1- Le relevage:

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

II.2.2- Les prétraitements:

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

a- Dégrillage:

A l'arrivée à la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage (parfois un tamisage), permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer l'exécution, et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation. Il existe deux types de grilles, grilles manuelles et grille mécaniques

b- Dessablage – déshuilage:

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

-Le dessaleur dans la partie inférieure du tronc conique;

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

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

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

II.2.3- Le traitement primaire:

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

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

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

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

II.2.4- Les traitements secondaires:

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

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

Les procédés membranaires combinent à eux des procédés biologiques et physiques. Certaines installations ont toutefois recours à des filières de traitements physico- chimiques.

II. 2.4.1- Le procédé biologique: (Gaid. Abdelkader, T. 1, 1987)

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

En d'autres termes, les procédés d'épuration biologiques sont utilisés lorsque les éléments à éliminer sont sous forme soluble ou lorsque leur taille ne leur permet pas d'être piégés par les

prétraitements et traitements physiques sauf au prix d'un conditionnement physico-chimique complémentaire. Ils permettent de faire passer les éléments présents sous formes soluble ou colloïdales en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut de nouveau séparer de la phase liquide. Parmi les divers organismes responsables des phénomènes biologiques, les bactéries sont les plus importantes et les plus nombreuses. La dégradation biologique s'accomplit en deux phases simultanées:

- ◆ Une phase d'adsorption, très rapide, au cours de laquelle les substances organiques s'absorbent sur la membrane extérieure des cellules.
- ◆ Une phase d'oxydation, plus lente, au cours de laquelle a lieu l'oxydation des matières organiques en produits de décomposition tels que CO₂ et H₂O.

Les principaux procédés d'épuration biologiques sont:

- **Les procédés intensifs ou artificiels:**

Dont le but est de décomposer de façon biochimique par oxydation les matières non séparables par décantation qui n'ont pas pu être éliminées par des procédés mécaniques des eaux usées. En même temps une nouvelle substance cellulaire se forme. La substance cellulaire a un poids spécifique qui est plus grand que celui de l'eau d'égout et de ce fait une décantation est possible. Parmi ces procédés, on distingue:

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

- **Les procédés extensifs ou naturels:**

Où l'on distingue:

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

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

- Soit dans un seul et même ouvrage (cas du lagunage naturel)
- Soit dans deux ouvrages:

- ◆ Le réacteur biologique (bassin d'aération, disque ou lit, lagune aérée) dans lequel

l'eau usée est mise en contact avec la biomasse aérée artificiellement ou naturellement;

- ◆ Le clarificateur dont le rôle est de séparer l'eau épurée et la boue biologique.

Dans le cas d'un lagunage aéré, le dernier bassin (non aéré) fait office de clarificateur.

II.2.4.2- Le procédé physico-chimique:

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

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

Ce traitement génère des quantités importantes de boues dites physico-chimique. Le principe de ce procédé est basé sur une réaction de coagulation/floculation. La coagulation consiste à déstabiliser les suspensions colloïdales:

- ◆ En neutralisant les charges superficielles des colloïdes (généralement négatives) par apport de charges de signe contraire (apport réalisé par l'injection d'un produit chimique).
- ◆ En générant un précipité qui permet d'éliminer le réactif introduit et les particules colloïdales.

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

Son introduction dans l'eau doit s'accompagner d'une agitation rapide afin d'assurer sa parfaite dispersion. La floculation, quant à elle, a pour but d'accroître par agglomération, le volume, le poids et la cohésion du floc formé. Ce grossissement est obtenu par la création d'une turbulence modérée afin d'augmenter les chances de rencontre du floc déjà formé. (J.P.Becharc et.al ,1987)

II.2.4.3- Procédé d'épuration par oxydation alternée:

L'oxydation alternée épure les eaux usées mais par un fonctionnement différent. Par définition, l'oxydation alternée a pour but d'oxyder l'effluent avec l'oxygène (O₂) pour détruire sa structure chimique en alternance. Le système d'épuration biologique des eaux usées à oxydation alternée, se compose de certain nombre de train selon le dimensionnement, et chaque train est constitué de six (06) bassins compartimentés, car ce dernier est constitué des bassins suivants:

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

6- Digestion aérobie des boues.

II.2.5- Les traitements complémentaires:

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

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

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

Cet aspect doit être connu et étudié avant toute application. Pour remédier à ces inconvénients, une nouvelle technique est en train de voir le jour: l'élimination biologique du phosphore. L'azote contenu dans les eaux urbaines s'élimine par voie biologique simultanément à la pollution carbonée à condition que les paramètres de dimensionnement des ouvrages soient définis en conséquence. D'autres traitements tels que la désinfection, l'affinage par filtration sur sable ou par lagunage peuvent également être mis en œuvre. (J.P.Becharc et.al ,1987)

- **Désinfection:**

Une décontamination microbiologique des eaux usées traitées est parfois mise en œuvre. L'effet recherché est un abattement significatif des germes indicateurs. La désinfection est recommandée quand on veut réutiliser les eaux résiduaires pour l'arrosage au moyen de dispositif qui créent des aérosols.

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

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

Les doses de chlore à appliquer sont:

- après traitement physico-chimique : 3-10 mg/l.
- après épuration biologique : 2 à 10 mg/l.

- après épuration biologique + filtration sur sable : 2 à 5 mg/l.

On peut également utiliser en désinfection le rayonnement UV mais ce procédé revient cher. L'ozone, l'agent désinfectant très actif, est également utilisé en désinfection des eaux usées. Il nécessite un investissement important et le coût d'exploitation est élevé.

- **Lagunage de finition:**

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

- **Filtration:**

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

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

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

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

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

Conclusion:

Vu la composition des eaux usées brutes, leur rejets direct dans le milieu naturel accroît les risques de pollution ainsi que la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation par exemple. Un traitement adéquat est impératif, selon le niveau de qualité exigé. Cela passe en première étape par la caractérisation de la pollution des eaux usées afin d'assurer les performances du procédé d'épuration choisi.

CHAPITRE III

*Réutilisation des eaux usées en
irrigation*

Introduction :

Pour une utilisation sans risque des eaux épurées , en assurant une durabilité à moyen et à long terme, il est indispensable de connaître la classification et les normes admissibles pour les eaux d'irrigation, en suite ,en projetant nos résultats provenant de l'analyse des eaux épurées vis-à-vis les normes de (FAO et OMS), pour sortir en conclusion ,d'une susceptibilité d'utilisation de ces eaux en irrigation ou non !

La réutilisation des eaux usées à des fins agricoles connaît une large expansion de part le monde. Pour bien fixer les idées nous donnerons à titre illustratif le cas de certaines régions.

III. 1 Exemple de réutilisation des eaux épurées dans le bassin méditerranéen :

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue dans la Méditerranée. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée Les réglementations en usage pour la REUE en agriculture dans le bassin Méditerranéen

Plusieurs pays méditerranéens, dont Chypre, l'Espagne, la France, l'Italie, la Jordanie, le Portugal, la Tunisie et la Turquie disposent depuis plus ou moins longtemps selon les cas, d'une réglementation touchant la REUE. D'autres pays qui utilisent actuellement des REUE pour la production agricole ou pour d'autres usages, comme l'Algérie, l'Égypte, la Grèce, le Liban, la Libye, Malte, le Maroc et la Syrie ont entamé ou considèrent actuellement l'opportunité de se doter d'une réglementation ou à tout le moins de lignes directrices pour la REUE. Ce sont dans la plupart des cas des pays aux prises avec un déficit hydrique important et pour lesquels la REUE représente un bon potentiel qui, avec l'accroissement de la population, est de plus en plus disponible.

Les autres pays méditerranéens ne font que peu de chose en matière de REUE, soit par manque d'infrastructures ou de potentiels d'utilisation et soit qu'ils n'ont pas de réglementation en ce sens (Albanie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Monaco et Slovénie).Prendre comme Exemple :

- Tunisie:

L'irrigation avec des EUE est bien établie en Tunisie depuis plus de 40 ans pour la production agricole (agrumes, fourrages, céréales,...) et pour protéger l'intrusion des eaux salines. Il est intéressant de noter que les producteurs payent les EUE qu'ils utilisent pour l'irrigation.

La législation interdit l'irrigation des produits qui sont consommés crus. La majeure partie des EUE est donc utilisée pour l'irrigation des vergers, vignobles, agrumes et autres arbres, pour les fourrages et les cultures industrielles et certains espaces verts comme les golfs.

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

Certains jardins d'hôtel sont aussi irrigués avec des EUE.

La norme de référence tunisienne est basée sur les normes de l'OMS et présentée, à titre de modèle potentiel, la norme tunisienne planifie le contrôle des paramètres physico-chimiques à partir d'une référence similaire à celle de la FAO pour ces paramètres : mensuel : pH, DBO5, DCO, MES, Cl, Na, NH4, CE; semestriel : As, B, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, fluorures, organochlorés, Se, Pb, Zn). Les paramètres microbiologiques des EUE sont contrôlés à différentes fréquences en fonction des paramètres et selon une méthodologie précise (15 jours : oeufs des parasites). La norme prévoit des mesures pour la protection des travailleurs (tenue de travail, vaccination, examen médical) ainsi que des consommateurs.

Elle prévoit aussi des zones tampons dans les espaces irrigués avec les EUE et les pâturages sont interdits sur de tels espaces. (Baumont .S ,2004)

- La réutilisation des eaux usées épurées en France :

En France, la réutilisation des eaux épurées est peu développée, cela est essentiellement dû à l'abondance de leurs ressources en eau, en effet, sur les parties du territoire les moins arrosées, la pluviométrie moyenne annuelle ne descend guère au dessous de 600 millimètres. De plus, ces régions et notamment le midi méditerranéen ont très tôt été desservis par de grands équipements hydrauliques, satisfaisant leurs besoins en eau.

En conséquence, à part quelques situations locales, il n'existe pas de véritable pénurie d'eau en France, si certaines réalisations existent et apparaissent, c'est pour répondre à des nécessités locales. Comme nous l'avons précisé en introduction, les motivations inhérentes à ces projets peuvent être de deux ordres, D'une part, elles peuvent induire un accroissement des ressources en eau et d'autre part, supprimer ou au moins réduire les rejets d'eaux usées dans un milieu récepteur sensible.

-La réutilisation permet donc de minimiser mais aussi de valoriser la pollution produite par les agglomérations.

-La réutilisation peut également contribuer à la réhabilitation des cours d'eau menacés d'eutrophisation. (Baumont .S ,2004)

III.2-Normes actuellement en usage :

- Normes et critères OMS et FAO

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

Tableau III-01 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO * (1985)	OMS ** (1989)
pH		6,5-8,4 *	
Turbidité	NTU	/	
CE	dS/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée >3.0 * Forte restriction	
MES	mg/l	< 70**	
DCO	mg O2 /l	< 40 **	
DBO5	mg O2/ l	<10 **	
NO3 -	mg/l	50 **	
NO2 -	mg/l	< 1 **	
NH4 +	mg/l	< 2 **	
PO4 -3	mg/l	< 0,94 **	
HCO3 -	mg/l	500 *	
Cl ⁻	mg/l	1065 *	
Ca ²⁺	mg/l	400*	
Mg ²⁺	mg/l	60,75 *	
K+	mg/l	50 *	
Na +	mg/l	920 *	
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction	
Coliformes totaux	UFC/100ml	< 1000CF/100ml	
Streptocoque Fécaux	UFC/100ml	1000 **	
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **	

Source: [MRE]

III. 3- Qualité des eaux usées pour l'irrigation :

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

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets réutilisation agricoles des effluents. Ces constituants sont représentés dans le tableau III-02. (TIERCELIN J.R, et.al)

Tableau III-02 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté par Pettygrove et Assano 1988)

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Solides en suspension	Solides en suspension	Les solides en suspension peuvent causer les dépôts de boues et l'apparition des conditions anaérobies lorsque les eaux usées sont déversées dans l'environnement aquatique. Les matières en suspension colmatent les systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène	Composants principaux des protéines, hydrates de carbone et graisses s'ils sont déversés dans l'environnement leur décomposition biologique peut causer la diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et le développement des conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs de contamination fécale. Coliformes fécaux et totaux	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par des pathogènes dans les eaux usées bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, phosphore, potassium	Azote, phosphore, potassium sont des nutriments essentiels pour la croissance des plantes et leur présence augmente la valeur des eaux usées pour l'irrigation lorsqu'ils sont déversés dans l'environnement azote et phosphore peuvent causer la croissance d'une vie aquatique indésirable. Lorsqu'il est appliqué en quantité excessive sur les terres l'azote peut polluer la nappe souterraine.
Composants organiques spécifiques	Composants spécifiques (par ex : phénols, pesticides)	Ces matières organiques tendent à résister aux méthodes de traitement des eaux conventionnelles. Certains composants sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale dans les eaux usées est pH=6,5 à 8,5. mais les déchets industriels peuvent altérer significativement le pH des eaux usées.

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

Tableau III-02 (suite)

Métaux lourds	Eléments spécifiques (par ex : Cd, Zn, Ni, Hg)	Certains métaux lourds s'accumulent dans l'environnement et sont toxiques pour les plantes et les animaux leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Inorganiques dissous	Solide totaux dissous, conductivité électrique, éléments spécifiques (par ex : Na, Ca, Mg, Cl, B)	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. des ions spécifiques tels le Cl, Na, B sont toxiques pour certaines plantes. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité des sols.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Une quantité excessive de chlore libre $>1\text{mg/l Cl}_2$ peut causer des chloroses foliaires en endommager certaines cultures sensibles. Toutefois, la plupart du chlore dans les eaux usées sous forme combinée. Et ne cause trop de dommages aux plantes.

III. 3.1- Qualité microbiologique:

Les recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) relatives à la REU en agriculture, distinguent trois catégories d'eau, A, B et C, sur la base de critères microbiologique (Tableau III-03). Les deux micro-organismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est justifié par des considérations épidémiologiques et pour des raisons de facilité analytique. (Shuval et al. 1986)

Les directives de l'OMS diffèrent de l'approche « risque zéro » établie aux Etats- Unis.

Elles ont été basées sur des données épidémiologiques considérant que la présence d'un agent pathogène dans l'environnement est insuffisante pour déclencher la maladie.

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

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

Pour l'irrigation restrictive on insiste uniquement sur l'élimination des Helminthes. Dans les pays où n'existent pas de normes plus contraignantes, les eaux usées traitées qui respectent les directives de qualité de l'OMS pour une utilisation non restrictive (catégorie A) peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures sans mesure supplémentaire de protection de la santé (OMS, 1989). (TIERCELIN J.R, et.al)

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

Tableau III-03: Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)

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

(a). Espèces *Ascaris*, *Trichuris* et ankylostomes.

(b). Pendant la période d'irrigation.

(c). Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(d). Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

(e). Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

III. 3.2- Qualité chimique :

III.3.2.1- La salinité :

Parmi les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation, la salinité qui constitue l'aspect le plus important, l'irrigation avec des eaux chargés en sel entraîne une accumulation de ses derniers dans la couche active de sol, qui peut provoquer des problèmes dans la croissance des plantes.

III.3.2.2- salinisation :

La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. RICHARDS, en 1969, a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Tableau III-04).

Tableau III-04 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation

(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977)

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

III.3.2.2.1- Classification mondiale (F.A.O) :

La classification donnée en fonction de la concentration des sels

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

III.3.2.2.2- Classification Russe :

Elle distingue trois classes qui sont basées sur la concentration des sels

- 0.2-0.5g/l l'eau est de meilleure qualité

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

- 1.0-2.0g/ l'eau comportant des risques de salinité
- 3.0-7.0g/l l'eau ne peut être utilisée pour l'irrigation qu'avec Un lessivage et un drainage

III.3.2.3- Chlore et sodium:

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

Tableau III-05 : Concentrations en Na⁺ et Cl⁻ de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles (a,b)

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

(a) Données de Maas.

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

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

(d)Le dommage causé aux feuilles est influencé par les conditions environnementales et de culture.

Ces données sont présentées uniquement en tant que guide pour l'irrigation par aspersion.

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

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

Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. C'est particulièrement vrai pour le Cl et le Na. Quelques valeurs de tolérances au chlore et au sodium sont données au Tableau III 6. Les risques sont moindres avec des irrigations nocturnes.

Quand les eaux réutilisées ont été chlorées et que le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par aspersion. Mais le chlore résiduel libre (HOCl, OCl⁻, Cl₂) est très réactif et instable dans l'eau ; il suffit alors de stocker l'eau quelques

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

heures dans un réservoir ouvert pour l'éliminer. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable. La plupart des projets d'irrigation ne devraient pas rencontrer ce problème s'ils utilisent un réservoir de stockage intermédiaire ; mais il est important de redoubler de précautions si ce réservoir est court-circuité et que l'effluent est directement utilisé. (M.R.E., 2007)

-Le Bore:

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

Tableau III-06: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable

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

(Source : Shainberg et Oster, 1978)

-Sodisation:

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

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

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

Le SAR défini comme égal à $Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2}$, (Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} étant exprimés en meq/l) peut être ajusté pour mieux tenir compte du calcium susceptible de demeurer sur le sol après une irrigation. L'U.S. Salinity Laboratory a proposé un diagramme qui, à partir des valeurs du SAR et de la conductivité, classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de salinité. (M.R.E., 2007)

III.3.3-Eléments traces et métaux lourds:

Ceux-ci sont d'abord nuisibles pour l'activité des micro-organismes qui interviennent dans le processus de l'épuration biologique.

