

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'IRRIGATION ET DRAINAGE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Option : Irrigation et drainage

THEME

**Dimensionnement du réseau d'irrigation du périmètre
d'Ain Fedha d'une superficie de 300ha (Wilaya de
Tissemsilt) à partir de la STEP de Tissemsilt**

PRESENTE PAR :
BADJADJ NESRINE

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms	GRADE	Qualité
M ^f AZIB Tarek	M.C.A	Président
M ^f BENKACI Ali	M.C.B	Examineur
M ^{me} MAZOUZI Sabra	M.A.A	Examinatrice
M ^f BOUZIANE Omar	Assistant	Examineur
M ^f YAHIAOUI Samir	M.A.B	Promoteur

Septembre 2016

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime mais surtout :

A mes parents, Rabah et Aziza, qui ont toujours été mes anges gardiens et ont tout fait pour que je sois heureuse dans ma vie, je ne les remercierai jamais assez ;

A mes grands parents que j'aime énormément et qui sont loin : Papy Lkheir – Mamie Djamila – Ima Douja et Djeddi Md Cherif à qui je souhaite un rétablissement rapide.

A mes frères et sœur : Bachir Amazigh ; Nabil Augustin et Maya Nour.

A mes oncles et tantes : Nabil et sa femme Linda ; Sofiane et sa femme Sabah ; Arzeki et sa femme Lilouche ; Khalida ; Latifa ; Jasmine ; Manelle et son mari Rayane ; Saliha et dada zoubir ; Ghania et dada Yazid ; Zahia et dada Smail ; Linda et Larbi et enfin Fatima et dada Elhachemi.

A mon âme-sœur et ma moitié, Chahine, qui m'a toujours soutenu et aidé dans tous mes projets.

A mes amis : Nassim ; Khadidja ; Hayette ; Yacine ; Inji ; Chahd ; Amira ; Nahid ; Fatima ; Bidus ; Ryma ; Yasmine ; Wissem ; Célia ; Sihem ; Fadia, Yosra et Dodo.

A mon promoteur Mr Yahiaoui ;

A tous les enseignants de l'ENSH qui m'ont accompagné durant mes études ;

A toute personne que je connais et que j'ai oublié de citer.

Nesrine BADJADJ

Remerciements

Un mémoire de fin d'étude est une sorte d'ouverture sur la vie active après une longue période d'étude et d'apprentissage.

J'adresse un grand remerciement à toutes les personnes qui ont contribué à ce que mon cursus d'étude se déroule dans de bonnes conditions. Je cite en premier lieu mes chers parents qui m'ont soutenue tout au long de mon parcours.

Je remercie Mr. YAHIAOUI de m'avoir encadré et pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations.

Je remercie aussi tout le corps enseignant et personnel de l'ENSH qui a contribué de près ou de loin à ma formation.

Et je remercie tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail.

Nesrine BADJADJ

Sommaire

Sommaire	Page
Introduction générale.	
Chapitre I : Etude bibliographique sur la réutilisation des eaux usées épurées	
Introduction	1
I.1. Objectif de la réutilisation des eaux usées	1
I.2. Historique de la réutilisation des eaux usées	3
I.3. La réutilisation des eaux usées en agriculture.....	4
I.3.1. Exemple de réutilisation des eaux épurées en agriculture dans le monde.....	4
I.4. L'expérience Algérienne dans le domaine de réutilisation des eaux usées.....	5
I.4.1.Introduction	5
I.4.2.statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	6
I.4.3. Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture	8
I.4.4. Normes actuellement en usage	9
I.5. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux usées épurées.....	11
1.5.1. Risque microbiologique.....	11
I.5.2. Risques chimiques.....	15
1.6. Stockage des eaux épurées.....	20
I.6.1 Recharge de nappes aquifères.....	20
I.6.2 Réservoirs de stabilisation.....	20
I.7. Les bénéfices et les contraintes de la réutilisation des eaux usées.....	20
I.7.1. Bénéfices et avantages de la réutilisation des eaux usées.....	20

I.7.2. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées	22
Conclusion.....	23

Chapitre II : Analyse des conditions naturelles

Introduction.....	24
II.1 Localisation de la zone d'étude.....	24
II.2 Localisation du périmètre irrigué 300 ha à partir de la STEP de TISSEMSILT.....	25
II.3 Etude morphologique de la zone	26
II.4 Etude climatologique.....	27
II.4.1. Pluviométrie.....	28
II.4.2. Température.....	31
II.4.3. Humidité.....	32
II.4.4. Neige	33
II.4.5. Evapotranspiration de la surface de l'eau	33
II.4.6. Vents	35
II.4.7. Autre phénomène climatique	36
II.5. Etude analytique	37
II.5.1 Indice d'aridité de Martonne (1926)	37
II.5.2. Quotient pluviométrique d'Emberger (1955).....	38
II.5.3. Climagramme de Bagnols et Gaussen	39
II.6. Etude géologique	40
II.7. Sismicité de la région.....	41
Conclusion	42

Chapitre III : Analyse des ressources en eau et en sol

Introduction.....	43
-------------------	----

III.1. Présentation de la station d'épuration de Tissemsilt.....	43
III.2. Objectif du traitement	44
III.3. Définition de l'eau à traiter	44
III.4. Les différentes étapes de traitement des eaux.....	44
III.4.1. Réception des eaux	44
III.4.2. Dégrilleurs Gossiers.....	45
III.4.3. Relevage intermédiaire	45
III.4.4. Puits de Pompage	45
III.4.5. Dessaleurs – Déshuileurs	46
III.4.6. Réacteurs biologiques	47
III.4.7. Bassins d'aération.....	47
III.4.8. Agitateur zone anoxique	47
III.4.9. Nitrification – Dénitrification	48
III.4.10. Aérateur zone oxique	49
III.4.11. Epaissement	50
III.4.12. Décanteur secondaire	50
III.4.13. Traitement des boues	51
III.4.14. Déshydratation mécanique	51
III.4.15. Lit de séchage et Dosage de Chlore	52
III.5. Appareils et instruments de mesure au niveau de la STEP	52
III.6. Etude physico-chimique des eaux de la STEP de Tissemsilt.....	54
III.6.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation	54
III.6.2. Classification des eaux d'irrigation.....	55
III.6.3. Classification mondiale de la FAO (g/l)	56
III.6.4. Classification USSL (United States Salinity Laboratory).....	56
III.6.5. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP de Tissemsilt	58

III.6.5.1. Normes de rejets	58
III.6.5.2. Résultats d'analyses et interprétation	58
III.7. Caractéristiques agro-pédologiques	60
III.8. Caractéristiques hydrodynamiques.....	62
III.8.1. Réserve facilement utilisable (R.F.U).....	62
III.8.2. Perméabilité ou vitesse d'infiltration	63
III.8.3. Conductivité hydraulique	63
III.8.4. Porosité total	63
III.9. Eaux d'irrigation	64
III.9.1. Détermination des aptitudes culturales	64
III.9.2. Occupation des sols	64
III.9.3. Les facteurs limitant.....	64
III.9.4. Les conditions édaphiques	64
III.10. Travaux d'aménagement	67
Conclusion	68

Chapitre IV : Etude hydrologique

Introduction.....	70
IV.1.Hydrologie.....	70
IV.2. Homogénéité de la série pluviométrique.....	72
IV.3. Etude de l'échantillon et le choix du type de la loi	74
IV.3.1. Ajustement à la loi de Gauss ou loi Normale	74
IV.3.2. Loi de log-normal ou loi de Galton	78
IV.4. Détermination de l'année de calcul	81

Conclusion.....	81
-----------------	----

Chapitre V : Choix des techniques d'arrosage

Introduction.....	82
V.1. Irrigation gravitaire.....	82
V.1.1. Irrigation par ruissellement.....	83
V.1.2. Irrigation par planches.....	83
V.1.3. Irrigation à la raie.....	84
V.1.4. Irrigation par bassins.....	85
V.2. Irrigation par aspersion	86
V.3. Irrigation localisée	87
V.4. Efficience d'un système d'irrigation	88
V.4.1. Efficience de l'application de l'eau (distribution)	88
V.4.2. Efficience d'adduction (transport)	89
V.4.3. Efficience globale	89
V.5. Les avantages et les inconvénients des modes d'irrigations	90
Conclusion	91

Chapitre VI : Estimation des besoins en eau et détermination du régime d'irrigation

Introduction	92
VI.1. Choix des cultures	92
VI.2. Estimation de l'évapotranspiration	96
VI.2.1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de référence.....	96
VI.3. Les coefficients culturaux (Kc)	103
VI.4. La réserve facilement utilisable (RFU)	104
VI.5. Détermination des besoins en eau d'irrigation	105

VI.5.1. Les besoins nets en eau d'irrigation	105
VI.5.2. Les besoins bruts en eau d'irrigation	106
VI.6. Comparaison entre les besoins du périmètre et la capacité de la STEP	111
VI.7. Définition d'un régime d'irrigation	112
VI.8. Le mode de distribution d'eau d'irrigation	112
VI.8.1. Une distribution au tour d'arrosage	112
VI.8.2. Une distribution à la demande	113
VIII.9. Calcul des débits	113
VI.9.1. Débit fictif continu (Q_f)	113
VI.9.2. Débit spécifique (q_s)	114
VI.9.3. Débit caractéristique	115
VI.10. Calcul des doses de l'arrosage.....	116
VI.10. 1. Détermination de la dose d'arrosage pratique (D_p)	116
VI.10. 2. Fréquence d'arrosage (N)	116
VI.10. 3. Dose réelle (D_r).....	117
Conclusion	120

Chapitre VII : Etude du réseau d'adduction et de distribution

Introduction.....	121
VII.1. Présentation des variantes	121
VII.1.1. Variante N°01	121
VII.1.2. Variante N°02	122
VII.1.3. Critères de choix.....	122
VII.1.4. Choix de la variante.....	123

VII.1.5. Répartition du périmètre.....	124
VII.2. Dimensionnement de la station de pompage	124
VII.2.1. Données de base de dimensionnement.....	124
VII.2.2.Choix de la pompe.....	125
VII.3. Dimensionnement de l’ouvrage de stockage	127
VII.4. Dimensionnement de l’adduction	129
VII.4.1. Choix du tracé	129
VII.4.2. Description de la conduite d’adduction	129
VII.4.3. La borne d’irrigation	131
VII.4.4. Calcul des caractéristiques hydrauliques.....	133
VII.4.5. Réseau de distribution	135
VII.4.6. Modélisation et simulation du réseau	138
Conclusion	141

Chapitre VIII : Dimensionnement d’un réseau d’irrigation par aspersion.

Introduction.....	142
VIII.1. Données générales.....	142
VIII.2. composante d’un système d’irrigation par aspersion	143
VIII.2.1. Le porte-rampe	143
VIII.2.2. Les rampe.....	143
VIII.2.3. L’asperseur.....	143
VIII.3. L’implantation des asperseurs	144
VIII.4. Caractéristiques de l’asperseur.....	146
VIII.4.1. Détermination du diamètre de la buse	146

VIII.4.2. Détermination du débit à la sortie de la buse (Q_{asp})	146
VIII.4.3. Détermination de la pression à la sortie de la buse	147
VIII.4.4. Calcul de la portée de jet d'un asperseur	147
VIII.4.5. Estimation des écartements	147
VIII.4.6. Estimation de la pluviométrie	148
VIII.5. Caractéristique de mode d'irrigation	148
VIII.5.1. Le temps nécessaire d'irrigation	148
VIII.5.2. La fréquence d'arrosage	149
VIII.5.3. Le nombre de jour d'arrosage par mois	149
VIII.5.4. Le nombre d'asperseurs	149
VIII.6. Caractéristiques de la canalisation	149
VIII.6.1. Longueur des rampes.....	150
VIII.6.2. Le nombre d'asperseur par rampe	150
VIII.6.3. Le nombre de rampe.....	150
VIII.6.4. Le débit de rampe.....	150
VIII.6.5. Calcul de la longueur fictive des rampes.....	150
VIII.6.6. Calcul de la longueur fictive de la porte rampe.....	150
VIII.6.7. La longueur réelle totale	151
VIII.6.8. Détermination du diamètre de la porte rampe	151
VIII.6.9. Détermination du diamètre de la rampe	153
Conclusion	155
Chapitre IX : Organisation de chantier et estimation du cout du projet	
Introduction	156

IX.1. Préparation de la tranchée	156
IX.1.1. largeur du fond de la tranchée	156
IX.1.2. Profondeur de la tranchée	156
IX.1.3. Volume de déblai.....	157
IX.1.4. Volume du lit de sable	157
IX.1.5. Volume du remblai	157
IX.2. Bassin de stockage	158
Conclusion.....	160
Conclusion générale	
Références Bibliographique et sitographie.	

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique sur la réutilisation des eaux usées épurées

Figure I-01 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.	2
---	---

Chapitre II : Analyse des conditions naturelles

Figure II-01: Situation administrative de la wilaya Tissemsilt.....	25
Figure II-02 : Localisation de secteur d'étude (300 ha).....	26
Figure II-03 : carte morphologique de la wilaya de Tissemsilt.....	27
Figure II-4: variation des précipitations moyennes interannuelles (1982-2011).....	30
Figure II-05: précipitations moyenne mensuelles de la zone d'étude TISSEMSILT.....	31
Figure II-06: Humidité relative moyenne mensuelle.....	33
Figure II-07: Répartition de l'évaporation mensuelle.....	34
Figure II-08: Répartition mensuelle des vitesses du vent.....	35
Figure II-09: Humidité relative moyenne mensuelle.....	36
Figure II-10: Abaque de l'indice d'aridité mensuelle de Martonne.....	39
Figure II-11: Diagramme Bioclimatique.	40
Figure II-12 : Carte de zonage sismique de territoire nationale selon R.P.A 99 modifié en 2003....	41

Chapitre III : Analyse des ressources en eau et en sol

Figure III-01 : Localisation de la STEP de Tissemsilt.....	43
Figure III-02 : Photo Réelle d'une cuillère bivalve.....	44
Figure III-03 : Photo Réelle du dégrilleur.....	45
Figure III-04 : Photo Réelle de l'installation de pompage.....	46
Figure III-05 : Photo Réelle système dessablage et déshuilage.....	46
Figure III-06 : Photo Réelle des agitateurs zone anoxique.....	48
Figure III-07 : Photo Réelle de l'aérateur zone oxiq.....	49

Figure III-08 : Photo réelle du lieu de l'épaississement.....50

Figure III-09 : photo réelle du décanteur secondaire.....51

Chapitre IV : Etude hydrologique

Figure IV-01 : Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss.....76

Figure IV-02 : Ajustement des pluies annuelles à la loi de Galton ou loi log-Normale.....80

Chapitre V : Choix des techniques d'arrosage

Figure V-01 : schéma des différents systèmes d'irrigation.....82

Figure V-02 : irrigation par ruissellement des vignes.....83

Figure V-03 : Irrigation par planches (alimentation des planches par siphons).....84

Figure V-04 : Irrigation à la raie.....85

Figure V-05 : Irrigation par planches.....85

Figure V-06 : Irrigation par aspersion.....87

Figure V-07 : Irrigation localisée.....88

Chapitre VI : Estimation des besoins en eau et détermination du régime d'irrigation

Figure VI-01: occupation de sol.....95

Figure VI-02: Evapotranspiration en mm calculé Par les différentes méthodes d'estimation.....102

Chapitre VII : Etude du réseau d'adduction et de distribution

Figure VII-01 : Image satellite de la variante N°1.....121

Figure VII -02 : Image satellite de la variante N°2.....122

Figure VII -03 : Répartition de l'ensemble de surface du périmètre.....124

Figure VII -04 : Plan d'implantation de la station de pompage.....127

Figure VII -05 : Plan d'implantation du réservoir.....128

Figure VII -06 : Caractéristiques des bornes d'irrigation Type A2.....131

Figure VII -07 : Equipements complémentaires des bornes d'irrigation.....132

Figure VII -07 : schéma du réseau émis par Epanet.....138

Figure VII -08 : Schéma de courbe de niveau-pression.....138

Chapitre VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion.

Figure VIII -01 : composants d'un système d'aspersion (Source : Groupe CHIALI).....143

Figure VIII -02 : Les éléments d'un kit d'aspersion (Source : Groupe CHIALI).....144

Figure VIII -03 : Différents dispositifs d'implantation des asperseurs (Source : Groupe CHIALI)...144

Chapitre IX : Organisation de chantier et estimation du cout du projet

Figure IX-01 : Schéma d'une tranchée.....156

Liste de tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique sur la réutilisation des eaux usées épurées

Tableau I-01: formes de réutilisation des eaux usées.....	3
Tableau I-02 : Nombre de STEP à l'échelle nationale.....	8
Tableau I-03: Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation.....	9
Tableau I-04 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.....	10
Tableau I-05 : Les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.....	12
Tableau I-06: Les virus dans les eaux usées.....	13
Tableau I-07 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées.....	13
Tableau I-08 : Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes.....	14
Tableau I-09: Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C.....	15
Tableau I-10 : Concentrations maximales d'éléments à l'état de trace recommandée pour les eaux d'irrigations.....	16

Chapitre II : Analyse des conditions naturelles

Tableau II-01 : les coordonnées de la station de TISSEMSILT.....	28
Tableau II-02 : série pluviométrique (station de Tissemsilt 1982-2011).....	29
Tableau II-03: Distribution mensuelle des précipitations annuelles.....	30
Tableau II-4: distribution des températures moyennes mensuelles à la station de TIARET (1996–2008).....	32
Tableau II-05 : Humidité relative à la station de Tiaret (1996-2008).....	32
Tableau II-06 : Nombre moyen de jour de gelée.....	33
Tableau II-07 : Répartition interannuelle de l'évaporation. (1996-2008).....	34
Tableau II-08: Vitesse moyenne et maximales du vent en m/s (1996-2008).....	35

Tableau II-09 : Insolation, et Radiations solaire mensuelles (1996-2008).....	36
Tableau II-10 : Classification du climat selon Indice de Martonne.....	37
Tableau II-11: Coefficients d'accélération du séisme.....	42

Chapitre III : Analyse des ressources en eau et en sol

Tableau III-01 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes).....	58
Tableau III-02 : Les résultats des analyses obtenus à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	59
Tableau III-03 : Capacité annuelle de la STEP de Tissemsilt.....	59

Chapitre IV : Etude hydrologique

Tableau IV-01 : Précipitations moyennes mensuelles (1982-2011).....	71
Tableau IV-02 : Le procédé de test d'homogénéité pour la série pluviométrique.....	73
Tableau IV-03 : Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi Normale.....	75
Tableau IV-04 : Table de χ^2	77
Tableau IV-05 : Ajustement des pluies annuelles à la de Galton ou loi log-Normale.....	79
Tableau IV-06 : Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul.....	81

Chapitre V : Choix des techniques d'arrosage

Tableau V-01 : Gamme de l'efficacité des différents systèmes d'irrigation.....	89
Tableau V-02 : Les avantages et inconvénients des différents modes d'irrigations.....	90

Chapitre VI : Estimation des besoins en eau et détermination du régime d'irrigation

Tableau VI-01 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées.....	93
Tableau VI-02: Les pourcentages occupés par les différentes cultures.....	95
Tableau VI-03 : Valeur de p par la latitude et le mois.....	98
Tableau VI-04: Calcul de l'Evapotranspiration Par la méthode de Blaney-criddle.....	98

Tableau VI-05: Calcul de l'Evapotranspiration Par la méthode de THORNTHWAITE.....	99
Tableau VI-06: Calcul de l'Evapotranspiration Par la méthode de Penman&Motheith ...	100
Tableau VI-07 : Valeurs mensuelles de l'ET calculées par les différentes formules.....	101
Tableau VI-08 : Ecart relatif des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparées à celle d'ETP (Piche) (Echelle mensuelle).....	102
Tableau VI-09 : Valeur des coefficients culturaux (K_C).....	103
Tableau VI-10 : Valeurs de la densité apparente, capacité de rétention et point de flétrissement.....	104
Tableau VI-11 : les profondeurs d'enracinement des cultures.....	104
Tableau VI-12 : Calcul de la pluie efficace mensuelle.....	105
Tableau VI-13 : Besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois).....	107
Tableau VI-14 : Récapitulatif des besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois).....	109
Tableau VI-15 : Récapitulatif des besoins bruts en eau d'irrigation (mm/mois).....	110
Tableau VI-16 : les débits de la STEP de Tissemsilt.....	111
Tableau VI-17 : Besoins totaux annuels.....	111
Tableau VI-18 : Débit fictif continu pour chaque mois.....	114
Tableau VI-19 : Débit fictif continu pour chaque culture durant le mois de pointe (Juillet).	115
Tableau VI-20 : Débit caractéristique pour chaque parcelle d'irrigation.....	116
Tableau VI-21 : Doses et fréquences d'arrosage.....	118

Chapitre VII : Etude du réseau d'adduction et de distribution

Tableau VII-01 : Choix de pompe.....	125
Tableau VII -02 : Caractéristique de la pompe choisie.....	126
Tableau VII -03 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEHD.....	130

Tableau VII -04 : Caractéristiques des ilots par secteur (Caractéristiques des Tronçons).....	136
Tableau VII -05 : Caractéristiques des ilots par secteur (Caractéristiques des Bornes).....	137
Tableau VII -06 : Récapitulatif de l'état des arcs du réseau.....	139
Tableau VII -07 : Récapitulatif de l'état des nœuds du réseau.....	140

Chapitre VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion.

Tableau VIII-01 : Caractéristiques de la parcelle à irriguer.....	142
Tableau VIII -02 : différent choix des buses des asperseurs et leur implantation	145
Tableau VIII -03 : Récapitulatif du dimensionnement du réseau par aspersion.....	154

Chapitre IX : Organisation de chantier et estimation du cout du projet

Tableau IX-01 : Récapitulatif des volumes calculés.....	158
Tableau IX-02 : Récapitulatif des volumes totaux.....	158
Tableau IX-03 : Coût du bassin de stockage.....	158
Tableau IX-04 : Devis quantitatif et estimatif du cout de réalisation du projet.....	159
Tableau IX-05: Coût total TTC.....	160

Listes des planches

Planche N°1 : Plan de situation du périmètre d'Ain Fedha (Wilaya de Tissemsilt).

Planche N°2 : Plan des catégories du sol.

Planche N°3 : Plan d'aptitude des cultures en irrigué.

Planche N°4 : Plan de l'ensemble du réseau d'adduction et distribution.

Planche N°5 : Plan de répartition des cultures choisies.

Planche N°6 : Profil en long de la conduite de refoulement (SP-N12-R).

Planche N°7 : Profil en long de la conduite d'adduction (R- N10).

Introduction générale

En raison de la rareté croissante des ressources naturelles en eau conventionnelle et étant donné la concurrence entre les secteurs du développement économique de point de vue demandent en eau, la valorisation des eaux usées traitées est considérée comme une composante essentielle dans la politique de gestion intégrée des ressources hydriques.

Cependant, pour qu'elle soit inscrite dans un cadre de développement durable, la mise en valeur de la réutilisation de ces eaux exige une étude prudente et intégrée qui tien compte surtout des aspects environnementaux.

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

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

Dans ce cadre, on a mené cette étude sur un périmètre d'une superficie de 300 Ha, localisé dans la région de Tissemsilt. 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 Tissemsilt seront mobilisées dans ce domaine Pour cela, il est envisagé des analyses physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux pour une éventuelle utilisation dans l'irrigation.

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

Chapitre I :

Etude bibliographique sur la réutilisation des eaux usées épurées

Chapitre I : Etude bibliographique sur la réutilisation des eaux usées épurées

Introduction :

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

La réutilisation peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

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

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

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

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

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

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

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

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

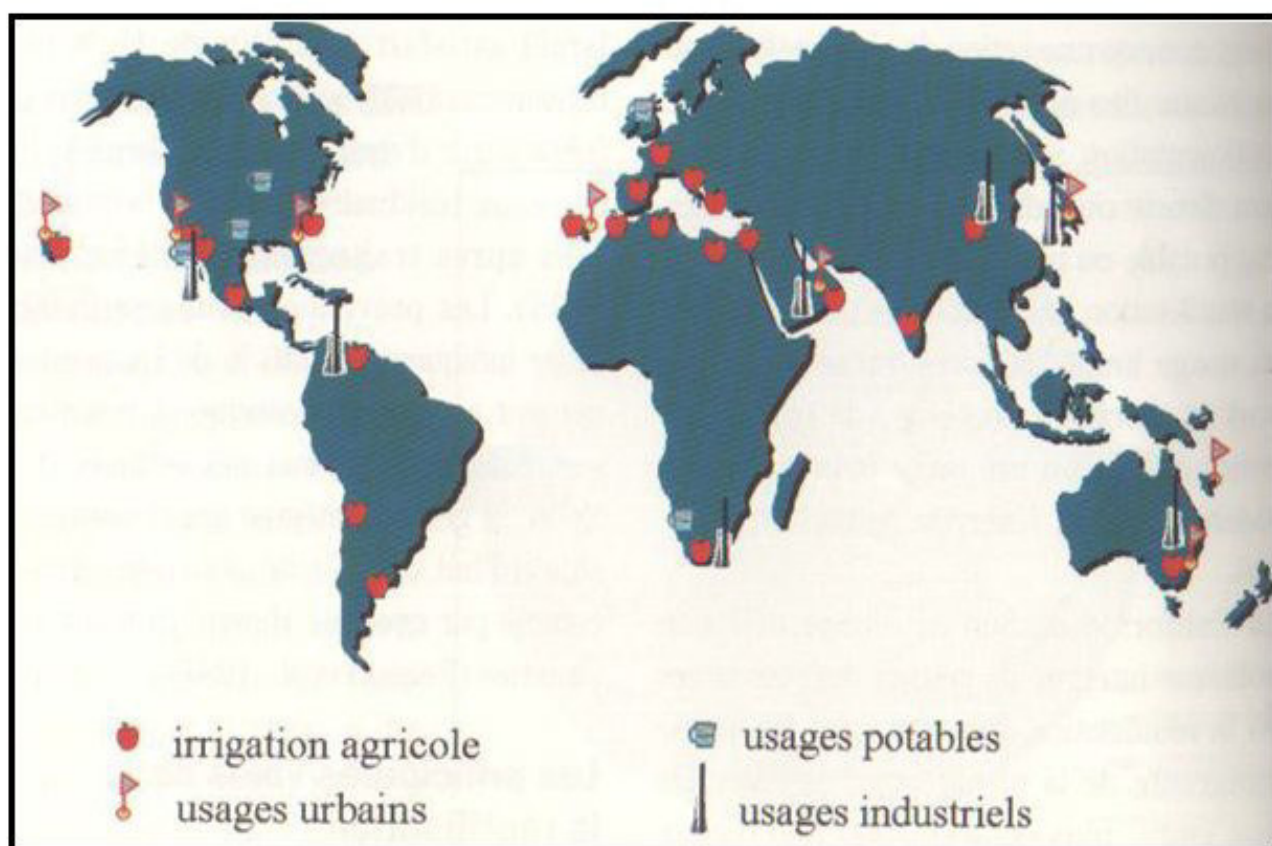


Figure I-01 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.

Tableau I-01: Formes de réutilisation des eaux usées

Formes de réutilisation	Application
Production de l'eau potable	<ul style="list-style-type: none"> - Production indirecte d'eau potable - Production directe d'eau potable
Irrigation en agriculture	<ul style="list-style-type: none"> - Culture maraîchère ou fourragère - Arbres fruitiers - Culture industrielle - Aquaculture
Activité récréative	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des cours d'eau pour la pêche et la notation.
Utilisation industrielle	<ul style="list-style-type: none"> - eau de refroidissement - construction - Papeterie - industries textiles
L'utilisation urbaine	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigation des parcs d'écoles, terrain de golfs et espace vert des résidences. - Protection incendie - Recyclage en immeuble - Lavage de voirie

Source : [3]

I.2. Historique de la réutilisation des eaux usées :

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

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

Au milieu du siècle, une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et physico chimiques qui préside au processus de l'évolution et de la dégradation de la matière organique, a favorisé, dans les pays industrialisés, de techniques épuratoires, qui avaient pour but de protéger le milieu naturel et en particulier, les cours d'eau récepteurs. [1]

Ces techniques ont été ensuite, peu à peu, utilisées pour le recyclage direct ou indirect, dans les pays semi arides, à déficit hydrique chronique.

C'est ainsi que les états comme la Californie, l'Arizona ont développé à partir des années soixante et, plus radicalement, ces deux dernières décennies, l'irrigation avec les eaux résiduaires, après traitement physico-chimique et biologique.

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

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

I.3. La réutilisation des eaux usées en agriculture

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

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

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

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

États-Unis, 34 états disposent de réglementations concernant l'usage agricole des eaux usées. La Californie fait office de précurseur. Sa réglementation sur la qualité des eaux et leur utilisation, dénommée «Title 22 », est une référence au niveau international.

Respectivement 63 % (570.000 m³/j) et 34 % (340.000 m³/j) des eaux usées épurées des états de Californie et de Floride sont réutilisées pour l'agriculture. 70 % des effluents sont réutilisés pour l'irrigation agricole après un traitement type Titre 22 (filtration tertiaire et désinfection) [3].

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

Des pays comme la **Grèce**, le **Portugal**, l'**Italie**, l'**Espagne** ont des programmes plus ou moins avancés de REUE pour l'agriculture. En Europe du nord, l'**Allemagne** et la **Hongrie** utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle. Notons que, mis à part le cas exceptionnel de Mexico, aucun des rapports concernant ces différents cas de réutilisation ne fait état de problèmes sanitaires. [3].

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

I.4.1. Introduction :

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

Quand les ressources internes renouvelables en eau sont inférieures à 1000 m³ par habitant, le manque d'eau est alors considéré comme un grave frein au développement socio-économique et à la protection de l'environnement. (FAO, 1993).

D'après les statistiques de disponibilité en eau de quelques pays (année 2000), établis par la FAO sur la base de données de la banque mondiale et d'autres organismes, l'Algérie était sous la barre des 1000 m³ par an et par habitant, avec des ressources internes renouvelables estimées à 570 m³/an/habitant.

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

Etant donné que les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m³, dont 3.938 milliards destinées à l'irrigation (65%) (FAO.1999. étude sur l'agricole en Algérie). Et pour mieux analyser la situation, on citera les statistiques suivantes présentées par le Directeur de l'Hydraulique Agricole au Ministère des Ressources en Eau, dans le cadre d'une communication présenté à Rabat, du 09 au 12 juillet 2007, sous le titre « la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie ».

A. Situation de la réutilisation des EE en Algérie:

- Surface Agricole Utile (SAU) : 8,5 millions ha soit 3,3 % de la de la superficie géographique.
- Potentiel de croissance à moyen terme : 01 million d'hectares.
- Superficie Irriguée (2006) :
 - 900.000 ha soit 10,5 % de la SAU irriguées principalement à partir des eaux souterraines soit 78%.
 - 674.000 ha irrigués à partir de partir de : 42.400 forages, 132.000 puits et 5.300 sources eaux superficielles (13%).
 - 109.000 ha irrigués à partir de : 59 barrages totalisant une capacité de 440 hm³, 318 retenues collinaires totalisant une capacité de 33,4 hm³ et 9.500 prises au fil d'eau,
 - 77.000 ha irrigués à partir de 1.120 points d'eau (Épandages de crues, foggaras, etc.) [2]
- Irrigation avec les eaux épurées :
 - ✓ Superficie irriguée en 2006: 410 ha.
 - ✓ Superficie en projet: 12.000 ha.
 - ✓ Superficie à irriguer à terme: 60.000 ha

A.1 Situation des stations d'épurations

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

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

- Protéger les eaux des retenues existantes contre la pollution et l'eutrophisation
- Protéger le littoral et les zones de baignades.
- Eaux usées produites
 - volume annuel : 730 hm³/an
 - volume annuel à l'horizon 2020: 01 milliard de m³/an.
- Eaux usées épurées
 - Capacité installée actuelle : 270 hm³.
 - Volume actuel épuré : 150 hm³.
 - Capacité installée à l'horizon 2020: 972 hm³
 - Capacité installée à l'horizon 2030 :1.271 hm³. [2]
- STEP à boues activées

Cent une (101) STEP sont en service. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m³/j pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras) à 750000 m³/j pour la STEP de Baraki (Alger). [2]

- Lagunage

Quatre-vingt treize (93) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré sont en service. Les capacités installées varient de 320 m³/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (AinTemouchent) à 42 000 m³/j pour la STEP de Ouargla. [2]

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

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

Source: [MRE]

I.4.3. Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture

Travaux : Quatre projets totalisant une superficie de 3.000 ha

- Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.
- Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1214 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arrerridj sur une superficie de 350 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha. [2]

Étude : Trois projets totalisant une superficie de 9.000 ha.

- Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8100 ha.
- Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Médéa a sur une superficie de 255ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saida sur une superficie 330 ha. [2]

Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées :

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

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

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

Source : MRE

I.4.4. Normes actuellement en usage

➤ Normes et critères OMS et FAO

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

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

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO * (1985)	OMS ** (1989)
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 O ₂ /l	< 40 **	
DBO ₅	mg O ₂ /l	<10 **	
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **	
NO ₂ ⁻	mg/l	< 1 **	
NH ₄ ⁺	mg/l	< 2 **	
PO ₄ ⁻³	mg/l	< 0,94 **	
HCO ₃ ⁻	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]

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

I.5.1 Risque microbiologique

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

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

- La contamination par ingestion

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

- **La contamination par inhalation**

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

- **La contamination par voie cutanée**

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

Tableau I-05: Les virus dans les eaux usées

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

Source: Asano (1998)

Tableau I-06 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nbre pr 1l d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

Source : Asano (1998)

Tableau I-07 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

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

Tableau I-07 (suite)

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

Source: Asano (1998)

Tableau I-08 : Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes

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

Source : OIE 1997

Tableau I-9: Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C.

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

Source: OIE 1997

Les valeurs entre parenthèses montrent le temps de survie habituel.

I.5.2. Risques chimiques

I.5.2.1 Eléments traces

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

Les métaux qui présentent les risques les plus notables sont:

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

Tableau I-10 : Concentrations maximales d'éléments à l'état de trace recommandée pour les eaux d'irrigations.