Une réglementation est à établir pour les rejets industriels et des dispositifs de surveillance et de contrôle sont à mettre en place (M.R.E., 2007).

Les métaux lourds qui franchissent la station de traitement peuvent :

- S'accumuler dans les sols ;
- Contaminer les nappes ;
- Etre phytotoxiques ;
- Nuire à la santé publique.

Des recherches spécifiques approfondies sont effectuées à court terme, d'après le bulletin de (FAO) 1972 les concentrations maximales des éléments chimiques à l'état de trace recommandées pour les eaux d'irrigation sont rapportées au tableau III-07.

Tableau III-07: Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).

Elément (symbole)	Eaux utilisées en permanence tous type de sol mg/l	utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols à texture fine ayant un pH de 6 à 8,5 mg/l
Aluminium (Al)	5	20
Arsenic (As)	0,1	2
Béryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	1	2
Cadium (Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

Tableau III-07 (suite)

Cobalt (Co)	0,05	5
Cuivre (Cu)	0,2	5
Fluorure (F)	1	15
Fer (Fe)	5	20
Plomb (Pb)	5	10
Lithium (Li)	2,5	2,5
Manganèse (Mn)	0,2	10
Molybdène (Mo)	0,01	0,05
Nickel (Ni)	0,2	2
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1
Zinc (Zn)	2	10

Source: National Academy of Engineering, 1973

a. Les dérivés carbonés

Sont dans la même catégorie de recherche, les composés chimico-organiques et chlorés, produit de détergents, solvants, etc...

b. Minéralisation

Les eaux usées sont plus minéralisées que les eaux potables. La détermination du degré de salinité, par la recherche des ions Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ est aussi primordiale.

c. La teneur en éléments fertilisants

Les éléments minéraux (azote, phosphore et le potassium) contenus dans l'eau épurée se présentent généralement en quantité qui dépasse souvent les besoins des cultures (M.R.E., 2007)

Les excès peuvent entraîner des anomalies telles que la croissance végétative excessive et l'altération de la qualité des produits.

Le contrôle périodique des éléments présents dans les effluents est donc nécessaire pour limiter les quantités des éléments fertilisants apportés comme indique le tableau III.08.

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

Tableau III-08 : Valeurs indicatives pour l'appréciation d'une eau d'irrigations
(AYERS, ASCE 1977, IR2 pp135-154) de l'université de Californie.

Eléments fertilisants	Unité	Degré de restriction à l'usage		
		Aucune	Modérée	Sévère
L'azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5,0 -30	<30
Phosphate (PO ₄ ⁻³)	mg/l	<5	5-15	<15
Potassium (K ⁺)	mg/l	<5	5,0-20	<20

Remarque: Ces teneurs restent liées au type de culture et à la nature du sol.

- **L'azote**

L'azote contenu dans l'eau usée sous trois formes différentes : organique, ammonium et nitrate, les proportions des formes d'azotes varient selon l'origine et le traitement des eaux usées.

- **Le phosphore**

Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes les plantes, la teneur en phosphore dans l'effluent après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l.

- **Le potassium**

C'est un élément de fertilité des plantes et du sol, la quantité de potassium varie entre 10 et 30 mg/l après le traitement secondaire.

- **Autres nutriments**

La plupart des effluents contiennent suffisamment de soufre, zinc et cuivre et d'autres micronutriments pour corriger les différences du sol au bout de trois ans d'irrigation, par ailleurs pour éviter les effets toxiques sur les plantes à condition de ne pas dépasser les valeurs maximales recommandées.

III.4- Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation: (TIERCELIN J.R, et .al)

III.4.1- Avantages environnementaux :

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

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

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

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

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

III.4.2- Effets négatifs potentiels sur l'environnement :

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

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

III.4.2.1- Effets sur le sol :

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

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

III.4.2.2- Effets sur les eaux souterraines :

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

- établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée, avec lessivage minimum.
- sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux.
- en cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale de plantes consommant les sels.
- limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exact en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par NO_3^- -N. Si N excède les besoins des cultures on doit alors :
 - sélectionner des cultures à besoins élevés en N.
 - choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible.

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées en irrigation

- mélanger l'eau usée avec l'eau claire.
- assurer la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

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

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

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

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

Conclusion :

La réutilisation des eaux usées est une pratique ancienne très répandue. Elle connaît une révolution ces dernières années surtout dans les pays à déficit hydrique.

Ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement.

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

CHAPITRE IV

*Présentation de la STEP de
Touggourt*

IV.1. Station d'épuration de Touggourt :

La station d'épuration des eaux usées de Touggourt est située à municipalité de Tebesbest, sur la route d'el oued. Elle s'étend sur une superficie de 4 hectares. La STEP de Touggourt a été réalisée en 1987 par l'entreprise hydro-traitement. Elle a été mise en service en novembre 1991. Suite à plusieurs problèmes de gestion et principalement d'énergie électrique elle était à l'arrêt en 1994. Une réhabilitation de la STEP a eu lieu en février 2004 et sa gestion a été confiée à l'ONA en 2005. La station d'épuration de Touggourt est du type boues activées à faible charge (aération prolongée). Elle reçoit les eaux usées domestiques de la ville de Touggourt refoulées par 26 stations de relevages.

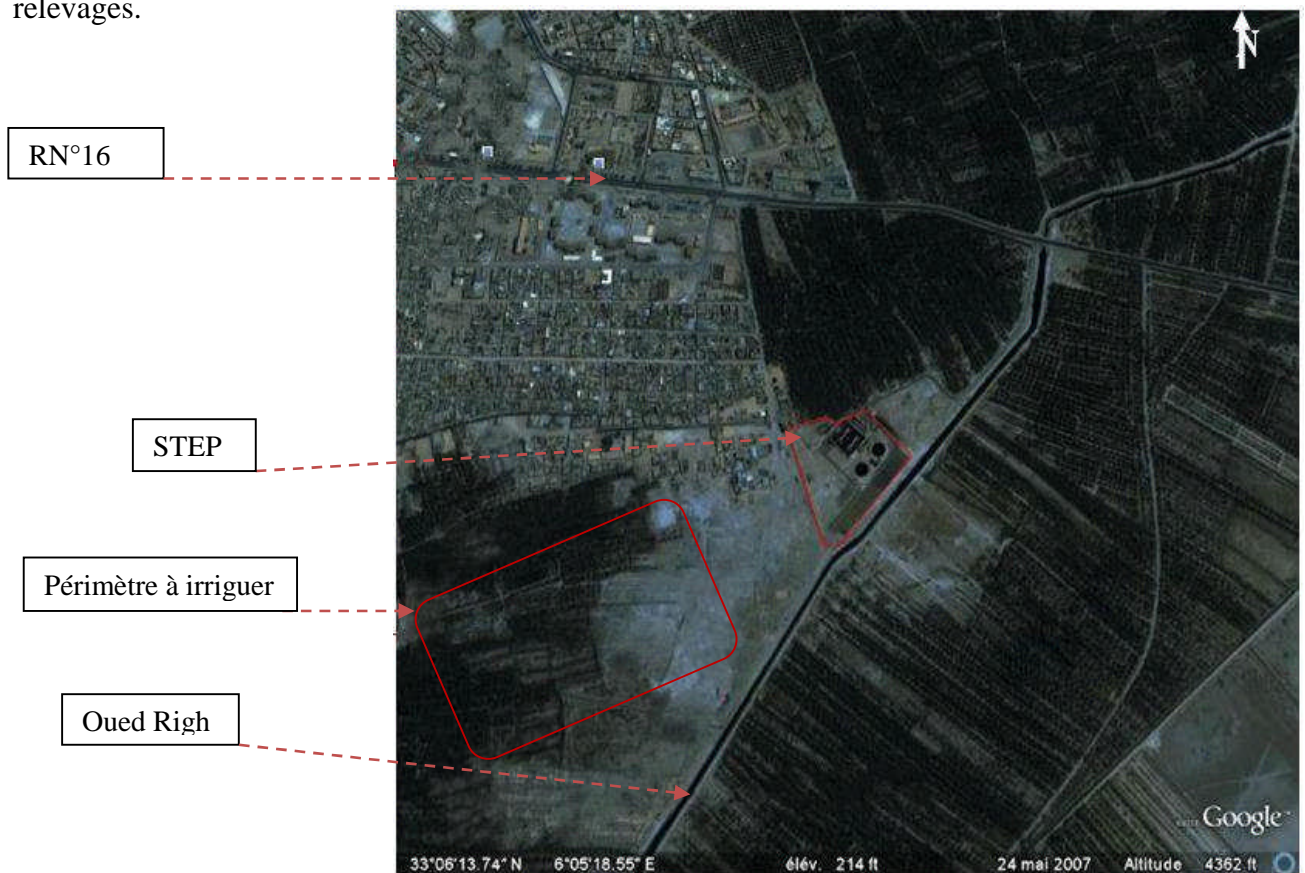


Figure IV-01: Positionnement de la station d'épuration de Touggourt.

IV.1.1 Données techniques :

C'est une station d'épuration à boues activées, prévue pour 62500 équivalents habitants.

La capacité nominale de traitement et qualité requise des eaux usées avant traitement sont :

Type de réseau : unitaire ;

Débit moyen: $9\,360\text{ m}^3/\text{j}$;

Débit de pointe: $3\,90\text{ m}^3/\text{h}$;

Demande biologique en oxygène(DBO): $54\text{g}/\text{habitant}$;

Charge moyenne de DBO/j: $3\,375\text{kg}/\text{j}$;

Charge moyenne de DCO/j: $5\,625\text{kg}/\text{j}$ (STEP Touggourt, 2012).

IV.2- Etapes de traitement :

Le processus de traitement comporte les étapes suivantes:

- 1- Criblage grossier à l'aide de dégrilleur à barreaux mécaniques ;
- 2- Des canaux à sable aérés éliminent le sable et les graisses ;
- 3- Le traitement biologique est accompli dans des bassins à aération mécanique ;
- 4- Les boues activées de retour sont refoulées par des pompes à vis et criblées à travers des cribles à barreaux moyens ;
- 5- Les eaux usées traitées destinées à l'irrigation seront désinfectées au chlore.

IV.2.1-Equipement de la station

IV.2.1.1-Dégrillage mécanique

- Dégrillage mécanique, grilles mécaniques constituées des barreaux de large espacement de 20 mm ;
- Canaux de dessablage et déshuilage: avec portion d'extraction des sables, et centrale de production d'air pour aération des dessableurs.



Figure IV-02 : Entrée des eaux usées



Figure IV-03: Dégrilleur mécanique

IV.2.1.2- Epuration biologiques

- 02 bassins d'aérations fonctionnant en parallèle ;
- Equipement par bassin: capacité totale 7 200 m³ ;
- 2 aérateurs de 45 KW- capacité d'aération 80 kg O₂/h.



Figure IV-04: Bassin d aération

IV.2.1.3- Clarification

Deux décanteurs circulaires à pont diamétral de 24 m muni d'un racleur. Nous devons signaler ici que l'étape de l'addition du chlore n'est pas toujours activée a cause des déversements des eaux dans le canal a sont pas réutilisées.



Figure IV-05: Décanteur

IV.2.1.4- Epaisseur de boues

Un bassin circulaire : de 10 m de diamètre, muni d'un agitateur à pieux fixé sur le pont.



Figure IV-06: Epaisseur

IV.2.1.5- Retour des boues

Deux vis d'Archimède à débit unitaire de 500 l/s.



Figure IV-07: Vis Archimède

IV.2.1.6-Lits de séchage des boues

Il existe 16 lits de séchage d'une surface totale de 3 200 m².



Figure IV-08: lit de séchage.

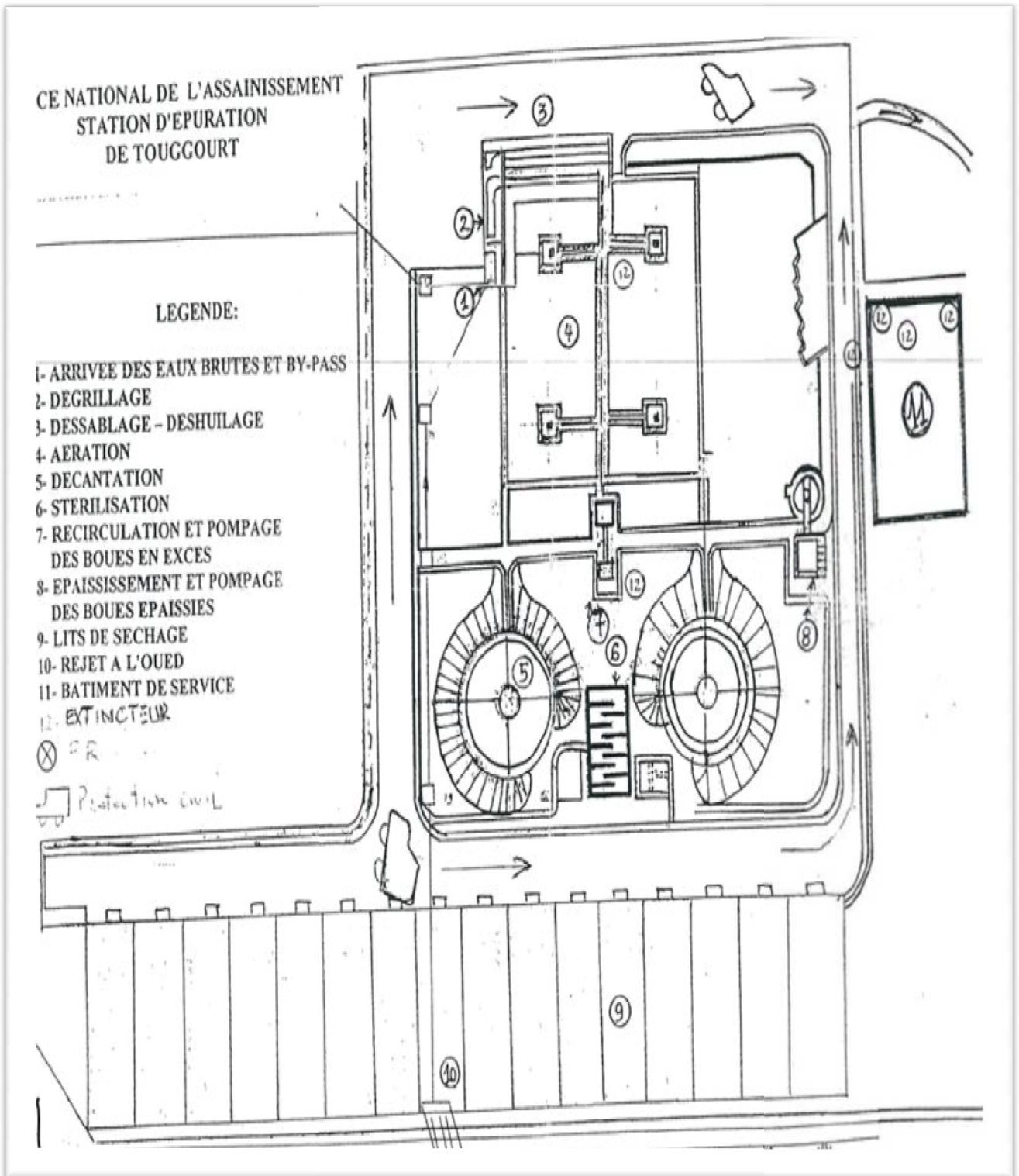


Figure IV-09 : Les ouvrages de la STEP de Touggourt

IV.3-Laboratoire :

Les paramètres mesurés au niveau du laboratoire de la station ainsi que le matériel disponible sont consignés dans le tableau ci-après.

Tableau IV-01: Matériel utilise au niveau de laboratoire.

Paramètres mesurées	Equipement utilisé	type
MES	Centrifugeuse et étuve	D 1600 U25
MVS	Four à moufle	MF 120
DBO5	BSB DBO	620 T
DCO	Reactor et Colorimetre.	HACH DR 820
NO ₂ ⁻	Colorimerte.	DR 820
NO ₃ ⁻	Colorimetre	DR 820

IV.4-Stations de pompage dans la région de Touggourt :

Plusieurs stations de pompage viennent au secours de l’assainissement de la ville. On dénombre sept points de rejet éparpillés le long du canal de l’Oued Righ

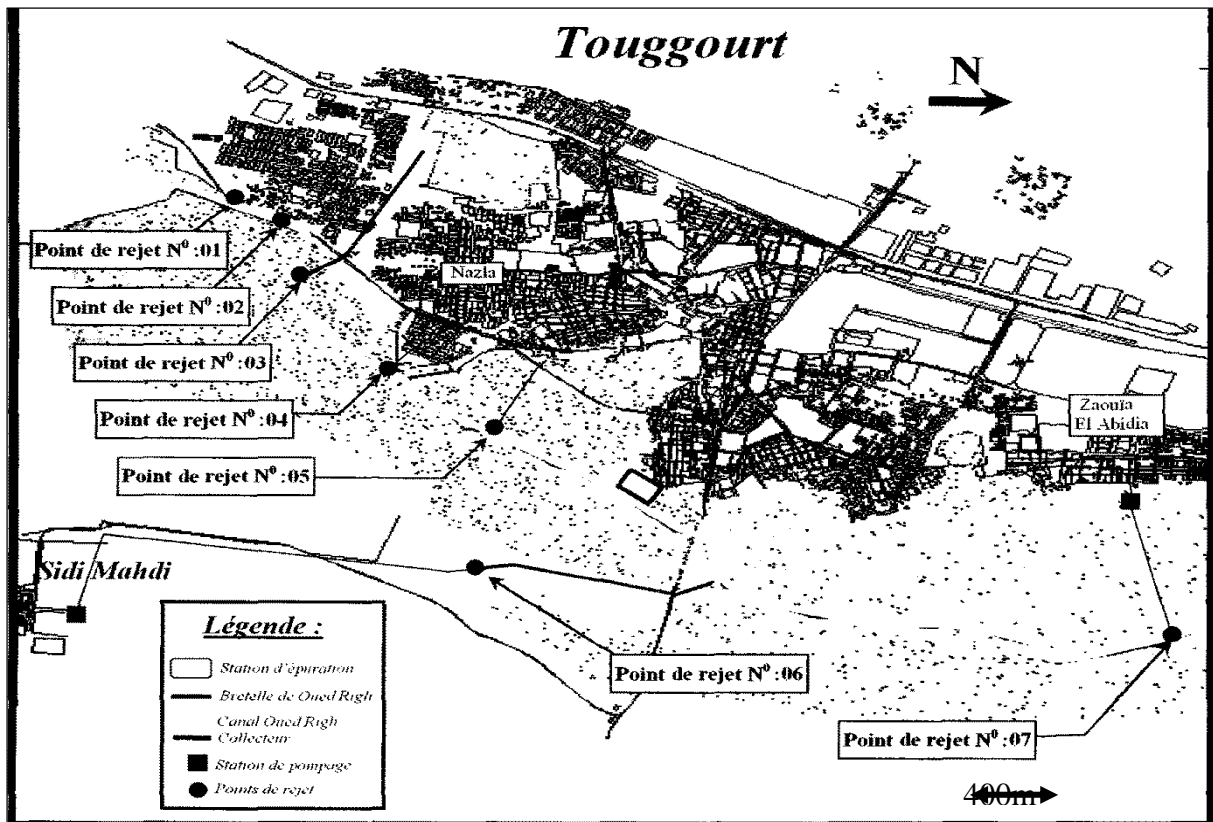


Figure IV-10: représentation des points de rejet de Touggourt (STEP Touggourt, 2011).

• Point de rejet N°01

Il est à l'extrême Sud de la commune de Nezla, son rôle est d'évacuer une partie des eaux usées d'Ain Sahara en direction du canal de l'Oued Righ.

• Point de rejet N°02

L'autre partie des eaux usées d'Ain Sahara est rejetée dans le même canal au niveau de ce point de rejet, d'ailleurs il n'y a qu'une centaine de mètre entre ce rejet et le premier.

• Point de rejet N°03

Ce point de rejet est destiné à drainer les eaux d'irrigation. Le canal à ciel ouvert, dit canal 8, véhicule aussi les eaux usées de la ville de Nezla vers le Canal de l'Oued Righ.

• Point de rejet N°04

Il concerne l'agglomération d'Assou. Les eaux usées de cette agglomération sont évacuées via un collecteur pour finir leurs courses dans le canal de l'Oued Righ.

• Point de rejet N°05

Les eaux usées de la cité Sahraoui Laid ont le même sort que celles d'Assou, elles sont évacuées vers le canal de l'Oued Righ grâce à un collecteur gravitaire.

• Point de rejet N°06

En présence d'une station de relevage. Les eaux usées de Sidi Mehdi atteignent un canal à ciel ouvert avant de finir leur course dans le canal de l'Oued Righ.

• Point de rejet N°07

Grâce à ce point de rejet, la commune de Zaouïa El Abidia arrive à se débarrasser de ses eaux usées pour les rejeter dans le canal de l'Oued Righ au Nord de la localité de Touggourt.

IV.5-Analyse d'urbanisme :

IV.5.1-Population et évolution démographique

La population et son évolution dans le temps est un facteur prédominant dans l'estimation du volume des eaux usées.

D'après l'annuaire statistique de la wilaya d'Ouargla, le nombre d'habitants de la commune de Touggourt est d'environ 167 659 habitants pour l'année 2010. On utilise la loi des intérêts pour estimer le nombre d'habitants en 2011.

$$P_n = p_0 (1 + T)^n$$

P_n = population à l'horizon futur.

P_0 = population de l'année de référence (2010).

T : taux de croissance = 3,95 % (0.0395).

N : nombre d'années séparant les horizons.

On aura : $P_{(2011)} = 174281$ hab.

IV.5.2-Réseau d'alimentation en eau potable

La commune de Touggourt renferme des potentialités en eau souterraine très importantes comme réserve d'eau, surtout la nappe mio-pliocène et sénonienne qui sont des eaux saumâtres, les eaux utilisées pour la consommation sont puisées depuis la nappe albienne.

D'après l'ADE, les besoins en eau potable de l'ensemble de la commune de Touggourt sont estimées à 200 l/hab. /J pour le long terme.

IV.5.3-Evaluation du débit

Le débit journalier d'eau usée ($Q_{usée}$) est donné par la relation suivante :

$$Q_{usée} = Q_{dom} + Q_{éq}$$

$Q_{usée}$: débit d'eau usée.

Q_{dom} : débit domestique. / $Q_{dom} = k_r \times D \times N$

$Q_{éq}$: débit de l'équipement. / $Q_{éq} = 30 \% Q_{dom}$

K_r : coefficient de rejet compris entre (0,7 et 0,9) pour notre cas on prend 0,7.

D : dotation journalière en eau potable pour la ville de Touggourt $D = 200 \text{ l/hab. /J}$

N : nombre d'habitants qui est de hab174281. Pour l'année 2011.

Calcul :

$$Q_{dom} = 0.7 \times 200 \times 10^{-3} \times 174281 \rightarrow Q_{dom} = 24399.34 \text{ m}^3/\text{J}$$

$$Q_{éq} = 30 \times 24399.34 / 100 = 7319.802 \text{ m}^3/\text{J}$$

$$Q_{usée} = Q_{éq} + Q_{dom} = 7319.802 + 24399.34$$

$$Q_{usée} = 31719.142 \text{ m}^3/\text{J}$$

Débit moyen horaire Q_m :

Le débit moyen horaire Q_m est donné par la formule suivante :

$$Q_m = Q_{usée} / 24$$

$$Q_m = 31719.142 / 24 = 1321.63 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_m = 1321.63 \times 1000 / 3600 = 367.12 \text{ L/ S}$$

IV.5.4-Calcul des charges polluantes

IV.5.4.1-Charges en DBO_5

A défaut d'analyse d'échantillons représentatifs sur rejets d'eaux usées brutes, la charge polluante apportée par jour et par habitant est estimée à 54 g/hab. /j

Alors la charge polluante en DBO_5 de Touggourt, sera :

$DBO_{5T} = \text{Charge } DBO_5(\text{Kg}) \text{ par habitant} \times \text{Nombre d'habitants.}$

$DBO_{5T} = \text{charge } DBO_5(\text{en Kg}) \text{ de Touggourt.}$

$$DBO_{5T} = 54 \times 10^{-3} \times 174282 = 9411.23 \text{ Kg/J}$$

Concentration de la DBO_5 en mg/L :

$$[DBO_5] = DBO_{5T} / Q_{\text{usée}}$$

$S_0 = \text{concentration du } DBO_5 \text{ (en mg) par litre.}$

$$[DBO_5] = 9411.23 \times 10^6 / 31719.24 \times 10^3 = 296.70 \text{ mg/L}$$

IV.5.4.2-Les charges en matières en suspension (MES)

La teneur en matières en suspension par habitant et par jour est de 70 g/hab. /J

Le charge polluante en MES de Touggourt sera

$MES_T = \text{Charge MES (Kg) par habitant} \times \text{Nombre d'habitants.}$

$MES_T = \text{charge MES (en Kg) de Touggourt.}$

$$MES_T = 70 \times 10^{-3} \times 174282 = 12199.74 \text{ kg /J}$$

Concentration des M.E.S en mg /L :

$$[MES] = MES / Q_{\text{usée}}$$

$$[MES] = 12199.74 \times 10^6 / 31719.24 \times 10^3 = 384.61 \text{ mg /L}$$

IV.5.4.3-Les charges en DCO

La teneur en DCO par habitant et par jour est de 90 g/hab./j.

Les charges en DCO des eaux de Touggourt seront:

$DCO_T = \text{Charge DCO (Kg) par habitant} \times \text{Nombre d'habitants.}$

$DCO_T = \text{charge DCO (en Kg) de Touggourt.}$

$$DCO : 90 \times 174282 \times 10^{-3} = 15685.38 \text{ kg/j.}$$

Concentration du DCO en mg/l

$$[DCO] = DCO / Q_{\text{usée}}$$

$$[DCO] = 15685.38 \times 10^6 / 31719.24 \times 10^3 = 494.48 \text{ mg/l}$$

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Touggourt

Tableau IV-02 : comparaison entre capacité de la station et les rejets de Touggourt.

Données	2011	2026	2041	Données de STEP
Nombre d'habitant	174282	311615	557168	62500
Débit journalier (m ³ /j)	31719.24	56713.98	101404.58	9 360
Débit moyen horaire (m ³ /h)	1321.63	2363.08	4225.19	3 90
Débit moyen (l/s)	367.12	656.41	1173.66	108,33
Charges en DBO ₅ Kg/J	9411.20	16827.23	30087.07	3 375
Charges en M.E.S Kg/J	12199.71	21813.07	39001.76	4375
Charges en DCO Kg/J	15685.34	28045.38	50145.12	5 625

Par comparaison entre les données de la ville de Touggourt et celles de la station de traitement on trouve que la partie des eaux traitées ne représente qu'environ l'un tiers des eaux polluée de la ville (pour l'année 2011).

Les eaux non traitées sont déversées dans le canal de l'Oued Righ et drainée jusqu' à chott Merouane, ou on trouve l'exutoire final de ces eaux.

IV.6-Canal Oued Righ :

La vallée de l'Oued Righ est drainée par le canal principal creusé dans le thalweg de l'ancien Oued.

Ce canal principale commence à la palmeraie d'El Goug au nord de Touggourt et en s'écoulant sur une longueur de 135 Km, il se jette dans le grand Chott Merouane, après avoir collecté les eaux de drainage des palmeraies de Touggourt Djamaa et M'raier.

Le canal principal avec ses dimensions actuelles a été construit entre 1977 et 1984 pour évacuer un débit d'eau de 7.24 m³/sec compte tenu d'une norme de drainage de 0.6 l/s/ ha et pour assurer en même temps un niveau de drainage de 1.70 m de profondeur.

Les canaux secondaires et collecteurs du réseau d'assainissement de palmeraie d'El Harihira et de Ghamra ont une longueur globale de 14 km environ. Elles transportent les eaux drainées par les drains des palmeraies dans l'Oued Righ. Ces derniers sont des fossés d'une profondeur de 0.8 à 1.0 m ayant des écartements de 15 à 20m.

Le réseau des canaux est en générale mal entretenu, les lits sont recouverts de roseaux et de mauvaises herbes, en plus, par endroit ou le sol n'est pas assez stable, des effondrements gênent l'écoulement normal des eaux.

Le canal est subdivisé en 4 tranches qui sont:

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Touggourt

1. Tranche I: canal secondaire n° 18. Réseau d'assainissement de palmeraie de Ghamra et d'El Harihira ;
2. Tranche II: réseau d'assainissement de la commune de Djamaa ;
3. Tranche III: réseau d'assainissement des communes de Touggourt, Mégarine et Témacine ;
4. Tranche IV: réseau d'assainissement de la commune de M'raier.

IV.7-Les paramètres analysés:

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

Température, Conductivité, pH, DCO, DBO5, MES, NO³-, NH₄⁺, NO₂⁻, et PO³⁻ 4.

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

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

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

Tableau IV-03: Les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.

Eau brute			
Paramètres physico-chimiques :		Minéralisation globale :	
PH	7.01	Bicarbonate (HCO ₃)	213 mg /l
Conductivité à 20 °C	1557 µs /cm	Calcium (Ca)	93 mg /l
Température	18.62 °C	Magnésium (Mg)	41 mg /l
MES	892.54 mg /l	Potassium(K)	17 mg /l
Ammonium (NH ₄)	9.0 mg /l	Sulfate (SO ₄)	112 mg /l
Nitrates (NO ₃)	35 mg /l		
Nitrites (NO ₂)	23.35 mg /l		
DCO	459.55 mg /l		
DBO5	273.33 mg /l		
Phénols	1.24 mg /l		
phosphate (PO ₄)	4.01 mg /l		

Source : ONA (Touggourt)

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Touggourt

Tableau IV-04: Les résultats des analyses obtenus pour l'eau épurée.

Eau épurée			
Paramètres physico-chimiques :		Minéralisation globale :	
PH	7.05	Bicarbonate (HCO ₃)	213 mg /l
Conductivité à 20 °C	1420 µs /cm	Calcium (Ca)	102 mg /l
Température	19.2 °C	Magnésium (Mg)	34 mg /l
MES	22.45 mg /l	Potassium(K)	17 mg /l
Ammonium (NH ₄)	4.2 mg /l	Sulfate (SO ₄)	112 mg /l
Nitrates (NO ₃)	8.31 mg /l	Sodium (Na)	133 mg /l
Nitrites (NO ₂)	0.288 mg /l	Dureté (TH)	32 °F
DCO	15.51 mg /l		
DBO ₅	10.47 mg /l		
Phénols	0.68 mg /l		
phosphate (PO ₄)	1.26 mg /l		

Source : ONA (Touggourt)

IV.7.1- Interprétation des résultats:

D'après les résultats des tableaux (IV-03, IV-04) on constate que:

La température et le PH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet; L'eau épurée est moyennement dure, donc le problème d'entartage de canalisation est à Prendre en considération dans le cas de l'utilisation dans l'agriculteur;

Les valeurs de DCO et DBO₅ et MES répondent largement aux normes de rejets (DCO <60mg/l, DBO₅<30mg/l, MES<30mg/l);

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

IV.7.2-les métaux lourds:

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau IV.5

Tableau IV-05 : Les résultats des analyses obtenus pour les métaux lourds

Eléments en mg /l	Pb	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Fe	Cd	Ag
STEP. Touggourt	< 0,1	<0,04	<0,01	<0,04	<0,06	<0,05	<0,05	<0,06	<0,01	< 0,001

Source : STEP(Touggourt)

- **Discussion des résultats :**

La présence des métaux dans les eaux usées épurées peut poser des problèmes sanitaires pour les êtres humains et les animaux et peut également affecter les cultures irriguées ;

les résultats d'analyses montrent l'existence de quelques métaux lourds dans l'eau épurée à des concentrations faibles par rapport aux recommandations de la FAO.

IV.8- Classification des eaux de la STEP :

*** Pour la conductivité électrique CE.**

- C1 : $C.E < 0,250$ mmhos/cm ($< 0.2g/l$): l'eau à faible salinité, elle ne posera aucun problème sur la plus part des sols et des cultures.

- C2 : $0,250 < C.E < 0,75$ mmhos/cm ($0.2-0.5g/l$): l'eau à salinité moyenne

- C3 : $0,750 < C.E < 2,250$ mmhos/cm ($0.5-1.5g/l$): l'eau à forte salinité, et dit inutilisable sur un sol faiblement drainé, elle n'est autorisée que sur un sol bien drainée et sur des cultures tolérantes

- C4 : $2,250 < C.E < 5.00$ mmhos/cm ($1.5-3g/l$): 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 : $C.E > 5.0$ mmhos/cm ($> 3g/l$): l'eau est inutilisable sauf sur sable drainé et pour les palmiers et dattiers.

***Pour la Coefficient d'adsorption du sodium S.A.R**

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

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

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

Elle distingue quatre classes:

- S1 - $S.A.R < 10$:L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.

- S2 - $10 < S.A.R < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

- S3 - $18 < S.A.R < 26$:Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales :

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Touggourt

bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.

● S4 - S.A.R>26:Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

Détermination du S.A.R

$$S.A.R = \frac{5.78}{\sqrt{\frac{5.1 + 2.83}{2}}} = 2.9$$

On aura : SAR = 2.9 (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 (USSSL).