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

Tableau I-10 (suite)

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

Source: OIE 1997

I.5.2.2. Substances nutritives

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

- **L'azote**

En quantité excessive peut :

- ✓ Perturber certaines productions,

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

Limiter le développement des jeunes racines. [4]

▪ **Les nitrates**

L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais et les eaux d'épuration. L'azote n'est pas absorbé par les plantes, volatilisé, ou emporté par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate. [5]

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

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

• **Le potassium**

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium et une augmentation des pertes par drainage en sols légers. [4]

• **Le phosphore**

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

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

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

I.5.2.3. la concentration saline des eaux

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

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

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). [2]

➤ Le Sodium

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

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'adsorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation. [2]

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

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

I.5.2.4 Les eaux souterraines (nappes)

- Les nappes libres (nappes qui ne possèdent pas de couche imperméable au-dessus permettant leur protection) sont les plus exposées à la contamination par l'infiltration des eaux usées épurées après irrigation, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. [4]

- Les nappes captives (nappes qui ont une couche imperméable au-dessus qui empêche l'eau et donc les polluants de s'infiltrer) sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué. [4]

I.6. Stockage des eaux épurées

I.6.1 Recharge de nappes aquifères

Il y a deux possibilités de recharger des nappes aquifères :

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

I.6.2 Réservoirs de stabilisation

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

Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau d'entrée et la conception du réservoir (en particulier sa profondeur). [4]

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

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

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

I.7.1.1. Ressources alternatives :

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

- Garantir une indépendance vis-à-vis du fournisseur d'eau potable (par exemple pour des raisons politiques). [6]

I.7.1.2. Conservation et préservation des ressources :

- Economiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques ;
- Contrôler la surexploitation des ressources souterraines. [6]

I.7.1.3. Valeurs économiques ajoutées :

- Eviter les coûts du développement, du transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau fraîche ;
- Dans certains cas, éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées ;
- Réduire ou éliminer l'utilisation des engrais chimiques en irrigation ;
- Assurer des revenus complémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits dérivés ;
- Assurer des bénéfices économiques pour les usagers grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse ;
- Favoriser le tourisme dans les régions arides ;
- Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués. [6]

I.7.1.4. Valeurs environnementales :

- Réduire les rejets de nutriments et de polluants dans le milieu récepteur ;
- Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse ;
- Eviter les impacts négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs, etc. ;
- Améliorer le cadre de vie et l'environnement (espaces verts, etc.) ;
- Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux sensibles (zones de baignade ou conchylicoles, Réserves naturelles, etc.) ;
- Profiter des nutriments apportés par l'eau d'irrigation pour augmenter la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts. [6]

I.7.1.5. Développement durable:

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

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

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

I.7.2.1. Aspects législatifs et sanitaires:

- Problèmes de santé publique liés aux pathogènes éventuels dans les eaux usées non traitées ;
- Absences de réglementation et des incitations à la réutilisation ;
- Droit sur l'eau: qui possède l'eau recyclée et qui récupère les revenus ;
- Exploitation inappropriée et/ou qualité non-conforme. [6]

I.7.2.2. Aspects sociaux :

- Malgré les réticences psychologiques à utiliser les EUE, la rareté de l'eau et les réalités économiques poussent les agriculteurs de certaines régions à la REU;
- Il faut établir un système de surveillance de la qualité des EUE pour instaurer une confiance entre le distributeur et l'utilisateur;
- En vertu de l'incertitude des risques liés à la REU, des stratégies nationales de réutilisation des eaux usées pourraient s'orienter uniquement vers les espaces verts et l'agroforesterie (ex : Egypte). [6]

I.7.2.3. Aspects économiques :

- Considérer la REU comme faisant partie de la trilogie : assainissement, épuration et réutilisation. Cette trilogie devrait s'insérer dans des stratégies nationales;
- Le coût de la réutilisation doit être comparé au coût de l'inaction qui a des impacts environnementaux, sanitaires et qui augmente le coût de traitement de l'eau potable
- Le coût de la réutilisation doit aussi être comparé à d'autres alternatives comme le dessalement;
- La réutilisation est devenue une nécessité et peut contribuer au développement de certains secteurs économiques (tourisme et loisirs);
- Le coût de la réutilisation varie d'un bassin hydrologique à un autre et en fonction de l'usage final souhaité. [6]

I.7.2.4. Aspects environnementaux et agronomiques :

- La présence de beaucoup de sels, bore, sodium et autres micropolluants peut avoir des effets négatifs sur certaines cultures et les sols. [6]

I.7.2.5. Aspects technologiques :

- Une grande fiabilité d'exploitation est requise.
- Importance du choix de la filière de traitement. [6]

Conclusion:

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

Chapitre II :

Analyse des conditions naturelles

Chapitre II : Analyse des conditions naturelles

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les paramètres climatiques ainsi que les différentes caractéristiques physiques qui sont favorables à la mise en valeur en irrigation.

La zone d'étude concerne le périmètre AIN FEDHA, qui est situé dans la wilaya de TISMSILT.

II.1 Localisation de la zone d'étude

La Commune de TISSEMSILT se situe au **Sud -Ouest** du capital à une distance de **220 KM**,

La commune est limité par :

Au **nord** : la commune de OULES BESSEM et la commune de SIDI ABED

Au **sud** : la commune de AMMARI

A l'**est** : la commune de KHMISTI

A l'**ouest** : la wilaya de TIARET et NAHR OUASSEL

La commune de TISSEMSILT compte :

- Le chef-lieu de la commune et de la wilaya **TISSEMSILT**
- L'agglomération secondaire **BENI MAIDA**
- L'agglomération secondaire **AIN EL KARMA**

Ainsi que les hameaux éparpillés sur le territoire de la commune à savoir :

- DAIA QOUATOUAT
- OULED KHROUF
- MEKERBET
- OULED SIDI MHAMED BEN ALI

- OULED BEN KHLIFA
- KEF EL HMAM
- OULED YUCEF
- OUZINA
- OULES MANSSOUR....etc

La Commune de **TISSEMSILT** s'étend sur une superficie de **216 Km²**

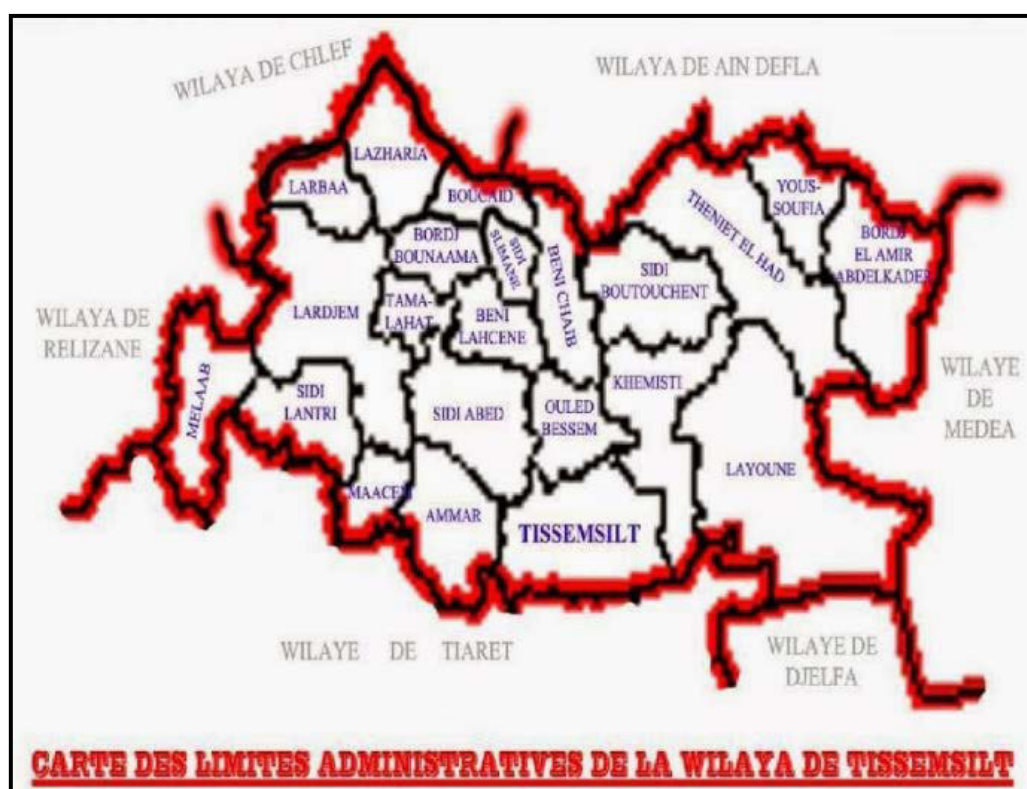


Figure II-01: Situation administrative de la wilaya Tissemsilt.

II.2 Localisation du périmètre irrigué 300 ha à partir de la STEP de TISSEMSILT

Le site retenu se trouve à 04 Km au Nord-Ouest de la ville de Tissemsilt, à proximité d'oued Zerk. L'accès se fait par la Route Nationale N°14 ensuite par une piste à une distance de 400m. Le site est caractérisé par un relief plat, cerné par des terres agricoles.

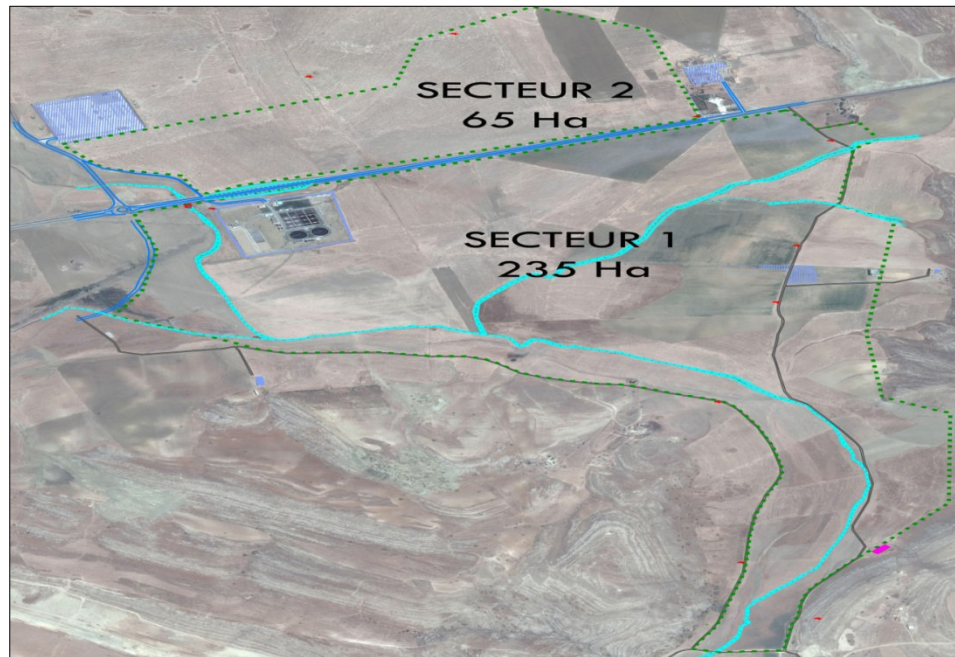


Figure II-02 : Localisation de secteur d'étude (300 ha).

II.3 Etude morphologique de la zone

La commune de **TISSEMSILT** est située dans les hautes plaines Telliennes bordée au nord par le massif de l'**OUARSNIS** et au sud par **DJEBEL NADOR**

Le territoire de la commune présente un site ouvert sur un plateau à l'Est, à l'ouest et au sud une configuration peu contraignante

Le relief est en général plat à pente moyenne variant de **1%** à **14%**

Les principaux piémonts sont :

A l'Est la chaîne de **DJEBEL EL BAKHAT** d'une altitude de **1011**

Au sud est **DJEBEL FEKARINE** d'une altitude de **922 m** et **DJEBEL RADJEM GANA** d'une altitude de **961 m**

Au sud **DJEBEL EL BELGROUM** d'une altitude de **890 m**

A l'ouest **DJEBEL EL DAIA** d'une altitude de **1008 m**

La zone montagneuse bordant le territoire constitue un écran de protection naturel du vent du nord.

La zone Est se caractérise par une érosion très présente de l'agglomération de **AIN EL KARMA** jusqu'aux limites de la commune de **KHMISTI**.



Figure II-03 : carte morphologique de la wilaya de Tissemsilt.

II.4 Etude climatologique

L'étude climatologique se base sur l'observation et l'estimation de nombreuses variables représentatives du climat à long terme. L'étude climatologique préalable et représentatives de la zone d'étude est fondamentale, vu son rôle prépondérant dans les projets d'irrigation.

En effet, Le climat conditionné de façon étroite la croissance des plantes et intervient dans le régime d'écoulement des cours d'eau, il régit ainsi le développement agricole et une partie de besoin pour l'irrigation des différentes cultures.

Il apparaît clairement que la zone de **TISSEMSILT** (bassin versant d'Oued LARDJEM et du bassin versant d'Oued Nahr Ouassel) est nettement moins arrosée. Cette Zone de la wilaya appartient à l'étage bioclimatique semi-aride en hiver frais à nuance subhumide.

II.4.1. Pluviométrie :

La pluviométrie moyenne annuelle sur ensemble de l'aire de l'étude est 400 à 500mm. Les pluies sont irrégulières et souvent torrentielles en haute altitude. Elles sont plus importantes à l'Est de la Wilaya.

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. L'étude des variations des précipitations annuelles dans notre région montre une grande variation dans le temps et dans l'espace à l'échelle de 30 années (1982-2011) selon les données recueillis au niveau de la station pluviométrique TISSEMSILT .

Tableau II-01 : les coordonnées de la station de TISSEMSILT

Station
Code station : 011006
Nom station : TISSEMSILT
X : 420.2
Y : 257
Z : 858 m

Tableau II-02 : série pluviométrique (station de Tissemsilt 1982-2011).

Année	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	jui	aou	Annuel
1982	7,6	12,1	0	80,3	113,2	76,4	20,9	55,4	58,5	61,6	0	0,7	486,7
1983	9,2	96,3	109,2	42,5	0	33,2	20,7	11,1	1,7	0	2	1,5	327,4
1984	0	2,6	53,5	59,8	64,6	36,3	44,8	37,5	51,1	22,4	0,2	0,3	373,1
1985	26,6	112,2	63	41,9	52,5	94,5	82,1	4,5	80,5	0	0	30	587,8
1986	25,2	3	68	80,4	137,2	121,6	116,3	15,8	8,1	8,3	0	1,8	585,7
1987	29,3	48,1	73,4	52,3	127,3	211,4	13,3	0	4,6	12,1	0	0	571,8
1988	6,8	47,1	94,6	39,5	30,8	19,7	40,1	35,6	41,9	12	0	0	368,1
1989	17,2	49	25,1	106	16,1	51,1	70	61,8	15	34	6,9	33,5	485,7
1990	27,9	11,5	39,4	40,9	91,4	0	72,6	57	75,6	4,5	18	2,5	441,3
1991	34,1	9,2	59,7	74	66	73	180	26,6	13,6	3,5	4,2	23,6	567,5
1992	15,6	72,2	24,4	12,6	143	15,3	91,3	93	63,3	13,5	17,2	3,6	565
1993	15,4	36,5	32,7	57,8	8,7	61,2	22,9	55,3	57,3	0	0	23,7	371,5
1994	30	41,2	40,2	63,1	57,8	81,1	4,4	28,4	9,6	0	2,8	18,5	377,1
1995	108	73,6	14	48,9	87,4	26	67,6	18,4	11,3	12,9	0	13,9	482
1996	13,2	78,5	28,5	56,8	115,5	181	97	88,9	34,3	27,4	40,2	11,2	772,5
1997	21,9	43,6	22,3	73,7	82,8	13,1	1,5	154,3	45,7	0	0	17,8	476,7
1998	76,5	77,8	159,4	68	25,7	40,9	15,5	72,4	143,5	3,6	0	18,1	701,4
1999	32,5	37,2	40,3	41,2	140,5	92,4	123,6	1,5	4,6	1,6	0	14,2	529,6
2000	23,3	46,2	56,4	174,3	1,3	0	4,9	52,7	9,9	0	0	8,9	377,9
2001	36,9	55,1	124,8	97,3	239,5	49,3	3,4	44,5	38,5	1,6	0	5,6	696,5
2002	36,9	31,4	52	56,9	17	32,2	25,5	65,6	24,6	3	0	14,2	359,3
2003	4,6	21,1	121,3	42,8	222,9	152,8	11,4	65,2	15,2	22,6	24,8	9,4	714,1
2004	9,4	59,4	114,2	116,7	41	57,5	49,8	56,2	73,4	3,7	11,5	15,4	608,2
2005	26,7	24,3	47,2	89,6	94,1	93,8	41,1	29,5	10,2	4,1	0	0	460,6
2006	14,4	73,9	13,7	16,7	53,2	40,3	34,9	33	67	5,2	17,4	1,4	371,1
2007	27,5	2,1	0,3	25,2	20,6	43,3	68	48,4	13,7	0,5	2,2	25,6	277,4
2008	42,3	72,6	115,6	92,9	77,1	41,2	99,2	79,7	32,7	2,3	0	22,8	678,4
2009	59,6	12,5	73,6	11,3	79,5	132,2	75,6	28,5	31	22,1	0	41,4	567,3
2010	10,5	87,9	84,4	66,1	62,1	123,8	45	65,8	68,8	19,7	45	1	680,1
2011	18,9	9,5	57,7	203,5	5,3	117,9	33,6	53,8	14,2	4,2	1,2	21,6	541,4
MOY	26,93	44,92	60,30	67,77	75,80	70,42	52,57	48,01	37,31	10,21	6,45	12,74	513,44

Source : Agence Nationale des Ressources Hydraulique Alger

La figure II-04 donne les moyennes annuelles des pluies cumulées de 1982 à 2011, qui fait apparaître une variation nette des précipitations d'un mois à l'autre, elles atteignent leur maximum en Janvier puis diminuent pour atteindre le minimum en mois de Juillet.

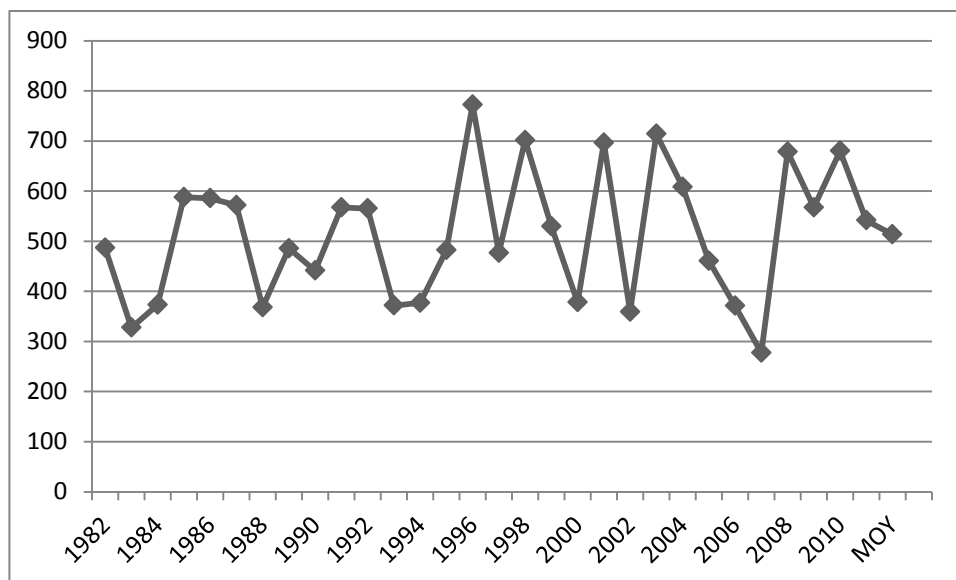


Figure II-4: variation des précipitations moyennes interannuelles (1982-2011)

Pour mettre un aperçu sur la variation des précipitations mensuelles à l'échelle de la zone d'étude, nous avons recueilli les données de la station de TIARET au niveau de l'ONM (Comme la région de TISSEMSILT est dépourvue de station météorologique, l'analyse des facteurs climatiques de la zone d'étude est basée sur les données de la station de TIARET présentant les mêmes caractéristiques que la région de TISSEMSILT), le tableau II-03 : illustre les précipitations moyennes mensuelles pour la station sur 13 ans d'observation allant de 1996 à 2008.

Tableau II-03: Distribution mensuelle des précipitations annuelles

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P_{moy} (mm/mois)	26,93	44,92	60,30	67,77	75,80	70,42	52,57	48,01	37,31	10,21	6,45	12,74	513.44

Source : Office National de Météorologie Alger

On y observe que les précipitations maximales sont marquées au mois de Janvier avec une moyenne de **75.80** mm, alors que le mois le plus sec est juillet avec **6.45** mm.

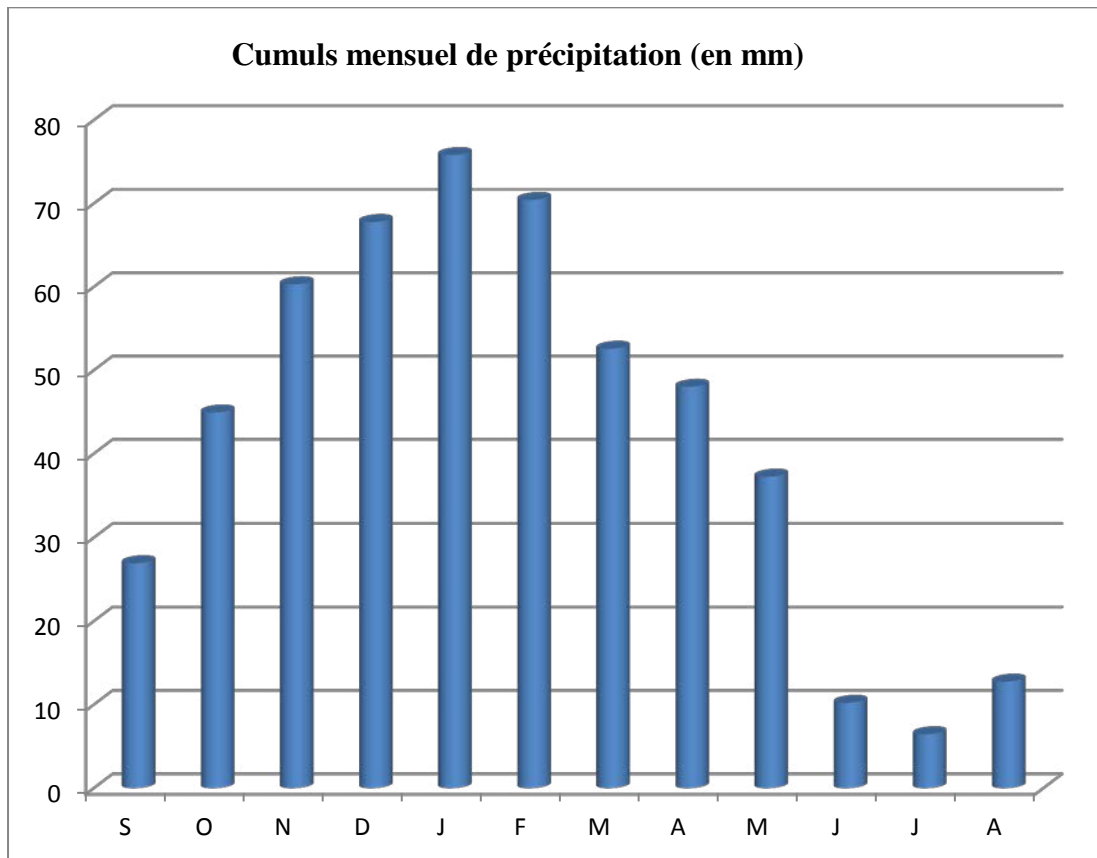


Figure II-05: précipitations moyenne mensuelles de la zone d'étude TISSEMSILT

II.4.2. Température :

Les températures moyennes mensuelles sur une période de 13 années (1996–2008) enregistrées à la station de TIARET (Absence des données au niveau de la station de TISSEMSILT), représentés dans le tableau ci-dessous, font apparaître un hiver doux et un été chaud et des grands écarts entre les minimas et les maximas, surtout en été ce qui est une caractéristique typique du climat méditerranéen semi-aride.

Tableau II-4: distribution des températures moyennes mensuelles à la station de TIARET (1996–2008).

Station : ONM TIARET							Période : 1996 - 2008						
Altitude : 977 m Latitude : 35°21 N Longitude : 01°28 E													
Mois/ T(C°)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	M
T max	27.7	21.7	16	12.8	12.1	12.8	15.3	17.7	21	17.5	32.2	21.1	20.7
T min	17.4	13	8.7	6.8	5.4	6	7.2	9.3	11.8	17.2	21.2	20.2	12
T moy	22.5	17.35	12.35	9.8	8.75	9.4	11.25	13.5	16.4	17.35	26.7	20.65	16.35

Source : Office National de Météorologie Alger

II.4.3. Humidité :

L'humidité relative de l'air ou état hygrométrique indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation .C'est la valeur de l'humidité relative que comprend la sensation de l'humidité ou de sécheresse de l'air.

Dans la station de Tiaret, et pour une période de 13 ans de (1996 – 2008), l'humidité se présente ainsi :

Tableau II-05 : Humidité relative à la station de Tiaret (1996-2008).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
H (%)	78	76	69	68	62	45	38	43	56	64	75	81	63

Source : ONM Tiaret

L'humidité relative moyenne est de 63%. Elle présente un maximum en Décembre (81 %) et un minimum en Juillet (38 %)

L'humidité se manifeste durant sept mois dans l'année soit du mois d'octobre au mois d'avril où les valeurs sont toutes supérieures à la moyenne annuelle. Le reste de l'année, notamment la période qui coïncide avec les fortes températures, l'humidité ne s'abaisse pas au-dessous de 38 %.

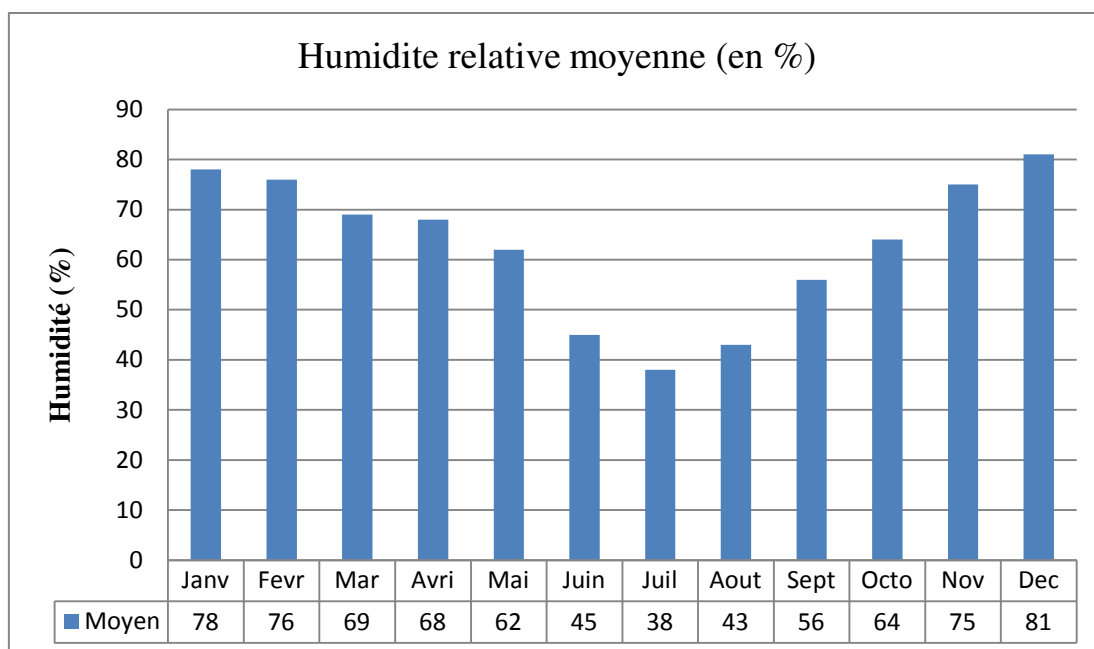


Figure II-06: Humidité relative moyenne mensuelle.

II.4.4. Neige :

La majorité des localités situées dans l'aire d'étude connaissent une période d'enneigement, ainsi qu'une gelée d'une durée allant jusqu'à 08 jours par mois. La durée moyenne des neiges est de 09 jours.

Tableau II-06 : Nombre moyen de jour de gelée.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Gelée blanche (jours/mois)	17	12	09	04	01	-	-	-	-	02	05	15	65

Source : Office National de Météorologie Alger

II.4.5. Evapotranspiration de la surface de l'eau :

Les données disponibles pour l'évaporation sont celles mesurées aux stations de TIARET (période 1996 - 2008).

L'évaporation moyenne annuelle retenue est donc de 1105 mm, comme on le remarque dans le tableau II-07, Elle est minimale durant les mois d'hiver (Décembre, Janvier et Février), alors qu'elle est maximale pour les mois d'été (Juillet et Août).

Tableau II-07 : Répartition interannuelle de l'évaporation. (1996-2008)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Evap (mm)	119,1	86,8	49,0	35,5	36,8	40,2	61,8	75,5	106,7	148,2	178,7	166,4	1104,7
Evap (%)	10,78	7,86	4,44	3,21	3,33	3,64	5,59	6,83	9,66	13,41	16,18	15,06	100

Source : Office National de Météorologie Alger

La répartition mensuelle de l'évaporation représente dans la figure suivante :

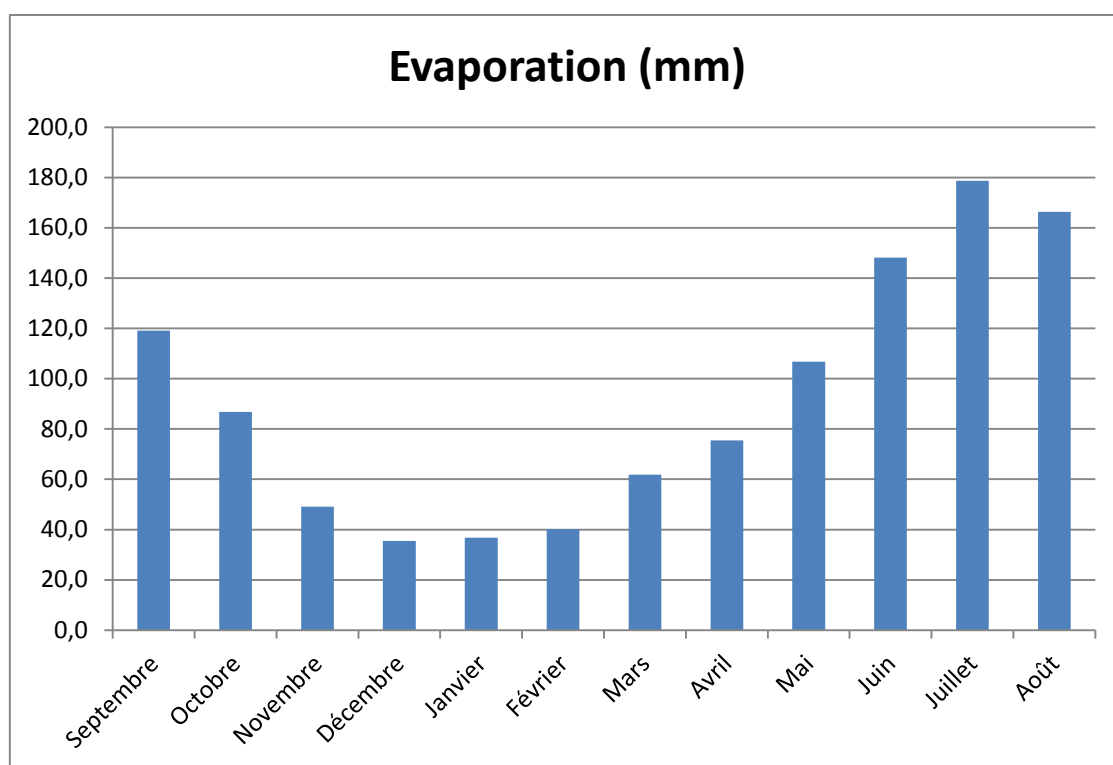


Figure II-07: Répartition de l'évaporation mensuelle.

II.4.6. Vents :

Cette région est caractérisée par des vents chauds et secs en Eté; froids et secs en Hiver. Les vents dominants sont de secteur nord (NE 22%, N 12%, NO 27%). Les vitesses moyennes mensuelles sont de 4 m/s environ, sans grandes variations d'un mois sur l'autre (les minimales à 3.5 m/s et les maximales à 4,5 m/s) d'après les mesures de la station de Tiaret pour la période 1996 – 2008

Tableau II-08: Vitesse moyenne et maximales du vent en m/s – Station de Tiaret (1996-2008)

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	Annuel
Moy	4,4	4,1	4,2	4,3	3,8	3,6	3,5	3,6	3,5	3,6	4,4	4,5	4
Max	12,7	12,8	13,4	14,5	13,3	14	14,4	14,7	13,7	12	13,1	12,9	13,5

Source : Office National de Météorologie Alger

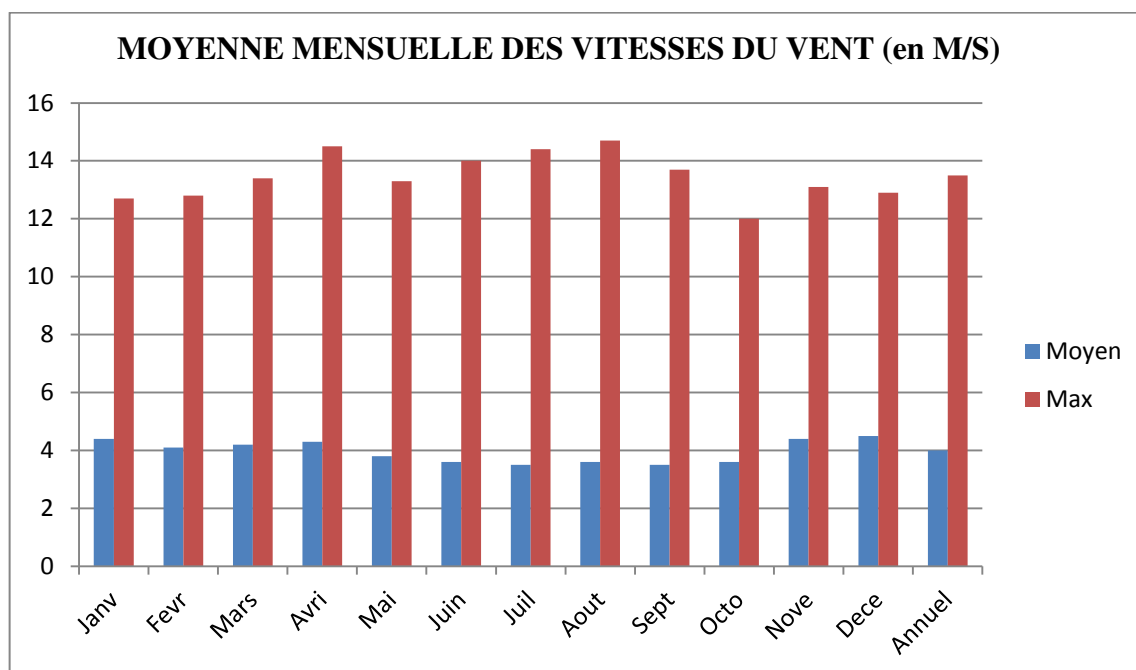


Figure II-08: Répartition mensuelle des vitesses du vent.

II.4.7. Autre phénomène climatique :

L'insolation moyenne a été mesurée à Tiaret pour une période de 13 ans (1996– 2008). Et la radiation totale a été calculée par FAO (1984) sur la base des observations de la période de l'insolation. C'est environ 3033 heures d'insolation par an à Tiaret et l'énergie moyenne de la radiation solaire par jour est de 207 Mj par cm².

Tableau II-09 : Insolation, et Radiations solaire mensuelles (1996-2008).

Mois	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août
L'insolation (heures)	268	223	188	170	171	183	229	260	306	327	364	344
Radiation (Mj/cm²/jour)	12.3	14.3	15.0	16.9	17.9	19.2	20.9	21.2	21.2	18.1	15.9	13.7

Source : Office National de Météorologie Alger

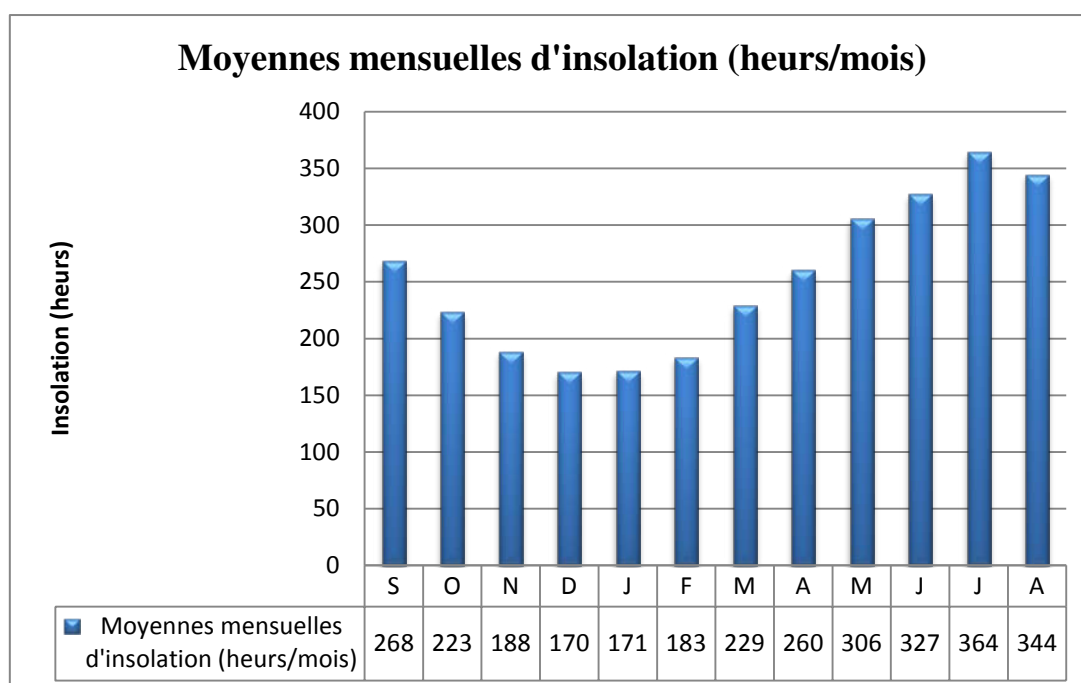


Figure II-09: Humidité relative moyenne mensuelle.

II.5. Etude analytique :

II.5.1 Indice d'aridité de Martonne (1926) :

L'indice d'aridité de Martonne (IA) est utilisé pour évaluer la sécheresse, il s'exprime comme suit :

$$I_A = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots (II-01)$$

Avec : P : Précipitation annuelle en mm \longrightarrow P= 513.44 mm

T : Température moyenne en (C°) \longrightarrow T=16.35 C°

$$\text{An : } I_A = \frac{P}{T+10} = \frac{513.44}{16.35+10} = \mathbf{19.49}$$

Tableau II-10 : Classification du climat selon Indice de Martonne.

Valeur	Type de climat	Irrigation
IA < 5	Désertique	Indispensable
5 ≤ IA ≤ 10	Très sec	Indispensable
10 ≤ IA ≤ 20	Sec	Souvent indispensable
20 ≤ IA ≤ 30	Relativement humide	Parfois utile
30 ≤ IA	Humide	Inutile

D'après la classification de Martonne, l'indice IA= 19.49, ce qui implique que le climat est relativement sec, dans ce cas, l'irrigation est souvent indispensable, la zone du projet est située dans la limite entre sub humide et semi aride. Cependant, cette classification doit être vérifiée et complétée par d'autres indices tels que le Quotient d' Emberger.

II.5.2. Quotient pluviométrique d'Emberger (1955) :

Le quotient pluviométrique ou indice climatique d'Emberger sert à définir les cinq différents types de climats méditerranéens, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne.

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2} \dots\dots\dots \text{(II-02)}$$

Avec : Q : quotient pluviométrique d'Emberger.

M : la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud (en kelvin).

m : la moyenne des température minima du mois le plus frais (en kelvin).

P : moyenne annuelle pluviométrique (en mm).

Les calculs donnent :

$$P = 513.44 \text{ mm}$$

$$M = 32.2 \text{ C}^\circ$$

$$m = 5.4 \text{ C}^\circ$$

$$Q = \frac{2000 \times 513.44}{(32.2 + 273)^2 - (5.4 + 273)^2} = \mathbf{65.66}$$

Le climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit.

L'emplacement de cet indice sur le climagramme d'EMEBERGER. Nous a permis de situer

TISSEMSILT dans l'étage bioclimatique Semi-aride aux hivers doux.

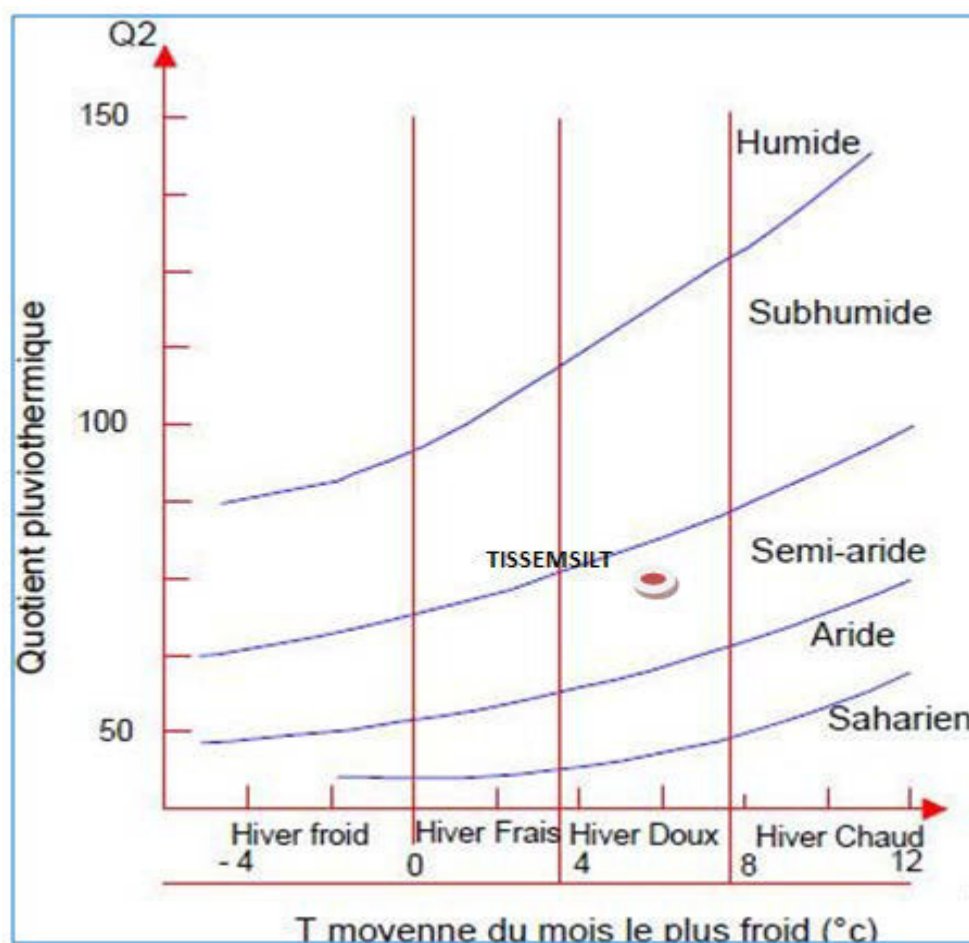


Figure II-10: Abaque de l'indice d'aridité mensuelle de Martonne

II.5.3. Climagramme de Bagnols et Gaussen :

Il a été mis au point par f. Bagnols et Gaussen. Pour eux la période sèche est celle où le total moyen des précipitations du mois est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P < 2T$) et vis-versa, sur ce principe le diagramme est établis en portant les précipitations et les températures en fonction des mois de l'année, tout en prenant en considération que sur l'échelle des ordonnées $P=2*T$.

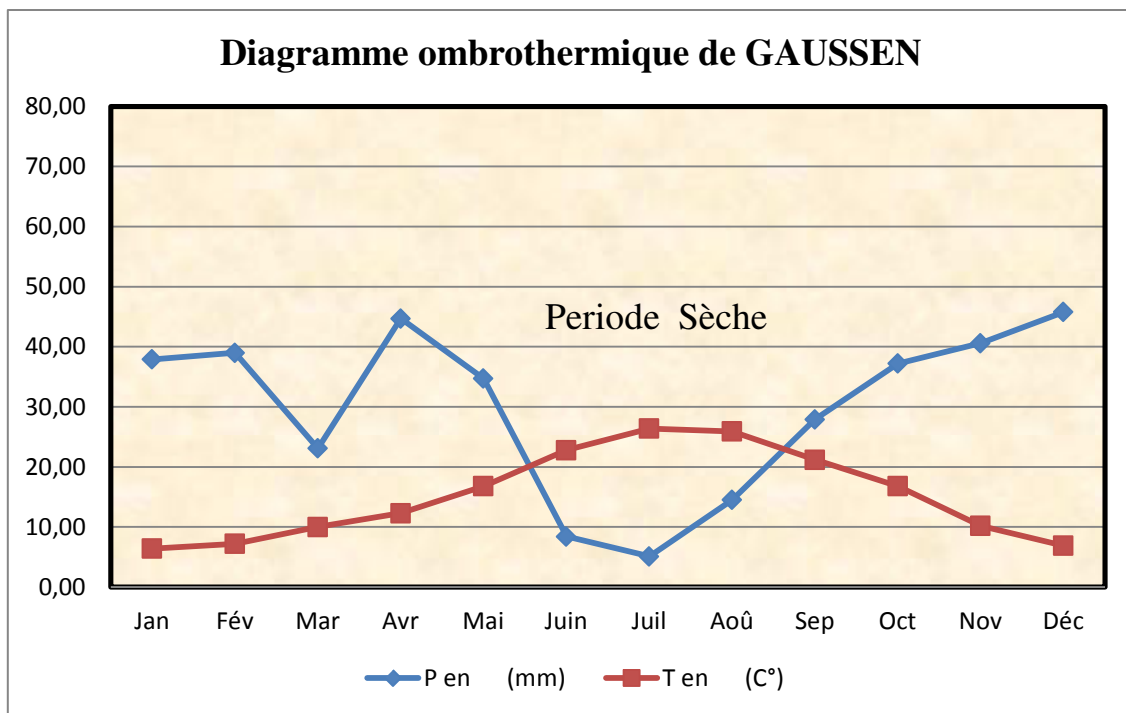


Figure II-11: Diagramme Bioclimatique.

II.6. Etude géologique

La Wilaya de TISSEMSILT se caractérise par une géologie qui s'inscrit dans l'évaluation de la chaîne de l'ouarsnis, celui-ci est un vaste massif tellien délimité au Sud, par les hautes plaines et le plateau du Sersou et aux Nord par la Vallée du Chelif. On peut dénombrer les formations suivantes.

a) Le Trias :

Se présentant soit en amas, soit le plus souvent en étroites bandes ou lames étirées, ils sont composés de gypse, sels, fragments de dolomie, calcaire et cagneule.

b) Les séries allochtones :

Les crétacés supérieur// Schistes et marno-calcaires s'étalant du barrenier à l'aptien, l'épaisseur est de 300 M environ.

c) Les crétacés inférieurs :

Formé de calcaire et marnes épaisseur 300 M.

d) L'éocène moyen et supérieur :

Epaisseur **200 m**, composé d'argilites et de marno-calcaire .

e) **L'oligocène de Boghar :**

Epaisseur **200 m**, la sédimentation commence par des argilites et des marno-calcaires à silex et se termine par des marnes.

f) **Les formations du miocène inférieur :**

De petits niveaux maineux s'intercalent dans l'épaisseur assise gréseuse.

g) **Le pliocène et la quaternaire :**

Se localise au plateau du Sersou.

II.7. Sismicité de la région

a) Classification des zones sismiques

En fonction de l'intensité sismique, l'Algérie est décomposée en quatre zones sismiques.

- ✓ Zoné 0- Sismicité négligeable
- ✓ Zone I - Faible sismicité
- ✓ Zone II - Moyenne sismicité
- ✓ Zone III - Forte sismicité

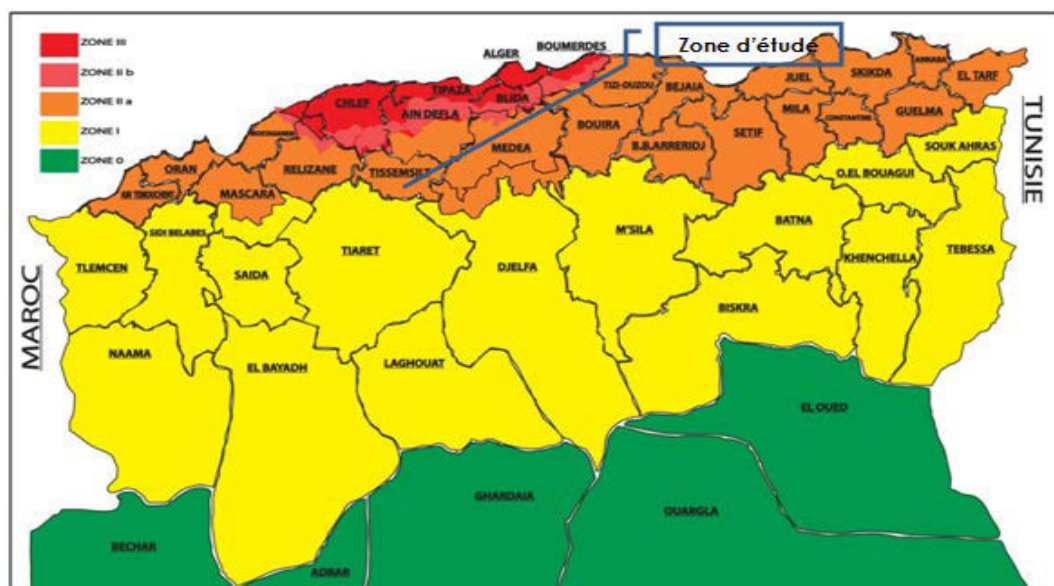


Figure II-12 : Carte de zonage sismique de territoire nationale selon R.P.A 99 modifié en

2003

b) Coefficient d'accélération de la zone d'étude

Le tableau suivant représente les coefficients d'accélération du séisme selon la zone qu'on doit utiliser dans les différents calculs de toutes sortes d'ouvrages:

Tableau II-11: Coefficients d'accélération du séisme.

Groupe	Zone I	Zone II-a	Zone II-b	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
1A	0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale
1B	0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance
2	0.10	0.15	0.20	0.25	Ouvrages courants
3	0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance

Le coefficient d'accélération à adopter pour notre ouvrage correspond à 0,15.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons détaillé les conditions naturelles de la zone d'étude qui nous ont menés aux conclusions suivantes :

- La caractéristique principale dans la commune de Tissemsilt consiste en deux saisons : Une sèche, estivale longue s'étalant d'Avril à Octobre, et l'autre humide hivernale, marquée par des perturbations de masse d'aire polaire.
- L'analyse des facteurs climatiques démontre bien le caractère semi-aride du climat .De ce fait mis à part les cultures pluviales, les autres cultures ne peuvent atteindre un rendement optimale sauf qu'en pratique l'irrigation.
- Le périmètre d'irrigation de la wilaya de Tissemsilt est un pôle agricole important et renferme d'énormes potentialités qui peuvent être reconsidérées.
- La zone d'étude présente une pluviométrie annuelle de **514** mm et une superficie de 300 ha.

L'introduction de l'irrigation est donc indispensable pour un développement des cultures et une intensification de l'agriculture dans cette zone.

Chapitre III :

Analyse des ressources en eau et en sol

Chapitre III : Analyse des ressources en eau et en sol

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons faire une analyse quantitative et qualitative des ressources en eau et en sol de notre zone d'étude.

D'une part, nous allons faire l'étude détaillée de notre ressource en eau qui est une station d'épuration. Ainsi nous allons comparer la qualité de notre eau usée épurée aux normes algériennes des eaux rejetées pour l'irrigation, si celle-ci est vérifiée, nous procéderons à l'étude quantitative afin de voir la capacité annuelle de notre source.

D'autre part, une étude agro-pédologique a été menée afin de localiser les zones aptes à la mise en valeurs en irrigation et déterminer les caractéristiques hydrodynamiques, physico-chimiques et morphologiques de ces sols.

Ainsi, Le présent chapitre a pour but de déterminer les caractéristiques des ressources en eau et en sol afin de bien choisir les cultures et le système d'irrigation à projeter.

III.1. Présentation de la station d'épuration de Tissemsilt:

La station d'épuration de Tissemsilt est située au nord-ouest du périmètre d'étude, plus exactement entre les deux secteurs du terrain à dimensionner. (Figure III-1).

Ces coordonnées géographiques sont :

X= 397080

Y= 3942829

Z= 850m

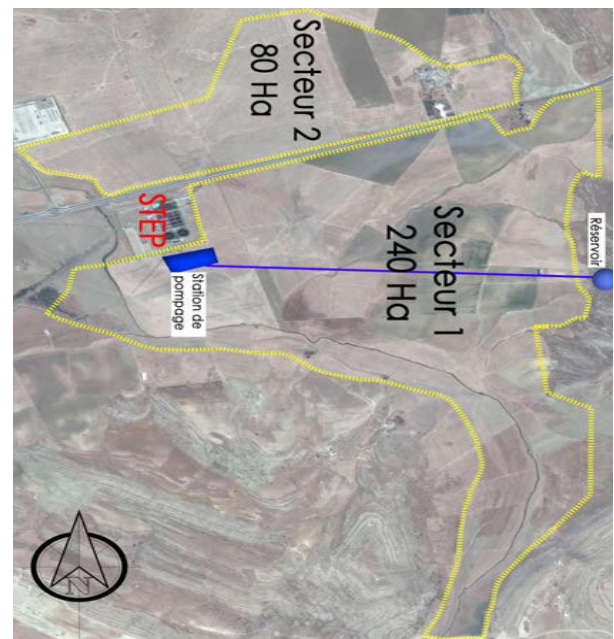


Figure III-01 : Localisation de la STEP de Tissemsilt.

III.2. Objectif du traitement :

L'objectif ciblé et requis en sortie pour un horizon de 2025 est le suivant :

- Charge en DBO₅: 8.100,00 Kg/j
- Charge en MES: 10.500,00 Kg/j
- Charge en DCO: 12.744,00 Kg/j
- Charge en NTK: 1.495,80 Kg/j

III.3. Définition de l'eau à traiter :

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes :

- Capacité: 150.000 EH
- Débit Journalière: 27000 m³/j
- Débit Moyenne: 1125 m³/h
- Débit de point pluvial: 3375 m³/h
- MES = 30 mg/l
- DBO₅ = 20 mg/l
- DCO = 120 mg/l
- NTK = 10 mg/l

III.4. Les différentes étapes de traitement des eaux:

Le principe de traitement des eaux se fait selon un ordre bien précis à l'intérieur de la station d'épuration grâce à la diversité de matériels existants Nous résumons les fonctionnalités de la STEP sur les différents points suivant :

III.4.1. Réception des eaux :

Il existe une cuillère bivalve qui enlève des solides les plus gros.



Figure III-02 : Photo Réelle d'une cuillère bivalve.

III.4.2. Dégrilleurs Gossiers

Avant d'arriver au puits de pompage, il y a un dégrilleur grossiers *****



Figure III-03 : Photo Réelle du dégrilleur.

III.4.3. Relevage intermédiaire :

- Le dégrilleur grossier retient les gros déchets et protège les sept (07) pompes de relevage.
- Le poste de relèvement permet de relever les eaux au-dessus des autres ouvrages.
- Les effluents pré-dégrillés arrivent au poste de relèvement où sont installées sept (07) pompes de 562.5 m³/H, dont une de secours. Ces pompes fonctionnent à vitesse variable c'est-à-dire avec variateur de fréquence.
- Cet équipement permet de s'adapter aux variations de débit journalières.

III.4.4. Puits de Pompage :

- Dimensions du puits de pompages: 10 m x 7m pour assurer une bonne évacuation.
- Installation de 6+1 pompe d'élévation avec un débit d'environ 550 m³/h chacune avec variateur fréquence.
- Numéro de démarrage par heure:10
- Installation d'une sonde niveaux à ultrasons.



Figure III-04 : Photo Réelle de l'installation de pompage.

III.4.5. Dessaleurs – Déshuileurs :

- Le dessablage et le dégraissage permettent la séparation de toutes les matières lourdes ou grasses.
- La fonction dégraissage est assurée par injection d'air dans le bassin.
- L'évacuation des déchets est assurée par une vis d'Archimède



Figure III-05 : Photo Réelle système dessablage et déshuilage.

III.4.6. Réacteurs biologiques :

- Procédé (anoxie + aérobie) : le bassin de boues activées comprend deux (02) zones : une première zone d'anoxie (sans aération), suivie d'une zone aérée (avec la présence d'oxygène).
- La position de la zone d'anoxie, placée en tête, permet d'utiliser la totalité des eaux usées comme source de carbone et d'assurer, au stade suivant aérobie, la nitrification et l'élimination de la pollution carbonée.
- Par les recirculations internes des boues de retour, une fraction importante des nitrates sortant de la zone aérobie est renvoyée en tête d'installation pour être dénitrifiée dans des conditions très favorables en ce qui concerne le rapport pollution carbonée nitrates.

III.4.7. Bassins d'aération :

- Les bassins d'aérations sont par définition les réacteurs biologiques dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies.
- Dans le domaine des stations d'épurations, la technique des boues activées en aération plongée est la plus répandue.
- Elle est caractérisée par les paramètres suivants:

$$C_m = (\text{Pollution journalière de DBO}_5) / (\text{Biomasse présente})$$

$$C_v = (\text{Pollution journalière de DBO}_5) / (\text{Volume de B.A})$$

Avec : C_m : Charge massique

C_v : la charge volumique

III.4.8. Agitateur zone anoxique :

- Ratio puissance / volume: 40,6 w/m³.
- Agitateur à vitesse lente pour l'agitation du bassin anoxique.
- Maintenir des solides en suspension.



Figure III-06 : Photo Réelle des agitateurs zone anoxique.

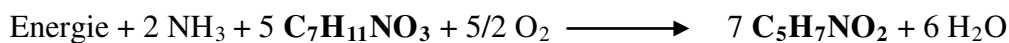
III.4.9. Nitrification – Dénitrification :

- Élimination de la pollution carbonée: équations globales

- **Catabolisme**



- **Anabolisme**

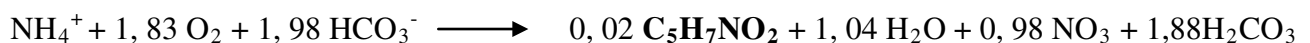


- **Auto oxydation**

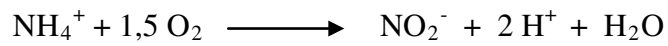


- Élimination de la pollution azotée : équations globales

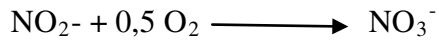
- **Réaction globale**



- **Nitratisation** (*Nitrosomonas*)



- **Nitratisation** (*Nitrobacter*)



Consommation de 4,18 Kg d 'O₂ par Kg de N nitrifié

Production de 170g de biomasse par Kg de N nitrifié

Consommation de 7,14 g CaCO₃ / g N NH₄⁺ nitrifié

III.4.10. Aérateur zone oxique :

- Quantité nécessaire d'oxygène journalière: 23959,41 Kg O₂/h.
- Temps de fonctionnement des aérateurs: 24 heures.
- Température de fonctionnement zone oxique: 15°C
- Ages des boues: 12,47 jours



Figure III-07 : Photo Réelle de l'aérateur zone oxique.

III.4.11. Epaissement :

- Epaissement: Il s'agit d'une étape intermédiaire du volume de boues produites par la station.
- Le temps de séjour des boues dans ce type d'ouvrage ne peut pas dépasser 24 heures.
- Un séjour prolongé des boues secondaires induit rapidement des phénomènes de fermentation, les surnageant de l'épaisseur qui retournent en tête du traitement sont alors souvent responsables de problèmes biologiques (foisonnement, mousse).



Figure III-08 : Photo réelle du lieu de l'épaissement.

III.4.12. Décanteur secondaire :

Dans une STEP le décanteur secondaire est l'ouvrage fondamental qui assure la séparation gravitaire de la boue et de l'eau rejeté dans le milieu récepteur. Ces caractéristiques sont :

- Diamètre $\varphi = 41,1 \text{ m}$
- Surface $S = 1527,8 \text{ m}^2$
- Volume par clarificateur $V = 1527,8 \text{ m}^3$
- Charge Hydraulique moyenne $Q_{\text{moy}} = 0,22 \text{ m/h}$
- Charge Hydraulique maximale $Q_{\text{max}} = 2,20 \text{ m/h}$
- Surface Total $S_{\text{tot}} = 2 * S = 3055,6 \text{ m}^2$
- Hauteur d'eau $H = 3 \text{ m}$



Figure III-09 : photo réelle du décanteur secondaire.

III.4.13. Traitement des boues :

- Les floes de boues, plus denses, vont se déposer dans le fond des clarificateurs, pendant que l'eau clarifiée va s'écouler dans une goulotte pour rejoindre un dernier traitement.
- Les boues ainsi décantées vont être renvoyées vers le bassin biologique afin de le repeupler en bactéries.
- Les boues en excès sont envoyées vers l'épaississeur puis à la déshydratation pour traitement.

III.4.14. Déshydratation mécanique :

- La déshydratation est exprimée par l'élimination de l'eau à la boue.
- Pour la STEP de Tissemsilt, on utilise la déshydratation par filtre à bande avec une capacité de 750 kg de MS/h.
- Polymère anionique de concentration varie entre 2 jusqu'à 4g/l et des pompes doseuses avec une unité de préparation de polymère.
- Pompes de lavage pour laver les filtres à bande de débit de 23 m³/h avec une pression de 6 bars.

III.4.15. Lit de séchage et Dosage de Chlore :

- En cas de panne des filtres à bande, on utilise les lits de séchage. La surface totale de lits nécessaire est estimée à $5\text{m}^3/5\text{ eq.hab}$.
- La désinfection des eaux traitées se fait par ajout de NaClO pour éliminer les Bactéries pathogènes. On peut utiliser un dosage:
 - Dosage maximum est de 10g/m^3 .
 - Dosage minimum est de 6g/m^3 .

III.5. Appareils et instruments de mesure au niveau de la STEP :

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

1) Mesure électrométrie du pH

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

2) Détermination des matières en suspension (MES)

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

3) Détermination des matières volatiles en suspension (MVS)

- Four (Mark : Naber – Industrie of enbau).
- Dessiccateur.
- La coupelle en porcelain.

4) Détermination de l'azote totale (NTK)

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

5) Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) :

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

6) Détermination des nitrates (NO_3^-) :

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

7) Détermination des nitrites (NO_2^-) :

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

8) Détermination des phosphates (PO_4^{3-}) :

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

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

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

10) Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO5) :

- DBO mètre avec OXITOP référence : TS606 – 6 / 2 mark WTW
- Enceinte thermostatique ($T = 20^\circ\text{C}$).
- Plaque jaune (agitateur).

- Bareau magnétique.
- Flacon échantillon brun (volume nominale 510 ml)

11) Détermination des sulfates (SO_4^{2-})

- Spectrophotomètre.

III.6. Etude physico-chimique des eaux de la STEP de Tissemsilt:

III.6.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation:

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

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

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

- United State Salinity Laboratory;

a) Guide de l'U.S Salinity Laboratory :

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

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

Avec une eau de qualité médiocre on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques, il faut alors mettre en œuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole. Les problèmes qu'entraîne l'utilisation d'une eau de médiocre qualité varient tant en nature qu'en gravité, les plus communes sont les suivantes : Salinité ; perméabilité ; toxicité.

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

b) Contraintes chimiques :

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

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

III.6.2. Classification des eaux d'irrigation:

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

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

➤ Définition de la salinité d'une eau :

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

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

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

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

Les eaux d'irrigations, en fonction des dangers que peuvent entraîner leur utilisation, sont réparties en plusieurs classes. Plusieurs auteurs s'étant intéressés de très près à la qualité des eaux

d'irrigations ont proposé différentes classes d'eau salée comme nous allons voir.

III.6.3. Classification mondiale de la FAO (g/l) :

Pour CE égal ou compris entre :

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

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

III.6.4. Classification USSL (United States Salinity Laboratory):

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

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

C'est-à-dire :

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

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

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

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

cultures très tolérantes.

- **C5** : $CE > 5$ mmhos/cm : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers).

B- Classification selon le risque d'alcalinisation SAR :

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

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

✓ **Commentaire :**

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

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

III.6.5. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP de Tissemsilt :

III.6.5.1. Normes de rejets :

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

Tableau III-01 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes).

paramètre	unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
pH	-	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O2/l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100mL

Source: ANRH (ALGER)

(*): OMS

III.6.5.2. Résultats d'analyses et interprétation :

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

Température, Conductivité, pH, DCO, DBO5, MES, NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- et PO_3^{-4}

Pour la température et le pH, la mesure a été réalisé in- situ par contre les autres paramètres 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.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

Tableau III-02 : Les résultats des analyses obtenus à l'entrée et à la sortie de la STEP

Volume Mensuel m ³	Entrée STEP (Eau brute)									
	MES mg/l	DBO ₅ mg/l	DCO mg/l	NH ₄ mg/l	NTK mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	PO ₄ mg/l	T°C	pH
594135	77,77	63,44	198,55	20,47	-	1,27	2,15	3,89	15,6	8,02

Volume Mensuel m ³	Sortie STEP (Eau épurée)									
	MES mg/l	DBO ₅ mg/l	DCO mg/l	NH ₄ mg/l	NTK mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	PO ₄ mg/l	T°C	pH
528821	13,77	17,44	47,01	8,28	-	0,11	0,48	1,54	16,3	7,85

Source : ONA (Unité de Tissemsilt Avril 2015)

Tableau III-03 : Capacité annuelle de la STEP de Tissemsilt.

Désignation	Horizon 2025
Type de réseau	Unitaire
Capacité (EH)	150.000
Charge hydraulique :	
- Débit Journalière (m ³ /j)	27.000
- Débit moyen horaire (m ³ /h)	1.125,00
- Débit de pointe en (m ³ /h)	3.375,00
Volume annuel (Hm ³)	9.855

Source: STEP de Tissemsilt

➤ **Interprétation:**

D'après les résultats du tableau **III-02** on constate que :

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

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

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

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

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

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. Ce rapport est égal à 2.70, signifie que l'effluent de la station est biodégradable.

- ✓ La valeur de MES est dans la norme,

Donc on n'a pas des problèmes du colmatage des distributeurs du système d'irrigation localisée. Pour des précautions, une filtration efficace préalable et adaptation des distributeurs sont recommandées.

III.7. Caractéristiques agro-pédologiques :

Les types de sols rencontrés sont les sols :

- Bruns calcaires modales ;
- Bruns calcaires à caractère vertique ;
- Sols peu évolués d'apport alluvial modal ;
- Sols peu évolués d'apport alluvial à caractère vertiques ;
- Sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphe ;
- Sols peu évolués d'apport colluvial à caractère vertiques.

Les caractères spécifiques prédominants dans la zone d'étude et qui influent d'une manière

restrictive sur l'aptitude des sols sont la profondeur, le calcaire, la structure et la texture ; auquel il faut ajouter les inondations fréquentes qui ont des conséquences néfastes sur les sols et les aménagements.

Cette prospection pédologique, qui a porté sur une superficie d'environ 400ha (y compris agglomérations et autres infrastructures), a fait ressortir différentes classes de moyenne à bonne aptitude culturale.

L'étude approfondie des sols a fait ressortir quatre (04) zones homogènes de mise en valeur. Les zones les plus favorables à l'irrigation correspondent aux catégories I, II où un large éventail de cultures est envisageable.

La catégorie I :

Catégorie la plus favorable, zone de mise en valeur prioritaire ne présentant pas en général de problèmes de mise en culture. Ces sols se localisent sur des pentes très variables (de 3 à 6 % et parfois supérieure à 6 % au sud-ouest), sont généralement de texture variable en surface et grossière en profondeur (marnes), structure assez favorable présentant rarement des phénomènes secondaires ; des travaux tels que : labours profonds, amendements organiques pour l'amélioration des conditions physiques du sol. (Structure, aération), réalisation de brises vents. Ces sols sont aptes à une large gamme de cultures, les aptitudes sont bonnes à moyennes pour les cultures possibles sous le climat de la région avec restrictions pour certaines cultures.

La catégorie II :

Formé de sols généralement limono-argileuses, pentes variables (de 3 à 6 %), profonds, une teneur en calcaire totale élevée, Zone irrigable dont la mise en valeur nécessitera quelques aménagements obligatoires, les travaux nécessaires : sous solage, défoncement, lutte contre l'érosion apport de matière organique pour l'amélioration des conditions physicochimiques du sol, Installation d'un réseau d'irrigation goutte à goutte. Ces sols ont des aptitudes peuvent être bonnes pour les cultures arboricoles, céréales, légumineuses et maraichères.

La catégorie III :

Dans cette catégorie des pentes varient de 0 à 3 % , les sols sont argileux et compacts, Zone irrigable mais dont la mise en valeur nécessitera quelques aménagements préalables obligatoires, les travaux nécessaires : routage, labour profond, assainissement superficielle, lutte contre les inondations et apport de matière organique pour l'amélioration des conditions physicochimiques du sol, Installation d'un réseau d'irrigation goutte à goutte. Ces sols ont des aptitudes à une petite gamme de cultures telle que la céréaliculture et l'arboriculture fruitière rustique et cultures maraichères.