A l'aide de diagramme de classification des eaux d'irrigation (voir l'annexe 02) on trouve que l'eau épurée est de classe C3-S1 (SAR = 2.9 et Ce = 1.420 mmhos/cm).

Conclusion :

D'après les résultats des analyses physico-chimiques on constate que les eaux usées épurées par la station d'épuration de Touggourt répondent pratiquement à toutes les normes de la FAO et OMS, ce qui encourage sa réutilisation dans les domaines d'irrigation.

CHAPITRE V

Besoins en eau des cultures

Introduction :

Le présent chapitre a pour but principal de déterminer les besoins en eau des cultures.

Les cultures pour se développer, puisent du sol, l'eau et les éléments nutritifs, la quantité d'eau donnée à la culture n'est pas entièrement absorbée par la culture, une partie percole et se jette en profondeur, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite :

- la connaissance de divers paramètres concernant aussi ; bien la plante elle-même que les données climatiques et pédologiques de la région.
- Les données climatiques donneront les indications concernant les besoins en eau des cultures.
- les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol ; et les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

V.1-Etude hydrologique :

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

Cette analyse permettra de déterminer la hauteur de pluie qu'on est sûr de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation, on adopte généralement les probabilités de dépassement de 4 années sur 5 soit une fréquence de 80%. Pour cela nous aurons dans un premier temps à faire le choix de la probabilité qui sera susceptible de s'ajuster d'une manière adéquate à notre échantillon, ce qui aura pour but d'ajuster d'une loi théorique de répartition des fréquences connues à la droite ou à la courbe expérimentale des fréquences de l'échantillon.

Dans un second temps nous aurons à estimer analytiquement ou graphiquement la valeur que prendra un événement quelconque pour une probabilité donnée et ce à partir de la loi ajustée. mais avant tout il y'a lieu de vérifier la fiabilité des données pluviométrique qui sont à notre niveau. Pour cela nous allons nous assurer de l'homogénéité des valeurs de cette série. (KULKER, 1988)

V.1.1-Homogénéité de la série pluviométrique :

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

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

La série à laquelle nous faisons allusion cette partie est la série enregistrée au niveau de la station pluviométrique de Touggourt, les valeurs de cette série sont représentées dans l'annexe N°01.

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

V.1.1.1- Test de Wilcoxon :

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

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique d'enregistrement complet, par le test de Mr Wilcoxon, repose sur le procédé ci-dessous : (KULKER, 1988)

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

*On constitue par la suite, la série "x" unions "y" après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang, tout en précisant à quelles sous-séries appartient-elle.

Une fois que ces opérations sont effectuées nous allons passer au test de Wilcoxon selon lequel une série est homogène avec une probabilité de 95% si :

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

Avec :

W_x : Somme des rangs de la sous série X ;

$$W_{\min} = \frac{(N1+N2+1) N1 - 1}{2} - U_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{(N1+N2+1) N1 * N2}{12}} \quad (4)$$

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

$$W_{\max} = (N1+N2+1) N1 - W_{\min} \quad (5)$$

Le tableau V-01, détaille le procédé de test d'homogénéité proposé par de Mr Wilcoxon pour la station de Touggourt.

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

On a donc :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad \Leftrightarrow \quad 81.67 < 117 < 138.33$$

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

Tableau V-01 : Test de Wilcoxon pour la série des données de la station de Touggourt

Rang	Série d'origine P (mm)	Série X (mm)	Série Y (mm)	Classement ↓ (mm)	X Union Y
1	148,4	148,4	35,2	168,7	X
2	42,8	42,8	141,2	155,7	Y
3	132,2	132,2	96,8	148,4	X
4	55,2	55,2	69,3	141,2	Y
5	48,7	48,7	168,7	132,2	X
6	61,4	61,4	25,7	96,8	Y
7	88,5	88,5	84,5	88,5	X
8	64,2	64,2	77,1	84,5	Y
9	46,4	46,4	55,7	77,1	Y
10	76,6	76,6	155,7	76,6	X
11	35,2	-	31,2	69,3	Y
12	141,2	-	-	64,2	X
13	96,8	-	-	61,4	X
14	69,3	-	-	55,7	Y
15	168,7	-	-	55,2	X
16	25,7	-	-	48,7	X
17	84,5	-	-	46,4	X
18	77,1	-	-	42,8	X
19	55,7	-	-	35,2	Y
20	155,7	-	-	31,2	Y
21	31,2	-	-	25,7	Y

N1	N2	W _{min}	W _x	W _{max}
10	11	81.67	117	138.33

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

V.1.2-Ajustement à la loi de Gauss

Le procédé de calcul consiste à:

- Classer 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.
- Variable réduite de gauss :

$$U = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \quad (6)$$

-Calcul des caractéristiques empirique de loi (X; d ; Cv ; CS=0).

*Le coefficient de variation : $Cv = \frac{\delta}{\bar{X}}$ (7)

L'équation de la droite de Henry sur papier de probabilité gaussien:

$$XP\% = \bar{X} + \delta * U_{p\%} \quad (8)$$

Avec:

XP%: précipitation de probabilité P%.

U_{p%}: variable réduit de Gauss.

\bar{X} : Moyenne arithmétique.

δ : écart-type. (KULKER, 1988)

Pour les calculs on a utilisée le logiciel Hydrolab, les résultats de l'ajustement de la série des pluies annuelles sont regroupés dans le Tableau V-02 et la Figure V-01

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

Tableau V-02 : Ajustement à la loi Normale (loi de Gauss)

Taille n= 21		Moyenne= 81,2142857			Ecart-type=43,5062327		I.C. à (en%)= 80		U Gauss= 1,2817	
		Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne Supérieure
148,4	25,7	1	0,0238	-1,981	25,7	-4,97964203	-30,285485	13,3087694		
42,8	31,2	2	0,0714	-1,466	31,2	17,4552143	-3,3773969	33,0969152		
132,2	35,2	3	0,119	-1,18	35,2	29,8826382	11,3006165	44,2855216		
55,2	42,8	4	0,1667	-0,967	42,8	39,1279603	22,0716067	52,7578785		
48,7	46,4	5	0,2143	-0,791	46,4	46,7820589	30,8683589	59,8924778		
61,4	48,7	6	0,2619	-0,637	48,7	53,4940171	38,4757867	66,2554169		
88,5	55,2	7	0,3095	-0,497	55,2	59,6008788	45,2985495	72,1435642		
64,2	55,7	8	0,3571	-0,366	55,7	65,3057067	51,5777705	77,7384546		
46,4	61,4	9	0,4048	-0,241	61,4	70,7451966	57,4731397	83,1649184		
76,6	64,2	10	0,4524	-0,119	64,2	76,0206261	63,1002961	88,5181172		
35,2	69,3	11	0,5	0	69,3	81,2142901	68,5504178	93,8781628		
141,2	76,6	12	0,5476	0,119	76,6	86,4079453	73,9104543	99,3282753		
96,8	77,1	13	0,5952	0,241	77,1	91,6833748	79,263653	104,955432		
69,3	84,5	14	0,6429	0,366	84,5	97,1228647	84,6901168	110,850801		
168,7	88,5	15	0,6905	0,497	88,5	102,827693	90,2850072	117,130022		
25,7	96,8	16	0,7381	0,637	96,8	108,934554	96,1731545	123,952785		
84,5	132,2	17	0,7857	0,791	132,2	115,646513	102,536094	131,560212		
77,1	141,2	18	0,8333	0,967	141,2	123,300611	109,670693	140,356965		
55,7	148,4	19	0,881	1,18	148,4	132,545933	118,14305	151,127955		
155,7	155,7	20	0,9286	1,466	155,7	144,973357	129,331656	165,805968		
31,2	168,7	21	0,9762	1,981	168,7	167,408213	149,119802	192,714057		

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	117,822897	104,577125	134,04914	117,822897	0,8	0,5
0,5	0,000	81,2142901	68,5504178	93,8781628	81,2142901	0,5	2
0,2	-0,841	44,6056739	28,3794316	57,851446	44,6056739	0,2	1,3

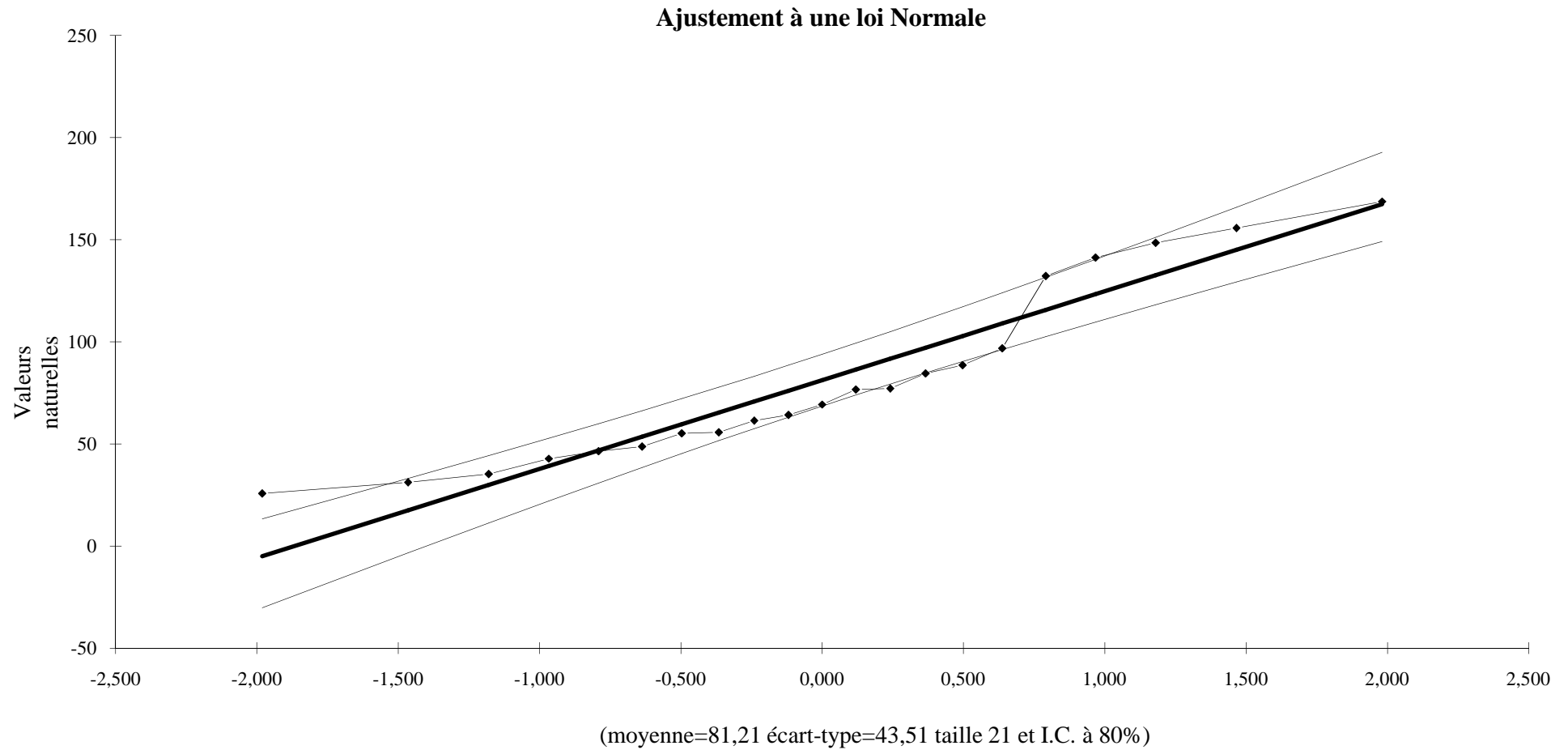


Figure V-01 : Graphique d'ajustement annuel des pluies moyennes (1990-2010) à la loi normale
Station de Touggourt

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

- **Commentaire :**

Nous remarquons sur le graphique V.01 ci-dessus que toutes les valeurs observées sont toutes très proche de la droite d'ajustement (droite d'Henri). Ce que signifie que nous avons une bonne corrélation et que la loi d'ajustement considérée est bonne. Mais rien ne nous empêche de confirmer l'adéquation de la loi d'ajustement par un test de validité d'ajustement.

V.1.2.1- Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss :

- **Test de Khi carrée:**

- On calcule χ^2 calculé.
- On calcule le nombre de degré de liberté γ :
- On détermine χ^2 théorique sur la table de Pearson III
(voir tableau V-03 ci après)

Avec:

théorique = $g(\gamma, \alpha)$

La loi est adéquate pour une erreur $\alpha = 0.05$ si et seulement si : χ^2 calculé < χ^2 théorique.

Tableau V-03 : table du χ^2 .

$\alpha \backslash \gamma$	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

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

D'après le logiciel HYFRAN on obtenu les résultats suivant:

$$\chi^2_{\text{calculé}}=3.29 \quad \gamma =2$$

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

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 5.991$$

$\chi^2_{\text{calculé}} = 3.29 < \chi^2_{\text{théorique}} = 5.991$ Donc l'ajustement est à considérer.

V.2-Détermination de l'année de calcul :

Détermination de l'année de calcul à pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante; elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%), (de l'année de calcul de P80%) Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante :

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} * \frac{P_{\text{théorique 80\% annuelle}}}{P_{\text{théorique 50\% annuelle}}} \quad (9)$$

$$P_{\text{théorique 80\% annuelle}} = 117,823 \text{ mm.}$$

$$P_{\text{théorique 50\% annuelle}} = 81,214 \text{ mm.}$$

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

Tableau V-04: L'Année de calcul.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aou	Année
Pmoy (mm)	8.64	7.35	6.48	6.78	23.87	3.50	7.25	6.96	4.73	0.93	0.73	4.01	81.21
Pmoy80% (mm)	12.54	11.33	9.40	9.84	34.64	5.08	10.52	10.10	6.86	1.35	1.06	5.82	117.84

V.3-La pédologie des sols : (INRA ,2012)

Les sols de la région sont caractérisés essentiellement à la surface par des apports éoliens sableux. Ce sont des sols généralement meubles et bien aérés en surface, en majorités salés ou très salés, la nappe phréatique influe sur ces sols, et on observe parfois un horizon hydro-morphe ou un encroûtement gypso-calcaire, la texture des sols est très grossière par endroits et la teneur en sable fin et grossier peut dépasser les 90 %, la détermination de la composition granulométrique des

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

agrégats de certains profils a été perturbée par la présence importante de gypse, la très mauvaise structure des sols s'explique surtout par la texture grossière et la très faible teneur en matière organique, moins de 0.5%.

V.3.1- Description morphologique de la région de Touggourt :

0 – 22 cm : sol frais, couleur brune jaunâtre, de texture sableuse grossière, structure fine, beaucoup de taches blanchâtres de sels.

22 – 57 cm : humide, couleur jaune foncé, de texture grossière, présence de taches blanches de sel et de gypse, taches ocres de rouilles.

57 – 75 cm : horizon mouillé, de couleur brun jaunâtre, de texture grossière avec quelques débris de grés, faiblement poreux, beaucoup de taches ocre et rouille d'hydromorphie.

Tableau V-05: résultats du profil de sol

Horizon (cm)	0 -22	22 - 57	57 – 75
Argile %	2	0	0
Limon fin%	2	8	15
Limon grossier %	2	1	1
Sable fin %	68	55	61
Sable grossier %	26	11	15
Matières organiques %	0.15	0.36	0.34
Carbone %	2.7	2.6	2.4
Azote %	0.31	0.32	0.3

V.3.1.1- Classification des sols :

Classe : Sols hydro-morphes

Sous classe : Sols peu humifères.

Sous groupe : Sols salin.

Famille : Alluvions et apport éolien.

Série : Peu profond la nappe à 75 cm.

V.3.1.2-Relation plante – sol – eau :

Le palmier a un enracinement différent selon qu'il est irrigué ou pas. En absence d'irrigation, mais en présence d'une nappe d'eau à plus de 3 mètres, les racines se développent jusqu'à la zone de capillarité de la nappe, les cordons racinaires descendent alors à une profondeur pouvant atteindre plus de 5 mètres, les palmiers se développent normalement mais ont une production très faible, ce cas le palmier développe son système racinaire en longueur pour satisfaire ses besoins en eau, C'est ce qui lui donne sa grande résistance à la sécheresse.

En culture irriguée, c'est alors la zone où une humidité suffisante est maintenue en permanence, la plus grande partie des racines se trouve du côté de la pente d'écoulement de l'eau.

La description idéale du sol pour la culture du dattier c'est qu'il doit être profond, meuble et léger (il faut un minimum de 1 mètre de sol aéré et humide).

Du fait que les racines ne se reforment qu'à partir du bulbe, la production du dattier est fortement influencée par tout ce qui modifie le système racinaire. (INRA, 2012)

V.4-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. (MICHEL DUCROCQ, 1982)

On distingue: l'évapotranspiration de référence (ET₀), L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

L'évapotranspiration de référence: est définie comme «le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive». (MICHEL DUCROCQ, 1982)

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. (JEAN ROBERT TIERCELIN, 1998)

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. (MICHEL DUCROCQ, 1982)

V.4.1- Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration :

Il n'est pas question ici de présenter en détail toutes les méthodes utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures.

On distingue généralement deux types:

- Les méthodes directes.
- Les méthodes indirectes.

V.4.1.1-Méthodes directes :

- **L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique**

Comme son nom l'indique, l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal

- **Le bac évaporant**

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

- **L'évaporomètre piche**

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

V.4.1.2- Méthodes indirectes :

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

1) Formule de Blaney et Criddle

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

$$ETP = K (0,46t + 8,13) P. \quad (10)$$

Dans laquelle:

ETP: Evapotranspiration potentielle en mm/jour.

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

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

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

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

2) Formule de Turc

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

$$ETP=0.40 (I_g+50) \times \frac{T}{T+15} \quad \text{en (mm/mois)} \quad (11)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

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

Remarque

Le coefficient 0,40 est réduit à 0,37 pour le mois de février.

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

$$ETP=0.40 (I_g+50) \times \frac{T}{T+15} \times \left(1 + \frac{50-Hr}{70}\right) \quad (12)$$

Dans laquelle:

T: Température moyenne mensuelle (°C).

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

Hr: L ;'humidité de l'air en %.

$$I_g=I_{ga}(0.18+0.62) \times \frac{h}{H}$$

Avec:

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.

3) Formule de Penman

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

La formule est la suivante:

$$ETP = p'(t) \frac{Rn}{L} + \sigma \cdot \frac{Ea}{p'(t) + \sigma} \quad (13)$$

Dans laquelle:

Rn : Rayonnement net « climatique ».

Ea : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air. L: Chaleur latente de vaporisation ($2.5 \cdot 10^6$ J/kg)

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.

V.4.2-Calcul de l'évapotranspiration :

La détermination de l'évapotranspiration se fait par la formule de Penman, en raison de son exactitude pour l'estimation de l'ETP.

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel appelé CROPWAT, fonder sur la méthode de Mr Penman.

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

-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.

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

Tableau V-06 : Evapotranspiration en mm/mois

ETo Penman-Monteith par mois - untitled							
Pays		Algérie		Station		Touggourt	
Altitude		85 m.		Latitude		33.11 °N	
				Longitude		6.13 °E	
Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/mois
Janvier	4.6	17.1	66	2.4	7.6	12.2	62.35
Février	5.9	20.3	52	2.6	7.9	14.8	86.85
Mars	9.9	23.9	48	3.3	8.9	19.1	143.04
Avril	13.9	28.1	42	3.8	9.5	22.5	192.03
Mai	18.7	33.5	38	3.9	10.4	25.2	252.88
Juin	23.5	38.8	33	3.5	10.9	26.3	280.74
Juillet	26.7	41.2	31	3.3	11.9	27.5	308.05
Août	26.1	41.0	33	2.9	11.2	25.3	278.26
Septembre	22.1	35.9	44	2.9	9.1	20.1	205.67
Octobre	16.5	30.5	50	2.5	8.7	16.6	148.97
Novembre	9.5	22.9	59	2.5	8.2	13.3	90.83
Décembre	5.5	18.4	66	2.5	8.0	11.8	65.30
Moyenne	15.2	29.3	47	3.0	9.4	19.5	2114.97

V.5-Calcul de la pluie efficace :

Pour tenir compte des pertes, le programme CROPWAT, nous permet de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, etc.

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

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

Tableau V-07: Les pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT.

Station	Touggourt	Méthode Précipitations eff.	Pourcentage fixé
	Pluie	Pluie eff.	
	mm	mm	
Janvier	23.9	19.1	
Février	3.5	2.8	
Mars	7.3	5.8	
Avril	7.0	5.6	
Mai	4.7	3.8	
Juin	0.9	0.7	
Juillet	0.7	0.6	
Août	4.0	3.2	
Septembre	8.6	6.9	
Octobre	7.4	5.9	
Novembre	6.5	5.2	
Décembre	6.8	5.4	
Total	81.2	64.9	

V.6-Les besoins en eau:

Le besoin en eau d'irrigation, B, est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sûr qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau ou une fraction déterminée de celui-ci, si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égal au besoins en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoins de lessivage) percolation profonde, inégalité de répartition... etc.). (BULLETIN DE FAO N°36,1983)

V.6.1-Les besoins en eau des cultures suivant le calendrier cultural :

L'appréciation des besoins en eau des cultures, nécessite l'introduction des renseignements ci après :

- *Durée des phases de croissance (en jour) : initiale, mi-saison, développement et récolte.
- *Coefficients culturaux (K c) : pour chaque phase de croissance et pour chaque culture.
- *Profondeur d'enracinement (P) en (mètre) : deux valeurs sont entrées celle de la phase initiale et celle de la phase plein développement.
- *Tarissement admissible (p) du sol, exprime en fraction d'humidités totales disponibles :

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

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

*Coefficients de réponse du rendement K_Y : pour estimer les productions dues au stress hydrique,

Nous devons connaître les différents coefficients de réponse pour chaque phase de croissance.

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (P_{eff} + RFU) + D \quad (14)$$

Avec :

D : drainage.

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

ETP : évapotranspiration (mm / jour).

RFU : réserve facilement utilisable.

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Z \quad (15)$$

Avec :

Y : degré de tarissement.

D_a : densité apparente.

Z : profondeur d'enracinement mm.

H_{cc} : humidité à la capacité au champ.

H_{pf} : humidité au point de flétrissement.

P_{eff} : pluie efficace.

L'irrigation est faite lorsque $B > 0$.

V.7-Détermination des besoins en eau des cultures :

Pour le calcul des besoins en eau des cultures on a utilisé une méthode de bulletin du FAO N°36. Cette méthode consiste à déterminer :

1-L'évapotranspiration maximale de la culture :

$$ETM = K_c \cdot E_{To} ; \text{ (mm/j)} \quad (16)$$

Avec :

K_c : coefficient cultural.

E_{To} : évapotranspiration de référence.

2-Besoins en eau des cultures en irrigation localisée :

$$ETM_{loc} = ETM \cdot K_r ; \text{ (mm/j)} \quad (17)$$

Avec :

K_r : coefficient de réduction.

$$\text{D'après Freeman et Garzoli } K_r = C_s + 0,5 \cdot (1 - C_s) \quad (18)$$

Cs : taux de couverture de sol (%).

3-Besoin en eau d'irrigation :

a) Le besoin d'irrigation net, Bnet :

C'est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation théorique nécessaire pour obtenir une production normale sur l'ensemble de la surface cultivée. (à l'exclusion des pertes et de la contribution des autres ressources). (Gaid, Abdelkader T.2, 1987)

b) Le besoin d'irrigation brut, Bbrut :

C'est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation nécessaire en pratique (compris les pertes et les besoins de lessivage mais à l'exclusion de la contribution des autres ressources).

(BULLETIN DE FAO N°36,1983)

$$B_{brut} = B_{net} \cdot R_p + L R ; (\text{mm/j}) \quad (19)$$

Avec : R_p : rendement de l'irrigation à la parcelle.

$$R_p = \frac{E \cdot C_u}{100}$$

E: coefficient qui exprime l'efficacité de l'arrosage dépend de la texture du sol.

C_u : coefficient d'uniformité.

LR: besoin supplémentaire en eau pour le lessivage du sol pour l'irrigation localisée

c) Les besoins en eau pour le lessivage :

- Lessivage initial:

Calcul du volume à apporté est basé sur la formule de VOLOBUEN :

$$H = -\Delta \alpha \theta \log \frac{S - S_i}{S_0 - S_i} \quad (20)$$

Avec :

H : Hauteur d'eau à apporté en m/ha.

Δ : Epaisseur du sol lessiver en m.

θ : Humidité du sol saturé en %.

S_i : Salinité de l'eau d'irrigation en mmhos/cm.

S_0 : Salinité moyenne après lessivage en mmhos/cm.

α : Coefficient dépendant de la nature du sol texture essentiellement.

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

Tableau V.08: Besoins en eau des palmiers dattiers

RFU=90mm/m ; profondeur d'enracinement(d)=1m												
MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT
ETO (mm/mois)	205,67	148,97	90,83	65,3	62,35	86,85	143,04	192,03	252,88	280,74	308,05	278,26
KC	0,9	0,9	0,9	0,9	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,85
ETM (mm/mois)	185,10	134,07	81,75	58,77	55,49	76,43	125,88	168,99	222,53	247,05	268,00	236,52
RFU (mm)	0	90	90	90	90	45	45	45	45	0	0	0
Peff(mm)	6,9	5,9	5,2	5,4	19,1	2,8	5,8	5,6	3,8	0,7	0,6	3,2
Besoin (mm)	178,20	38,17	-13,45	-36,63	-53,61	28,63	75,08	118,39	173,73	246,35	267,40	233,32
Besoin (mm)	178,2	38,17	0	0	0	28,63	75,08	118,39	173,73	246,35	267,4	233,32

$$\Sigma \text{ Besoins} = 1359,27\text{mm}$$

Tableau V.09 : les besoins total

	Surface (ha)	Besoin (mm)	Besoin Net (m3/ha)	efficience	Besoin brut (m3/h)	Besoin total (m3)
palmiers	30,00	1359,27	13592,7	0,75	18123,6	543708

V.8-Calcul des débits à transiter par le réseau collectif :

V.8.1-Débits spécifiques :

Le but est de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation doit véhiculer pour répondre à la demande en eau des cultures. Le débit spécifique ou débit fictif continu représente le débit qui devra être véhiculé par le système d'irrigation pour satisfaire les besoins en eau des cultures durant le mois de pointe pendant un nombre fixe d'heures par jour et pour une surface d'un hectare. Ce débit est donné par la relation suivante :

$$q = \frac{B}{T * t * E * 3,6} \quad (21)$$

Avec :

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

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

t : durée de l'irrigation en heures par jour (t = 18h).

E : valeurs de l'efficience des irrigations ≈ 0,75 (car l'irrigation ne se fait pas en 24h/24h).

Remarque : Pour le calcul des débits de pointe des modèles :

Chapitre V: Besoins en eau des cultures

- Si $q < 1,5 \text{ l/s/ha}$: la valeur de débit spécifique est acceptable;
- Si $q > 1,5 \text{ l/s/ha}$: on prend la valeur de débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe

$$q = \frac{13592,7}{31 \cdot 18 \cdot 0,75 \cdot 3,6} = 9,02 \text{ l/s/ha}$$

$q = 9,02 \text{ l/s/ha} > 1,5 \text{ l/s/ha}$; on prend la valeur de débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe.

$$q = \frac{2463,5}{31 \cdot 18 \cdot 0,75 \cdot 3,6} = 1,63 \text{ l/s/ha} ; \text{ On prend } q = 1,5 \text{ l/s/ha.}$$

La culture du palmier étant exigeante en eau surtout au mois de pointe, nous adopterons donc le débit spécifique maximal soit 1.5 l/s .Le temps d'arrosage pourra combler ce déficit.

V.8.2-Débits caractéristiques :

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système de dessert aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit spécifique de pointe par la surface agricole utile ;

$$Q = q * S \quad (22)$$

Avec :

Q : Débit caractéristique en (l/s).

q : Débit spécifique de pointe d'îlots (l/s/ha).

S : Surface de l'îlot (ha).

$$Q = 1,5 * 30 = 45 \text{ l/s}$$

Conclusion :

L'étude des besoins en eau nous a permis de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour la culture de notre parcelle et de connaître les modalités de son application (dose, durée d'arrosage... etc.).

CHAPITRE VI

Dimensionnement

Introduction :

Notre pays connaît une longue période de sécheresse et une pluviométrie insuffisante, ce phénomène a entraîné une réduction du niveau des nappes. Pour cela, l'économie de l'eau dans le domaine agricole est indispensable surtout en milieu saharien sachant que la ressource en eau est principalement souterraine. Cette économie ne peut se faire que par le biais d'une bonne maîtrise des systèmes d'irrigation et d'une bonne évaluation des besoins en eau des plantes.

VI.1- Les techniques d'arrosage des cultures:(JEAN ROBERT TIERCELIN, 1998)

VI.1.1- L'irrigation gravitaire :

Cette technique nécessite un gros volume d'eau par unité de surface, le procédé consiste la distribution de l'eau en utilisant la pente topographique. Elle est subdivisée en :

VI.1.1.1- L'irrigation par ruissellement :

Cette méthode consiste à faire couler l'eau sur la surface du sol qui s'y infiltre verticalement. On laisse l'eau s'écouler le temps qu'il faut pour le sol puisse s'humecter jusqu'à la profondeur de la couche active.

a) Les avantages :

- Les investissements pour l'équipement sont peu élevés
- Pas de dépense pour la mise sous pression de l'eau
- possibilité de lessivage sans risques d'érosion
- Matériel d'irrigation assez simple

b) les inconvénients :

- Temps d'irrigation important
- Nécessité de nivellement et son entretien
- Pertes importantes d'eau

VI.1.1.2- l'irrigation par submersion :

Elle se pratique en recouvrant le sol avec une couche d'eau épaisse qui séjournera le temps nécessaire par la qu'elle s'infiltre à la profondeur utile. Cette profondeur est fonction des besoins nécessaires pour la croissance des plantes.

Cette méthode reste valable dans le cas des terrains perméable et de pente Inférieur à 2 %.

a) Les avantages :

- Destruction des adventices
- Protège contre le gel

b) Les inconvénients :

- Tassement du sol
- Diminution de la porosité d'ou diminution de la perméabilité
- Nécessite d'assainissement
- Manque d'aération

VI.1.1.3- l'irrigation par infiltration :

L'eau coule dans les fossés, rigoles ou raies et s'infiltré latéralement dans le sol jusqu'aux racines des plantes.

a) les avantages :

- Pas de danger d'érosion, ni de formation de croûtes
- L'accès est facile au terrain

b) Les inconvénients :

- Grande perte d'eau
- Exigence en main d'œuvre

VI.1.2- l'irrigation par aspersion:

L'eau provient aux cultures sous forme de pluie artificielle, grâce au différents asperseurs alimentés en eau sous pression.

a) Les avantages :

- Ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface à irriguer
- Provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie
- Economie d'eau
- Favorise les conditions ambiantes
- Possibilité d'automatisation du système d'irrigation
- Nécessite moins de mains d'œuvres

b) les inconvénients :

- Coût très élevé (prix d'achat du matériel très important).
- Une évaporation intense si les gouttes d'eau sont fines
- Tassement du sol
- Favorise le développement des mauvaises herbes
- Le déplacement des conduites après arrosage peut être difficile
- L'homogénéité de l'arrosage est dégradée si la vitesse de vent est importante
- En cas d'utilisation des eaux salée, il y'aura danger pour le feuillage

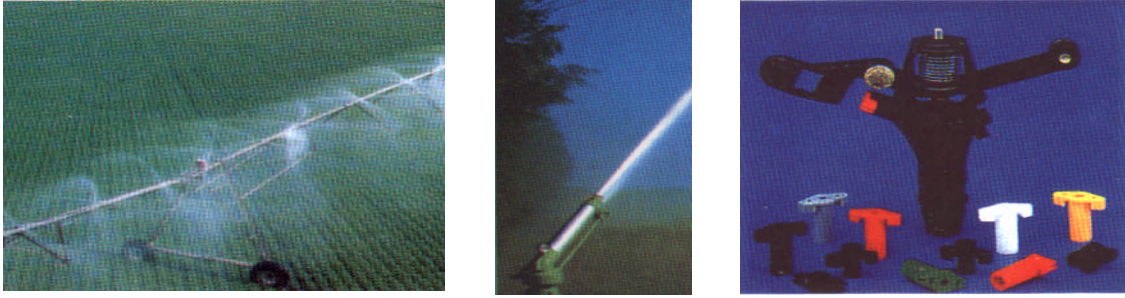


Figure VI-01: Irrigation par Aspersion

VI.1.3- l'irrigation localisée :

L'eau provient aux cultures au moyen de tuyaux muni de goûteurs et s'écoule par ceux ci sous forme de gouttes avec un faible débit .

a) les Avantages :

- Meilleur développement des cultures du a l'humidification permanent de la couche active de sol
- Economie d'eau et main d'œuvres (système fixe)
- Réduction des mauvaises herbes
- Réduction de l'évaporation
- Economie d'engrais
- Facile à automatisé

b) Les inconvénients :

- Coût très élevé du matériel
- Risque d'obstruction des goutteurs
- Nécessité d'une main d'œuvres spécialisés
- Apte seulement pour les cultures par rangée



Figure VI-02 : Irrigation localisée par Distributeur

VI.2- L'obstruction des goutteurs :

VI.2.1- Colmatage physique :

Il est dû à l'introduction dans le réseau de grosses particules. Il faut un système de filtration très efficace en tête de ligne.

VI.2.2- Colmatage biologique :

Il est dû au développement d'algues et de bactéries dans les canalisations. L'adjonction période d'antiseptique (Ex: eau de javel) à l'eau d'irrigation peut se révéler indispensable.