La catégorie IV :

C'est la zone la plus défavorable, la pente est à 1% (dépression), formée généralement par les sols peu évolués hydromorphes, profonds, de texture fine et argileuse de structure grossière, la présence d'horizon mal drainant, la présence d'hydromorphie et de marnes. Zone irrigable mais dont la mise en valeur nécessitera quelques aménagements préalables obligatoires, les travaux nécessaires : routage, labour profond, assainissement superficielle, lutte contre les inondations, drainage profond et apport de matière organique pour l'amélioration des conditions physicochimiques du sol, Installation d'un réseau d'irrigation goutte à goutte. Ces sols ont des aptitudes à une petite gamme de cultures telle que les cultures maraichères et industrielles.

III.8. Caractéristiques hydrodynamiques

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques des sols, qui vient en complément de l'étude agro pédologique est nécessaire à l'étude de l'aménagement hydro-agricole du périmètre irrigué de Tissemsilt car il permet de déterminer :

- Les possibilités d'emmagasinement en eau conditionnant le volume total de l'eau d'irrigation à apporter.
- Les vitesses d'infiltration permettant de calculer le temps nécessaire pour apporter les doses d'irrigation.
- Les conductivités hydrauliques, paramètres nécessaires au calage du futur réseau de drainage.
- Les mesures hydrodynamiques sont effectuées pour quelques profils types par type de sol.

III.8.1. Réserve facilement utilisable (R.F.U) :

La R.F.U représente la valeur maximale de la réserve en eau consommable par la plante avant que le manque d'eau ne devienne un facteur limitant son développement et en supposant que le système racinaire de la plante exploite la totalité de l'épaisseur utile du sol mise à sa disposition.

L'humidité du sol en % à la capacité de rétention est donnée par les humidités :

- A pF 2,5 pour les sols à texture moyenne.
- A pF 3 pour les sols à texture fine et très fine.

On admet en générale que l'humidité à pF 4,2 correspond au point de flétrissement pour tous les sols et quel que soit la texture.

Les pF sont déterminés pour différents horizons au laboratoire sous pression à la marmite de Richards. Les RFU sont repartis selon cinq (05) classes en fonction des profondeurs de sol utilisées.

- profondeur de 0-50 cm : C1 (100-200m³/ha), C2 (200-300m³/ha), C3 (300-400m³/ha), C4 (400-500m³/ha), C5 (>500 m³/ha)
- profondeur de 0-80 cm : C1 (200-400m³/ha), C2 (400-600m³/ha), C3 (600-800m³/ha), C4 (800-1000m³/ha), C5 (>1000 m³/ha)
- profondeur de 0-120cm : C1 (400-800m³/ha), C2 (800-1200m³/ha), C3 (1200-16000m³/ha), C4 (1600-2000m³/ha), C5 (>2000m³/ha).

III.8.2. Perméabilité ou vitesse d'infiltration :

La méthode utilisée est celle du double anneau (**MUNTZ**) qui permet de déterminer la vitesse de filtration (perméabilité verticale). La loi de **DARCY** pour l'écoulement de l'eau dans les sols est appliquée pour calculer la perméabilité.

Le mode opératoire est d'enfoncée le double anneau verticalement à la masse à une profondeur de 5 cm et plus et on veille à ne pas tasser, ni perturber la surface du sol pendant l'opération de mesure. On verse l'eau en même temps dans les deux anneaux jusqu'au niveau voulu et on calcule la vitesse d'infiltration par heure **v (mm/h)**

V= 4.60 mm/h

III.8.3. Conductivité hydraulique :

La Méthode utilisée est celle de **PORCHET**:

Cette méthode consiste à creuser avec une tarière des trous circulaires de diamètre **2R =8 cm**, le cas où le trou de la tarière n'atteint pas le plan d'eau.

On verse ensuite un volume d'eau qui remplit le trou jusqu'à une hauteur **H**.

La représente la quantité d'eau infiltrée par unité de temps et la pente motrice=1

$$Q = 2K\pi R \left(H + \frac{R}{2} \right) \dots\dots\dots (IV-01)$$

Sachant que : R=4cm et t=2h il ne reste qu'à remplacer H pour trouver **K (cm/h)**

$K(\text{cm/h}) = RH/2(H+R/2)t$ où R= 4cm t = 2h

III.8.4. Porosité total :

La porosité varie en fonction de la texture, la structure et la teneur en calcaire total qui peut occuper les vides du sol, de l'action des facteurs externes (exemple : le tassement). Les sols à faible densité apparente ont une forte porosité.

$$P_t = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) \times 100 \dots\dots\dots (IV-02)$$

Sachant que P: Porosité totale, Da: densité apparente et Dr: densité réel

On note aussi que la porosité varie au niveau du même profil

III.9. Eaux d'irrigation :

L'appréciation de la qualité d'une eau d'irrigation s'appuie sur la quantité totale de sels dissous et sur sa composition chimique qui permet de calculer le SAR. il est également important de considérer la présence éventuelle de sels toxique (chlorure, sodium, ...).

III.9.1. Détermination des aptitudes culturales :

Les critères de détermination des aptitudes culturales reposent essentiellement sur les caractères morphologiques des sols et leur position topographique sans tenir compte de la ressource en eau. Ainsi la détermination est établie en considérant que l'on dispose d'une eau d'irrigation de bonne qualité.

III.9.2. Occupation des sols :

En effet, le milieu naturel se trouve confronté aux problèmes et contraintes liés globalement à la dégradation par le processus de l'érosion la mise en valeur des terres agricoles et les effets de sécheresse, ainsi que la dévalorisation des ressources naturelles, accentués par la gestion de l'eau et le choix des espèces à mettre en place.

Les cultures pratiquées dans le périmètre d'étude sont : Les céréales, les cultures fourragères et légumineuses, l'arboriculture rustique.

En plus d'un élevage très réduit Elevage : bovin, ovin, caprin.

Concernant l'occupation du sol par les cultures citées précédemment, la céréaliculture reste la plus dominante ; en revanche, les rendements obtenus oscillent entre 20 et 40 Qx/Ha

Parmi les travaux d'aménagement qui ont été déjà effectués sont la protection de quelques parcelles contre les inondations par la construction d'infrastructures de protections des routes, des pistes et la réalisation de la station S.T.E.P.

III.9.3. Les facteurs limitant :

Le climat de la région d'étude, de type semi-aride en hiver frais à nuance subhumide. Intervient par les différentes composantes dont notamment, les précipitations, les températures...

Le climat est semi-aride avec peu d'amplitudes thermiques quotidiennes, et la pluviométrie annuelle reste insuffisante 500mm.

Cependant, si cette pluviométrie est insuffisante, sa répartition mensuelle et saisonnière présente des périodes sèches (début Mai à fin d'Octobre), donc des apports complémentaires en eau d'irrigation seront nécessaires de Mai à fin d'Octobre

Donc : le choix des cultures doit tenir compte de la compatibilité des espèces et des variétés avec les ces caractéristiques climatiques de la région.

III.9.4. Les conditions édaphiques :

➤ Profondeur de sol utilisable par les plantes (PSU) :

La profondeur des sols de la zone étudiée est variable généralement suffisante, le volume exploitable par les racines se trouve parfois limité par la présence d'un des facteurs suivants :

- Présence d'horizons très compacts vertiques;
- Présence d'horizons compacts et hydromorphes..

Ce facteur est des plus importants du moment où la profondeur exerce une influence sur les besoins en eau des cultures, surtout arbustives ; en offrant aux racines la possibilité d'explorer un volume important de sol.

Ainsi la présence de faible profondeur d'horizons favorables au développement des racines des plantes (une structure défavorable souvent associée à une texture trop fine ; souvent à la présence d'une teneur en calcaire moyennement forte en calcaire total) limite considérablement les réserves disponibles : souvent on devra réaliser préalablement des façons culturales pour pouvoir pratiquer certaines spéculations.

Enfin, la présence d'une zone inondée par les eaux pluviales (surtout au niveau du lit d'Oued Colla et lit d'Oued Sayaiah), ainsi que les éventuelles fluctuations selon les saisons, peut limiter considérablement cette profondeur de sol utilisable par les plantes. Le plus souvent, dans ces cas, l'on a préconisé un réseau d'assainissement.

➤ La texture et la structure :

La structure influe directement sur le développement racinaire des plantes et sur le bilan de l'eau du sol. Le plus souvent, l'action de la structure est reliée à celle de la texture.

Les propriétés physiques de ces sols s'avèrent donc être des facteurs militants pour plusieurs cultures, notamment les cultures arbustives.

➤ L'hydromorphie :

Dans le périmètre étudié, les zones inondées par les eaux pluviales représentent un processus pédogénétique très important. Ce phénomène est dû essentiellement à l'engorgement partiel en eau,

de quelques horizons ou de tout le profil durant la saison pluviale conjugué aux conditions topographiques (insuffisance de pente) se traduisant par :

- Une profondeur de sol (utilisable par les plantes) insuffisante parfois même nulle (zones inondées pendant les périodes pluvieuses) ;
- L'exécution des travaux du sol sont difficiles voire impossible dans ces conditions.
- Pauvreté chimique : solubilisation rapide par l'eau des éléments nutritifs ;
- Formation de plans d'eau imperméable (diffusion très lente).
- Par des phénomènes de réduction qui dureront pendant toute la période humide et qui se traduisent par une mauvaise aération du sol ainsi qu'une solubilisation du fer et du manganèse dont les oxydes se déposeront dès que l'hydromorphie aurait diminuée ou disparue en période sèche.

➤ **L'halomorphie :**

Elle est importante car dans ces sols un apport d'eau faiblement concentrée entraîne une alcalisation du milieu. Le sol devient compact, peu perméable, l'infiltration et la conductivité hydraulique diminuent. L'eau pénètre moins bien dans le sol et circule moins vite. Les plantes sont moins approvisionnées en eau et tendent à se flétrir.

Le sol est également bien oxygéné, la structure compacte entrave la pénétration des racines, l'apparition de l'hydromorphie, même la remontée des eaux en périodes pluviales dans les horizons et leur évaporation en période sèche entraîne l'halomorphie des horizons superficielles et même leur salinisation.

Cette halomorphie sera améliorée par les amendements organiques, travaux du sol et les travaux d'assainissement.

➤ **Le PH :**

C'est un élément très important dans la nutrition des plantes et qui peut être amélioré par les amendements organiques et minéraux.

➤ **Teneur en calcaire :**

Le taux de calcaire total est très variable ; généralement diminue avec l'altitude, forte en amont et faible au niveau des terrasses des oueds. Le taux du calcaire actif est aussi variable avec le calcaire total est généralement de moyen à fort.

L'abondance de calcium échangeable pose des problèmes agronomiques peu importants : tout d'abord l'insolubilisation du phosphore par formation de phosphates bi calciques insolubles, puis l'insolubilisation du bore et enfin la chlorose ferrique des végétaux (surtout pour l'arboriculture

fruitière irriguée) correspondant à une insolubilisation du fer en milieu basique.

III.10. Travaux d'aménagement :

Ils sont recommandés d'aménager les systèmes suivant :

a) Assainissement des sols :

Il concerne surtout les sols inondés en saison pluviale, les travaux sont destinés à évacuer les excès d'eau qui s'accumulent en surface.

L'aménagement en ados permet d'activer le ressuyage des horizons de surface et facilitera l'exécution des travaux culturaux et l'amélioration des rendements des cultures de la saison.

b) Drainage :

Le drainage est peu indispensable dans les zones où l'on a :

- Au niveau des sols reposants sur un horizon à caractère hydromorphe ;
- Sols à plan d'eau permanent ou persistant dans une partie de l'année ;
- Des sols ayant des horizons compacts et imperméables en profondeur.

Ces travaux sont destinés à évacuer l'excès d'eau recouvrant ces zones et à rabattre la nappe s'il persiste afin que les cultures puissent disposer d'une profondeur de sol utilisable plus importante.

c) Travaux de lutte contre l'inondation :

La lutte contre l'inondation doit intervenir à différents niveaux : en amont, au niveau de la parcelle et en aval.

En plus des travaux d'assainissement et de drainage il faut éviter le ruissellement des eaux de l'amont vers les parcelles et fuir les obstacles empêchant l'évacuation des eaux des parcelles, tels que les talus de routes et de pistes ou autres, par la mise en place de conduits en bordures et sous ces obstacles.

Les terrasses moyennes qui bordent localement l'oued et qui sont inondables par les crues moyennes et fortes, doivent être protégées par des digues pour parer aux inondations des cultures.

d) Amélioration et enrichissement des sols :

Les sols de la zone étudiée sont pauvres en matière organique et d'autres éléments fertilisants ; des apports organiques et minéraux permettent d'enrichir chimiquement ces sols et d'améliorer leurs propriétés physiques (structure défavorable, mal aération).

e) Labours profonds et sous solage :

Dans le cas de sols à structure défavorable et compacte, ces travaux permettent un éclatement du sol en profondeur, d'améliorer la perméabilité du sol, de détruire les semelles de labour et de favoriser la création d'une structure favorable d'une manière à permettre un meilleur mouvement de l'eau et un bon enracinement, dans le cas d'une discontinuité texturale, ils permettent une homogénéisation de la texture,

En plus les labours profonds permettent surtout de rendre effective l'action du réseau du drainage dans les zones où celui-ci a été proposé (recommandation ou nécessité).

f) Travaux de dessalage :

Le périmètre étudié renferme des zones à risques de salinisations après l'installation de réseaux d'irrigation dans un temps en fonction de la quantité et la qualité d'eau à amener:

Dans ce cas le dessalage se fait naturellement par présence d'horizons caillouteux et graveleux en profondeur, il reste à appliquer des doses d'irrigations en fonction de la culture en place et un surplus pour lessiver les sols profondément, puis évacuer aux loin ces eaux chargées en sels.

g) Fertilisation :

Les sols du périmètre étudié sont dans l'ensemble pauvres en matière organique et en azote (sauf dans le cas de très petites parcelles dont la superficie inférieure à un (01) hectare au niveau des fermes d'élevage ou le taux de matière organique est très variable due à l'action de l'homme). Ces sols nécessitent donc des apports en fumier de ferme et l'enfouissement d'engrais vert de légumineuses.

Conclusion :

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

L'étude agro pédologique du périmètre Irrigué réalisée à pour but d'identifier les types de sols et définir les aménagements qui s'imposent pour une valorisation judicieuse.

Les cultures céréalières, fourragères et maraîchères représentent le choix idéal des cultures dans les sols de la région étudiée.

Pour les cultures céréalières, l'irrigation des zones intéressées permettra de rendre beaucoup moins aléatoire leurs rendements et également de limiter les dégâts causées par les gelées printanières.

Les cultures fourragères et parmi elles plusieurs cultures riches telle que la luzerne, le bersim... deviennent alors possibles.

Elles permettent :

- le développement et l'élevage bovin et ovin
- la constitution d'amendements organiques à partir de résidus animaux et végétaux. Ces amendements contribuent à l'amélioration des sols de cette région (propriétés physiques).

Les principaux aménagements à recommander dans le périmètre d'étude sont donc les suivants :

- Sous solage et labours profonds pour l'amélioration des structures défavorables des couches exploitées par les racines ;
- amendement du sol par des apports d'engrais organiques et minéraux ;
- contrôle de l'hydromorphie par l'assainissement superficiel des eaux pluviales et les travaux de lutte contre l'inondation.
- construction de bassins ou de retenues pour le stockage de l'eau d'irrigation ;
- Établissement et réhabilitation des brises vent ;
- Amélioration des pistes d'accès aux parcelles pour les rendre mieux praticables.

Chapitre IV:

Etude hydrologique

Chapitre IV : Etude hydrologique

Introduction

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 sur de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation, on adopte généralement les probabilités de dépassement de 4 années sur 5 soit une fréquence de 80%.

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

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

IV.1. Hydrologie

L'étude hydrologique dans notre cas à pour but de déterminer les précipitations mensuelles de fréquence ou dépassement de 80%.(TOUAÏBIA Bénina 2004)

Le tableau ci dessous, illustre la précipitation moyenne mensuelle de 1982 au 2011.

Tableau IV-01 : Précipitations moyennes mensuelles (1982-2011)

Année	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	jui	aou	Annuel
1982	7,6	12,1	0	80,3	113,2	76,4	20,9	55,4	58,5	61,6	0	0,7	486,7
1983	9,2	96,3	109,2	42,5	0	33,2	20,7	11,1	1,7	0	2	1,5	327,4
1984	0	2,6	53,5	59,8	64,6	36,3	44,8	37,5	51,1	22,4	0,2	0,3	373,1
1985	26,6	112,2	63	41,9	52,5	94,5	82,1	4,5	80,5	0	0	30	587,8
1986	25,2	3	68	80,4	137,2	121,6	116,3	15,8	8,1	8,3	0	1,8	585,7
1987	29,3	48,1	73,4	52,3	127,3	211,4	13,3	0	4,6	12,1	0	0	571,8
1988	6,8	47,1	94,6	39,5	30,8	19,7	40,1	35,6	41,9	12	0	0	368,1
1989	17,2	49	25,1	106	16,1	51,1	70	61,8	15	34	6,9	33,5	485,7
1990	27,9	11,5	39,4	40,9	91,4	0	72,6	57	75,6	4,5	18	2,5	441,3
1991	34,1	9,2	59,7	74	66	73	180	26,6	13,6	3,5	4,2	23,6	567,5
1992	15,6	72,2	24,4	12,6	143	15,3	91,3	93	63,3	13,5	17,2	3,6	565
1993	15,4	36,5	32,7	57,8	8,7	61,2	22,9	55,3	57,3	0	0	23,7	371,5
1994	30	41,2	40,2	63,1	57,8	81,1	4,4	28,4	9,6	0	2,8	18,5	377,1
1995	108	73,6	14	48,9	87,4	26	67,6	18,4	11,3	12,9	0	13,9	482
1996	13,2	78,5	28,5	56,8	115,5	181	97	88,9	34,3	27,4	40,2	11,2	772,5
1997	21,9	43,6	22,3	73,7	82,8	13,1	1,5	154,3	45,7	0	0	17,8	476,7
1998	76,5	77,8	159,4	68	25,7	40,9	15,5	72,4	143,5	3,6	0	18,1	701,4
1999	32,5	37,2	40,3	41,2	140,5	92,4	123,6	1,5	4,6	1,6	0	14,2	529,6
2000	23,3	46,2	56,4	174,3	1,3	0	4,9	52,7	9,9	0	0	8,9	377,9
2001	36,9	55,1	124,8	97,3	239,5	49,3	3,4	44,5	38,5	1,6	0	5,6	696,5
2002	36,9	31,4	52	56,9	17	32,2	25,5	65,6	24,6	3	0	14,2	359,3
2003	4,6	21,1	121,3	42,8	222,9	152,8	11,4	65,2	15,2	22,6	24,8	9,4	714,1
2004	9,4	59,4	114,2	116,7	41	57,5	49,8	56,2	73,4	3,7	11,5	15,4	608,2
2005	26,7	24,3	47,2	89,6	94,1	93,8	41,1	29,5	10,2	4,1	0	0	460,6
2006	14,4	73,9	13,7	16,7	53,2	40,3	34,9	33	67	5,2	17,4	1,4	371,1
2007	27,5	2,1	0,3	25,2	20,6	43,3	68	48,4	13,7	0,5	2,2	25,6	277,4
2008	42,3	72,6	115,6	92,9	77,1	41,2	99,2	79,7	32,7	2,3	0	22,8	678,4
2009	59,6	12,5	73,6	11,3	79,5	132,2	75,6	28,5	31	22,1	0	41,4	567,3
2010	10,5	87,9	84,4	66,1	62,1	123,8	45	65,8	68,8	19,7	45	1	680,1
2011	18,9	9,5	57,7	203,5	5,3	117,9	33,6	53,8	14,2	4,2	1,2	21,6	541,4
MOY	26,93	44,92	60,30	67,77	75,80	70,42	52,57	48,01	37,31	10,21	6,45	12,74	513,44

IV.2. Homogénéité de la série pluviométrique :

En générale, l'homogénéisation des données hydrologiques est indispensable, préalablement à toute exploitation hydrologique de ces dernières, car les mesures ne sont pas menées souvent avec soin.

La série à laquelle nous faisons allusion cette partie est la série enregistrée au niveau de la station pluviométrique de Tissemsilt, les valeurs de cette série sont représentées dans le tableau précédent.

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

➤ Test de Wilcoxon:

Ce test repose sur un procédé simple, permettant de tester l'homogénéité d'une série de données, sans qu'il fasse appel à une autre série pluviométrique homogène d'une station voisine, étalée sur la même période d'observation. La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous.

On divise la série complète en deux sous séries y et x tel que : N_1 et N_2 représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement $N_2 > N_1$.

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

La série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée.

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \dots\dots\dots \text{(IV-01)}$$

$$W_x = \sum_{i=1}^n \text{Rang} \dots\dots\dots \text{(IV-02)}$$

Avec : W_x : Somme des rangs de sous série

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)(N_1 - 1)}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \left[\frac{(N_1 N_2)(N_1 + N_2 + 1)}{12} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots \text{(IV-03)}$$

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

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1) N_1 - W_{\min} \dots\dots\dots \text{(IV-04)}$$

Tableau IV-02 : Le procédé de test d'homogénéité pour la série pluviométrique.

Rang	P(mm)	Série X(mm)	Série Y(mm)	Tri ↓ (mm)	X U Y	Rang
1	486,7	486,7	529,6	772,5	x	
2	327,4	327,4	377,9	714,1	y	2
3	373,1	373,1	696,5	701,4	x	
4	587,8	587,8	359,3	696,5	y	4
5	585,7	585,7	714,1	680,1	y	5
6	571,8	571,8	608,2	678,4	y	6
7	368,1	368,1	460,6	608,2	y	7
8	485,7	485,7	371,1	587,8	x	
9	441,3	441,3	277,4	585,7	x	
10	567,5	567,5	678,4	571,8	x	
11	565	565	567,3	567,5	x	
12	371,5	371,5	680,1	567,3	y	12
13	377,1	377,1	541,4	565	x	
14	482	482		541,4	y	14
15	772,5	772,5		529,6	y	15
16	476,7	476,7		486,7	x	
17	701,4	701,4		485,7	x	
18	529,6			482	x	
19	377,9			476,7	x	
20	696,5			460,6	y	20
21	359,3			441,3	x	
22	714,1			377,9	y	22
23	608,2			377,1	x	
24	460,6			373,1	x	
25	371,1			371,5	x	
26	277,4			371,1	y	26
27	678,4			368,1	x	
28	567,3			359,3	y	28
29	680,1			327,4	x	
30	541,4			277,4	y	30

$$N_1 = 13 \text{ et } N_2 = 17$$

$$W_y = 191$$

$$W_{\min} = 139.17 \quad \text{d'où : } 139.17 < W_y < 263.83$$

$$W_{\max} = 263.83$$

Après avoir vérifié la condition de WILCOXON, la série des précipitations moyennes annuelles est jugée homogène à seuil de $(1-\alpha)$ avec $\alpha=0.05$.

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

IV.3. Etude de l'échantillon et le choix du type de la loi :

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

Pour cela, les lois d'ajustement qui s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles sont :

- Loi de Gauss ou loi Normale.
- Loi de Galton ou loi log-Normale.

IV.3.1. Ajustement à la loi de Gauss ou loi Normale :

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 : $U = \frac{X-\bar{X}}{\delta}$ (IV-05).
- Calcul des caractéristiques empiriques de loi (\bar{X} ; δ ; C_v ; $C_{s=0}$).
- Le coefficient de variation : $C_v = \frac{\delta}{\bar{X}}$ (IV-06)

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

$$X_{p\%} = \bar{X} + \delta \cdot U_{p\%} \text{ (IV-07)}$$

Avec : $X_{p\%}$: précipitation de probabilité P%.

$U_{p\%}$: variable réduite de Gauss.

\bar{X} : Moyenne arithmétique.

δ : écart type.

Pour les calculs on a utilisé le logiciel HYFRAN.

Tableau IV-03 : Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi Normale

Nombre d'observations : 30					
Paramètres					
mu	42.781167				
sigma	11.028980				
Quantiles					
q = F(X) (probabilité au non-dépassement) ; T = 1/(1- q)					
T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	83.80	5.750	72.53	95.07
2000.0	0.9995	79.07	5.174	68.93	89.22
1000.0	0.9990	76.87	4.908	67.25	86.49
200.0	0.9950	71.19	4.240	62.88	79.51
100.0	0.9900	68.44	3.925	60.75	76.14
50.0	0.9800	65.44	3.592	58.39	72.48
20.0	0.9500	60.93	3.119	54.81	67.04
10.0	0.9000	56.92	2.739	51.55	62.29
5.0	0.8000	52.06	2.354	47.45	56.68
3.0	0.6667	47.53	2.108	43.39	51.66
2.0	0.5000	42.78	2.014	38.83	46.73
1.4286	0.3000	37.00	2.152	32.78	41.22
1.2500	0.2000	33.50	2.354	28.89	38.11
1.1111	0.1000	28.65	2.739	23.28	34.01
1.0526	0.0500	24.64	3.119	18.52	30.75
1.0204	0.0200	20.13	3.592	13.08	27.17

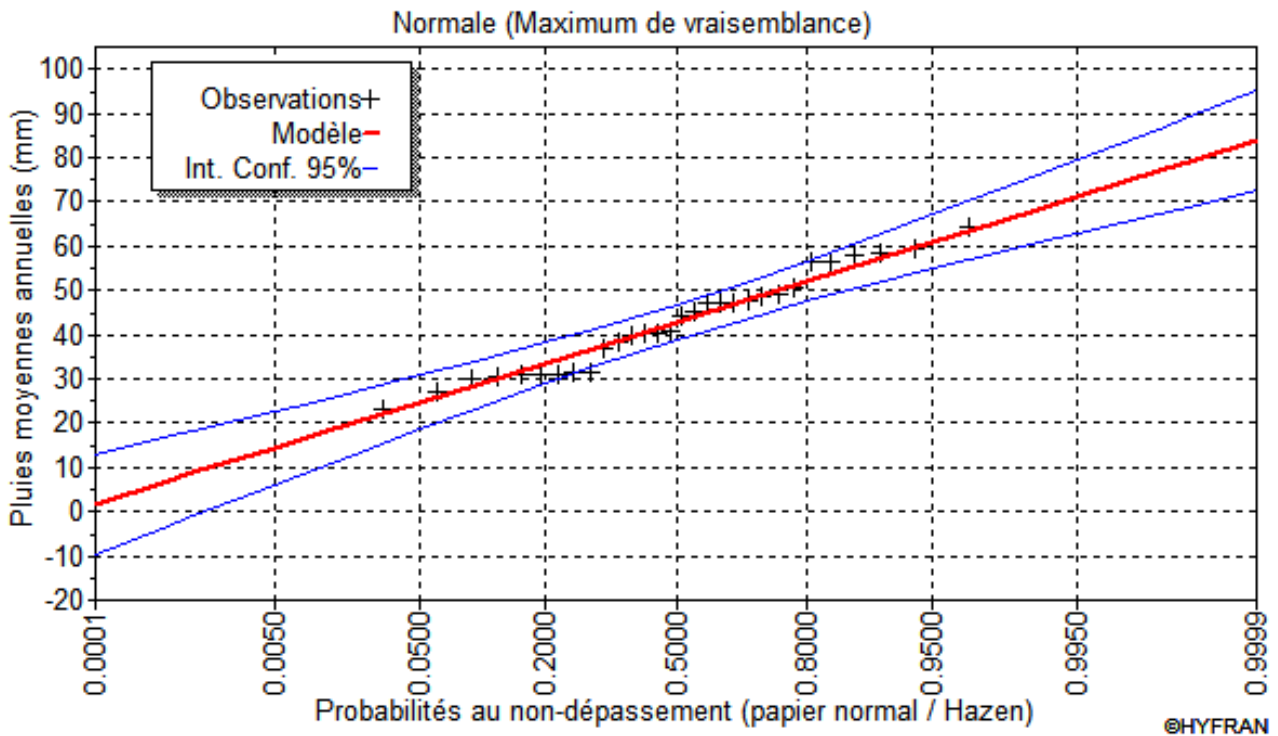


Figure IV-01 : Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss

IV.3.1.1. Test de Khi carré

Il nous permet de vérifier l'ajustement à la loi de Gauss, pour cela on doit procéder comme suit :

- Calculer $\chi^2_{\text{calculé}}$.

Soit un échantillon de N valeurs classées par ordre croissant ou décroissant à étudier , et pour lequel une loi de répartition F(X) a été déterminée :

on divise cet échantillon en un certain nombre de classes K contenant chacune n_i valeurs expérimentales. Le nombre v_i est le nombre théorique de valeurs sur un échantillon de N valeurs affectées à la classe i par la loi de répartition, donnée par la relation suivante :

$$v_i = N \int_{x_{i+1}}^x f(X)dX = N[F(X_i) - F(X_{i+1})] \dots\dots\dots \text{(IV-08)}$$

$f(X)$: étant la densité de probabilité correspondant à la loi théorique. La variable aléatoire χ^2 , dont la répartition a été étudiée par Pearson, est définie par l'expression suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{n_i - v_i}{v_i} \dots\dots\dots \text{(IV-09)}$$

- Calculer le nombre de degré de liberté γ .

$$\gamma = K - 1 - P \dots\dots\dots \text{(IV-10)}$$

Avec : P : Nombre de paramètres dont dépend la loi de répartition.

On cherche dans la table de Pearson la probabilité de dépassement correspondante au nombre de degré de liberté, définie ci-dessus par γ .

- Déterminer $\chi^2_{\text{théorique}}$ sur la table de Pearson IV (voir tableau ci après)

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

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

Tableau IV-04 : Table de χ^2

γ	α	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	9.830	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

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

$$P = 0.0563$$

$$K = 7$$

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 9.2 \quad \text{et } \gamma = 4$$

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

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 9.488$$

Donc : $\chi^2_{\text{calculé}} = 9.2 < \chi^2_{\text{théorique}} = 9.488$

Alors on déduit que l'ajustement est à considérer.

IV.3.2. Loi de log-normal ou loi de Galton :

L'ajustement par cette méthode se fait comme suit :

Les données statistiques des pluies sont rapportées à une échelle à savoir l'échelle du log-normal.

Nous avons l'équation de la droite de Galton qui s'écrit comme suit :

$$\text{Ln}(X_{p\%}) = \overline{\text{Ln}(X)} + \delta_{\text{Ln}} \cdot U_{p\%} \dots\dots\dots \text{(IV-11)}$$

Avec : Ln : symbole de l'opérateur mathématique correspondant au logarithme népérien.

$X_{p\%}$: précipitation probable à p%.

$\overline{\text{Ln}(X)}$: Moyenne arithmétique des logs des précipitations observées.

$U_{p\%}$: variable réduite de Gauss.

δ_{Ln} : la variance, calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique, sa formule est écrite comme suit :

$$\delta_{\text{Ln}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} [\text{Ln}(X_i) - \overline{\text{Ln}(X)}]^2} \quad \text{Si } n < 30 \dots\dots\dots \text{(IV - 12)}$$

$$\delta_{\text{Ln}} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^{i=n} [\text{Ln}(X_i) - \overline{\text{Ln}(X)}]^2} \quad \text{Si } n \geq 30 \dots\dots\dots \text{(IV - 13)}$$

Pour les calculs, on a utilisée le logiciel HYFRAN

Tableau IV-05 : Ajustement des pluies annuelles à la de Galton ou loi log-Normale.

Nombre d'observations : 30					
Paramètres					
mu	3.722557				
sigma	0.267119				
q = F(X) (probabilité au non-dépassement) ; T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	111.7	15.56	81.22	142.2
2000.0	0.9995	99.64	12.49	75.17	124.1
1000.0	0.9990	94.45	11.23	72.44	116.5
200.0	0.9950	82.33	8.454	65.76	98.90
100.0	0.9900	77.02	7.323	62.67	91.38
50.0	0.9800	71.61	6.231	59.40	83.83
20.0	0.9500	64.20	4.851	54.69	73.71
10.0	0.9000	58.26	3.864	50.69	65.84
5.0	0.8000	51.80	2.953	46.01	57.59
3.0	0.6667	46.41	2.369	41.76	51.05
2.0	0.5000	41.37	2.018	37.41	45.33
1.4286	0.3000	35.97	1.874	32.29	39.64
1.2500	0.2000	33.04	1.884	29.35	36.73
1.1111	0.1000	29.38	1.948	25.56	33.20
1.0526	0.0500	26.66	2.014	22.71	30.61
1.0204	0.0200	23.90	2.079	19.82	27.98

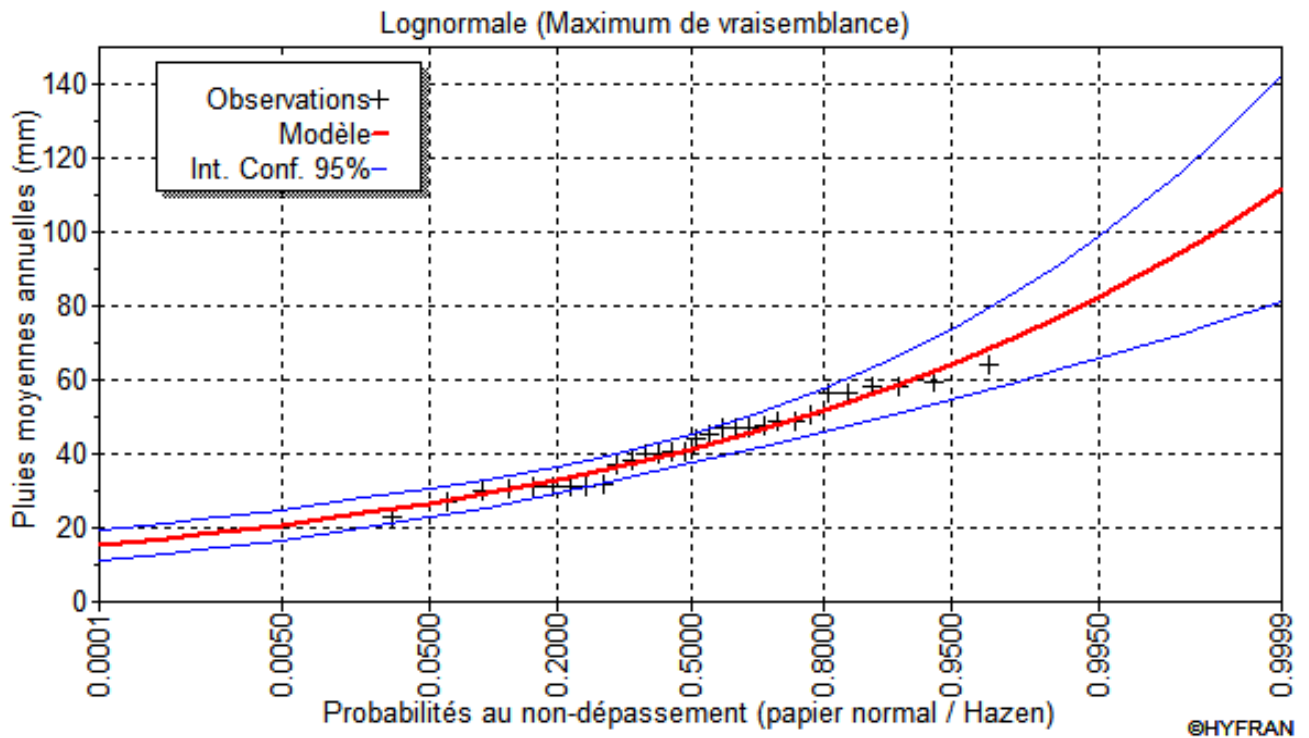


Figure IV-02 : Ajustement des pluies annuelles à la loi de Galton ou loi log-Normale

IV.3.2.1. Test de Khi carré :

- On calcule $\chi^2_{\text{calculé}}$.
- On calcule le nombre de degré de liberté γ .
- On détermine $\chi^2_{\text{théorique}}$ sur la table de Pearson III.