VI.2.3- Colmatage chimique :

C'est le plus difficile à combattre, certaines eaux (souvent alcalins) précipitent des sels insolubles surtout des sels de calcium et de fer qui peuvent former des dépôts bruns dans les goutteurs, et les obstruer, et aussi des gels dans les filtres.

L'entartrage (l'adjonction d'héxamétaphosphate ou d'acide nitrique dilué) donne en général, assez bons résultats.

D'autre part les engrais solubles employés sans discernement peuvent être également la cause du colmatage par précipitation, le meilleur moyen de prévenir ces obstructions des goutteurs est une filtration soignée de l'eau. (JEAN ROBERT TIERCELIN, 1998)

VI.2.4- Accumulation des sels :

Les eaux d'irrigation contiennent toujours plus ou moins de sels dissous, les plantes prennent l'eau et la majorité des sels restent dans le sol.

Pendant la période d'irrigation les sels sont refoulés peu à peu à la périphérie du bulbe humide, plus spécialement près de la surface du sol, une pluie légère risque alors de les entraîner vers les racines.

Certes, on peut lutter contre l'accumulation des sels en apportant un excès d'eau par rapport à la consommation de la plante: on lessive ainsi une grande partie des sels et on les déplacent en dessous de la zone racinaire, mais le procédé le plus efficace, surtout dans les régions où la pluviométrie naturelle est trop faible, pour assurer un lessivage suffisant, et de pratiquer des arrosages complémentaires selon une méthode classique (aspersion, ruissellement). (JEAN ROBERT TIERCELIN, 1998)

VI.3- Choix des techniques d'arrosage 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 disponible).
- la nature des cultures.
- la nature du sol (perméabilité).
- les facteurs socioculturels.
- les facteurs économiques.
- la rentabilité de l'opération.

A cause de la variété des conditions naturelles (pente, vent, perméabilité des sols) ainsi la quantité limitée des eaux, la technique d'irrigation localisée (micro- irrigation ou goutte à goutte) est la mieux adaptée à la zone d'étude.

VI.4- Champ d'application de la micro irrigation :

Le goutte à goutte est maintenant couramment utilisée pour les cultures suivantes :

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

(KULKER, 1988)

VI.5- Description d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte :

Chaque parcelle doit être équipée d'un réseau composé d'une unité de tête qui est l'élément essentiel de tout réseau d'irrigation localisée.

L'installation de tête a pour but de fournir de l'eau propre, éventuellement enrichie et traitée chimiquement, sous une pression régulée, et de la distribuer successivement vers tous les secteurs à irriguer.

L'unité est mise en tête du bassin d'accumulation destiné au stockage, l'unité de tête comporte les appareils suivants :

- Groupe de pompage ;
- Vanne ;
- Filtre à sable ;
- Débit mètre : pour contrôler le débit et le régler en fonction du bassin.
- Régulateur de pression : pour régler la pression

- en tête du réseau, et injecter d'engrais ;
- Porte- rampes d'arrosage ;
- Conduites principales enterrées ;
- Rampe menue des goutteurs d'un écartement fixe selon le mode de plantation des cultures.

(BULLETIN DE FAO N°36,1983)

VI.5.1- Groupe de pompage :

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

- Une pompe électrique dont les caractéristiques sont : HMT, PW, débit ...etc.).
- Un groupe motopompe

VI.5.2-Filtre à sable :

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

VI.5.3- Filtre a tamis :

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

NB : notons que chaque filtre doit être muni de manomètres à l'amont et à l'aval de façon à pouvoir jugé du moment où il doit être nettoyé, lequel correspond à une perte de charge jugée maximale pour sa traversée.

Le poste de filtration est installé au niveau de l'installation de tête du réseau d'irrigation.

(MICHEL DUCROCQ ,1982)

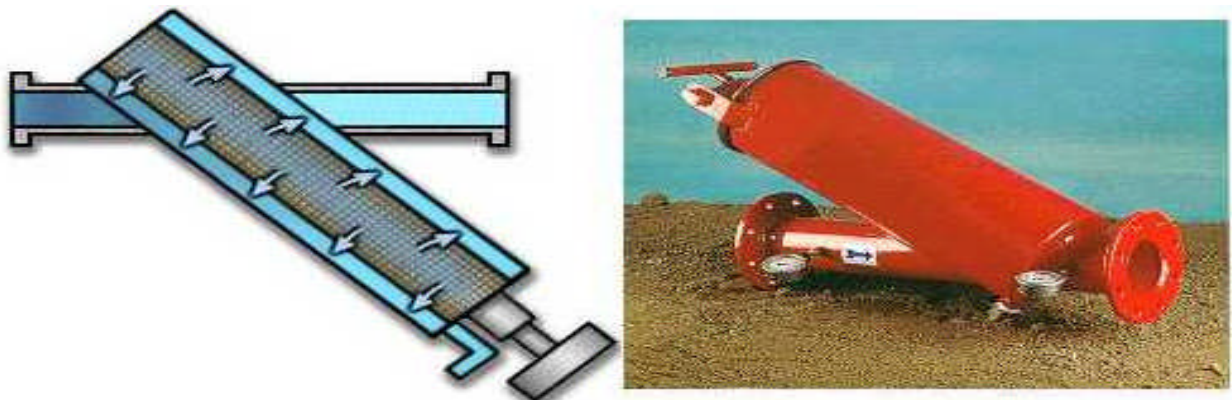


Figure VI-03 : Filtre à tamis

VI.5.4- Régulateur de pression :

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

VI.5.5- 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 quatre goutteurs par arbre d'un débit égal à 4 l/h pour chacun.

VI.5.6- Les distributeurs :

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

Les distributeurs apportent l'eau au niveau du sol :

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

VI.5.7-Les conduites :

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

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

Parmi eux, le PEBD et le PEHD sont de beaucoup les plus utilisés en irrigation localisée.

En raison de sa plus grande résistance à la pression, le PVC est le plus économique dans les gros diamètres, alors que les PE (moins résistants) sont surtout utilisés en petits diamètres, pour les rampes et parfois les porte- rampes. (BULLETTIN DE FAO N°36,1983)

VI.5.7.1-Les rampes :

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

Les diamètres intérieurs vont de 05 à 25 mm, mais les plus courants sont 10, 12, 5 et 16 mm. L'épaisseur de parois est de 03 ou 04 mm suivant la pression (la pression de l'eau dans le tuyau réduit le risque de « craquage », mais il faut faire attention pendant la pause car il est très facile d'endommager les tuyaux lors de leur déroulement).

Chapitre VI : Dimensionnement

Les craquelures des tuyaux PE constituer de plusieurs fentes longitudinales peuvent être un problème lorsqu'on utilise les raccords cannelés extérieurement, c'est le cas des distributeurs en ligne lorsque le diamètre extérieur de la cannelure du distributeur est trop grand par rapport au diamètre du tuyau utilisé pour constituer la rampe. (BULLETIN DE FAO N°36,1983)

Elles s'étendent sur toute la largeur de la parcelle et elles alimentent les postes d'arrosage avec des dimensions variables selon le poste, l'espacement des rampes est de 9m.

VI.5.7.2- Les porte- rampes :

Les porte- rampes sont en PE ou en PVC, de 20 à 80 mm de diamètre, la majorité entre 20 et 50 mm de diamètre intérieur, le choix du diamètre dépend en partie du calcul hydraulique en partie du type de raccordement aux rampes parfois le porte-rampe sera d'un diamètre supérieur au diamètre nécessaire du point de vue hydraulique surtout si la rampe pénètre simplement par pression dans un trou réalisé dans la paroi du porte-rampe. (BULLETIN DE FAO N°36,1983)

VI.5.7.3- Les conduites principales :

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

Dans les petits réseaux on peut utiliser des tuyaux PE mais il est plus fréquent de les faire en PVC. (BULLETIN DE FAO N°36,1983)

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.

Compte tenu des caractéristiques du sol à savoir une texture plutôt sableuse et une bonne perméabilité du sol et le type de culture (palmiers en ligne), la micro irrigation semble convenir parfaitement à notre exploitation, sans compter l'économie quelle peut engendrer.

VI.6- Données générales :

VI.6.1- Cultures:

Le palmier

Espacement entre arbre 9m

Espacement entre arbres rang 9m

Surface totale a irriguée S (t)= 30 ha

VI.6.2- Caractéristique de goutteur :

Débit nominal 4 l/h

Pression nominale 10 mce

Espacement des goutteurs 1m

VI.6.3- Caractéristiques des conditions climatiques :

$$\text{Besoins en eau journaliers} = \frac{\text{Besoins du mois de pointe}}{\text{Nbre de jours du mois}} \quad (23)$$

$$B_j = \frac{246,35}{31} = 7,9 \text{ mm /j}$$

VI.6.4- Caractéristiques des conditions de travail :

Une irrigation journalière. Temps maximum journaliers de travail ; 18h/24h

VI.7- Besoins journalier pour l'irrigation localisée :

$$B_{jloc} = B_j \cdot K_r \quad (24)$$

Avec :

K_r : coefficient de réduction

D'après Freeman et Garzoli $K_r = C_s + 0,5 \cdot (1 - C_s)$

C_s : taux de couverture de sol (%)=60%

$K_r = 0,6 + 0,5(1-0,6)$ donc $K_r = 0,8$

Donc : $B_{jloc} = 7,9 \cdot 0,8 = 6,32 \text{ mm/j}$

VI.8-Projection du réseau d'irrigation localisée :

VI.8.1.1-La dose pratique =dose nette maximale :

$$D_p = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Y \cdot Z \cdot P\% \quad (25)$$

Tel que :

H_{cc} : humidité à la capacité au champ

H_{pf} : humidité au point de flétrissement

Y : degré d'extraction de l'eau du sol

Z : profondeur d'enracinement

P : volume de sol humidifié.

Avec :

$$P = \frac{n \cdot S_{pd} \cdot S_h}{S_a \cdot S_r}$$

n : Nombre de point de distribution par arbre.

S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre

S_h : Largeur de la bande humidifiée

S_r : Ecartement entre rangs d'arbre

S_a : Espacement des arbres sur les rangs

Donc d'après l'ingénieur de l'eau et de sol (Andre Mermoud et Musy) dans la région saharien

$P = 40\%$. et d'après l'annexe N°03 ; $RFU = 90 \text{ mm}$.

Donc : $D_p = 90 \cdot 0,4 = 36 \text{ mm}$

VI.8.1.2-La dose nette pratique réelle :

$$D_{r,net} = 90\% D_p \quad (26)$$

$$= 0,9 \cdot 36 = 32,4 \text{ mm}$$

VI.8.1.3-dose brute :

$$D_p = \frac{D_r \cdot \text{net}}{C_u \cdot \text{Eff}} \quad (27)$$

$$= \frac{32,4}{0,95 \cdot 0,9} = 37,89 \text{ mm}$$

Cu : coefficient d'informité

Eff : Efficience en irrigation localisée, rendement de système en suppose= 0.9

VI.8.1.4-Fréquence d'arrosage :

$$Fr = \frac{D_{r,net}}{B_{Jloc}} \quad (28)$$

$$= \frac{32,4}{6,32} = 5 \text{ j}$$

Donc on doit irriguer tous les 5 jours (6irrig/mois)

VI.8.1.5-Dose fictive à apportée :

$$p(g) = \frac{q(g) \cdot 2}{S_r \cdot S_{pd}} \quad (29)$$

Avec :

q (g) : Débit de goutteur, q (g) = 4 l/h.

Sr : Espacement entre les rangs, Sr = 9 m.

Spd : Espacement entre les goutteurs, Spd= 1m.

AN :

$$p(g) = \frac{4 \cdot 2}{9 \cdot 1} = 0,9 \text{ mm/h}$$

VI.8.1.6-durée d'arrosage :

$$t = \frac{D_{brute} \times S_{pd} \times S_r}{n \cdot q} \quad (30)$$

$$= \frac{37,89 \times 1 \times 9}{4 \cdot 4} = 21,31 \text{ heures}$$

q:débit d'un goutteur

n : nombre de goutteur

VI.8.1.7-durée d'arrosage journalier :

$$D_j = \frac{\text{durée d'arrosage}}{\text{fréquence d'arrosage}} \quad (31)$$

Dj= 4 heures/jours

Chapitre VI : Dimensionnement

VI.8.1.8-nombre de poste :

$$N(p) = \frac{Fr.t}{Dj} \quad (32)$$

$$= \frac{5.21,31}{4} = 27 \text{ postes}$$

VI.8.1.9-Surface d'un poste :

$$S(p) = \frac{S(t)}{N(p)} \quad (33) \quad S(f) : \text{Surface totale en ha.}$$

$$= \frac{30}{27} = 1,11 \text{ ha} \quad N(p) : \text{Nombre de poste.}$$

VI.8.1.10-Surface correspondant à une rampe :

Al = longueur de la rampe × espacement entre les rampes

$$Al = 92,5 \times 9 = 832,5 \text{ m}^2$$

VI.8.1.11-Nombre de rampes par postes :

$$N(r) = \frac{S(p)}{Al} \quad (34)$$

Avec :

S (p) : Surface du poste en m².

Al : Surface correspondant à une rampe en m².

AN :

$$N(r) = \frac{11100}{832,5} = 14$$

VI.8.1.12-nombre de goutteur par rampe :

$$Ng = \frac{Lr}{Sr} \quad (35) \quad Lr : \text{longueur de la rampe}$$

Sr : espacement entre arbre

$$AN : Ng = \frac{92,5}{9} \cdot 4 = 40 \leftrightarrow Ng = 40 \text{ goutteurs / rampe}$$

Les paramètres calculés sont reportés dans le tableau VI-01.

Tableau VI-01 : calculs des paramètres pour les Palmiers.

Paramètres calculés	Ng	Dj h/jour	N (p)	S (p) ha	Al m ²	N(r)	P(g) mm/h
Palmier ²²²	40	4	27	1,11	832,5	14	0,9

VI.8.2-Calcul hydraulique :

VI.8.2.1-Débit d'une rampe :

$$Qr = QgNg \quad (36)$$

Qg : Débit de goutteur

$$Qr = 4 \cdot 40 = 160 \text{ l/h}$$

Ng : Nombre des goutteurs par rampe

VI.8.2.2-débit de porte rampe :

$$Q_{pr}=Q_r. N_r$$

$$=160.14=2240 \text{ l/h}$$

VI.8.2.3-pert de charge :

•type de goutteur:

$$q = K \times H^x \quad (37)$$

x : dépende de type de goutteur=0.5

•Règle de CHRISTIAHSEN

D'après cette règle: $\Delta q / q = 10\%$ ou $\frac{\Delta H}{H} = 0.2$

Pression minimale $H=10\text{mce}=1\text{bar}$

$$\frac{\Delta q}{q} = x \times \frac{\Delta H}{H_n} \leftrightarrow \Delta H = \frac{\Delta q}{q} \cdot H / x$$

$$\leftrightarrow \Delta H = 10\% \cdot \frac{10}{0.5} = 2\text{m}$$

Alor pour satisfaire la condition ($\frac{\Delta q}{q} \leq 10\%$) il faut que $\Delta H=2\text{m}$ c'est-à-dire la perte de charge

admissible $\Delta H=2\text{m}$

-le perte de charge singulière $h_s = 10\% \Delta H \leftrightarrow h_s = 0.2$

-perte de charge linéaire $h_L = \Delta H - h_s = 2 - 0.2 \rightarrow h_L = 1.8\text{mce}$

- La répartition de la perte de charge est :

1/3 sur la porte rampe

2/3 sur les rampes

VI.8.2.4-dimensionnement des différents segments du réseau :

1) Diamètre des rampes :

$$\dot{O}_{mm} = (2,75 \cdot P_{dcr} / 0,478 \cdot L_r \cdot Q^{1,75})^{-1/4,75} \quad (38)$$

P_{dcr} : perte de charge dans la rampe = $\frac{2}{3} \times 1.8 = 1.2\text{mce}$

L_r : longueur de la rampe

Q : débit de rampe

$$\text{AN : } \dot{O}_{mm} = (2,75 \cdot 1,2 / 0,478 \cdot 92,5 \cdot 160^{1,75})^{-1/4,75} \\ = 12\text{mm}$$

$$\dot{O}_N = 16\text{mm (PEHD)}$$

*verification:

$$P_{dc} = \frac{0,478}{2,75} \cdot L_r \cdot Q^{1,75} \cdot \dot{O}_N^{-4,75}$$

Chapitre VI : Dimensionnement

$=0.22 < 1.2 \rightarrow$ vérifiée

Donc : $\hat{O}_N = 16\text{mm}$

Tableau VI-02 : calcul de D_{cal} de la rampe.