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

$$P = 0.2042$$

$$K = 7$$

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 5.92 \quad \text{et} \quad \gamma = 4$$

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

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 9.488$$

$$\text{Donc : } \chi^2_{\text{calculé}} = 5.92 < \chi^2_{\text{théorique}} = 9.488$$

Alors on déduit que l'ajustement est à considérer.

Conclusion :

D'après le test de Khi carré, la loi log Normale présente une adéquation meilleure que la loi Normale.

IV.4. Détermination de l'année de calcul :

Puisque la loi log Normale est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région.

L'estimation de l'année sèche de fréquence 80%, on utilise la formule :

$$P_{\text{sec } 80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (80\%) Annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) Annuelle}}} \dots\dots\dots (\text{V-14})$$

On déduit les résultats suivant :

$$P_{\text{théorique (80\%) Annuelle}} = 320 \text{ mm.}$$

$$P_{\text{théorique (50\%) Annuelle}} = 410 \text{ mm.}$$

Les pluies mensuelles servant au calcul et au dimensionnement du réseau de notre périmètre sont présentées comme suit :

Tableau IV-06 : Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Févr.	Mar	Avr.	Mai	Jui	Jui	Aout
P_{i,moy} (mm)	26,93	44,92	60,30	67,77	75,80	70,42	52,57	48,01	37,31	10,21	6,45	12,74
P_{i,80%} (mm)	21,02	35,06	47,06	52,89	59,16	54,96	41,03	37,47	29,12	7,97	5,04	9,94

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons essayé de dégager les principales caractéristiques statistiques de la série pluviométrique, retenue comme représentative de la zone de projet.

Quant à l'ajustement des séries de pluies moyennes annuelles, il faut signaler que le test de Khi carré a montré un ajustement à considérer avec les deux lois (Normale et log Normale), mais pour notre projet, la loi log Normale est plus adéquate pour l'ajustement.

Chapitre V :

Choix des techniques d'arrosage

Chapitre V : Choix des techniques d'arrosage

Introduction

L'humidité du sol à l'état naturel est souvent insuffisante, et pour garantir un rendement optimum des cultures, on à recours à l'irrigation. On appelle mode d'irrigation la manière avec laquelle l'eau arrive de la source jusqu'à la culture, pour chaque monde on peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation.

Dans ce chapitre, nous allons étudier ces différentes modes d'irrigation afin de choisir la technique qui correspond le mieux aux caractéristiques de notre région d'étude.

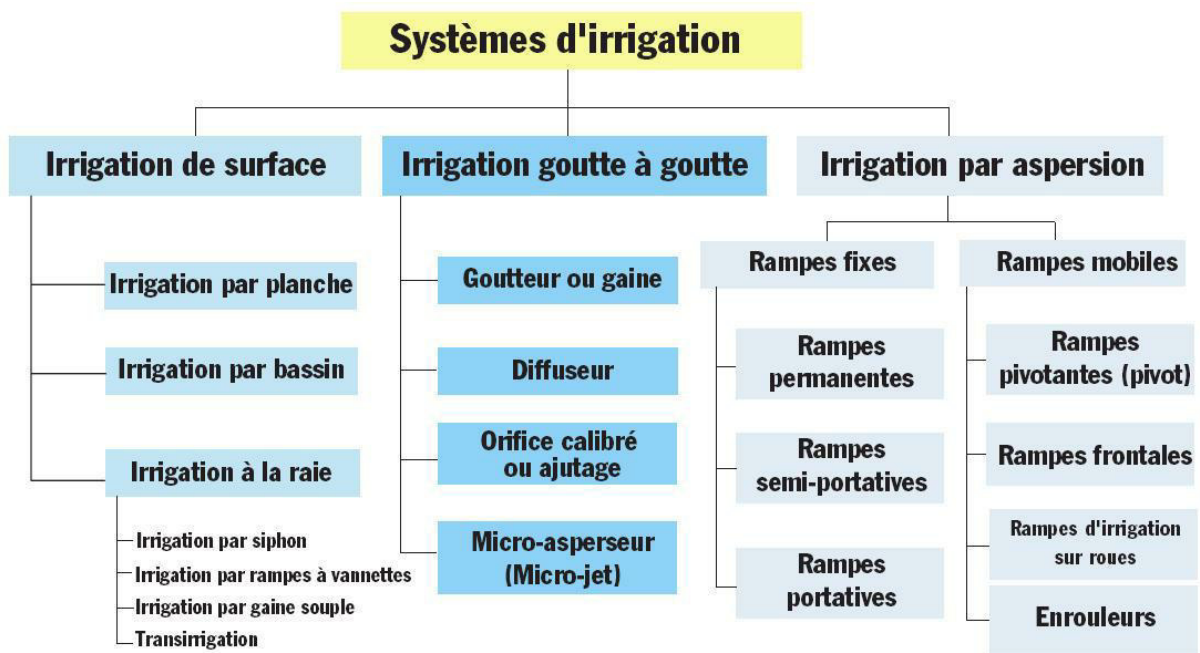


Figure V-01 : schéma des différents systèmes d'irrigation.

V.1. Irrigation gravitaire :

L'irrigation de surface, également nommée irrigation gravitaire. Les deux caractéristiques qui distinguent l'irrigation de surface des autres modes d'irrigation sont que l'eau s'écoule librement sous l'action de la gravité et que les moyens sur le terrain de transport et de

distribution sont la surface du champ (Walker, 1989). [7]

Les techniques d'irrigation de surface sont classés dans l'ordre croissant de leur efficacité

en : - irrigation par ruissellement

- irrigation par planches
- irrigation à la raie
- irrigation par bassins.

V.1.1. Irrigation par ruissellement

L'eau d'irrigation est apportée par ruissellement à partir des fossés du champ sans vrai contrôle par des digues ou par d'autres méthodes limitant le mouvement de l'eau (Schwab et al 1993). Cette façon de faire est souvent comparée à une inondation sauvage. Bien que ces méthodes soient intéressantes pour leur faible coût initial et pour le travail demandé, elles ne le sont pas pour leur faible efficacité et leur faible uniformité. Cette méthode est généralement utilisée sur les terrains vallonnés lorsqu'il n'est pas possible d'implanter des planches, des bassins ou des raies et où l'eau à apporter est suffisante. [7]



Figure V-02 : irrigation par ruissellement des vignes.

V.1.2. Irrigation par planches

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur des longues parcelles en pente et rectangulaire avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, 30 à 65 pieds de large, 300 à 1300 pieds de long avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation (Schwab et al., 1993). Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la

direction de l'eau. L'irrigation par planche convient très bien pour la plupart des types de cultures et de sol mais elle est favorisée par les sols ayant une vitesse d'infiltration lente et les cultures qui tolèrent un flaquage prolongé. [7]



Figure V-03 : Irrigation par planches (alimentation des planches par siphons).

V.1.3. Irrigation à la raie

Alors qu'avec les autres techniques d'irrigation de surface l'eau recouvre la totalité de la parcelle, l'irrigation à la raie ne couvre qu'un cinquième ou la moitié de la surface. Les raies dont la taille varie, peuvent être placées dans le sens de la pente ou selon les courbes de niveau. De petits sillons peu profonds, appelés corrugations, sont typiquement utilisés pour les cultures denses telles que les céréales basses et la luzerne. Les raies plus larges et plus profondes conviennent pour les cultures en ligne comme le maïs.

Par rapport aux autres techniques d'irrigation de surface, l'irrigation à la raie permet, sur l'exploitation, de gérer l'eau avec plus de flexibilité. Le débit unitaire est considérablement réduit et cette technique peut être pratiquée avec des pentes allant jusqu'à 12% si les raies sont placées selon les courbes de niveau avec un débit dimensionné pour être non érosif. Si les raies ne sont pas disposées selon les courbes de niveau, la pente maximale recommandée est de 3% ou moins. Avec cette technique d'irrigation, la surface mouillée plus petite diminue les pertes par évaporation. Les raies offrent plus de possibilités à l'irrigant de gérer de façon plus efficace les irrigations lorsque, en cours de saison, les conditions sur la parcelle varient. Cependant, l'irrigation à la raie n'est pas toujours efficace et un ruissellement important peut se produire si un débit d'entrée constant est maintenu pendant l'arrosage. Différentes méthodes, telles que l'arrosage à deux débits ou l'irrigation par vague peuvent être utilisées pour réduire le ruissellement. [7]



Figure VI-04 : Irrigation à la raie.

V.1.4. Irrigation par bassins

Les bassins sont généralement de forme rectangulaire, nivelés et entourés par une digue pour éviter le ruissellement. La mise en eau des bassins est généralement ni dirigée, ni contrôlée et elle peut être efficace si un débit important est disponible pour recouvrir rapidement la parcelle (Schwab et al., 1993). Quelques cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et elle convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond (Walker 1989). Le nivellement du terrain est très important pour obtenir une uniformité et une efficacité élevées pour toutes les techniques d'irrigation de surface. [7]



Figure VI-05 : Irrigation par planches.

V.2. Irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion est un moyen polyvalent pour arroser n'importe quels types de cultures, de sols et de topographies (Schwab et al., 1993). Elle peut être efficace dans des conditions de sols ou de topographies pour lesquelles les méthodes d'irrigation de surface ne le sont pas. En général les systèmes sont définis selon le type de déplacement des rampes sur lesquelles sont fixés différents types d'asperseurs. Les rampes sont fixes ou mobiles. Dans ce dernier cas elles sont déplacées manuellement ou mécaniquement. L'irrigation par aspersion a une efficacité élevée mais pose des problèmes dus aux exigences en main d'œuvre et aux coûts d'investissement.

Les rampes déplacées manuellement nécessitent les investissements les plus faibles mais un besoin en main-d'œuvre très élevé. Ce système ne peut être utilisé que sur les cultures à faible développement.

Les rampes de type side-roll utilisent la canalisation d'irrigation comme axe pour des roues de grand diamètre séparées les unes des autres de 40 pieds. Entraînées par un moteur thermique, elles nécessitent ainsi moins de travail que lors d'un déplacement manuel. Ce système doit être utilisé sur des cultures qui n'interfèrent pas avec le déplacement de la rampe ou avec le fonctionnement des asperseurs.

Un pivot est constitué par une canalisation tournant autour d'un point pivot central sous l'action de la pression d'eau, de moteurs électriques ou de moteurs hydrauliques à huile (Schwab et al., 1993).

Différents types de buses, à différentes hauteurs et avec différentes pluviométries peuvent être utilisés sur les pivots. Pour avoir la meilleure efficacité possible, le choix des asperseurs doit correspondre aux conditions de sol.

Les rampes frontales utilisent des structures semblables à celles des pivots mais dans le champ elles se déplacent parallèlement à elles-mêmes. Dans le cas de la couverture intégrale les asperseurs sont installés sur l'ensemble de la parcelle et tous ou seulement quelques uns fonctionnent en même temps.

Les pivots correspondent au système d'aspersion le plus communément utilisé dans les High Plains au Colorado. Les asperseurs utilisés vont des anciens asperseurs à batteur aux sprays plus modernes avec un grand nombre d'applications et de positionnements (Howell 2003).[7]



Figure V-06 : Irrigation par aspersion.

V.3. Irrigation localisée :

La micro-irrigation ou irrigation localisée est une technique d'irrigation apportant l'eau sur le sol lentement, avec une fréquence élevée, une pression de fonctionnement et des débits faibles et contrôlés (Schwab et al ., 1993). Correctement conçue, une installation de micro-irrigation permet d'augmenter les rendements et de diminuer les besoins en eau, en fertilisants et en main-d'œuvre. La micro-irrigation comprend : les micro-asperseurs, le goutte à goutte et l'irrigation goutte à goutte enterrée (SDI).

Les micro-asperseurs comprenant, les mini-diffuseurs, les microdiffuseurs et les brunisseurs correspondent à des petits distributeurs placés sur de petits tubes allongés au-dessus de la surface du sol. L'eau projetée dans l'air parcourt une faible distance avant d'atteindre le sol. Avec cette technique, la faible surface mouillée par le distributeur est contrôlée aisément avec exactitude et peut présenter différentes formes correspondant aux types d'arrosage choisis. Les installations d'irrigation par micro-asperseurs permettent de pratiquer la lutte antigel, d'avoir une plus grande flexibilité lors des arrosages et une sensibilité plus faible au colmatage.

Les systèmes goutte à goutte apportent l'eau directement sur ou dans le sol (SDI) et ne mouillent qu'une partie seulement du sol. Ils présentent des avantages car l'eau est apportée directement ou juste à côté de la zone racinaire des plantes minimisant ainsi les pertes par percolation et réduisant ou supprimant la surface mouillée permettant à l'eau de s'évaporer et éliminant les pertes par ruissellement. Ils réduisent également l'utilisation de l'eau par les mauvaises herbes et fonctionnent à très faible pression. Les systèmes de micro-irrigation arrosent selon une fréquence élevée créant ainsi dans le sol des conditions d'humidité optimales pour la plante. Avec une gestion appropriée, la micro-irrigation économise de l'eau car celle-ci est apportée en faible quantité uniquement dans la zone racinaire ce qui

évite les pertes par percolation profondes, l'utilisation de l'eau par des adventices ou l'évaporation à partir de la surface du sol. De plus, tout en étant très efficace une installation d'irrigation goutte à goutte bien conçue demande peu de main d'œuvre. On constate également un accroissement des rendements des cultures car le niveau élevé, temporaire, de l'humidité du sol, nécessaire pour satisfaire les besoins en transpiration de la plante, est maintenu (Colaizzi et al, 2003).[7]



Figure V-07 : Irrigation localisée.

V.4. Efficacité d'un système d'irrigation :

L'efficacité de l'utilisation de l'eau est définie par le rendement par unité d'eau. L'efficacité optimale est obtenue en minimisant les pertes dues à l'évaporation, au ruissellement et à l'infiltration. Dans les schémas d'irrigation, l'efficacité d'acheminement et de distribution concerne les pertes d'eau, de la source au point d'arrivée dans le champ. La notion de productivité de l'eau est souvent utilisée, ce qui signifie : produire plus de nourriture ou obtenir plus de bénéfices avec moins d'eau. Cette notion se limite en général à la valeur économique produite par unité d'eau consommée. [8]

V.4.1. Efficacité de l'application de l'eau (distribution) :

C'est le volume d'eau fourni par le matériel d'irrigation (canon, asperseur, goutteur) par rapport au volume d'eau disponible à l'entrée de la parcelle.

Les fuites dans le réseau de distribution à la parcelle sont responsables d'une plus ou moins

bonne efficacité de la distribution. [9]

$$E_d = 100 \frac{W_d}{W_c} \dots\dots\dots (V-01)$$

W_d : eau stockée dans le sol au niveau de la zone racinaire lors de l'irrigation

W_c : eau apportée sur le champ lors de l'irrigation

V.4.2. Efficacité d'adduction (transport) :

C'est le volume d'eau disponible au niveau de la parcelle par rapport au volume d'eau prélevé dans la ressource.

Ce terme peut être très important pour les réseaux collectifs : on en a une première approche par le rendement primaire, qui est le rapport entre la somme des volumes relevés sur les compteurs individuels et le volume mesuré à la station de pompage. [9]

$$E_t = 100 \frac{W_c}{W_s} \dots\dots\dots (V-02)$$

W_c : eau apportée sur le champ lors de l'irrigation.

W_s : l'eau transportée de la source.

V.4.3. Efficacité globale :

L'efficacité globale d'un système d'irrigation résulte des rendements en cascade qui affectent le transport, la distribution et l'uniformité.[9]

L'estimation de cette efficacité est exprimée par la formule suivante :

$$E_i = E_d \cdot E_t \cdot U_d \dots\dots\dots (V-03)$$

E_i : Efficacité d'irrigation en (%).

E_d : Efficacité de distribution en (%).

E_t : Efficacité de transport en (%).

U_d : Efficacité de l'uniformité de la distribution.

Tableau V-01 : Gamme de l'efficacité des différents systèmes d'irrigation.

Type d'irrigation	L'efficacité globale
Bassins de submersion	60-80
Raies	55-75
Planches	40-75
Aspersion	65-85
Micro irrigation	70-90

Source : valeurs indiquées dans divers articles de la FAO.

V.5. Les avantages et les inconvénients des modes d'irrigations :

Pour choisir une méthode d'irrigation, l'agriculteur doit connaître les avantages et les inconvénients des différentes méthodes. Malheureusement dans bien des cas, il n'existe pas une unique bonne solution car toutes les méthodes ont leurs avantages et leurs inconvénients (Brouwner et al.). Le tableau ci-dessous présente les avantages et les inconvénients d'une technique d'irrigation par rapport à une autre. Tous ces éléments doivent être pris en compte avant d'effectuer la conversion vers une technique plus efficiente. Si un système d'irrigation n'est pas particulièrement bien adapté à une situation donnée, il peut ne pas être plus efficient ou ne pas économiser plus d'eau que la méthode d'irrigation initiale. [7]

Tableau V-02 : Les avantages et inconvénients des différents modes d'irrigations.

Irrigation Gravitaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Techniques anciennes, bien connues ; -Coût d'investissement faible à la parcelle pour l'agriculteur ; -Pas d'apport énergétique extérieur ; -Alimentation des nappes phréatiques ; 	<ul style="list-style-type: none"> -temps de main d'œuvre pour la répartition et la surveillance important ; -Pertes d'eau importante dans les canaux; -Lieu de points de distribution fixe ; -Nécessite un terrain plat ou un nivellement ; -Estimation du volume réellement consommé difficile ;
Irrigation par aspersion	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Absence de nivellement préalable ; -Bonne adaptation à tous les types de sols ; -Nécessite moins de mains d'œuvres ; -Contrôle précis des doses appliquées ; -Possibilité d'automatisation. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cout d'investissement élevé ; -Dépense énergétique élevée ; -Sensibilité au vent ; -Exige une bonne qualité d'eau ; -Main d'œuvre (installation mobile).
Irrigation localisée	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Excellent rendement des cultures ; -Bonne efficience d'arrosage à la parcelle ; -très faible besoin de main d'œuvre ; Possibilité d'automatisation 	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessite une maintenance rigoureuse ; -Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation ; -Cout très élevé du matériel ; -Exige une bonne qualité d'eau.

Conclusion :

En se basant sur ce qui précède, et en fonction des caractéristiques climatiques, agropédologiques et sociale de la zone d'étude. La meilleure technique d'irrigation à utiliser est l'irrigation par aspersion car elle est plus avantageuse que les autres par rapport à nos critères. On prend 85% comme efficacité globale de notre technique et on entame les calculs d'assolement, d'adduction et de dimensionnement de notre système.

Chapitre VI :

Estimation des besoins en eau et détermination du régime d'irrigation

Chapitre VI : Estimation des besoins en eau et détermination du régime d'irrigation

Introduction :

Dans ce chapitre, on va faire le choix des cultures selon les caractéristiques de notre lieu d'étude et aussi déterminer les besoins en eau d'irrigation des cultures choisies.

Après avoir déterminé les quantités d'eau nécessaire pour compenser les déficits des cultures d'assolement, il est fondamental d'avoir une planification qui nous permettra d'estimer la dose d'eau que l'on appliquera à chaque arrosage et sa fréquence.

Le programme d'irrigation varie avec la culture, le sol, le climat, la nature du produit récolté et le degré d'aménagement. Cependant, pour le programme de distribution de l'eau, il faudra connaître les débits à dériver au niveau des ouvrages de captage et les débits à fournir à la parcelle pour satisfaire les besoins.

A partir de ces données, nous pourrons dimensionner les ouvrages de conduction de façon à répondre dans des conditions optimales aux besoins des cultures.

VI.1. Choix des cultures

Le choix des cultures est tributaire du niveau de traitement des eaux usées qui détermine la qualité de l'eau épurée à la sortie de la station d'épuration ou du bassin de stockage.

Ensuite d'autres facteurs entrent en ligne, on compte notamment :

- Les caractéristiques pédoclimatiques
- La vocation culturelle
- Le système d'irrigation
- La gestion de certains risques tels que la salinité
- La fertilisation et les éléments toxiques

Le présent projet d'arrêté est proposé en application des dispositions de l'article 15 du décret exécutif n°07-149 du 20 mai 2007, relatif aux modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent.

Le projet d'arrêté fixe la liste des cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées (tableau V-01) dans un objectif de minimiser les risques sur la santé publique.

Tableau VI-01 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées

Groupes de cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées.	Liste des Cultures
Les arbres fruitiers ⁽¹⁾	dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
Les agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Les cultures fourragères ⁽²⁾	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
Cultures industrielles	Tomate industrielle , haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière , Coton, le tabac, le lin.
Les cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Les cultures de production de semences	Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
Les arbustes fourragers	l'Acacia et l'Atriplex.
Les plantes florales à sécher ou à usage industriel	le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

- (1)- L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise puisque on peut cesser l'irrigation plusieurs jours avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.
- (2)- Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et ce, afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

Pour l'utilisation agricole des eaux usées épurées il est important de munir la STEP d'un **traitement complémentaire de l'azote et du phosphore, et de la désinfection** (il est à signaler

que la désinfection par chloration n'est plus considérée comme la solution la mieux adaptée ; Il est existé maintenant des technologies plus performante telles que les ultra-violet).

Dans le cas où les analyses des eaux usées épurées rencontrées au bassin de stockage destiné à l'irrigation ne répondent pas aux normes, il s'agit donc d'une utilisation restrictive : il est par conséquent strictement interdit d'irriguer les cultures maraîchères et de pratiquer le pâturage direct. Dans ce cas il est important de fixer de manière exhaustive les cultures pouvant être irriguées par ce type d'eau à savoir :

- Les cultures industrielles
- Les cultures céréalières et oléagineuses
- Les cultures fourragères
- L'arboriculture
- Les arbres forestiers et les arbustes fourragers
- Les plantes florales à sécher ou à usage industriel

Dans le cas où on obtient une eau épurée répondant aux critères de qualité, cela permettrait d'élargir la gamme des cultures à irriguer pour une utilisation non restrictive conformément aux spécifications de la norme proposée.

Arboriculture :

Trois espèces ont été retenues : Oliviers, Grenadiers et les Vignes.

Cultures industrielles :

Les cultures industrielles (Tomate, Haricot, Petit pois et Betterave sucrière) peuvent être introduites dans le périmètre étudié,

Cultures céréalières et fourragères :

Deux espèces de fourrages ont été retenues dans la nomenclature des plantes que nous proposons : la vesce avoine et le maïs fourrager.

Pour les cultures céréalières nous reteindrons deux espèces aussi, il s'agit des orges et des blés.

Cultures de production de semence :

Les cultures de production de semence sont : Pomme de terre, et les petits pois.

La diversité des cultures proposée a pour objet de permettre aux agriculteurs de faire un choix technique en fonction de leur stratégie. A cet effet, nous présentons les superficies développées des cultures (Tableau V-02).

Tableau VI-02: Les pourcentages occupés par les différentes cultures.

Cultures	Superficie en (ha)	Pourcentage (%)
Blé	96	27,5
Orge	66	18,9
Vesce Avoine	39	11,2
Mais	9	2,6
P.D.T. (S)	20,2	5,8
P.D.T. (AS)	24	6,9
Petit Pois	11,4	3,3
Tomate Industrielle	15,28	4,4
Haricot	6,7	1,9
Betterave sucrière	5,88	1,7
Petit Pois (Ind)	8,28	2,4
Oliviers	27	7,7
Grenadiers	10	2,9
Vignes	10	2,9
Somme	348,74 (*)	100

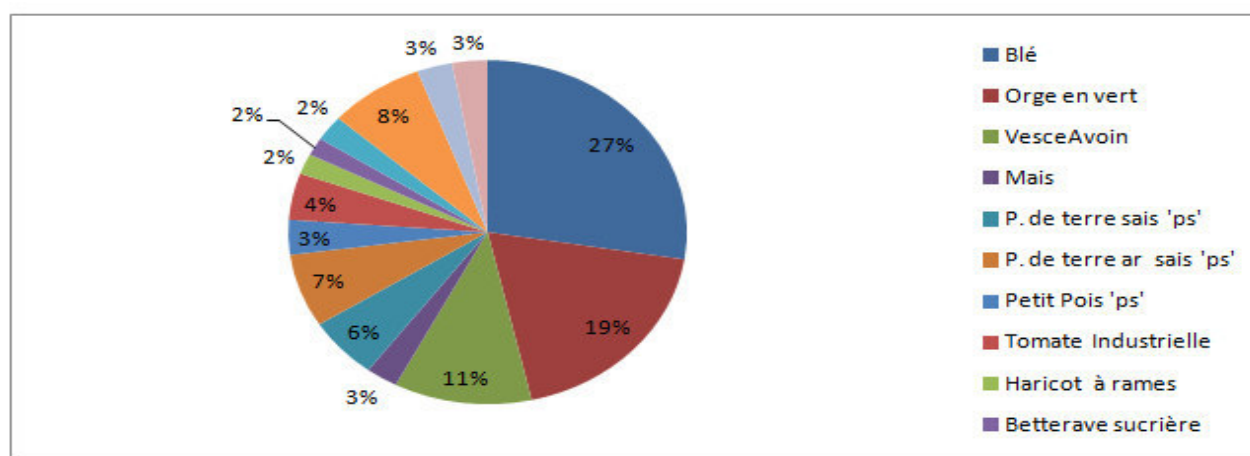


Figure VI-01 : occupation de sol.

NB : la surface totale du périmètre est de 312.28 ha après l'enquête foncière et délimitation définitive du périmètre d'irrigation,

(*) Surface projeté en tenant compte le taux d'occupation de sol (1.11) qui exprime la rotation des cultures choisis

VI.2. Estimation de 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.

▪ **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 ».

▪ **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.

▪ **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 inférieur ou égal à l'ETP selon que les conditions de celle-ci sont réunies ou non.

VI.2.1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de référence:

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 :

VI.2.1.1. Les 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.

VI.2.1.2. Les méthodes indirectes.

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

➤ Formule 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 :

$$ETP = K (0,46t_m + 8, 13) P \dots\dots\dots(VI-01)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/jour.

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

Calcul de t_m :

Si vous avez seulement la température moyenne du mois, il n'est considéré que tous les jours du mois à la même température moyenne. Prenant données quotidiennes de températures minimales et maximales, T_m est calculé comme suit:

- T Max: $T_{\text{máxima}}$ somme de tous les jours du mois / Nombre de jours dans le mois.
- T Min: somme du minimum T pour tous les jours du mois / Nombre de jours dans le mois.
- $T_m = (T_{\text{Máxima}} + T_{\text{Mínima}}) / 2$.

Pour p (pourcentage quotidien d'heures de lumière du jour dans le mois par rapport au total annuel) valeurs présentées dans le tableau qui est entré connaître la latitude est utilisé.

Tableau VI-03 : Valeur de p par la latitude et le mois.

Lat Nord	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
35° N	7,03	6,9	8,35	8,81	9,78	9,77	9,94	9,37	8,37	7,89	6,98	6,83

Tableau VI-04: Calcul de l'Evapotranspiration en mm Par la méthode de Blaney-criddle.

Mois	T (C°)	P	ETP
Septembre	21,2	8,37	112,19
Octobre	16,8	7,89	93,78
Novembre	10,2	6,98	67,08
Décembre	6,9	6,83	57,90
Janvier	6,4	7,03	58,35
Février	7,2	6,90	59,21
Mars	10	8,35	79,67
Avril	12,3	8,81	91,10
Mai	16,8	9,78	116,26
Juin	22,8	9,77	136,42
Juillet	26,4	9,94	151,07
Août	25,9	9,37	140,78
Total	-	-	1163,82

➤ Formule de Thornthwaite :

$$ETP(m) = 16 * \left[\frac{10 * \bar{T}(m)}{I} \right]^a * F(m,\phi) \dots\dots\dots (VI-02)$$

Avec: ETP(m) : l'évapotranspiration moyenne du mois m (m = 1 à 12) en mm,

T : moyenne interannuelle des températures du mois, °C

a : $0.016 * I + 0.5$

I : indice thermique annuel

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad i(m) = \left[\frac{\bar{T}(m)}{5} \right]^{1.514} \dots\dots\dots (VI-03)$$

F (m,φ) : facteur correctif fonction du mois (m) et de la latitude (35°N).

Tableau VI-05: Calcul de l'Evapotranspiration en mm Par la méthode de THORNTHWAITE.

Mois	P(mm)	Tm (°)	i	ETPcal	F(m,φ)	ETP
Septembre	27,90	21,20	8,91	96,12	1,03	99,00
Octobre	37,20	16,80	6,26	65,84	0,97	63,87
Novembre	40,60	10,20	2,94	29,25	0,86	25,74
Décembre	45,80	6,90	1,63	15,49	0,85	13,32
Janvier	37,90	6,40	1,45	13,71	0,87	12,06
Février	39,00	7,20	1,74	16,60	0,85	14,27
Mars	23,10	10,00	2,86	28,32	1,03	29,17
Avril	44,70	12,30	3,91	39,66	1,09	43,22
Mai	34,70	16,80	6,26	65,84	1,21	78,35
Juin	8,40	22,80	9,95	108,19	1,21	129,83
Juillet	5,10	26,40	12,42	137,32	1,23	167,53
Aout	14,50	25,90	12,06	133,11	1,16	153,08
Totale	358,90	15,24	70,39	749,44	-	829,45

➤ **Formule de Penman et Montheit modifiée :**

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.

$$ET_0 = C \times [w \times R_n + (1-w) \times F(u) \times (e_a - e_d)] \dots \dots \dots \text{(VI-04)}$$

Avec :

ET₀ : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

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

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

F(u) : Fonction liée au vent.

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

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel appelé **CROPWAT 8**, fondé sur la méthode de Penman&Montheit, modifiée et recommandée par la consultation des experts de la FAO tenue à Rome en Mai 1990.

Pour l'exploitation du logiciel, nous devons introduire les informations mensuelles des données climatiques recueillies et traités dans le chapitre I.

Tableau VI-06: Calcul de l'Evapotranspiration en mm Par la méthode de Penman&Motheith modifiée

Month	Avg Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sunshine hours	Radiation MJ/m²/day	ETo mm/month
January	6.4	78	4.4	8.6	12.3	39.84
February	7.2	76	4.1	8.0	14.3	47.01
March	10.0	69	4.2	6.1	15.0	76.50
April	12.3	68	4.3	5.7	16.9	92.17
May	16.8	62	3.8	5.5	17.9	125.56
June	22.8	45	3.6	6.1	19.2	178.26
July	26.4	38	3.5	7.4	20.9	217.64
August	25.9	43	3.6	8.4	21.2	205.31
September	21.2	56	3.5	10.2	21.2	146.17
October	16.8	64	3.6	10.5	18.1	102.81
November	10.2	75	4.4	11.7	15.9	54.32
December	6.9	81	4.5	11.1	13.7	35.31
Average	15.2	63	4.0	8.3	17.2	1320.88

VI.2.1.3. Résultats et discussion :

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP, à l'échelle mensuelle ont été comparés à l'ETP (Piche), en se basant sur les valeurs de l'écart relatif « ER ». Ainsi, des corrélations linéaires ont été établies entre les résultats des différents modèles par rapport à l'ETP (Piche). Il est à noter que l'écart relatif est défini par :

$$ER = \frac{(ETP(\text{Piche}) - ETP_i)}{ETP(\text{Piche})} * 100 (\%) \dots\dots\dots(\text{VI-05})$$

ETPi : ETP calculée par les méthodes de Thornthwaite, Blaney-Criddle et Penman-Monteith.

Plus les valeurs de « ER » ne sont faibles, plus la méthode d'estimation de l'ETP donne une estimation satisfaisante de cette composante.

Tableau VI-07 : Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration calculées par les différentes formules

Mois	P (mm)	T (°C)	Penman- Monteith	Thornth- waite	Blaney -criddle	Piche
<i>S</i>	27,90	21,2	146,17	99	112,19	119,12
<i>O</i>	37,20	16,8	102,81	63,87	93,78	86,82
<i>N</i>	40,60	10,2	54,32	25,74	67,08	49,05
<i>D</i>	45,80	6,9	35,31	13,32	57,9	35,51
<i>J</i>	37,90	6,4	39,84	12,06	58,35	36,75
<i>F</i>	39,00	7,2	47,01	14,27	59,21	40,16
<i>M</i>	23,10	10	76,5	29,17	79,67	61,78
<i>A</i>	44,70	12,3	92,17	43,22	91,1	75,50
<i>M</i>	34,70	16,8	125,56	78,35	116,26	106,72
<i>J</i>	8,40	22,8	178,26	129,83	136,42	148,17
<i>J</i>	5,10	26,4	217,64	167,53	151,07	178,75
<i>A</i>	14,50	25,9	205,31	153,08	140,78	166,39
Année	358,90	15,24	1320,9	829,44	1163,81	1104,72

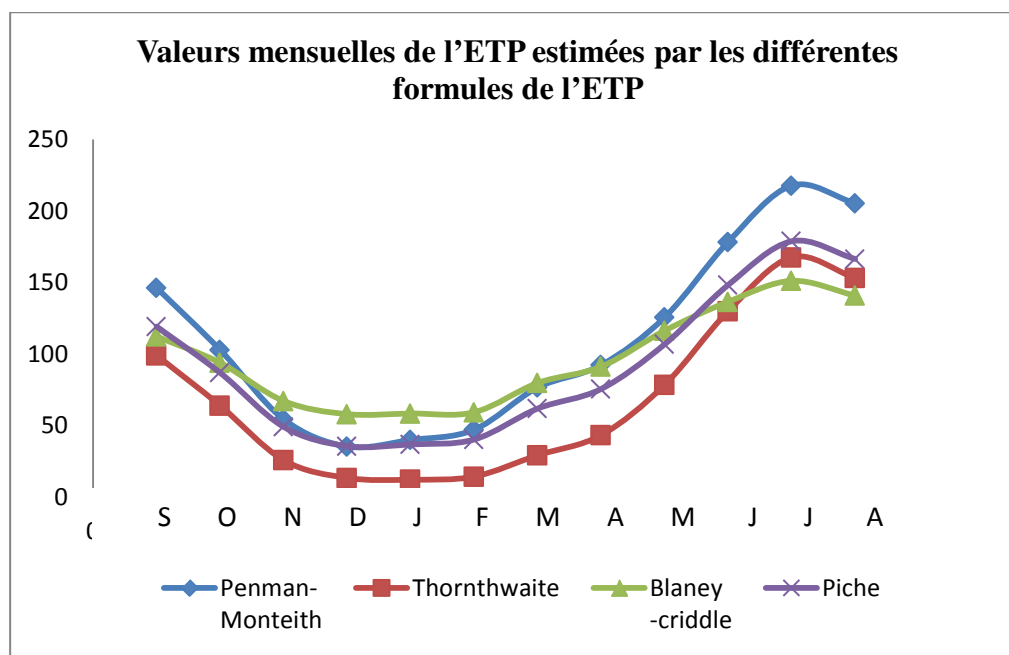


Figure VI-02: Evapotranspiration en mm calculé Par les différentes méthodes d'estimation

Tableau VI-08 : Ecart relatif des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparées à celle d'ETP (Piche) (Echelle mensuelle)

Mois	Penman-Monteith (%)	Thornthwaite (%)	Blaney-criddle (%)
Septembre	22,71	16,89	5,82
Octobre	18,42	26,43	-8,02
Novembre	10,75	47,52	-36,77
Décembre	0,56	62,49	-63,05
Janvier	8,41	67,18	-58,78
Février	17,05	64,47	-47,42
Mars	23,83	52,78	-28,96
Avril	22,08	42,75	-20,67
Mai	17,65	26,59	-8,94
Juin	20,31	12,38	7,93
Juillet	21,76	6,28	15,48
Août	23,39	8,00	15,39

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP durant la période (1996-2008) sont récapitulés dans le Tableau VII-05. L'analyse comparative des valeurs de l'ETP permet de mettre en évidence :

L'ETP calculée par la méthode de Penman-Monteith à une bonne estimation de cette composante climatique, avec un écart variant de 0.56 à 23.83 %. Il est à signaler que la période Juin-Septembre présente un écart important, compris entre 20.31 et 22.71 % (Tableau VII-06).

D'autre part, la méthode de Thornthwaite sous-estimé considérablement l'ETP tout au long de la période d'étude, avec un écart qui varie de 6.68 à 67.18 % (Tableau VII-06). Ceci s'explique par le fait que l'équation fait intervenir uniquement la température, sans tenir compte des autres facteurs importants à savoir : la durée et l'intensité réelle de l'insolation et le vent.

VI.3. Les coefficients cultureux (Kc) :

Les valeurs du coefficient cultural (Kc) de chaque culture ont été ressorties, en fonction du stade végétatif de la plante, de la force du vent et de la valeur moyenne de l'humidité moyenne minimale de l'air régnant au niveau de notre périmètre d'étude, à partir du bulletin < irrigation et drainage >, (bulletin F.A.O, N°24).

Le tableau suivant donne les valeurs de Kc pour les différentes cultures proposées en fonction du stade végétatif de la plante.

Tableau VI-09 : Valeur des coefficients cultureux (K_C)

Culture	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P.D.T (S) Ps								0,36	0,86	1,2	0,95	
Petit pois Ps				0,5	0,8	1,01	1,1	0,8				
Betterave sucrière							0,5	0,7	0,8	1		
Petit pois à rames				0,5	0,8	1,01	1,1	0,8				
Haricot à rames							0,45	0,5	0,85	1,02	0,82	0,5
PDT (Arr-s) Ps	1,35	1,25									0,36	0,86
Tomate Industrielle								0,85	1,02	0,96	0,85	0,75
Vesce avoine		0,7	0,8	0,85	1,15	1,15	1,2	0,6				
Mais fourrager								0,4	0,6	0,9	1	0,8
Orge verte			0,3	0,3	0,5	0,5	1	1,15	1			
Blé dur			0,3	1,15	1,15	1,15	1,15	0,7	0,6	0,3		
Oliviers	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,1
Vignes	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,75	0,65	0,5	0,35	0,2	0,2	0,25
Grenadiers	1,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	1,2	1,2	1,2

VI.4. La réserve facilement utilisable (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

On peut calculer la RFU d'après la formule suivante:

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Z \dots \dots \dots (VI-06)$$

avec : Y : degré de tarissement. Y = 0.34.

D_a : densité apparente. D_a = 1.

H_{cc} : humidité à la capacité au champ. H_{cc} = 29.5 %.

H_{pf} : humidité au point de flétrissement. H_{pf} = 18.4 %.

Z : profondeur d'enracinement (mm).

Tableau VI-10 : Valeurs de la densité apparente, capacité de rétention et point de flétrissement.

H _{cc}	H _{pf}	D _a
25-35%	15-20%	1 g.cm ⁻³

Source : INSID – Alger

Tableau VI-11 : les profondeurs d'enracinement des cultures.

Cultures	Profondeur d'enracinement (mm)
P.D.T (S) Ps	300
Petit pois Ps	100
Betterave sucrière	900
Petit pois à rames	100
Haricot à rames	300
PDT (Arr-s) Ps	300
Tomate Industrielle	300
Vesce avoine	700
Mais fourrager	500
Orge verte	700
Blé dur	700
Oliviers	1200
Vignes	1000
Grenadiers	800

VI.5. Détermination des besoins en eau d'irrigation :

VI.5.1. Les besoins nets en eau d'irrigation :

Les besoins des plantes ne sont pas constants dans le temps, il y a une sensibilité particulière au déficit à certaines périodes de leur cycle végétatif.

De nos jours, la plupart des modes des conduites de l'irrigation résultent soit d'un bilan hydrique de la culture, soit de mesure in situ de la réponse à la sécheresse des plantes, dans les systèmes agraires modernes, la majorité des prévisions d'irrigation dépendent de l'évaluation de la quantité d'eau disponible dans le sol pour la culture.

Les besoins en eau à satisfaire par l'irrigation au niveau du champ représentent le volume et la fréquence des applications d'eau nécessaire pour compenser les déficits en eau du sol pendant le cycle végétatif d'une culture donnée.

Les besoins sont déterminés à partir du bilan hydrique.

$$B_{\text{net}} = K_c \cdot ETP - (P_{\text{eff}} + \text{RFU}) \dots\dots\dots(\text{VI-07})$$

D'où : K_c : le coefficient cultural de la culture considéré ;

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

ETP : évapotranspiration potentielle de référence (mm) ;

RFU : réserve facilement utilisable (mm) ;

P_{eff} : pluie efficace (mm) ;

Tableau VI-12 : Calcul de la pluie efficace mensuelle.

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
P (mm)	27.9	37.2	40.6	45.8	37.9	39.0	23.1	44.7	34.7	8.4	5.1	14.5	358.9
P_{eff} (mm)	22.3	29.7	32.5	36.6	30.3	31.2	18.5	35.8	27.8	6.7	4.1	11.6	287.12

VI.5.2. Les besoins bruts en eau d'irrigation :

Les besoins bruts du périmètre sont estimés à partir des besoins nets de chaque culture. Cette estimation dépend des paramètres suivant :

- L'efficacité du système d'irrigation ;
- La répartition des différentes cultures adaptées ;
- La superficie irriguée.

On calcule les besoins bruts d'après la formule suivante :

$$B_{bru} = \frac{B_{net}}{E_i} \dots\dots\dots(VI-08)$$

Avec : B_{bru} : Besoin brut des cultures (mm) ;

B_{net} : Besoin net des cultures (mm) ;

E_i : l'efficacité globale du système d'irrigation, on prend $E_i = 0.85$.

Les résultats de calcul des besoins en de chaque culture figurent dans le tableau récapitulatif (Tableau VI-13).

Tableau VI-13 : Besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois)

Mois		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Peff (mm)		22,30	29,70	32,50	36,60	30,30	31,20	18,50	35,80	27,80	6,70	4,10	11,60
ETP (mm)		146,17	102,81	54,32	35,31	39,84	47,01	76,50	92,17	125,56	178,26	217,64	205,31
P.D.T (S) Ps	ETM (mm)								33,18	107,98	213,91	206,76	
	RFU (mm)								11,32	11,32	11,32	11,32	
	Bnet (mm)								-13,94	68,86	195,89	191,34	
Petit pois Ps	ETM (mm)				17,66	31,87	47,48	84,15	73,74				
	RFU (mm)				3,77	3,77	3,77	3,77	3,77				
	Bnet (mm)				-22,72	-2,20	12,51	61,88	34,16				
Betterave sucrière	ETM (mm)							38,25	64,52	100,45	178,26		
	RFU (mm)							33,97	33,97	33,97	33,97		
	Bnet(mm)							-14,22	-5,25	38,68	137,59		
Petit pois à rames	ETM (mm)				17,66	31,87	47,48	84,15	73,74				
	RFU (mm)				3,77	3,77	3,77	3,77	3,77				
	Bnet(mm)				-22,72	-2,20	12,51	61,88	34,16				
Haricot à rames	ETM (mm)							34,43	46,09	106,73	181,83	178,46	102,66
	RFU (mm)							9,44	9,44	9,44	9,44	9,44	9,44
	Bnet (mm)							6,49	0,85	69,49	165,69	164,93	81,62
PDT (Arr-s) Ps	ETM (mm)	197,33	128,51									78,35	176,57
	RFU (mm)	11,32	11,32									11,32	11,32
	Bnet (mm)	163,71	87,49									62,93	153,64
Tomate Industrielle	ETM (mm)								78,34	128,07	171,13	184,99	153,98
	RFU (mm)								11,32	11,32	11,32	11,32	11,32
	Bnet (mm)								31,22	88,95	153,11	169,57	131,06

Suite Tableau VI-13

Vesce avoine	ETM (mm)		71,97	43,46	30,01	45,82	54,06	91,80	55,30				
	RFU (mm)		26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42				
	Bnet		15,85	-15,46	-33,00	-10,90	-3,56	46,88	-6,92				
Mais fourrager	ETM (mm)								36,87	75,34	160,43	217,64	164,25
	RFU (mm)								18,87	18,87	18,87	18,87	18,87
	Bnet (mm)								-17,80	28,67	134,86	194,67	133,78
Orge verte	ETM (mm)			16,30	10,59	19,92	23,51	76,50	106,00	125,56			
	RFU (mm)			26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42			
	Bnet (mm)			-42,62	-52,43	-36,80	-34,11	31,58	43,78	71,34			
Blé dur	ETM (mm)			16,30	40,61	45,82	54,06	87,98	64,52	75,34	53,48		
	RFU (mm)			26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42	26,42		
	Bnet (mm)			-42,62	-22,41	-10,90	-3,56	43,06	2,30	21,12	20,36		
Oliviers	ETM (mm)	102,32	61,69	32,59	21,19	19,92	23,51	38,25	55,30	87,89	142,61	217,64	225,84
	RFU (mm)	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29	45,29
	Bnet (mm)	34,73	-13,30	-45,20	-60,70	-55,67	-52,98	-25,54	-25,79	14,80	90,62	168,25	168,95
Vignes	ETM (mm)	43,85	51,41	38,02	28,25	31,87	35,26	49,73	46,09	43,95	35,65	43,53	51,33
	RFU (mm)	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74	37,74
	Bnet (mm)	-16,19	-16,04	-32,22	-46,09	-36,17	-33,68	-6,51	-27,46	-21,59	-8,79	1,69	1,99
Grenadiers	ETM (mm)	160,79	61,69	27,16	17,66	19,92	23,51	38,25	55,30	87,89	213,91	261,17	246,37
	RFU (mm)	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19	30,19
	Bnet (mm)	108,30	1,79	-35,53	-49,14	-40,57	-37,89	-10,44	-10,69	29,90	177,02	226,88	204,58

Tableau VI-14 : Récapitulatif des besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois)

Cultures	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P.D.T (S) Ps								0,00	68,86	195,89	191,34		442,14
Petit pois Ps				0,00	0,00	12,51	61,88	34,16					108,54
Betterave sucrière							0,00	0,00	38,68	137,59			176,28
Petit pois à rames				0,00	0,00	12,51	61,88	34,16					108,54
Haricot à rames							6,49	0,85	69,49	165,69	164,93	81,62	489,07
PDT (Arr-s) Ps	163,71	87,49									62,93	153,64	467,77
Tomate Industrielle								31,22	88,95	153,11	169,57	131,06	573,91
Vesce avoine		19,62	0,00	0,00	0,00	0,22	50,66	0,00					70,50
Mais fourrager								0,00	28,67	134,86	194,67	133,78	491,98
Orge verte			0,00	0,00	0,00	0,00	31,58	43,78	71,34				146,70
Blé dur			0,00	0,00	0,00	0,00	43,06	2,30	21,12	20,36			86,84
Oliviers	34,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,80	90,62	168,25	168,95	477,36
Vignes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	1,99	3,68
Grenadiers	108,30	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,90	177,02	226,88	204,58	748,47
Total	306,73	108,91	0,00	0,00	0,00	25,23	255,54	132,53	431,81	1075,15	1180,25	875,62	4391,78

Tableau VI-15 : Récapitulatif des besoins bruts en eau d'irrigation (mm/mois)

Cultures	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P.D.T (S) Ps									81,01	230,46	225,10		536,57
Petit pois Ps						14,71	72,80	40,19					127,70
Betterave sucrière									45,51	161,88			207,38
Petit pois à rames						14,71	72,80	40,19					127,70
Haricot à rames							7,64	1,00	81,75	194,93	194,04	96,02	575,38
PDT (Arr-s) Ps	192,60	102,93									74,03	180,76	550,32
Tomate Industrielle								36,73	104,65	180,13	199,50	154,19	675,19
Vesce avoine		23,09				0,26	59,60						82,94
Mais fourrager									33,72	158,66	229,02	157,39	578,80
Orge verte							37,16	51,50	83,93				172,59
Blé dur							50,66	2,71	24,84	23,95			102,16
Oliviers	40,86								17,42	106,61	197,94	198,77	561,60
Vignes											1,99	2,34	4,32
Grenadiers	127,41	2,11							35,18	208,26	266,91	240,68	880,55
Total	360,86	128,13	0,00	0,00	0,00	29,68	300,63	172,32	508,01	1264,88	1388,53	1030,15	5183,20

VI.6. Comparaison entre les besoins du périmètre et la capacité de la STEP :

La surface totale du périmètre étudié est 300ha et les exploitations proposées sont des cultures de production de semence, arboriculture, industrielle, céréalières et fourragères.

La capacité de la STEP de Tissemsilt est représentée dans le tableau VII.16 pour l'horizon 2025.

Tableau VI-16 : les débits de la STEP de Tissemsilt

Désignation	Horizon 2025
Type de réseau	Unitaire
Capacité (EH)	150.000
Charge hydraulique :	
- Débit Journalière (m ³ /j)	27.000
- Débit moyen horaire (m ³ /h)	1125
- Débit de pointe en (m ³ /h)	3375
Volume annuel (Hm ³)	9.855

Source : STEP de Tissemsilt

Sur la base de toutes ces données et les besoins totaux des cultures calculées, on a géré l'exploitation agricole du périmètre de telle manière à satisfaire les besoins sans risque d'arrêt de l'alimentation de la STEP.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-17 : Besoins totaux annuels

Cultures	Surface (ha)	B _{net} (mm)	B _{net} (m ³ /ha)	B _{net} (m ³)
P.D.T (S) Ps	17,37	456,09	4560,86	79222,07
Petit pois Ps	9,81	108,54	1085,44	10648,18
Betterave sucrière	5,07	176,28	1762,76	8937,19
Petit pois à rames	7,11	108,54	1085,44	7717,49
Haricot à rames	5,76	489,07	4890,71	28170,49
PDT (Arr-s) Ps	20,64	467,77	4677,71	96547,93
Tomate Industrielle	13,14	573,91	5739,12	75412,01
Vesce avoine	33,54	70,50	704,97	23644,53
Mais fourrager	7,74	491,98	4919,78	38079,10
Orge verte	56,79	146,70	1467,02	83311,78
Blé dur	82,59	86,84	868,36	71717,85
Oliviers	23,22	477,36	4773,60	110842,99
Vignes	8,61	3,68	36,76	316,46
Grenadiers	8,61	748,47	7484,65	64442,84
Besoins nets d'irrigation (m³)				699010,90
besoins bruts totaux (m³)				822365,77
besoins bruts totaux (Hm³)				0,82

VI.7. Définition d'un régime d'irrigation :

Le régime d'irrigation est défini comme étant l'ensemble du nombre de doses d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures au cours de toute leur période de végétation dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

VI.8. Le mode de distribution d'eau d'irrigation :

Il est indispensable d'avoir la maîtrise des débits sur l'ensemble d'un réseau d'irrigation entre la source et les parcelles. Cette maîtrise est acquise grâce à l'action conjointe des dispositifs physiques dont le système dispose et aux interventions du gestionnaire opérationnel, le réseau doit être en mesure de livrer aux parcelles les débits nécessaires pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation des cultures.

Il existe deux schémas généraux de répartition de l'eau vers les exploitations.

VI.8.1. Une distribution au tour d'arrosage :

Elle est inspirée du mode de desserte spécifique des réseaux d'irrigation de surface avec réseau collectif constitué de canaux à ciel ouvert dont le débit transité par chaque tertiaire correspond au module.

a) Tour d'arrosage à la borne :

Chacune des bornes représentant le tertiaire dans le réseau de surface, reçoit un débit correspondant au débit fictif continu ce qui constitue alors le module d'irrigation qui est utilisé successivement par les différentes prises de la borne.

b) Tour d'arrosage au niveau de l'antenne :

Dans le cas des petites propriétés, les modules disponibles en appliquant la modalité précédente pourront être trop faibles. On peut alors songer à regrouper plusieurs bornes sur une antenne donnée. Le débit fictif continu relatif aux superficies irriguées desservies par

cette antenne constituera le module d'irrigation successivement délivré aux différentes prises de l'antenne.

VI.8.2. Une distribution à la demande :

Dans ce mode chaque irrigant étant libre d'utiliser le débit qu'il a souscrit. Dans certains cas, le débit affecté à une prise sera supérieur au débit fictif continu (le débit qui serait nécessaire si l'irrigation s'effectuait 24h sur 24 pendant la période de pointe).

VIII.9. Calcul des débits :

VI.9.1. Débit fictif continu (Q_f) :

Le débit fictif continu (Q_f) est le débit qu'il faudrait fournir à chaque hectare du périmètre s'il devrait être alimenté, sans interruption, 24 heures sur 24. Il est exprimé en l/s/ha.

Le débit fictif continu mensuel est donné par la relation suivante :

$$Q_{f,i} = \frac{1000 B_{net}}{3600 n_j \cdot n_h \cdot E_i} \dots\dots\dots (VI-09)$$

Avec :

$Q_{f,i}$: Débit fictif pour le mois i en (l/s/ha).

B_{net} : Besoin net au mois i (m³/ha) ;

n_j : Nombre de jours du mois i ;

n_h : Temps d'irrigation par jour (24heures) ;

E_i : l'efficience globale du système d'irrigation, $E_i=0.85$.

Tableau VI-18 : Débit fictif continu pour chaque mois.

Mois	B _{net} (mm/ha)	B _{net} (m ³ /ha)	n _j	Q _{f,i} (l/s/ha)
Janvier	0,00	0	31	0,00
Février	25,23	252,297	28	0,12
Mars	255,54	2555,37	31	1,12
Avril	146,48	1464,75	30	0,66
Mai	431,81	4318,118	31	1,90
Juin	1075,15	10751,458	30	4,88
Juillet	1180,25	11802,522	31	5,18
Aout	875,62	8756,236	31	3,85
Septembre	306,73	3067,335	30	1,39
Octobre	108,91	1089,075	31	0,48
Novembre	0,00	0	30	0,00
Décembre	0,00	0	31	0,00

VI.9.2. Débit spécifique (q_s) :

Le débit spécifique ou débit fictif continu maximal 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.

$$q_s = \max (Q_{f,i}) \dots\dots\dots (VI-10)$$

Si q_s < 1,5 l/s/ha la valeur du débit spécifique est acceptable, si non on prend la valeur du débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe.

D'après le tableau VIII-01, q_s = 5,18 l/s/ha > 1,5 l/s/ha donc on prend la valeur du débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe (Juillet).

Tableau VI-19 : Débit fictif continu pour chaque culture durant le mois de pointe (Juillet).

Cultures	$B_{net}(mm/ha)$	$B_{net}(m^3/ha)$	$Q_{f,i} (l/s/ha)$
P.D.T (S) Ps	191,34	1913,36	0,840
Petit pois Ps	0,00	0	0,000
Betterave sucrière	0,00	0	0,000
Petit pois à rames	0,00	0	0,000
Haricot à rames	164,93	1649,298	0,724
PDT (Arr-s) Ps	62,93	629,284	0,276
Tomate Industrielle	169,57	1695,72	0,745
Vesce avoine	0,00	0	0,000
Mais fourrager	171,45	1946,7	0,753
Orge verte	0,00	0	0,000
Blé dur	0,00	0	0,000
Oliviers	168,25	1682,52	0,739
Vignes	1,69	16,88	0,007
Grenadiers	173,94	2268,76	0,764

Donc le débit spécifique pris en considération pour notre périmètre est $q_s = 0,764 \text{ l/s/ha}$.

VI.9.3. Débit caractéristique :

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum (débit d'équipement) que le système aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, il est déterminé selon l'expression suivante :

$$q_c = S_i \cdot q_s \dots\dots\dots (VI-11)$$

Avec :

q_c : débit caractéristique (l/s) ;

S_i : débit fictif (l/s/ha) ;

q_s : Surface de la parcelle i (ha)

Tableau VI-20 : Débit caractéristique pour chaque parcelle d'irrigation.

N° de la parcelle	S _i (ha)	q _c (l/s)
1	85,88	65,27
2	59,02	44,86
3	34,98	26,58
4	8,12	6,17
5	18,11	13,77
6	21,55	16,38
7	10,31	7,83
8	13,74	10,44
9	5,93	4,51
10	5,31	4,03
11	7,49	5,70
12	24,05	18,27
13	9,06	6,88
14	8,74	6,65
Total	312,28	237,3

Le débit caractéristique de notre périmètre d'étude est $q_c = 237,3$ l/s.

VI.10. Calcul des doses de l'arrosage :

VI.10. 1. Détermination de la dose d'arrosage pratique (D_p) :

La dose d'arrosage pratique représente la quantité d'eau qu'il faut apporter à chaque irrigation pour remplir le réservoir sol jusqu'à sa capacité au champ. Elle représente la réserve facilement utilisable par la plante (RFU),

VI.10. 2. Fréquence d'arrosage (N) :

La fréquence d'arrosage représente le nombre de fois qu'il faut apporter la dose d'arrosage à la plante pour satisfaire son besoin mensuel. Elle est exprimée par :

$$N = \frac{B_{brut}}{D_p} \dots\dots\dots (VI-12)$$

Avec :

- N : la fréquence d'arrosage (arrondi à un nombre entier supérieur si ce n'est pas un entier naturel) ;
- B_{brut} : le besoin brut d'irrigation (mm) ;
- D_p : La dose d'arrosage pratique (mm).

VI.10. 3. Dose réelle (Dr) :

C'est la dose qu'il faut réellement apporter à la culture. Elle est exprimée par :

$$D_r = \frac{B_{brut}}{N} \dots\dots\dots (VI-13)$$

Avec :

- N : la fréquence d'arrosage (on retient le nombre entier);
- B_{brut} : le besoin brut d'irrigation (mm) ;
- D_r : La dose d'arrosage réelle (mm).

Les résultats sont affichés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI-21 : Doses et fréquences d'arrosage.

Cultures	Mois	Bbrut (mm)	Dp(mm)	N	N(entier)	Dr(mm/ha)	Dr(m3/ha)
P.D.T (S) Ps	Mai	81,01	11,32	7,156	8	10,13	101,26
	Juin	230,46	11,32	20,359	21	10,97	109,74
	Juillet	225,10	11,32	19,885	20	11,26	112,55
Petit pois Ps	Février	14,71	3,77	3,903	4	3,68	36,78
	Mars	72,80	3,77	19,309	20	3,64	36,40
	Avril	40,19	3,77	10,661	11	3,65	36,54
Betterave sucrière	Mai	45,51	33,97	1,340	2	22,75	227,54
	Juin	161,88	33,97	4,765	5	32,38	323,75
Petit pois à rames	Février	14,71	3,77	3,903	4	3,68	36,78
	Mars	72,80	3,77	19,309	20	3,64	36,40
	Avril	40,19	3,77	10,661	11	3,65	36,54
Haricot à rames	Mars	7,64	9,44	0,809	1	7,64	76,35
	Avril	1,00	9,44	0,106	1	1,00	10,00
	Mai	81,75	9,44	8,660	9	9,08	90,84
	Juin	194,93	9,44	20,649	21	9,28	92,82
	Juillet	194,04	9,44	20,555	21	9,24	92,40
	Aout	96,02	9,44	10,172	11	8,73	87,29
PDT (Arr-s) Ps	Juillet	74,03	11,32	6,540	7	10,58	105,76
	Aout	180,76	11,32	15,968	16	11,30	112,97
	Septembre	192,60	11,32	17,014	18	10,70	107,00
	Octobre	102,93	11,32	9,093	10	10,29	102,93
Tomate Industrielle	Avril	36,73	11,32	3,245	4	9,18	91,83
	Mai	104,65	11,32	9,244	10	10,46	104,65
	Juin	180,13	11,32	15,912	16	11,26	112,58
	Juillet	199,50	11,32	17,623	18	11,08	110,83
	Aout	154,19	11,32	13,621	14	11,01	110,13
Vesce avoine	Octobre	23,09	22,64	1,020	2	11,54	115,43
	Février	0,26	22,64	0,011	1	0,26	2,56
	Mars	59,60	22,64	2,632	3	19,87	198,65

Suite Tableau VIII-04

Mais fourrager	Mai	33,72	18,87	1,787	2	16,86	168,62
	Juin	158,66	18,87	8,408	9	17,63	176,29
	Juillet	229,02	18,87	12,137	13	17,62	176,17
	Aout	157,39	18,87	8,341	9	17,49	174,87
Orge verte	Mars	37,16	26,42	1,406	2	18,58	185,78
	Avril	51,50	26,42	1,949	2	25,75	257,51
	Mai	83,93	26,42	3,177	4	20,98	209,83
Blé dur	Mars	50,66	26,42	1,917	2	25,33	253,28
	Avril	2,71	26,42	0,102	1	2,71	27,07
	Mai	24,84	26,42	0,940	1	24,84	248,45
	Juin	23,95	26,42	0,907	1	23,95	239,53
Oliviers	Mai	17,42	45,29	0,385	1	17,42	174,16
	Juin	106,61	45,29	2,354	3	35,54	355,37
	Juillet	197,94	45,29	4,371	5	39,59	395,89
	Aout	198,77	45,29	4,389	5	39,75	397,54
	Septembre	40,86	45,29	0,902	1	40,86	408,60
Vignes	Juillet	1,99	37,74	0,053	1	1,99	19,86
	Aout	2,34	37,74	0,062	1	2,34	23,38
Grendiers	Mai	35,18	30,19	1,165	2	17,59	175,88
	Juin	208,26	30,19	6,898	7	29,75	297,51
	Juillet	266,91	30,19	8,841	9	29,66	296,57
	Aout	240,68	30,19	7,972	8	30,09	300,85
	Septembre	127,41	30,19	4,220	5	25,48	254,81
	Octobre	2,11	30,19	0,070	1	2,11	21,11

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons pu estimer les besoins nets en eau d'irrigation pour les cultures de notre périmètre en nous basons sur la méthode de Penman-Monteith pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et les différentes formules de calcul.

On remarque que le mois de pointe est le mois de juillet et les besoins nets totaux annuel sont $822365,77\text{m}^3$.

Les résultats tirés de la station d'épuration de Tissemsilt nous renseigne aussi que la production annuelle des EUE de celle-ci peut couvrir un volume d'eau de **9.855 M m³** pour l'horizon **2025**.

Donc à partir de ces résultats, nous pouvons conclure que la capacité de production de la STEP suffit largement à l'alimentation de notre périmètre.

le débit spécifique ($q_s = 0,764 \text{ l/s/ha}$) nous permettra de déterminer les débits à la parcelle et à l'entête de l'entité d'étude. Nous utiliserons ces débits pour le dimensionnement de réseau d'adduction et de distribution.

Chapitre VII :

Etude du réseau d'adduction et de distribution

Chapitre VII : Etude du réseau d'adduction et de distribution

Introduction :

Une des premières exigences pour une gestion rationnelle et efficace d'un système d'irrigation est une organisation convenable de ce système, depuis sa conception jusqu'à sa gestion en passant par son exploitation et sa maintenance.

Le présent chapitre fera l'objet de dimensionnement du réseau d'adduction et de distribution proposé pour le périmètre étudié. Pour cela, il faut dimensionner tous les diamètres ainsi que toutes les longueurs et les débits qui passent par ces conduites de réseau d'irrigation.

VII.1. Présentation des variantes :

VII.1.1. Variante N°01 :

Une station de pompage qui sera implantée à l'aval de la STEP pour alimenter un réservoir surélevé dans le côté sud-est par rapport à la SP. Puis l'alimentation de tout le périmètre gravitairement par l'eau du réservoir.

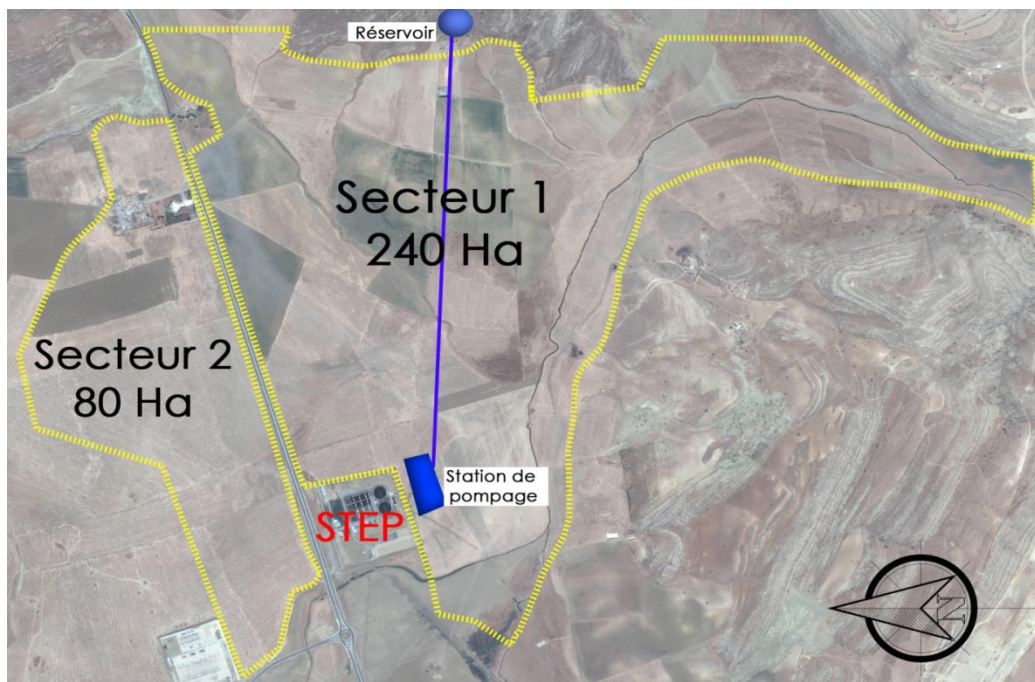


Figure VII-01 : Image satellite de la variante N°1.

VII.1.2. Variante N°02 :

Une station de pompage qui sera implantée à l'aval de la STEP pour alimenter un réservoir surélevé dans le côté Nord par rapport = la SP. Puis l'alimentation de tout le périmètre gravitairement par l'eau du réservoir.



Figure VII -02 : Image satellite de la variante N°2.

VII.1.3. Critères de choix :**➤ Tracé de la conduite :**

Pour le choix du tracé de la conduite d'adduction (refoulement) il sera tenu compte de certain impératif que qu'il faut respecter dans la mesure du possible :

-Il est important de chercher un profil en long aussi régulier que possible pour éliminer les contres pentes ;

-Dans le but d'économie du projet, le tracé doit être le plus court possible;

- Eviter les forêts, bois et zones marécageuses ;

-Eviter autant que possible la traversée des obstacles (routes, voies ferrées, oueds,...).

➤ **Réservoir:**

Dans notre choix, les critères les plus importants à respecter lors du l'emplacement du bassin du stockage et de distribution sont:

-Adaptation d'une hauteur manométrique assurant la distribution gravitaire touche toutes les cultures du périmètre on assurant le point le plus favorable.

-Connaitre l'homogénéité du terrain ou le réservoir sera implanté par le fait des études géotechniques, afin de connaitre la portance des sols qui recevront ce bassin d'une part et de s'assurer qu'on n'est pas en présence de nappe d'autre part.

➤ **Station de pompage :**

Les stations de pompage sont des ouvrages hydrauliques servant à relever l'eau à une altitude supérieure. L'implantation de la station de pompage est nécessaire toutes les fois que l'on ne dispose pas d'une pente suffisante pour véhiculer l'eau gravitairement. Elle est conçue, ainsi, pour abriter les pompes et les moteurs qui les entraînent.

VII.1.4. Choix de la variante :

Après analyse des deux variantes proposées, nous décidons de choisir la variante N°1 car elle plus adéquate pour notre réseau en prenant en considération les critères précédents.

L'aménagement proposé s'effectuera comme suit :

Station de pompage (implantée en aval de la STEP) refoule vers un seul réservoir (implanté en amont du secteur 01) qui assure l'irrigation des deux secteurs S1 et S2.

Pour cette variante, nous avons ajouté une parcelle au nord et on a fais une extraction des parties non homogènes qui présentent des terres non rentable et qui sont :

- Les zones rocailleuses,
- Les zones infectées par l'érosion (Ravins et CHAABATS),
- Les sols à forte pente.

VII.1.5. Répartition du périmètre

Dans notre aménagement le secteur 01 de 240 ha représente un 75% du la surface totale de périmètre et le secteur 02 de 80 ha représente 25% de la surface totale.