Cultures	L r(m)	Ng	Qr(l/h)	h ₁ (m)	D _{cal} (mm)	D _n (mm)	Pdc(m)
palmier	92,5	40	160	1.2	12	16	0.22

2) diamètres des portes rampes :

$$\hat{O}_{mm} = (2,75 \cdot P_{dcp} / 0,478 \cdot L_{pr} \cdot Q^{1,75})^{-1/4,75}$$

$$P_{dcp} : \text{perte de charge dans la rampe} = \frac{1}{3} \times 1.8 = 0.6\text{mce}$$

L_{pr} : longueur de la porte rampe

Q : débit de la porte rampe

$$\text{AN : } \hat{O}_{mm} = (2,75 \cdot 0,6 / 0,478 \cdot 120 \cdot 2240^{1,75})^{-1/4,75} \\ = 36\text{mm}$$

$$\hat{O}_N = 40\text{mm (PEHD)}$$

Verification:

$$P_{dc} = \frac{0.478}{2.75} \cdot L_{pr} \cdot Q^{1,75} \cdot \hat{O}_N^{-4,75}$$

$$= 0.37 < 1.2 \rightarrow \text{vérifiée}$$

Donc : $\hat{O}_N = 40\text{mm}$

Tableau VI-03 : calcul de D_{cal} de la porte rampe.

Cultures	Lpr(m)	Npr	Qr(l/h)	Qpr (l/h)	h ₁ (m)	D _{cal} (mm)	D _n (mm)	Pdc(m)
Palmier	120	27	160	2240	0.6	36	40	0.37

VI.8.2.5-Calcul de la canalisation principale :

Le choix du diamètre de la conduite est effectué de façon à ce que la vitesse d'écoulement dans la canalisation soit admissible $v=1.5\text{m/s}$, 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.

Avec $Q_{\text{poste}} = 0,62\text{l/s}$

Pour 27 postes on a $Q = 16,8\text{ l/s}$

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{16,8 \cdot 10^{-3}}{1.5} = 0,0112\text{m}^2$$

$$D_{cal} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot S}{\pi}\right)} = 119,46\text{mm} \quad \text{On prend } D_n = 125\text{mm}$$

VI.9-Capacité du bassin d'irrigation :

L'irrigation journalière théorique est de 4 heures, donc l'agriculteur aura besoin d'un volume de :

$$V = 16,8. 4.3600 = 241,92 \text{ m}^3$$

VI.9.1 -Dimensionnement du bassin d'irrigation :

Le bassin devra assurer au minimum un stockage des eaux pour une durée de 2 jours pour les raisons suivantes :

-il n'y a pas de pire catastrophe pour un périmètre irrigué que l'interruption de l'approvisionnement en eau, une réserve de sécurité est indispensable ;

-le stockage permet d'amélioration de la qualité de l'eau.

Sa capacité sera de ;

$$V = 241,92.2 = 483,84 \text{ m}^3$$

On prend un volume de : $V = 500 \text{ m}^3$

Donc les dimensions du bassin

$$L = 14 \text{ m}$$

$$B = 14,5 \text{ m}$$

$$H = 2,5 \text{ m}$$

Avec :

L : longueur du bassin

B : largeur du bassin

H : hauteur du bassin

VI.10-Adduction :

L'adduction est le transport d'eau à partir d'une source d'alimentation vers les réservoirs de stockage ou directement vers le réseau de distribution ; se fait à l'aide de canalisations soit par pompage ou gravitairement, En général elle ne comporte aucun piquage.

VI.10.1 -Types d'adduction :

D'après leur fonctionnement, les adductions peuvent être classées en trois groupes :

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

VI.10.1.1 -Adduction gravitaire :

C'est une adduction où l'écoulement se fait gravitairement.

On rencontre ce type d'adduction dans le cas où la source se situe à une côte supérieure à la côte piezométrique de l'ouvrage d'arrivée.

VI.10.1.2 -Adduction par refoulement :

C'est une adduction où l'écoulement se fait sous pression à l'aide des machines hydro-électriques.

On rencontre ce type d'adduction dans le cas où la source se situe à une côte inférieure à la côte piezométrique de l'ouvrage d'arrivée.

VI.10.1.3 -Adduction mixte :

C'est une adduction où la conduite par refoulement se transforme en conduite gravitaire ou l'inverse.

Le relais entre les deux types de conduite est assuré par un réservoir.

Dans le cas de notre étude, l'adduction à projeter est une adduction gravitaire.

VI.10.2 -Adduction et types d'écoulement :

On distingue deux types d'écoulement :

VI.10.2.1 -Ecoulement à surface libre :

L'écoulement à surface libre est un écoulement qu'on rencontre dans le cas des adductions gravitaires sans charge tels que les canaux à ciel ouvert et les aqueducs fermés. Ce type d'écoulement est conditionné par la pente.

VI.10.2.2-Ecoulement en charge :

L'écoulement en charge est un écoulement qu'on rencontre dans le cas des adductions ou des réseaux gravitaires sous pression et des adductions par refoulement.

VI.10.3-Choix du tracé :

Le choix du tracé de la conduite d'adduction doit tenir compte de certains impératifs que l'on se forcera dans la mesure du possible de respecter :

1. le tracé doit être le plus court possible entre les ouvrages ;
2. Des ventouses doivent être prévues au point haut pour évacuer l'air qui s'y accumule, dans un souci économique et technique, on doit donc éviter le plus possible les contres pentes.
3. Il serait préférable de suivre l'accotement des routes, pour faciliter les travaux ainsi que l'acheminement du matériau.

VI.10.4-Choix du matériau :

Le choix du matériau se fait en fonction :

- Du diamètre
- Des pressions exigées
- Des conditions d'installation
- Du revêtement
- De la disponibilité sur le marché national
- Du prix unitaire de pose de l'adduction

Chapitre VI : Dimensionnement

Dans notre projet, nous avons opté pour les conduites en PEHD en raison des avantages qu'ils présentent :

- Disponibilité sur le marché (production locale)
- Résistance à de grandes pressions
- Facile à poser (grande flexibilité) et possibilité d'enroulement en couronnes pour les petits diamètres.
- Permet de faibles rayons de courbures aux réseaux.
- Longue durée de vie prouvée par l'expérience et les tests de vieillissement (durée de vie 50 ans à 20°C).
- Bonnes caractéristiques hydrauliques (coefficient de rugosité très fiable)
- Résiste à la corrosion interne, externe et micro biologique.
- Se raccorde facilement à d'autres réseaux (fonte, acier).
- Insensible aux mouvements de terrain (tremblement de terre).

VI.10.5-Etude des variantes :

L'étude des variantes a pour objet le choix du tracé le plus économique possible de la conduite ainsi que le choix de l'emplacement adéquat de station de pompage.

Le principe de cette variante, l'adduction comportera une partie gravitaire partant de la STEP de Touggourt jusqu'au bassin qu'il est implanté à la côte 59,87NGA.

VI.10.6-Dimensionnement de l'adduction gravitaire :

VI.10.6.1 -Détermination du diamètre de la conduite gravitaire :

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de Darcy-Weisbach :

$$\Delta H_t = \frac{K' * L * Q^\beta}{D_{av}^m} \quad (39)$$

ΔH_t : Perte de charge totale (m);

K' : Coefficient de frottement ;

L : Longueur de la conduite (m) ;

Q : Débit véhiculé par la conduite (m³/s) ;

D_{av} : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;

β : 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 β sont donnés dans le tableau VI-04

Chapitre VI : Dimensionnement

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D'après la formule (39) \quad D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L * Q^\beta}{\Delta H_t}} \quad (40)$$

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

$Q = 45 \text{ l/s}$; $L = 273,55 \text{ m}$; $\Delta H_t = 0,3 \text{ m}$

Donc ; $D_{av} = 270 \text{ mm}$

$250 \text{ mm} < D_{av} < 300 \text{ mm}$

On va prendre les 2 diamètres et on calcule les longueurs ;

$$\Delta H_t = K' \cdot Q^\beta \left(\frac{L-x}{D_2^m} + \frac{x}{D_1^m} \right)$$

$D_1 = 250 \text{ mm}$; $D_2 = 300 \text{ mm}$

Donc ; pour $D_2 = 300 \text{ mm}$ $x_1 = 128 \text{ m}$; et pour $D_1 = 250 \text{ mm}$ $x_2 = 146 \text{ m}$

VI.10.7-Détermination de Hmt de la pompe qui refoule dans la conduite principale:

$$H_{mt} = H_g + \Delta H_t + 10 \quad (41)$$

Avec :

Hmt : Hauteur manométrique totale (m) ;

Hg : Hauteur géométrique = 4,3m ;

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

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta h_p^{lin}$$

Δh_p^{lin} : Perte de charge linéaire (m).

On a: $Q = 16,8 \text{ l/s}$; $L = 1052 \text{ m}$; $D_{av} = 125 \text{ mm}$

D'après (VI-1) $\Delta h_p^{lin} = 6,37 \text{ m}$; $\Delta H_t = 7,33 \text{ m}$

$H_{mt} = 21,63 \text{ m}$.

D'après le logiciel de CAPRARI; on trouve en fonction de (Q, HMT), une pompe de type (MEC-AZ1/50B) ; (voir l'annexe N°04).

Chapitre VI : Dimensionnement

Tableau VI-04: Les caractéristiques de la pompe.

N°	Q(l/s)	Pompe choisi	η (%)	N (t/min)	P (kw)	NPSHr(m)	H(m)
01	16,8	MEC-AZ1/50B	73,6	2950	5,07	4,96	21,6

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

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

VI.10.8-Dispositif anti-bélier :

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

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

Le démarrage d'une pompe crée une onde de surpression qui se propage dans la canalisation de refoulement. En général, cette surpression est moins dangereuse que celle créée par l'arrêt des pompes, et c'est d'autant plus qu'il est facile d'imposer, par un jeu de relais chronométrique, un échelonnement dans le démarrage des pompes, alors que, quel que soient les précautions prises, une disjonction électrique entraîne l'arrêt brutal et simultané de toutes les pompes.

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

VI.10.9 -Appareillage d'équipement du réseau :

VI.10.9.1 -Vannes :

Elles sont nécessaires pour l'exploitation des réseaux, puisque permettent d'en isoler une partie pour l'intervention sans arrêter totalement l'irrigation.

Les vannes de section sont installées automatiquement au départ de toutes les branches et des sous branches.

Chapitre VI : Dimensionnement

VI.10.9.2 -Vanne de sectionnement :

Les vannes de sectionnement sont utilisées dans le réseau d'irrigation pour isoler les appareils placés en dérivation sur le réseau sur lesquelles il sera possible d'intervenir pour réparation ou réalisation d'un piquage.

Assurer une rotation entre les deux secteurs, en cas où la STEP ne produit plus le débit nécessaire au périmètre.

VI.10.9.3-Ventouses :

Les ventouses sont placées aux points hauts des adductions.

VI.10.9.4-Vidange :

Les vidanges sont placées au niveau des points bas pour permettre l'évacuation gravitaire de l'eau.

VI.10.9.5-Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air :

Ces ouvrages sont utilisés pour une entrée d'air aux points hauts pour éviter une mise en dépression des conduites : du fait d'une ligne piézométrique très proche du profil du terrain naturel. Ces ouvrages remplacent les ventouses qui ne peuvent pas fonctionner correctement sous très basse pression. La hauteur des cheminées est calculée par rapport aux plus hautes eaux dans le réservoir plus 50cm.

VI.10.9.6-Clapet de non retour :

Les clapets de non retour sont utilisés pour éviter un retour d'écoulements, ces appareillages sont disposés dans des chambres de vannes.

Conclusion :

- Dans ce chapitre on a fait la description sur les caractéristiques générales du réseau, et puis on a déterminé les débits, les diamètres et les pertes de charge qui nous assurent l'écoulement dans ces conduites à des diamètres normalisés.
- L'étude technico-économique de l'adduction nous a permis de choisir la variante la plus avantageuse, ainsi que le calcul des diamètres adéquats pour le tronçon qu'à savoir deux diamètres (300 et 250 mm).

CHAPITRE VII

Aspect économique

Chapitre VII : Aspect économique

Introduction :

L'étude du devis estimatif nous permet d'avoir une idée sur le coût de réalisation de notre projet, ce calcul consiste à déterminer les quantités de toutes les opérations effectuées sur le terrain, on multiplie le volume des travaux par le prix unitaire les frais d'équipement.

Pour notre projet on a les travaux suivants :

- Réseau d'irrigation.
- Bassin d'accumulation.
- Station de pompage.
- Conduite d'adduction.

VII.1-Devis du réseau d'irrigation au goutte à goutte :

VII.1.2-Dépenses des équipements :

Les prix unitaires des pièces et accessoires sont mentionnés dans le tableau suivant:

Tableau VII-01:Facture des pièces de réseau d'irrigation localisée.

Pièces	Prix unitaire (DA)	Unité de mesure	Quantité	Total
Tube Ø16 PEHD	29,7	m/l	60120	1785564
Tube Ø 40 PEHD	98,25	m/l	3600	353700
Tube Ø125 PEHD	473,08	m/l	630	308882,7
Bouchon Ø16	46	Un	720	33120
TE Ø125/40	600	Un	18	10800
Filtre	25926	Un	1	25926
Vanne Ø125	13877	Un	18	249786
Colle PVC	858	Un	1	858
Bouchon filtré Ø40	120	Un	18	2160
Bouchon filtré Ø125	200	Un	1	200
Fertiliseur	8500	Un	1	8500
Bouchon Ø40	200	Un	18	3600
Goutteur réglable	15	Un	15120	226800
Total				3009896,7

Chapitre VII : Aspect économique

Tableau VII-02 : Facture des pièces d'adduction, pompage et le bassin.

Pièces	Prix unitaire (DA)	Unité de mesure	Quantité	Total
Tube Ø250 PEHD	1163	Un	146	169798
Tube Ø300 PEHD	1950	Un	128	249600
Pompe	400000	Un	1	400000
Bassin	250000	Un	1	250000
Total				1069398

VII.1.3-Dépenses des travaux :

Le prix de terrassement est égal à:

Pour le déblai: $F_{deb} = V_{deb} \cdot K_{deb}$

K_{deb} : prix de 1 m³ de déblai=300 DA

V_{deb} : volume total de déblai

Pour le remblai: $F_{rem} = V_{rem} \cdot K_{rem}$

K_{rem} : prix de 1 m³ de remblai= 100 DA

V_{rem} : volume total de remblai

- **Calcul du volume de déblai et remblai :**

La pose en terre des conduites s'effectue dans un tranché dont la largeur de fond B sera donnée par la formule suivante:

$$B = D + 2 \times 0,3$$

D: diamètre de la conduite (m)

La profondeur de fouille est en fonction du diamètre de la conduite, de la température du lieu (max, min) et les sollicitations des charges mobiles.

$$H \geq D + 0,8$$

$$\text{Déblai} = L \cdot H \cdot B$$

$$\text{Remblai} = \text{déblai} - \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot L$$

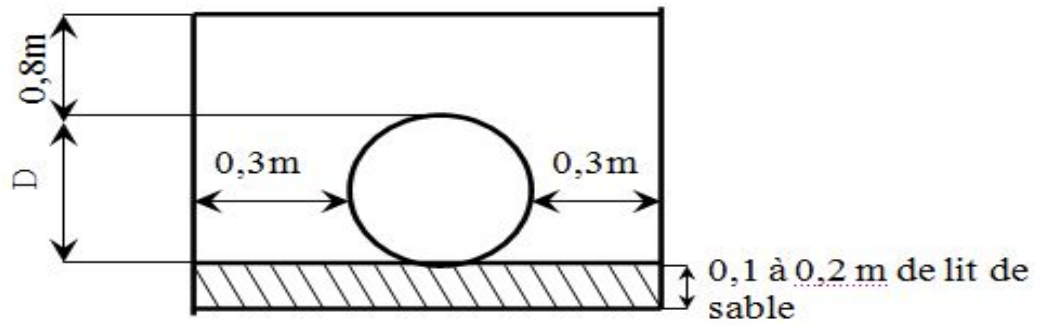


Tableau VII-03: Calcul de terrassement.

Paramètres	Ø (mm)	B (m)	H (m)	L(m)	Déblai (m ³)	Remblai (m ³)
Conduite Principale	125	0,725	0,925	952,68	638,89	627,20
Les porte-rampes	40	0,64	0,84	3240	1741,82	1737,75
Conduite d'adduction	300	0,9	1,1	128	126,72	117,68
	250	0,85	1,05	146	130,3	123,14

Donc pour le déblai : $F_{deb} = 2637,73 \times 300 = 791319 \text{ DA}$

Pour le remblai : $F_{rem} = 2605,77 \times 100 = 260577 \text{ DA}$

Le salaire des ouvriers est égal à 8000DA

Les autres frais 5000 DA

Donc : le total de terrassement est de 1064896 DA

Donc le totale de projet est de 5144190,7DA

N.B

- La référence des prix pour la projection du réseau d'irrigation au goutte à goutte a été fournie par l'office nationale d'irrigation et drainage (O.N.I.D)

Conclusion :

On constate que le coût de la projection du réseau d'irrigation localisée est élevé, comme c'était déjà cité cette élévation de coût est due aux équipements très chers.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est de caractériser au mieux les eaux usées de la station d'épuration de Touggourt en vue d'une utilisation sans risque sur le périmètre de Ben Yassoued .Un réseau d'irrigation à été conçu avec un dimensionnement adapté au type de culture et de débit disponible.