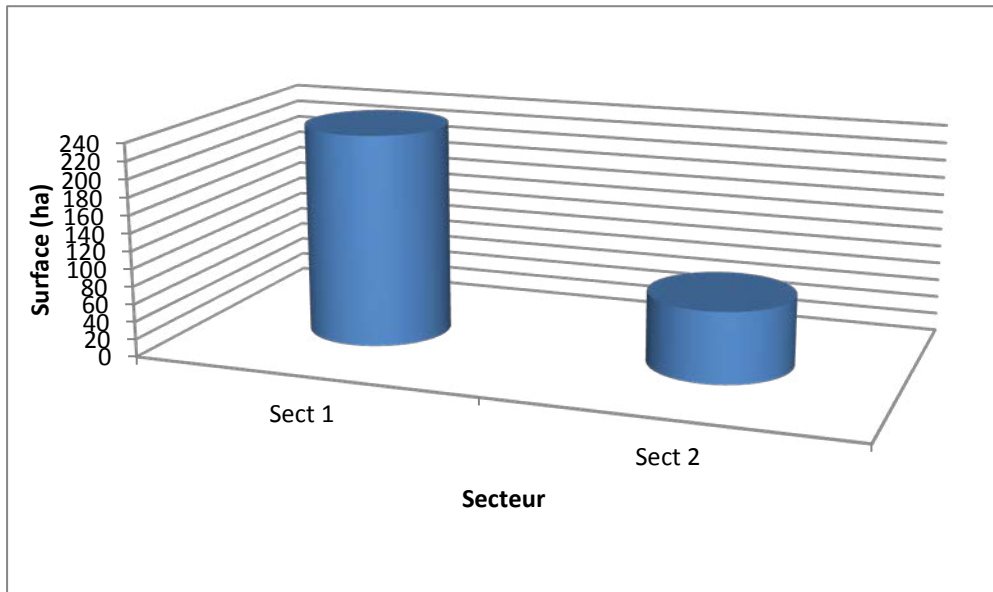


Figure VII -03 : Répartition de l'ensemble de surface du périmètre

La surface totale du périmètre est de 320aa, après avoir pris en comptes les facteurs limitant (nous avons exclu les bâtis et les pistes), la superficie à irriguer est de 312.28 ha (c'est la superficie agricole utile SAU).

VII.2. Dimensionnement de la station de pompage :

VII.2.1. Données de base de dimensionnement

La première étape pour dimensionner la station de pompage est de déterminer le débit demandé. Celui-ci représente le plus grand débit demandé qui est pris égale à **296.66 l/s** (besoin en eau du périmètre *Temps d'irrigation/temps de pompage).

La seconde étape est de déterminer la pression manométrique totale à la quelle ce débit doit être porté. Elle comprend la pression de service (charge) des conduites, la perte de charge due

aux frottements dans l'ensemble des sections, les pertes singulières dues aux connections et pièces spéciales et enfin la hauteur géométrique. Cette dernière est la différence de niveau entre la côte de la station et celle du réservoir.

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

- Débit nominal de la station est de **296.66 (l/s)** ;
- Diamètre de refoulement (station de pompage – réservoir) est de **630(mm)** ;
- Longueur de refoulement (station de pompage – réservoir) est de **1900 (m)**.
- La hauteur manométrique est de **90.69m**.

VII.2.2.Choix de la pompe :

Le choix dépend de plusieurs critères tel que :

- Nombre minimale de pompe
- Puissance absorbée minimal
- $(NPSH)_r$ minimal
- Meilleur rendement
- Vitesse de rotation élevée.

Tableau VII-01 : Choix de pompe

Nombre de pompes	MAX		MIN	
	$\eta\%$	N (tr/min)	Pabs	NPSHr
3+1	65.1	1450	135	3.32
4+1	64.1	1480	103	5.21
5+1	58.4	1480	90.4	5.17

La station de pompage sera composée de quatre pompes en parallèles, trois en service et une pompe de secours.

Nous avons opté pour ce choix pour les raisons suivantes :

Les autres types de pompes ne sont pas disponibles sur le marché, sont sur commande.

D'autre part, l'utilisation de deux pompes entraînera des frais supplémentaires d'entretien car les pièces de rechange sont plus grandes et demandent plus de moyens.

Du côté irrigation, en période humide l'irrigation se fait avec des débits faibles, dans ce cas on fait fonctionner une pompe ou deux (selon le besoin) au lieu de trois pompes avec économie d'énergie.

Les caractéristiques techniques sont calculées à l'aide du logiciel KSB et MécaFlux 2006:

- Le débit est de **98.88 l/s=356m³/h**.
- La hauteur de refoulement est de **80 m**.
- La puissance électrique est de **135 kW**.

Tableau VII -02 : Caractéristique de la pompe choisie

Caractéristiques de la pompe	Débit (m ³ /h)	η (%)	N (tr/min)	Pabs (kW)	NPSHr	NPSH _d
Valeur	356	65.10	1450	135	3.32	8.30

Donc la puissance totale dont aura besoin pour le fonctionnement de la station est de **450kw**, y compris les auxiliaires (éclairage...).

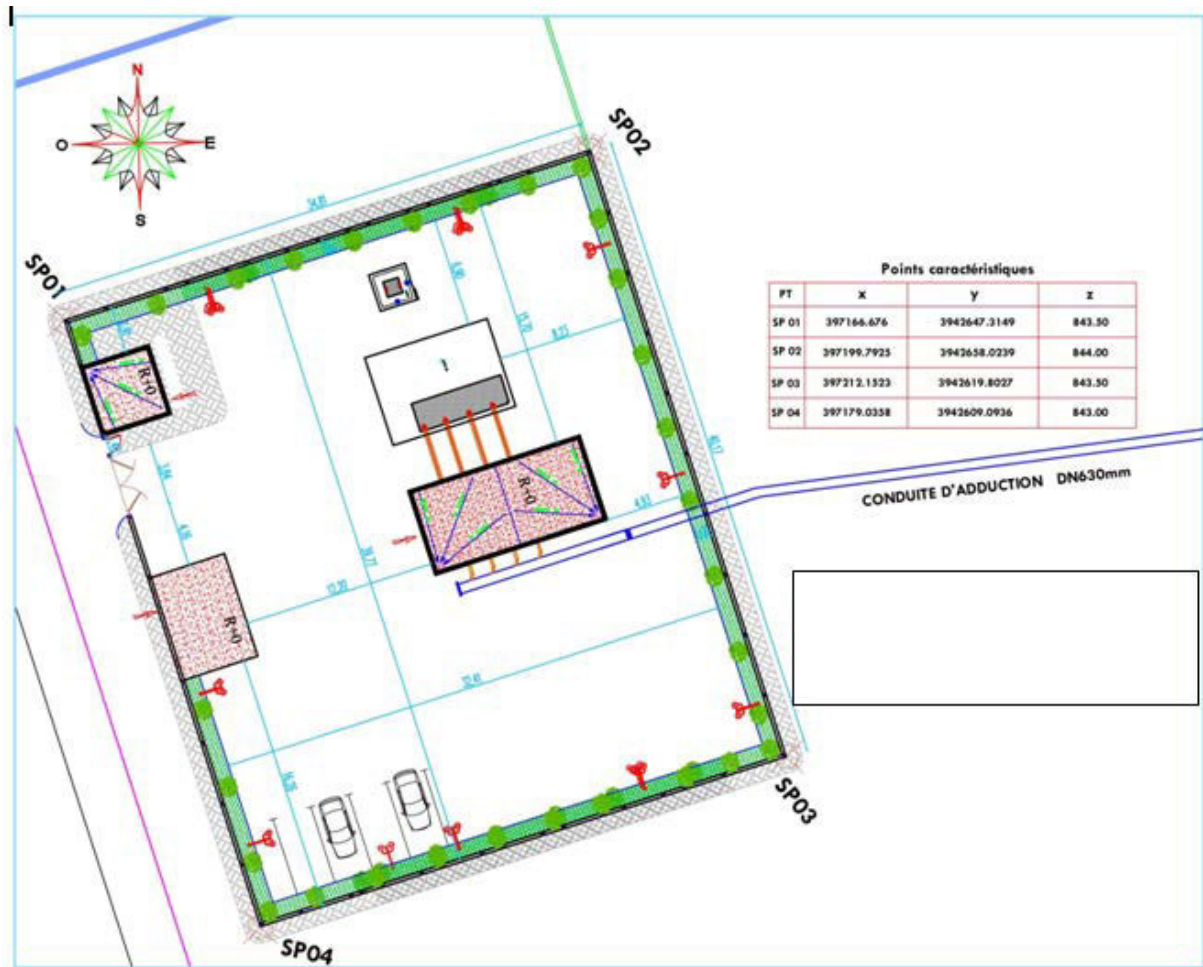


Figure VII -04 : Plan d'implantation de la station de pompage.

VII.3. Dimensionnement de l'ouvrage de stockage :

La capacité de stockage du réservoir de stockage sera définie par la formule suivante :

$$V = Q \times T \dots\dots\dots (VII -01)$$

Avec :

- Q : Débit de pointe, exprimé en m³/s.
- T : Heures de pointe en seconde =4 heures.

Débit pompé = 296.66 l/ s= 0.29666m³/s.

Le volume total du réservoir est égal à **4271.90m³.**

Nous préconisons la construction d'un réservoir de volume de **5000 m³.**

Nous avons opté pour un volume de **5000 m³** avec une majoration de 728m³ pour augmenter la surface d'aération (il s'agit des eaux usées épurées) et d'avoir un volume excédent pour utiliser l'eau du niveau supérieur du réservoir qui est le plus aérée.

➤ **Description du réservoir :**

Le réservoir sera en béton armé de forme circulaire, semi-enterré d'une capacité de 5000m³ avec une hauteur de 10,05 m (9,45 m pour la hauteur d'eau) et une surface de 555.50m².

Le choix du réservoir en béton armé a été fait pour des raisons techniques tout en considérant la nature géographique (espace géométrique du terrain) et géotechnique du terrain.

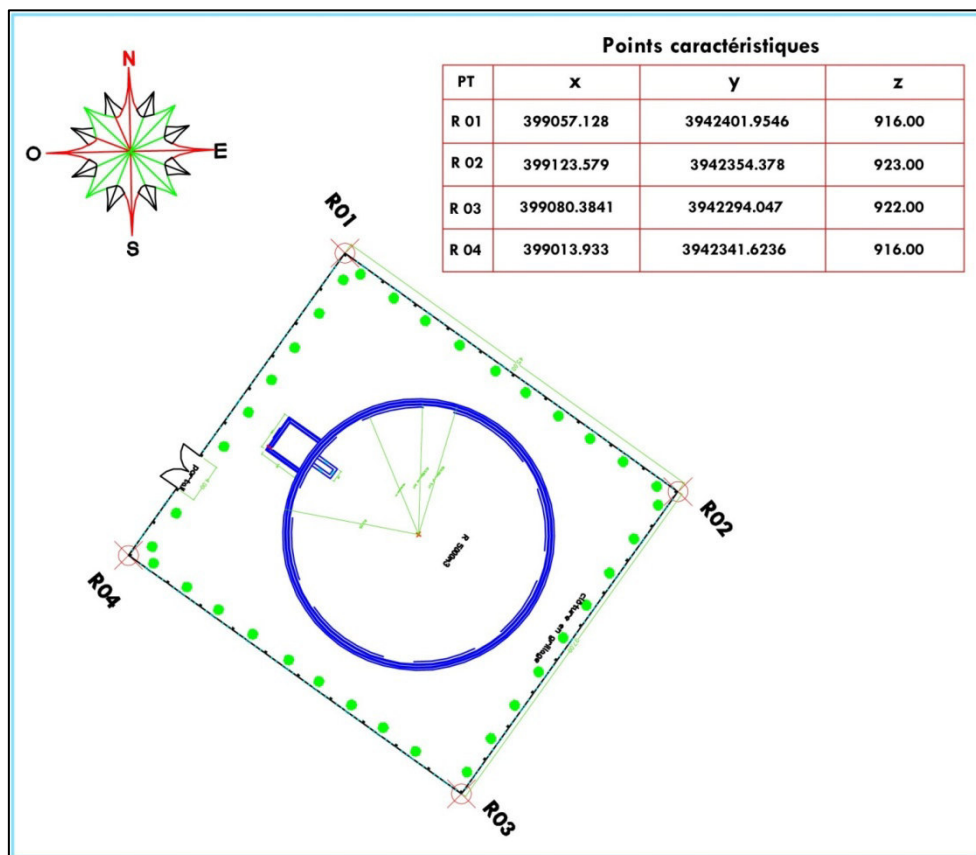


Figure VII -05 : Plan d'implantation du réservoir

VII.4. Dimensionnement de l'adduction :

VII.4.1. Choix du tracé

Le choix du tracé d'adduction par refoulement (Station de pompage –Réservoir) a été bien déterminé en se basant sur les conditions d'ordre technique et économique suivantes :

- Rechercher le profil en long le plus régulier de façon à obtenir de longs alignements raccordés par des courbes très ouvertes, le profil ne suivra pas forcément le niveau du sol.
- Pour éviter les contre pentes qui peuvent donner lieu aux points hauts, des sur profondeurs et des sous profondeurs par rapports à la profondeur normale seront parfois inévitables.
- Le profil sera étudié de façon que l'air puisse être évacué facilement car, les cantonnements d'air engendrent la rupture de la veine liquide.
- Pour réduire les frais d'investissement, on doit rechercher le tracé le plus court possible, tout en évitant autant que possible la traversée des obstacles.
- Eviter la multiplication des ouvrages coûteux ou fragile (traversé de routes, rivières...).

VII.4.2. Description de la conduite d'adduction :

D'après le tracé choisi la longueur de la conduite est estimée à 1900 m.

Le débit de la conduite d'adduction est évalué de la manière suivante :

Débit d'adduction=Débit de la station de pompage

= besoin en eau du périmètre *Temps d'irrigation/temps de pompage

Donc :

Débit d'adduction = $237.33 \times 20 / 16 = 296.66 \text{ l/s}$

➤ **Choix du type des conduites**

Les critères à respecter pour faire le choix du type des conduites sont :

- Le diamètre économique.
- La nature du terrain.
- La pression de l'eau.
- Disponibilité sur le marché.
- Les pertes de charges

Dans notre projet, notre choix s'est porté sur les conduites en PEHD vu les avantages qu'il présente notamment :

- La longévité ;
- La facilité de pose et de raccordement ;
- La résistance à l'agressivité du sol et de l'eau ;
- Son élasticité lors du phénomène transitoire ;

Tableau VII -03 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEHD

Diamètre DN (mm)	63-75-90-110-125-160-200-250-315-400-500-630
Longueur (m)	Couronne de 100 m pour DN 20 à 63mm. Couronne de 50 m pour DN 75-90-110 mm. Barre droite de 12m à partir du DN 125 mm.
Pn(bars)	PN 10 et PN 16
Branchements	Soudure à basse température ou raccords
Durée de vie estimée (ans)	50

Source : Groupe CHIALI

VII.4.3. La borne d'irrigation :

VII.4.3.1. Définition

La borne d'irrigation est l'organe hydraulique destiné à assurer la livraison de l'eau, à partir des réseaux collectifs des distributions sous pression. La Borne doit remplir les fonctions générales suivantes:

- Etablir ou interrompre la fourniture d'eau sans coup de bélier
- Compter les volumes distribués par la prise
- Réguler la pression ovale
- Limiter le débit des prises d'eau.

VII.4.3.2. Spécification technique des bornes d'irrigation :

La borne d'irrigation doit comporter les éléments suivants :

- Une bride pour raccordement.
- Un mécanisme d'obturation.
- Une tubulure.
- Des sorties.

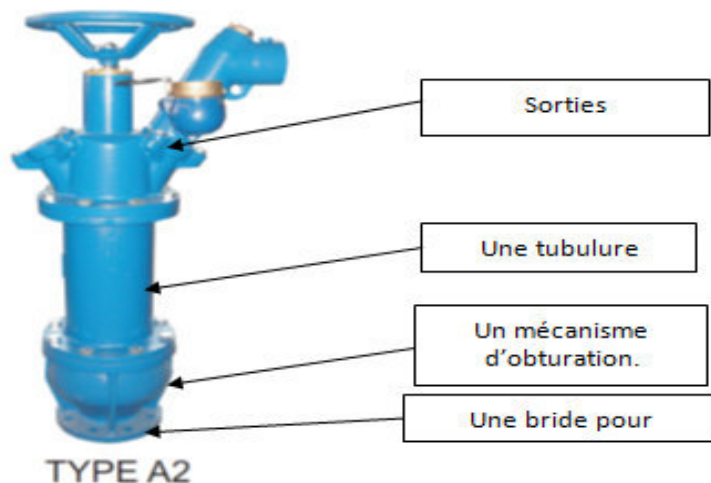


Figure VII -06 : Caractéristiques des bornes d'irrigation Type A2

Elle doit aussi comporter les équipements suivants :

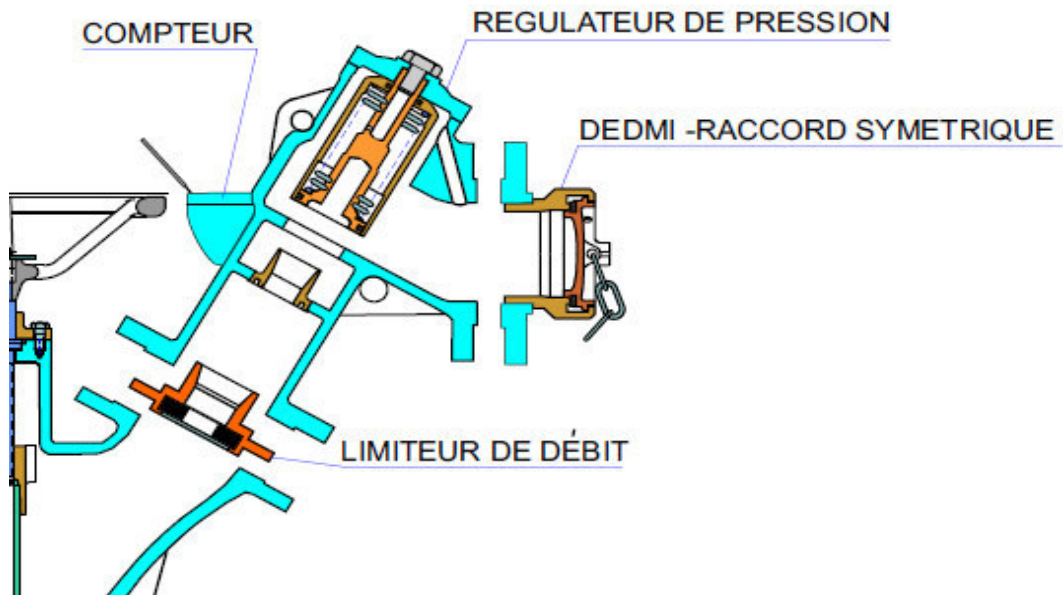


Figure VII -07 : Equipements complémentaires des bornes d'irrigation.

VII.4.3.3. Montage

- La borne d'irrigation sera montée sur un coude de 90° à patin bridé sur les deux cotés en fonte ;
- Caller la borne à une hauteur de **500mm** par rapport au niveau du terrain naturel.
- Placer la borne au centre de la buse en béton.
- Procéder aux essais avant remplissage de l'espace annulaire avec du gravier. Il convient de nettoyer correctement les conduites en faisant débiter la borne, clapet et tubulures démontées
- Fixer la borne avec des bras en acier galvanisé au mur de la buse.
- Remplir l'espace annulaire avec du gravier de granulométrie qui varie de 8/15 à 15/25.

VII.4.3.4. Entretien :

Ces appareils nécessitent généralement un nettoyage et graissage au moins une fois par an. La simplicité des opérations de démontage facilite les interventions.

VII.4.4. Calcul des caractéristiques hydrauliques :

Donné de base du dimensionnement :

1. la surface à irrigué par aspersion qui de 312.28 ha.
2. Débit spécifique est évalué à 0.76 l/s/ha
3. Débit du dimensionnement du réseau =237.33 l/s

VII.4.4.1. Calcul des débits de canalisation :

Le calcul des débits dans les canalisations 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 de pointe par la surface agricole utile. (Tableau VII -04)

Les débits caractéristiques sont définis par la formule suivante

$$Q = q \times F \dots\dots\dots (VII -02)$$

Avec

- Q : Débit caractéristique, exprimé en l/s ;
- q : Débit spécifique de pointe du modèle le plus exigeant, exprimé en l/s/ha ;
- F : Surface agricole utile de l'îlot en ha.

VII.4.4.2. Calcul des diamètres de canalisation :

Le diamètre de la conduite principale et du réseau de distribution sera calculé sur la base d'une vitesse idéale. (Tableau IX-04)

$$D_{cal} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{dim}}{\pi \cdot V_{Ideal}}} \dots \dots \dots \text{(VII -03)}$$

Avec : D_{cal} : diamètre calculé (théorique) du tronçon en (m) ;

Q_{dim} : débit véhiculé par le tronçon en (m³/s) ;

V_{ideal} : Vitesse admissible idéale choisie en (m/s). $V_{idéal} = 1.05$ m/s.

VII.4.4.3. Calcul des pertes de charge dans les conduites :

La loi de perte de charge employée est celle de CALMON et LECHAPT, donnée par la formule suivante :

$$j = \frac{Q^M}{D^N} L \dots \dots \dots \text{(VII -04)}$$

Avec :

j : perte de charge unitaire en (m/m) ;

Q : débit de la conduite en (m³/s) ;

D : diamètre de la conduite en (m) ;

L, M et N : constantes dépendantes de la rugosité absolue des canalisations.

Pour le PEHD : L = 0.916 ; M = 1.78 ; N = 4.78

La perte de charge totale est calculée comme suit :

$$\Delta H = j \times L \dots \dots \dots \text{(IX-05)}$$

ΔH: perte de charge totale en (m) ;

j : perte de charge unitaire en (m/m) ;

L : Longueur de la conduite en (m) ;

VII.4.4.4. La vitesse admissible.

La fixation d'un seuil minimum de vitesse admissible dans les conduites, ne correspond pas véritablement à un impératif technique est n'a pour objectif, que l'introduction d'un seuil raisonnable de diamètre maximum envisagé, pour transiter un débit donné. Ceci nous permettra d'accélérer le calcul d'optimisation.

La vitesse admissible est variée entre **0.5 m/s**, comme vitesse inférieure, et **3 m/s** comme vitesse maximum.

VII.4.5. Réseau de distribution :

Le périmètre d'irrigation est aménagé en ilots, chaque ilot est desservi par une borne d'irrigation et à partir de cette dernière chaque exploitant peut raccorder pour irriguer.

Les caractéristiques des bornes et les ilots d'irrigation desservis sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII -04 : Caractéristiques des ilots par secteur (Caractéristiques des Tronçons).

Tronçon	Surface desservi en ha	Q = S*F (m3/s)	D int calculé (mm)	Diamètre commercial Dext en mm	Dint en mm (PEHD PN 16)	Vitesse d'écoulement réelle en m/s
R- N10	312.28	0.237333	494	500	409	1.806
N10-N16	55.75	0.042370	227	250	204,6	1.289
N16-- B20	8.40	0.006384	88	90	73,6	1.501
N16 -- N17	34.35	0.026106	178	200	163,6	1.242
N17 -- N18	28.27	0.021485	161	200	163,6	1.022
N18 -- B23	14.00	0.010640	114	125	102,2	1.297
N10 -- N12	98.93	0.075187	302	315	257,8	1.440
N12 -- N13	85.40	0.064904	281	315	257,8	1.243
N13 -- N14	67.76	0.051498	250	250	204,6	1.566
N14 -- N15	58.14	0.044186	231	250	204,6	1.344
N15 -- B18	7.30	0.005548	82	90	73,6	1.304
N15 -- N19	36.45	0.027702	183	200	163,6	1.318
N19 -- N20	28.26	0.021478	161	200	163,6	1.022
N20 --B26	17.08	0.012981	125	160	130,8	0.966
N10 -- N11	157.60	0.119776	381	400	327,4	1.423
N11-N9	150.58	0.114441	373	400	327,4	1.359
N09 -- B12	13.27	0.010085	111	125	102,2	1.229
N09 -- N05	137.31	0.104356	356	400	327,4	1.240
N05 -- N06	54.69	0.041564	225	250	204,6	1.264
N06 -- N07	40.99	0.031152	194	200	163,6	1.482
N07 -- N08	22.69	0.017244	145	160	130,8	1.283
N08 -- B10	13.07	0.009933	110	110	90	1.561
N05 -- N01'	76.92	0.058459	266	315	257,8	1.120
N01' -- N01	70.00	0.053200	254	315	257,8	1.019
N01 -- N02	56.30	0.042788	228	250	204,6	1.301
N02 -- N03	35.20	0.026752	180	200	163,6	1.273
N03 -- N04	19.20	0.014592	133	160	130,8	1.086
N04 -- B05	6.70	0.005092	79	90	73,6	1.197

Tableau VII -05 : Caractéristiques des ilots par secteur (Caractéristiques des Bornes).

N° d'Ilots	N° de la borne	Surface Desservie en Ha	Débit en l/s	Diamètre en mm (PEHD PN 16)	Bornes
01'	B01'	6.92	5.26	90	DN100 1 sortie DN100
1;2	B01	13.70	10.41	125	DN125 2 sorties DN100
3;4	B02	21.10	16.04	160	DN150 2 sorties DN100
5;6	B03	16.00	12.16	125	DN125 2 sorties DN100
7;8	B04	12.50	9.50	110	DN125 2 sorties DN100
9	B05	6.70	5.09	90	DN100 1 sortie DN100
10	B06	5.70	4.33	90	DN100 1 sortie DN100
11;21	B07	13.7	10.41	125	DN125 2 sorties DN100
12;13	B08	18.3	13.91	160	DN150 2 sorties DN100
14;15	B09	9.62	7.31	110	DN125 2 sorties DN100
16;18	B10	13.07	9.93	110	DN125 2 sorties DN100
23	B12	13.27	10.09	125	DN125 1 sortie DN100
24	B13	7.02	5.34	90	DN100 1 sortie DN100
25;28	B14	13.53	10.28	110	DN125 2 sorties DN100
26;29	B15	17.64	13.41	160	DN150 2 sorties DN100
19;20	B16	9.62	7.31	110	DN125 2 sorties DN100
30;31	B17	14.39	10.94	125	DN125 2 sorties DN100
17	B18	7.30	5.55	90	DN100 1 sortie DN100
27	B19	13.00	9.88	110	DN125 1 sortie DN100
37;38	B20	8.40	6.38	90	DN100 2 sorties DN65
40	B21	6.08	4.62	90	DN100 1 sortie DN100
39;46	B22	14.27	10.85	125	DN125 2 sorties DN100
47;48	B23	14.00	10.64	125	DN125 2 sorties DN100
31;32,34;35;36;41	B24	8.19	6.22	90	DN100 1 sortie DN100
42;43	B25	11.18	8.50	110	DN125 2 sorties DN100
44;45	B26	17.08	12.98	160	DN150 2 sorties DN100

Donc on aura : **27 bornes** d'irrigation.

VII.4.6. Modélisation et simulation du réseau :

Pour la simulation du réseau de distribution, nous avons utilisé le logiciel Epanet dont les résultats sont présentés ci-dessous :

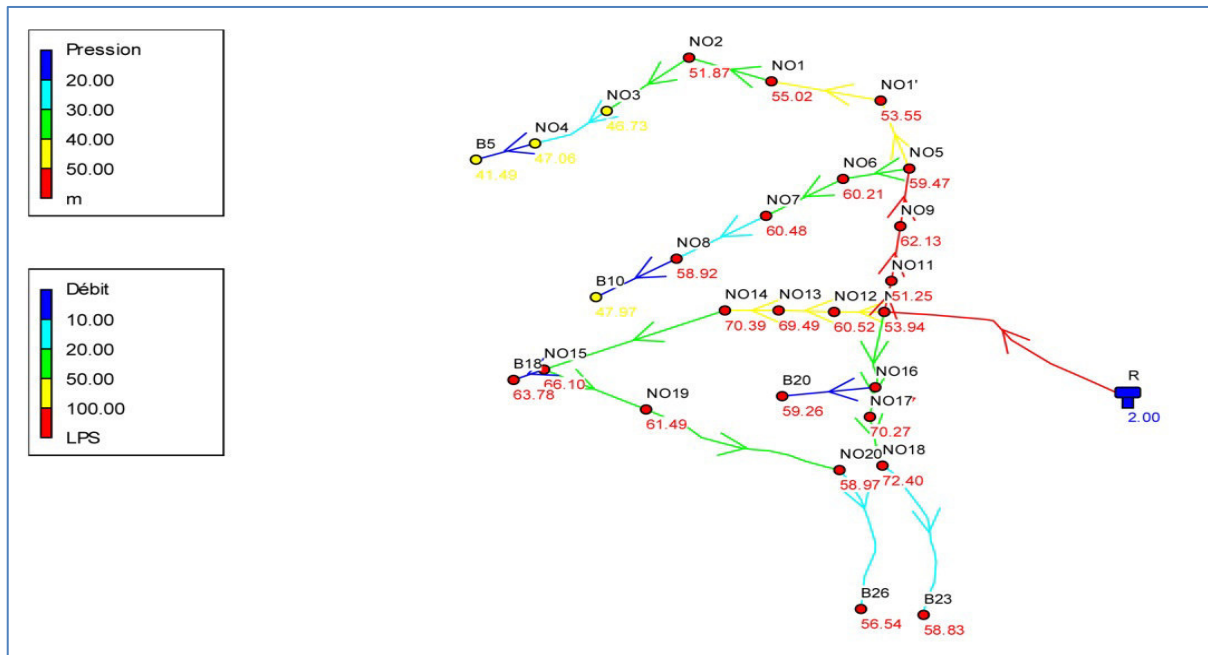


Figure VII -07 : schéma du réseau émis par Epanet

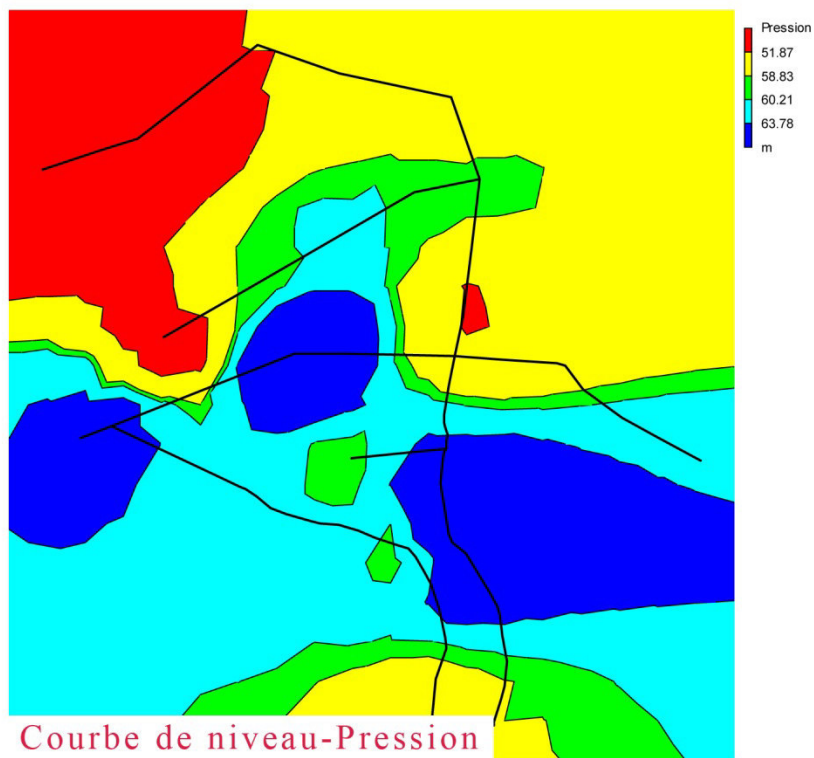


Figure VII -08 : Schéma de courbe de niveau-pression

Tableau VII -06 : Récapitulatif de l'état des arcs du réseau

État des Arcs du Réseau

ID Arc	Longueur m	Diamètre mm	Débit LPS	Vitesse m/s	Pert.Charge Unit. m/km
Tuyau NO11-NO12	179.7	257.8	75.19	1.44	7.22
Tuyau NO20-B26	651.6	130.8	12.98	0.97	7.65
Tuyau NO8-B10	338.8	90	9.93	1.56	30.60
Tuyau R-NO10	716.04	409	237.34	1.81	6.34
Tuyau NO6-NO7	332.8	163.6	31.15	1.48	13.21
Tuyau NO7-NO8	377.8	130.8	17.24	1.28	13.18
Tuyau NO15-B19	415.5	163.6	27.70	1.32	10.53
Tuyau NO19-NO20	765.3	163.6	21.48	1.02	6.46
Tuyau NO18-B23	730.7	102.2	10.64	1.30	18.27
Tuyau NO11-NO16	339.9	204.6	42.37	1.29	7.68
Tuyau NO15-B18	96	73.6	5.55	1.30	27.97
Tuyau NO14-NO15	719.2	204.6	44.19	1.34	8.30
Tuyau NO13-NO14	191.5	257.8	51.50	0.99	3.49
Tuyau NO12-NO13	208.3	257.8	64.91	1.24	5.43
Tuyau NO16-NO17	130.9	163.6	26.11	1.24	9.46
Tuyau NO17-NO18	221	163.6	21.49	1.02	6.49
Tuyau NO1-NO2	253.21	204.6	42.79	1.30	7.84
Tuyau NO2-NO3	384.81	163.6	26.75	1.27	9.85
Tuyau NO3-NO4	299.2	130.8	14.59	1.09	9.58
Tuyau NO4-B5	233	73.6	5.09	1.20	23.63
Tuyau NO16-B20	342.49	73.6	6.38	1.50	36.38
Tuyau NO5-NO6	233.55	204.6	41.56	1.26	7.41
Tuyau NO5-NO1'	428.90	257.8	58.46	1.12	4.42
Tuyau NO1'-NO1	393.02	257.8	53.20	1.02	3.69
Tuyau NO11-NO9	380.75	327.4	114.44	1.36	4.80
Tuyau NO10-NO11	75.36	327.4	119.78	1.42	5.41
Tuyau NO9-NO5	189	327.4	104.35	1.24	3.99

Tableau VII -07 : Récapitulatif de l'état des nœuds du réseau

État des Nœuds du Réseau

ID Nœud	Altitude m	Demande LPS	Charge m	Pression m
Noeud NO10	863.52	0.00	917.46	53.94
Noeud NO12	855.64	10.28	916.16	60.52
Noeud B26	837.55	12.98	894.09	56.54
Noeud NO20	840.11	8.50	899.08	58.97
Noeud NO16	850.18	9.88	914.85	64.67
Noeud B20	843.13	6.38	902.39	59.26
Noeud B10	845.03	9.93	893.00	47.97
Noeud NO8	844.44	7.31	903.36	58.92
Noeud B5	855.49	5.09	896.98	41.49
Noeud NO4	855.42	9.50	902.48	47.06
Noeud NO5	855	4.33	914.47	59.47
Noeud NO2	857.27	16.04	909.14	51.87
Noeud NO1	856.1	10.41	911.12	55.02
Noeud NO3	858.62	12.16	905.35	46.73
Noeud NO6	852.53	10.41	912.74	60.21
Noeud NO7	847.86	13.91	908.34	60.48
Noeud NO19	842.53	6.22	904.02	61.49
Noeud NO18	839.78	10.85	912.18	72.40
Noeud B23	840	10.64	898.83	58.83
Noeud NO15	842.29	10.94	908.39	66.10
Noeud B18	841.93	5.55	905.71	63.78
Noeud NO14	843.97	7.31	914.36	70.39
Noeud NO13	845.54	13.41	915.03	69.49
Noeud NO17	843.34	4.62	913.61	70.27
Noeud NO1'	859.02	5.26	912.57	53.55
Noeud NO11	865.80	5.34	917.05	51.25
Noeud NO9	853.09	10.09	915.22	62.13

Conclusion :

A partir de ce chapitre, on a proposé une variante plus classique pour projeter notre réseau d'adduction et de distribution. Le schéma d'aménagement comprend les résultats suivants :

- une adduction à partir de la station de pompage sur une longueur estimée à **1900 m** avec une conduite en PEHD PN16 de diamètre de 630 mm.
- Une station de pompage avec un débit de 296.66 l/s et hauteur manométrique total de 90.69 m.
- Réalisation d'un réservoir d'une capacité de 5000m³, avec une cote du radier de 917m. pour satisfaire la pression demandée au point les plus défavorables.
- Réalisation d'un réseau de distribution en conduite de PEHD PN16 dont les diamètres vont du 90 mm jusqu'à 500mm.
- 27 bornes d'irrigation proposées au niveau des ilots.