Les résultats analytiques ont montré que les eaux usées de la STEP de Touggourt sont d'une bonne qualité lui permettant facilement d'être utilisées dans le domaine agricole (irrigation)

Parmi les recommandations proposées avant de généraliser cette pratique, il est important que les techniques de réutilisation des eaux usées épurées soient bien maîtrises pour cela, il serait nécessaire:

- Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées;
- Un traitement adapté aux conditions locales;
- Une meilleure connaissance des impacts sanitaires et écologiques de la réutilisation.

De plus cette option devra être appuyée par des campagnes d'exploitation et de sensibilisation auprès des utilisateurs.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- ❖ Baumont .S Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île de-France. E.N.S.A.T. 2004 p (26-28)
- ❖ BULLETIN DE FAO N°36 :l'irrigation localisée, calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement, FAO. Rome .1983
- ❖ Degrémont.- Mémonto technique de l'eau: T. 1.- 10^e ed.- Paris : Degrémont, 2005.- p (78-80)
- ❖ Gaid, Abdelkader.- Epuration biologique des eaux usées urbaine: T.1.- Alger: OPU, 1987. p (83-91)
- ❖ Gaid, Abdelkader.- Epuration biologique des eaux usées urbaine: T.2.- Alger: OPU, 1987. P (75-86)
- ❖ INRA : Institution Nationale de Recherche Agricole, de Touggourt. 2012
- ❖ J.P.Becharc, P.Boutin, B.Mercier... [et.al.].- traitement des eaux usées.- 2^e. ed.- Paris: Eyrolles, 1987.- p (28-30)
- ❖ KULKER: La maîtrise de l'irrigation sous pression, aspersion et goutte à goutte. Edition NATHAN. Paris 1988 p (61-62)
- ❖ MICHEL DUCROCQ : Les bases de l'irrigation, technique et documentation, Lavoisier, Paris. Editions scientifiques universitaires. Liban. 1982
- ❖ Monchy,H. -mémonto d'assainissement :mise en service, entretien et exploitation des ouvrages d'assainissement.- 2^e ed.- Paris : Eyrolles, 1974.- p(25- 32)
- ❖ M.R.E. - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées, D.A.P.E. 2007
- ❖ Station d'épuration de Touggourt. 2012
- ❖ TIERCELIN J.R –Alain Vidal- Traité d'irrigation, 2e édition France 2006. P (489-512)
- ❖ W.W. Eckenfelder. - Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : caractérisation-techniques d'épuration- Aspects économiques.-Paris : technique et documentation, Lavoisier, 1982. p (50-62)

ANNEXES

ANNEXE N° 01

Tableau-01 : Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm (1990 - 2010)

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décemb
1990	60,2	0	6,8	17	29,4	0	0	13,4	0	1	1	19,6
1991	0	3,1	17,5	0,2	9	1,8	0	0	3,3	2,4	5,5	0
1992	34,7	0	23,1	18,8	23,7	0	14,4	0	0	0	7,2	10,3
1993	0	22,9	5,1	0	1	0	0	1	1,4	6,8	12,2	4,8
1994	4,6	3,2	10,8	6,3	0	1,1	0,1	0	12,6	10	0	0
1995	2,7	0	0	0	0	0	0	3,2	31,3	0,9	1,9	21,4
1996	42,7	21,2	16,1	0	2,1	0	0	0	4,9	0,3	0	1,2
1997	0	0	0	17,9	1,5	0	0	0	20,5	0,2	10,4	13,7
1998	0	2,9	1,3	5,1	0	7,8	0	0	5,1	19,9	2,6	1,7
1999	39,9	0,5	2,2	0	0,1	0,4	0,2	0	0	0	33,1	0,2
2000	0	0	0,2	0,2	15,1	1,4	0	0	0,1	17,5	0	0,7
2001	41	0	11	1	0	0	0	0	47	0	15	26,2
2002	50	0	0	0	7,2	0	0	21	3,4	6,8	8,4	0
2003	20,8	4,3	13,9	0,2	0	0	0	5	0	12,6	3,4	9,1
2004	60,8	7	17,1	11,9	0	0,8	0	10,8	0,2	25,7	25,8	8,6
2005	0	4,1	0,8	0,2	0	3,3	0	6,2	6,1	3,2	1,7	0,1
2006	38,7	1,1	0	3,2	1,1	0	0,2	2,2	14,5	14,2	2,7	6,6
2007	0	0,3	0,8	41,5	0,2	0	0	21,3	0,5	0,9	0,1	11,5
2008	5,4	1,4	0	0	1,1	2,9	0,5	0,1	5	29,8	3,4	6,1
2009	89,9	0,3	25,2	10,5	5,7	0,1	0	0	23,1	0,4	0	0,5
2010	9,8	1,1	0,3	12,1	2,1	0	0	0	2,4	1,7	1,7	0
MOY	23,87	3,50	7,25	6,96	4,73	0,93	0,73	4,01	8,64	7,35	6,48	6,78

ANNEXE N° 02

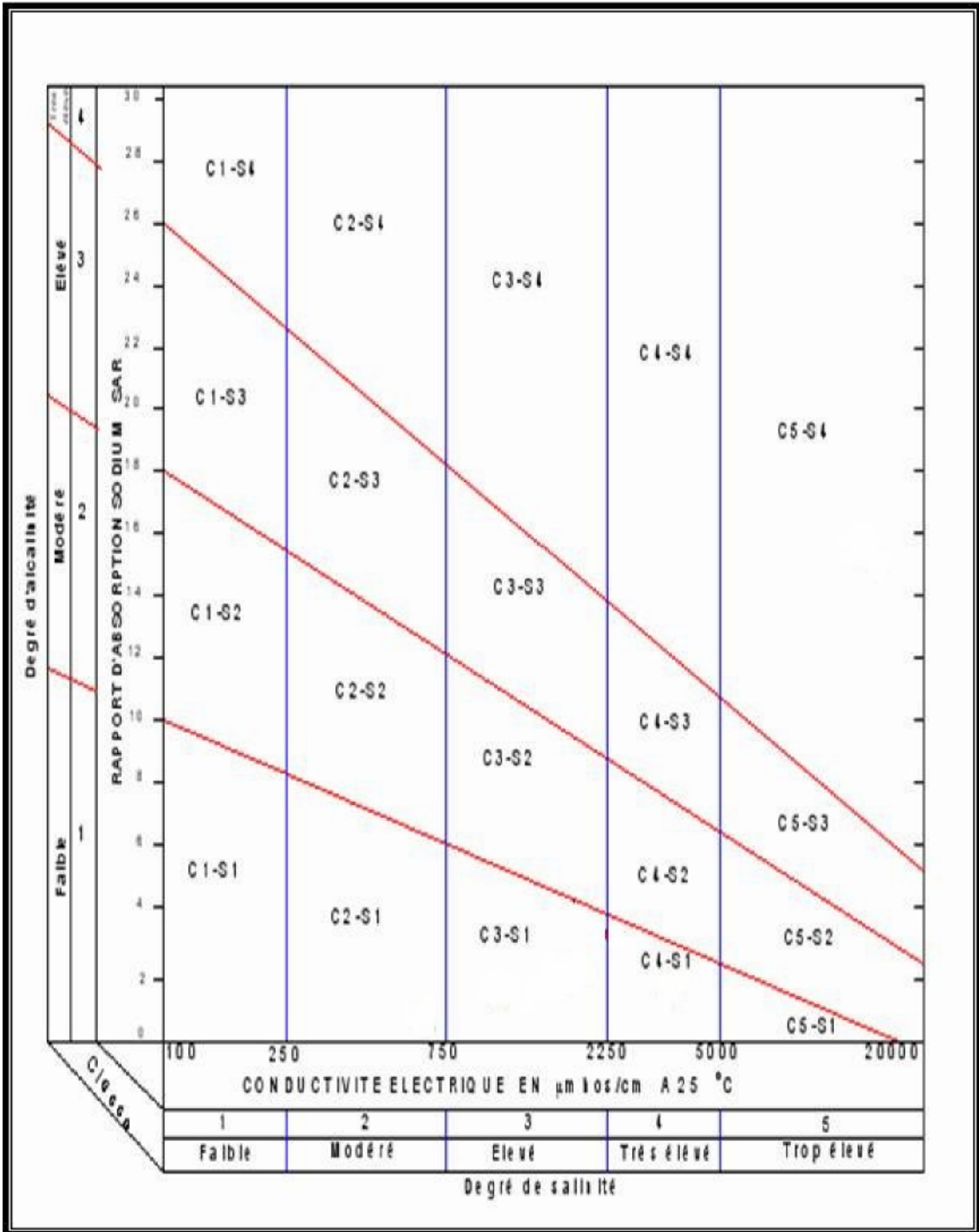


Diagramme de classification des eaux d'irrigation

ANNEXE N° 03.

5. RESERVE D'HUMIDITE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)

DONNEES GENERALES SUR LA PROFONDEUR D'ENRACINEMENT DES CULTURES EN PHASE DE PLEIN DEVELOPPEMENT, FRACTION DE L'EAU UTILISABLE (p) ET RESERVE FACILEMENT UTILISABLE (p.Sa) POUR DIFFERENTS TYPES DE SOLS (en mm/m de profondeur) QUAND $ET_{cult} = 5-6$ mm/jour

Culture	Profondeur d'enracinement (d) m	Fraction (p) de l'eau utilisable ¹	Réserve d'eau facilement utilisable (p.Sa) mm/m ¹		
			T.fin	T.moyenne	T.grossière
Luzerne	1.0-2.0	0.55	110	75	35
Banane	0.5-0.9	0.35	70	50	20
Orge ²	1.0-1.5	0.55	110	75	35
Haricot ²	0.5-0.7	0.45	90	65	30
Betterave	0.6-1.0	0.5	100	70	35
Chou	0.4-0.5	0.45	90	65	30
Carrotte	0.5-1.0	0.35	70	50	20
Céleri	0.3-0.5	0.2	40	25	10
Agrumes	1.2-1.5	0.5	100	70	30
Trèfle	0.6-0.9	0.35	70	50	20
Cacao		0.2	40	30	15
Coton	1.0-1.7	0.65	130	90	40
Concombre	0.7-1.2	0.5	100	70	30
Datte	1.5-2.5	0.5	100	70	30
Fruitiers cadu.	1.0-2.0	0.5	100	70	30
Lin ²	1.0-1.5	0.5	100	70	30
Céréales ²	0.9-1.5	0.6	120	80	40
Céré. d'hiver ²	1.5-2.0	0.6	120	80	40
Vigne	1.0-2.0	0.35	70	50	20
Gazon	0.5-1.5	0.5	100	70	30
Arachide	0.5-1.0	0.4	80	55	25
Laitue	0.3-0.5	0.3	60	40	20
Maïs ²	1.0-1.7	0.6	120	80	40
Maïs-ensilage		0.5	100	70	30
Melon	1.0-1.5	0.35	70	50	25
Olivier	1.2-1.7	0.65	130	95	45
Oignons	0.3-0.5	0.25	50	35	15
Palmier	0.7-1.1	0.65	130	90	40
Pois	0.6-1.0	0.35	70	50	25
Poivron	0.5-1.0	0.25	50	35	15
Ananas	0.3-0.6	0.5	100	65	30
Pomme de terre	0.4-0.6	0.25	50	30	15
Carthame ²	1.0-2.0	0.6	120	80	40
Sisal	0.5-1.0	0.8	155	110	50
Sorgho ²	1.0-2.0	0.55	110	75	35
Soja	0.6-1.3	0.5	100	75	35
Epinard	0.3-0.5	0.2	40	30	15
Fraisier	0.2-0.3	0.15	30	20	10
Betterave suc.	0.7-1.2	0.5	100	70	30
Canne à sucre ²	1.2-2.0	0.65	130	90	40
Tournesol ²	0.8-1.5	0.45	90	60	30
Patate douce	1.0-1.5	0.65	130	90	40
Tabac - init.	0.5-1.0	0.35	70	50	25
tard		0.65	130	90	40
Tomate	0.7-1.5	0.4	180	60	25
Légumes	0.3-0.6	0.2	40	30	15
Blé	1.0-1.5	0.55	105	70	35
maturité		0.9	180	130	55
Volume total d'eau du sol disponible (Sa) (mm/m)			200	140	60

¹ Quand $ET_{cult} < 3$ mm/jour, augmenter les valeurs de 30 % ; quand $ET_{cult} > 8$ mm/jour, réduire les valeurs de 30 %. Ceci suppose des conditions non salines ($CE < 2$ dS/m).

² Des valeurs supérieures à celles indiquées ici sont observées durant la maturation.

Sources: Taylor (1965), Stuart et Hagan (1972), Salter et Goode (1967), Rijtema (1965), etc.

Source: Bulletin FAO d'Irrigation et Drainage N° 24, Tableau 39 (nouvelle version).

MEC-AZ 1/50B

Caractéristiques requises

Débit	16,8 l/s
Hauteur de refoulement	21,6 m
Fluide	Eau, claire
Température	290 K
Type d'installation	Pompe seule
N.be de pompes	1

Caractéristiques de la pompe

Débit	16,8 l/s
Hauteur de refoulement	21,6 m
Puissance absorbée	5,07 kW
Rendement	73,6%
Hauteur manométrique H(Q=0)	27,7 m
Orif. de refoulement	50 mm

Caractéristiques moteur

Fréquence	50 Hz
Tension nominale	400 V
Vitesse nominale	2950 1/min
Nombre de pôles	2
Puissance nominale P2	5,5 kW
Courant nominal	- A
Type de moteur	3~
Classe d'isolation	F
Degré de protection	IP 55

Limites opérationnelles

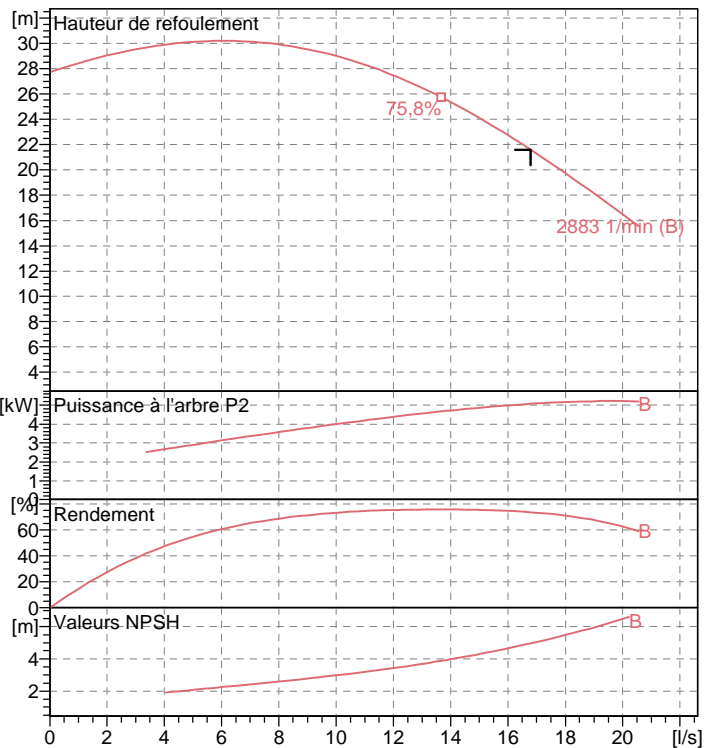
Démarrages / h max.	15
Température maxi. du liquide pompé	363 K
Teneur maximum en matières solides	40 g/m ³
Densité max.	998 kg/m ³
Viscosité maxi.	1 mm ² /s

Caractéristiques générales

Poids	89 kg
-------	-------

Matériaux

Corps de pompe	Fonte
Corps d'aspiration	Fonte
Chaise -palier	Fonte
Roue	Fonte
Roue (04/80)	Fonte sphéroïdale
Arbre (...)	Acier inox
Douille arbre	Acier cromé
Roulements a billes	Acier
Presse-Etoupe	Fonte
Etoupe	Tresse graphitée



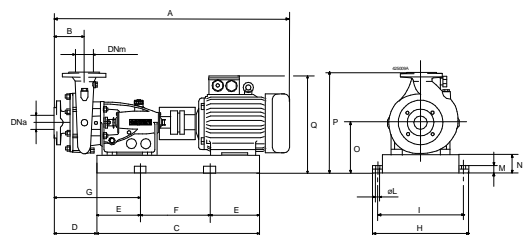
Caractéristiques de fonctionnement

Courbes des performances indicatives

Q [l/s]	H [m]	P [kW]	Rend. [%]	NPSH [m]
16,8	21,6	5,07	73,6	4,96

Dimensions mm

- A = 947
- B = 110
- C = 677
- D = 170
- DNa = 65
- DNm = 50
- E = 100
- F = 477
- G = 270
- H = 380
- I = 340
- L = 16
- M = 38
- N = 65
- O = 197
- P = 372
- Q = 391



Notes:

Date 22.06.2012	Page 1	Offre n°	Pos.N°
---------------------------	------------------	----------	--------