Chapitre VIII :

Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion.

Chapitre VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion.

Introduction :

Ce chapitre concerne le dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion dont les principales caractéristiques ont été définies précédemment.

Pour ce projet, nous avons choisi d'étudier l'ilot N°40 cultivé en Pomme de terre saison Ps'. Le dimensionnement des autres parcelles se fait de la même façon juste en changeant ce qui doit être changé.

VIII.1. Données générales :

L'objectif de l'irrigation par aspersion est de combler le déficit en eau afin de créer des conditions plus favorables pour la croissance des plantes.

Le système le plus utilisé et le moins coûteux pour irriguer les parcelles de petites et moyennes dimensions est le système d'aspersion à rampe mobile avec une pression de fonctionnement basse à moyenne (2-3.5 bar).

Les paramètres de calcul utilisés dans ce chapitre sont tirés des résultats de calculs des chapitres précédents, et ils sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII-01 : Caractéristiques de la parcelle à irriguer.

Paramètre de sol et de terrain	
Superficie	6.08 ha
Longueur équivalente	252 m
Largeur	242 m
Perméabilité du sol	4.60 mm/h
RFU	11.32 mm
Paramètre de système	
Débit caractéristique	4.62 l/s
Pression de service	4 bars (régularisé)
Temps de travail	20 heures / jours – 25 jours/ mois
Paramètre de la culture (Pomme de terre saison Ps')	
Besoins bruts	81.01 mm/ha
La fréquence d'arrosage	8
La dose d'arrosage	10.13 mm/ha

VIII.2. composante d'un système d'irrigation par aspersion :

Les différents éléments d'un système d'aspersion sont la porte rampes, la rampe, l'asperseur et des accessoires de contrôle (vannes). [10]

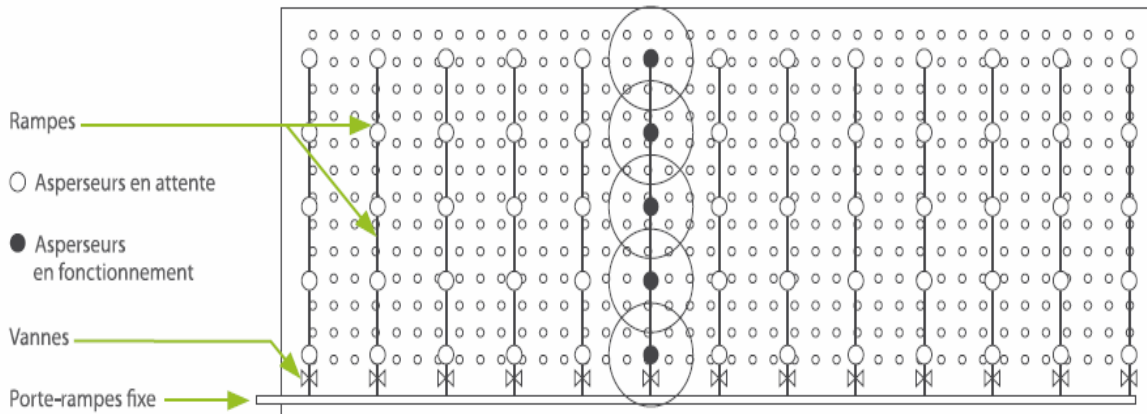


Figure VIII -01 : composants d'un système d'aspersion (Source : Groupe CHIALI)

VIII.2.1. Le porte-rampe :

Le porte rampe est la canalisation qui relie le point d'alimentation en eau de la parcelle, aux rampes disposées sur celle-ci. Afin de faciliter leur manipulation, les portes rampes constitués d'éléments de tube rigides à raccord rapides.[10]

VIII.2.2. Les rampe :

Elles sont constituées d'éléments de tubes à raccords rapides, ou tuyaux souples. Les éléments de tube ont une longueur de 3,6 à 9 m et sont, en général, en polyéthylène de haute densité (PEHD) de 50 ou 63 mm de diamètre.[10]

VIII.2.3. L'asperseur :

L'asperseur est caractérisé par le diamètre de sa buse, qui définit, pour une pression déterminée, le débit de l'asperseur, la portée du jet et la répartition de l'eau (la pluviométrie).

Il existe des asperseurs équipés d'une seule buse (mono buse) et des asperseurs munis de deux buses (double buses) de diamètres différents, ce qui améliore l'homogénéité de la répartition pluviométrique sur la surface arrosée.

L'asperseur peut être monté directement sur la rampe par l'intermédiaire d'une allongé (canne) rigide de 0.5 à 2 m que l'on emboîte dans un té à clapet fixé sur une plaque stabilisatrice.[10]

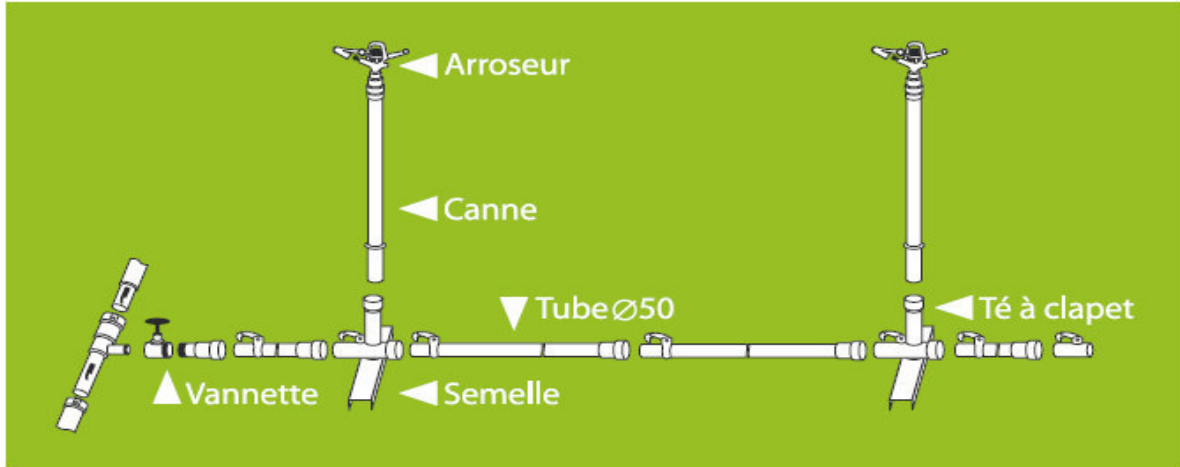


Figure VIII -02 : Les éléments d'un kit d'aspersion (Source : Groupe CHIALI)

VIII.3. L'implantation des asperseurs :

Pour obtenir une répartition de l'eau homogène, on doit aménager les asperseurs de manière à avoir un recouvrement des jets. Les asperseurs sont usuellement disposés en carré, en rectangle ou en triangle, dont les dimensions les plus courantes sont : 12m×12m ,18m×18m, 21m×24m, 21m×21m.[10]

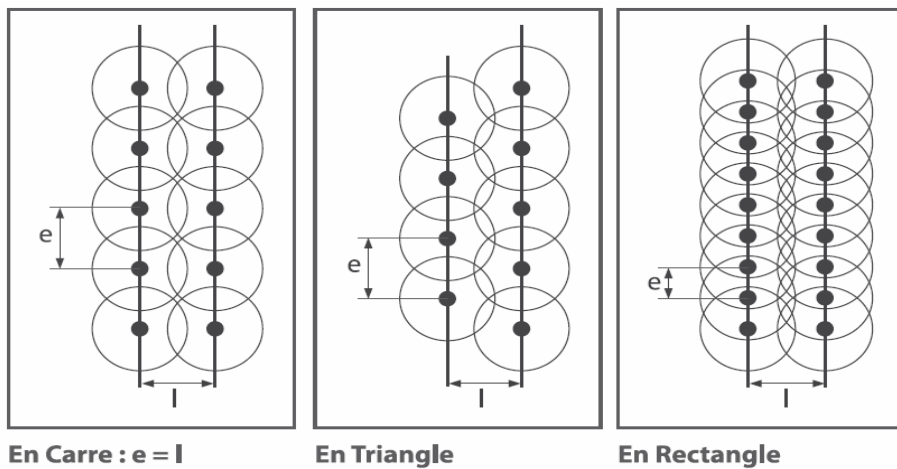


Figure VIII -03 : Différents dispositifs d'implantation des asperseurs (Source : Groupe CHIALI)

La première dimension de chaque couple est celle de l'espacement (e en m) des asperseurs sur la rampe. La seconde celle de l'écartement (l en m) entre deux rampes contiguës.

Le choix et l'implantation des asperseurs définissent l'uniformité de répartition de l'eau. Cette uniformité dépend aussi de l'effet de vent, qui augmente l'hétérogénéité de la répartition de l'eau en irrigation par aspersion.

Des effets sont sensibles dès que la vitesse du vent atteint 10 km/h. L'irrigation devient pratiquement impossible lorsque la vitesse atteint 30 km/h. On atténuera l'effet de vent en adoptant un dispositif le plus serré possible, en triangle de préférence. Le triangle 18m*18m est préconisé.

D'autre part, si la profondeur de sol exploité par les racines est faible (20 à 30cm pour certaines cultures maraichères par exemple), on choisira un dispositif serré (de faible dimension) et équipé d'asperseurs à deux buses.

Au contraire pour des cultures à enracinement profond, telles que le maïs ou le soja, on pourra choisir un dispositif plus lâche et des asperseurs à une seule buse, à condition de ne pas être exposé à des vents forts. [10]

Tableau VIII -02 : différent choix des buses des asperseurs et leur implantation

Culture et conditions pédoclimatiques	Dispositif d'implantation		
	18 *18 m (carré ou triangle)	18 *24 m (carré ou triangle)	21 *21 m (carré ou triangle)
Culture	à faible enracinement (maraîchage)	2 buses	Dispositif d'implantation à éviter
	à enracinement profond (maïs...)	1 buse	1 buse ($\varnothing > 4$ mm) en triangle seulement
Rapport eau d'irrigation besoins en eau totaux	inférieur à 1/3	1 buse	1 buse ($\varnothing > 4$ mm) en triangle seulement
	supérieur à 2/3	2 buses	Dispositif d'implantation à éviter
Vitesse du vent	inférieur à 10 km/h	1 ou 2 buses	1 ou 2 buses ($\varnothing > 4$ mm) en triangle seulement
	supérieur à 10 km/h	1 ou 2 buses en triangle seulement	Dispositif d'implantation à éviter

Source : Groupe CHIALI

VIII.4. Caractéristiques de l'asperseur :

Nous allons déterminer les caractéristiques hydrauliques et géométriques de l'asperseur afin de choisir le type de l'asperseur disponible chez le constructeur et convenable à notre cas.

VIII.4.1. Détermination du diamètre de la buse :

Pour dimensionner la buse, il faut satisfaire la condition de la formule ci-dessous :

$$P = \frac{1.5 D}{1.04} \leq k \dots\dots\dots \text{(VIII-01)}$$

Avec : P : la vitesse de l'eau de l'asperseur (mm/h) ;

K : la perméabilité du sol (mm/h) ;

D : le diamètre de la buse (mm).

Pour $P = k$

$$D = \frac{1.04 k}{1.5} = \frac{1.04 \times 4.60}{1.5} = 3.19 \text{ mm}$$

Le diamètre normalisé : $D_{bn} = 3.2 \text{ mm}$

VIII.4.2. Détermination du débit à la sortie de la buse (Q_{asp}) :

Q_{asp} correspond à un débit d'un orifice, on peut le calculer grâce à l'équation suivante :

$$Q_{asp} = m S_{buse} \sqrt{2gH} \dots\dots\dots \text{(VIII -02)}$$

Avec : g : l'accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

m : coefficient de débit $m=0.95$

S_{buse} : section de la buse (m^2)

H= 40 m (4 bar)

$$S_{buse} = \frac{\pi D_b^2}{4} = \frac{\pi(3.2 \times 10^{-3})^2}{4} = 8.04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Par l'application de la loi (X-02), on obtient : $Q_{asp} = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,77 \text{ m}^3/\text{h}$

VIII.4.3. Détermination de la pression à la sortie de la buse :

Elle est calculée par la formule ci-après :

$$P = \alpha \frac{8\rho}{\pi^2 D^4} q^2 \dots\dots\dots \text{(VIII -03)}$$

Avec : P : la pression à la sortie de la buse (Pa) ;

q : Débit à la sortie de la buse (m³/s) ;

D : diamètre de la buse (m) ;

α : le coefficient de singularité de la buse α = 1,09.

ρ : la masse volumique de l'eau (Kg/m³).

$$\text{Donc : } P = 625 \frac{0.77^2}{3.2^4} 1.09 = \mathbf{3,85 \text{ bar}}$$

VIII.4.4. Calcule de la portée de jet d'un asperseur :

C'est le paramètre le plus important pour guider le choix de l'arroseur en fonction des surfaces à arroser. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$L = 3 D_{b(\text{mm})}^{0.5} H_{(\text{m})}^{0.25} \dots\dots\dots \text{(VIII -04)}$$

Avec : L : la portée d'un jet d'arroseur (m) ;

H : la pression à la sortie de la buse (m.c.e) ;

D : diamètre de la buse (mm)

Application :

$$L = 3 \times 3.2^{0.5} \times 38.5^{0.25} = \mathbf{13,37 \text{ m}}$$

VIII.4.5. Estimation des écartements :

En fonction de la vitesse du vent et de la portée des asperseur (L), on peut estimer l'espacement des asperseurs sur la rampe (E_a) et l'écartement entre deux rampes contigües (E_L).

$$\text{vent faible } \begin{cases} E_L = 1,3 L \\ E_a = 0,8L \end{cases}, \text{ vent fort } \begin{cases} E_L = 1,02L \\ E_a = 0,5L \end{cases} \dots\dots\dots \text{(VIII -05)}$$

Pour un vent faible (4 m/s = 14,4 km/h) : $E_L = 17,38 \text{ m}$ et $E_a = 10.696 \text{ m}$

On normalise les valeurs trouvées de sorte qu'elles soient des multiples de 6, donc :

$$E_L = 18 \text{ m et } E_a = 12 \text{ m}$$

VIII.4.6. Estimation de la pluviométrie :

La pluviométrie ne doit pas dépassé la perméabilité du sol (5.25 mm/h), elle est exprimée par la formule ci-dessous :

$$P = \frac{1000 \cdot Q_{asp}}{S_{\text{écartement}}} \dots\dots\dots \text{(VIII -06)}$$

Avec : P : pluviométrie en (mm/h) ;

Q_{asp} : débit d'un asperseur (m³/h) ;

$S_{\text{écartement}}$: la surface recouverte par un asperseur (m²).

$$P = \frac{1000 \times 0.77}{18 \times 12} = 3.56 \text{ mm/h}$$

$P = 3.56 \text{ mm/h} < 5.25 \text{ mm/h} \rightarrow$ la condition est vérifiée.

VIII.5. Caractéristique de mode d'irrigation :

VIII.5.1. Le temps nécessaire d'irrigation :

C'est le temps nécessaire pour obtenir la dose réelle dans le sol, ce temps est exprimé par la formule :

$$t_{asp} = \frac{D_r}{P} \dots\dots\dots \text{(VIII -07)}$$

Avec : t_{asp} : le temps nécessaire d'irrigation (h) ;

D_r : la dose réelle en (mm) ;

P : la pluviométrie en (mm/h).

$$t_{\text{asp}} = \frac{10,13}{3,56} = \mathbf{2\text{h } 51\text{ min}}$$

VIII.5.2. La fréquence d'arrosage :

C'est le nombre de fois ou il faut irriguer par mois pour maintenir l'humidité du sol dans les limites acceptable compte tenue de l'ETP (Chapitre VIII).

Pour la pomme de terre du mois de mai : **N=8**.

VIII.5.3. Le nombre de jour d'arrosage par mois :

$$n_{\text{jours}} = \frac{25}{8} = \mathbf{3\text{jours}} \dots\dots\dots \text{(VIII -08)}$$

VIII.5.4. Le nombre d'asperseurs :

$$n_{\text{asp}} = (\text{surface à arrosée (m}^2\text{)} / (\text{implantation} \times \text{nombre de poste} \times \text{nombre d'arrosage par mois}))$$

Surface à arrosée = 60800 m²

Implantation des asperseurs = 18×12= 216 m².

Nombre de poste /tour d'eau = 4

Nombre d'arrosage par mois = 3

$$n_{\text{asp}} = \frac{60800}{216 \times 4 \times 3} = \mathbf{24\text{ asperseurs}} \dots\dots\dots \text{(VIII -09)}$$

Dans ce cas, chaque asperseur va fonctionner 2 jours par mois et cela 4 fois (4 pose) et pendant 2h51min.

VIII.6. Caractéristiques de la canalisation :

Pour calculer les dimensions de la canalisation (rampe et porte rampe), on propose que les rampes soient en PEHD

VIII.6.1. Longueur des rampes :

$$L_{ram} = \frac{\text{Largeur du terrain} - 2E_a}{2} = \frac{242 - 24}{2} = 109 \text{ m} \dots \dots \dots \text{(VIII -10)}$$

VIII.6.2. Le nombre d'asperseur par rampe :

$$n_{asp/ram} = \frac{L_{ram}}{E_a} + 1 = 11 \text{ asperseurs} \dots \dots \dots \text{(VIII -11)}$$

VIII.6.3. Le nombre de rampe :

$$n_{ram} = \frac{n_{asp}}{n_{asp/ram}} = \frac{24}{11} = 3 \text{ rampes} \dots \dots \dots \text{(VIII -12)}$$

VIII.6.4. Le débit de rampe :

$$Q_{ram} = Q_{asp} \cdot n_{asp/ram} \dots \dots \dots \text{(VIII -13)}$$

$$= 0,77 \times 11 = 8,47 \text{ m}^3/\text{h}$$

VIII.6.5. Calcul de la longueur fictive des rampes :

La longueur fictive de rampes est la longueur pour que la conduite assure un débit en route

$$L_{fr} = \frac{E_a \left(\frac{n_{asp}}{ram} + 1 \right) \left(2 \frac{n_{asp}}{ram} + 1 \right)}{6 \frac{n_{asp}}{ram}} \dots \dots \dots \text{(VIII -14)}$$

$$= \frac{12 \times 12 \times 23}{66} = 50,18 \text{ m}$$

VIII.6.6. Calcul de la longueur fictive de la porte rampe :

$$L_{fpr} = (L_{pr} - E_L) + (L_{fr} - 0,5 E_a) \dots \dots \dots \text{(VIII -15)}$$

$$= (252 - 18) + (50.18 - 6) = 278,18 \text{ m}$$

VIII.6.7. La longueur réelle totale :

$$L_{\text{réelle totale}} = (L_{\text{pr}} - E_L) + (L_{\text{ram}} - 0.5 E_a) \dots \dots \dots \text{(VIII X-16)}$$

$$= 337 \text{ m}$$

VIII.6.8. Détermination du diamètre de la porte rampe :

VIII.6.8.1. Estimation du diamètre par la vitesse minimale :

$$D = \left(\frac{4Q_{\text{pr}}}{\pi \cdot v_{\text{min}}} \right)^{0.5} \dots \dots \dots \text{(VIII -17)}$$

$v_{\text{min}} = 1,25 \text{ m/s};$

$Q_{\text{pr}} = Q_{\text{asp}} \times n_{\text{asp}} \times n_{\text{rampe}} = (0.77 / 3600) \times 24 \times 3 = 0,0154 \text{ m}^3/\text{s}$

Donc: $D = \left(\frac{4 \times 0.0154}{\pi \times 1,25} \right)^{0.5} = 125 \text{ mm}$

VIII.6.8.2. Estimation du diamètre par la vitesse maximale :

$$D = \left(\frac{4Q_{\text{pr}}}{\pi \cdot v_{\text{max}}} \right)^{0.5} \dots \dots \dots \text{(VIII -18)}$$

$v_{\text{max}} = 1,8 \text{ m/s};$

Donc: $D = \left(\frac{4 \times 0.0154}{\pi \times 1,8} \right)^{0.5} = 104.4 \text{ mm}$

VIII.6.8.3. Estimation du diamètre par la perte de charge totale :

En appliquant la formule de perte de charge de SCOBAY :

$$j = a D^{-N} Q^M \dots \dots \dots \text{(VIII -19)}$$

Avec : j : perte de charge unitaire en (m/km) ;

Q : débit de la conduite en (m³/s) ;

D : Diamètre de la conduite en (m) ;

M, N, a : constantes dépendants de la rugosité absolue des canalisations.

Pour le PEHD : $a = 10.294 n^2$ avec $n = 0.011$, $M = 2$, $N = 5.333$

La perte de charge unitaire se calcule aussi par la formule suivante :

$$j = \frac{\Delta H}{L_{\text{fpr.totale}}} \dots \dots \dots \text{(VIII -20)}$$

Avec : ΔH : dénivelé (m), on prend la valeur la plus défavorable $\Delta H = 10$ m

$L_{\text{fpr.totale}}$: la longueur fictive totale de la porte rampe (m) ;

$$j = \frac{10}{278.18} = \mathbf{0,036 \text{ m/m}}$$

D'après la formule précédente (X-19):

$$D = \sqrt[5,333]{\frac{0,00124 \times (0.015)^2}{0.036}} = \mathbf{110 \text{ mm}}$$

VIII.6.8.4. Normalisation des diamètres obtenus par chaque méthode :

$D = 125 \text{ mm} \rightarrow D_n = 125 \text{ mm}$

$$j = 0.0183 \text{ m} \rightarrow \Delta H = j \times L = 0.0183 \times 278.18 = \mathbf{5.083 \text{ m}}$$

$D = 104.4 \text{ mm} \rightarrow D_n = 110 \text{ mm}$

$$j = 0.036 \text{ m} \rightarrow \Delta H = j \times L = 0.036 \times 278.18 = 10.05 \text{ m}$$

$D = 110 \text{ mm} \rightarrow D_n = 110 \text{ mm}$

On prend $D_{\text{pr}} = \mathbf{125 \text{ mm}}$ car la perte de charge est minimale.

VIII.6.9. Détermination du diamètre de la rampe :**VIII.6.9.1. Estimation du diamètre par la vitesse minimale :**

$$D = \left(\frac{4Q_{\text{ramp}}}{\pi \cdot v_{\text{min}}} \right)^{0.5} \dots\dots\dots \text{(VIII -21)}$$

$v_{\text{min}} = 1,25 \text{ m/s};$

$$\text{Donc: } D = \left(\frac{4 \times 0.0024}{\pi \times 1,25} \right)^{0.5} = \mathbf{49.4 \text{ mm}}$$

VIII.6.9.2. Estimation du diamètre par la vitesse maximale :

$$D = \left(\frac{4Q_{\text{ramp}}}{\pi \cdot v_{\text{max}}} \right)^{0.5} \dots\dots\dots \text{(VIII -22)}$$

$v_{\text{max}} = 1,8 \text{ m/s};$

$$\text{Donc: } D = \left(\frac{4 \times 0.0024}{\pi \times 1,8} \right)^{0.5} = \mathbf{41.2 \text{ mm}}$$

VIII.6.9.3. Estimation du diamètre de la rampe par la perte de charge totale :

$$j = \frac{\Delta H_{\text{totale}} - \Delta H_{\text{pr}}}{L_{\text{framp}}} \dots\dots\dots \text{(VIII -23)}$$

$$= \frac{10}{50.18} = \mathbf{0,199 \text{ m/m}}$$

$$j = \frac{aQ_{\text{ramp}}^b}{D^c} \dots\dots\dots \text{(VIII -24)}$$

Pour le PEHD : $a = 10.294 \text{ n}^2$ avec $n = 0.011$, $b = 2$, $c = 5.333$

$$D = \sqrt[5,333]{\frac{0,00124 \times (0.0024)^2}{0.199}} = \mathbf{40.2 \text{ mm}}$$

Le diamètre normalisé est : $D_n = 50 \text{ mm}$.

VIII.6.9.4. Vérification de la condition de CHRISTIANSEN :

Pour une rampe en PEHD de $D_n = 50 \text{ mm}$, $L_{fr} = 50.18 \text{ m}$ et $Q_{ramp} = 0.0024 \text{ m}^3/\text{s}$, la perte de charge totale est :

$$\Delta H = j \cdot L_{fr} = \frac{0.00124 Q_{ramp}^2 L_{fr}}{D^{5,333}} \dots\dots\dots \text{(VIII -25)}$$

$$\Delta H = \frac{0.00124 \times 0.0024^2 \times 50.18}{0.05^{5,333}} = 3.11 \text{ m}$$

Tableau VIII -03: Récapitulatif des résultats de dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion

Caractéristique de la parcelle	
Superficie	6.08 ha
Longueur équivalente	252 m
Largeur	242 m
Perméabilité du sol	5.25 mm/h
RFU	11.32 mm
Débit caractéristique	4.62 l/s
Pression de service	4 bars (régularisé)
Paramètre de la culture (Pomme de terre saison Ps')	
Besoins bruts	81.01 mm/ha
La fréquence d'arrosage	8
La dose d'arrosage	10.13 mm/ha
Caractéristique de l'aspersion	
Diamètre de la buse D_{bn}	3.2 mm
Débit de l'aspersion Q_{asp}	0.77 m ³ /h
La pression à la sortie de la buse	3.85 bar
La portée du jet d'un aspersion	13.37 m
L'implantation des aspersions $E_L \times E_a$	18 m \times 12m
La pluviométrie	3.56 mm/h

Caractéristique du mode d'irrigation	
Temps de travail	20 heures / jours – 25 jours/ mois
Le temps nécessaire d'irrigation	2h 51 min
La fréquence d'irrigation	8
Le nombre de jours d'arrosage par mois	3 jours
Le nombre de pose par jour	4
Le nombre d'asperseurs	24
Caractéristique de canalisation	
Longueur des rampes	109 m
Le nombre d'asperseur par rampe	11
Le nombre de rampes	3
Débit de rampe	8.47 m ³ /h
Le diamètre de la rampe	50 mm
La perte de charge dans la rampe	3.11 m
Longueur de la porte rampe	252 m
Le diamètre de la porte rampe	125 mm
La perte de charge dans la porte rampe	5.08 m

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé le dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion pour la culture de la pomme de terre saisonnière de production de semence.

En irrigation gravitaire, cette culture consomme des volumes d'eau important, de plus les rendements sont généralement faibles. Avec l'irrigation par aspersion, nous avons une efficacité d'eau d'irrigation et des rendements plus élevés, ce qui permettra d'intensifier cette culture dans ce milieu semi-aride.

Chapitre IX :

Organisation de chantier et estimation du cout du projet

Chapitre IX : Organisation de chantier et estimation du cout du projet

Introduction :

L'organisation de chantier consiste à la détermination la coordination et la mise en œuvre des moyens nécessaires pour la réalisation et l'exécution des travaux dans les meilleures conditions et dans les plus brefs délais.

En outre, à travers ce chapitre nous allons créer un devis descriptif et estimatif détaillé qui permettra d'analyser les éléments composant le cout et donc nous orienter vers la faisabilité économique du projet.

IX.1. Préparation de la tranchée :

IX.1.1. largeur du fond de la tranchée :

La largeur d'ouverture de la tranchée est obtenue par la formule :

$$B = d + (1.2 - 0.5) \dots\dots\dots \text{(IX-01)}$$

Avec : B : largeur de la tranchée (m) ;

d : diamètre de la conduite (m).

IX.1.2. Profondeur de la tranchée :

Le bon calcul de la profondeur permettra la réalisation correcte des branchements particuliers et empêchera toute intercommunication avec les autres conduites.

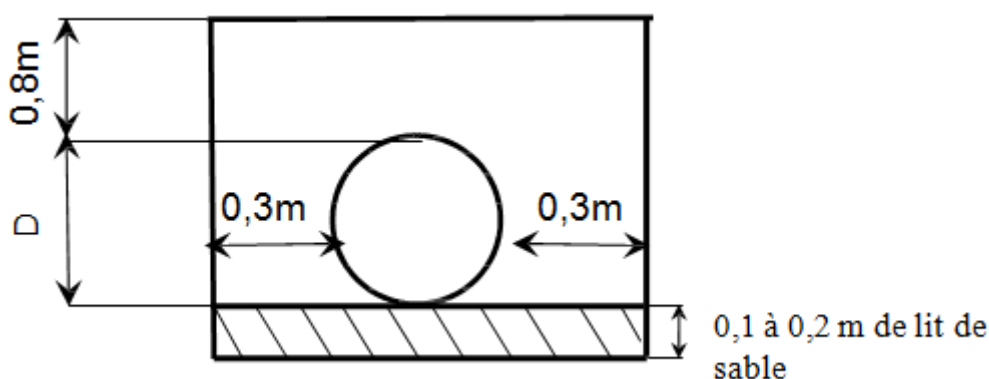


Figure IX-01 : Schéma d'une tranchée.

La profondeur est calculée par la formule suivante :

$$H = e + d + h \dots\dots\dots \text{(IX-02)}$$

Avec : H : Profondeur de la tranchée (m) ;

e : hauteur du lit de pose (m) ;

d : diamètre de la conduite (m) ;

h : la hauteur du remblai au dessus de la conduite (m).

IX.1.3. Volume de déblai :

La surface à calculer et la surface rectangulaire

$$S = B \times H \dots \dots \dots \text{(IX-03)}$$

Avec : H : Profondeur de la tranchée (m) ;

B : largeur de la tranchée (m).

Ce qui nous donne :

$$V_d = B \times H \times L \dots \dots \dots \text{(IX-04)}$$

Avec : V_d : volume de déblai (m^3).

L : Longueur de la conduite (m).

IX.1.4. Volume du lit de sable :

Ce lit correspond à une couche de sable de 12 cm sur le fond de la tranchée, donc c'est une surface constante le long de la tranchée. Le volume du lit de sable est exprimé par :

$$V = e \times b \times L \dots \dots \dots \text{(IX-05)}$$

Avec : V : volume du lit de sable (m^3) ;

e : épaisseur de la couche de sable (m) ;

b : largeur de la tranchée (m) ;

L : Longueur de la conduite (m).

IX.1.5. Volume du remblai :

Il est exprimé par la formule suivante :

$$V_r = V_d - (V + V_c) \dots \dots \dots \text{(IX-06)}$$

Avec : V_r : Volume du remblai compacté (m^3) ;

V_d : Volume de déblai (m^3) ;

V : Volume du lit de sable (m^3) ;

V_c : Volume de la conduite (m^3) ;

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} L ; \begin{cases} D: \text{diamètre de la conduite (m)}; \\ L: \text{longueur de la conduite (m)}; \end{cases}$$

Tableau IX-01 : Récapitulatif des volumes calculés

	Diamètre en (mm)	Longueur en(m)	B (m)	H (m)	V _d (m ³)	V (m ³)	V _c (m3)	V _r (m ³)
Conduites de distribution	90	671,49	0,69	1,09	505,03	55,60	4,27	445,16
	110	338,8	0,71	1,11	267,01	28,87	3,22	234,92
	125	805,46	0,725	1,125	656,95	70,08	9,88	577,00
	160	1328,6	0,76	1,16	1171,29	121,17	26,70	1023,43
	200	2250,31	0,8	1,2	2160,30	216,03	70,66	1873,61
	250	1545,86	0,85	1,25	1642,48	157,68	75,84	1408,95
	315	1401,42	0,915	1,315	1686,22	153,88	109,16	1423,19
	400	645,11	1	1,4	903,15	77,41	81,03	744,71
	500	716,04	1,1	1,5	1181,47	94,52	140,52	946,43
Adduction	630	1900	1,23	1,63	3809,31	280,44	591,98	2936,89

Tableau IX-02 : Récapitulatif des volumes totaux

Volume totale	quantité (m3)
V.déblai	13983,21
V.lit de sable	1255,66
V.rembloi	11614,29

IX.2. Bassin de stockage :

Le volume total du réservoir est égal à **4271.90m³**.

Nous préconisons la construction d'un réservoir de volume de **5000 m³**.

Description du réservoir :

Le réservoir sera en béton armé de forme circulaire, semi-enterré d'une capacité de 5000m³ avec une hauteur de 10,05 m (9,45 m pour la hauteur d'eau) et une surface de 555.50m².

Le choix du réservoir en béton armé a été fait pour des raisons techniques tout en considérant la nature géographique (espace géométrique du terrain) et géotechnique du terrain.

Tableau IX-03 : Coût du bassin de stockage

Bassin de stockage	Volume m ³	Cout en DA/ m ³
	5000	13140,00

Tableau IX-04 : Devis quantitatif et estimatif du cout de réalisation du projet.

Désignation	Unité	Unité	Prix (DA)	Prix total (DA)
Travaux de terrassement				
Décapage avec e= 25 cm	2615,96	m ³	74,00	193581,04
V. déblai	13983,21	m ³	300,00	4194963,12
V.lit de sable	1255,66	m ³	800,00	1004529,88
V. remblai	11614,29	m ³	200,00	2322858,78
V. Réservoir	5000	m ³	13140,00	65700000
Conduite en PEHD		Total 1		73415932,82
90	671,49	m	220,00	147727,80
110	338,8	m	336,32	113945,22
125	805,46	m	440,66	354934,00
160	1328,6	m	687,84	913864,22
200	2250,31	m	1103,03	2482159,44
250	1545,86	m	1744,40	2696598,18
315	1401,42	m	2583,21	3620162,16
400	645,11	m	4160,48	2683967,25
500	716,04	m	8104,39	5803067,42
630	1900	m	9500,00	18050000,00
Equipements mécaniques		Total 2		36866425,69
Borne DN125 2S DN100	12	U	124550,00	1494600,00
Borne DN100 1S DN100	7	U	957660,00	6703620,00
Borne DN150 2S DN100	4	U	1353700,00	5414800,00
Borne DN100 2S DN65	1	U	115380,00	115380,00
Borne DN125 1SDN100	2	U	897880,00	1795760,00
Vannes d'isolement	20	U	22140,00	442800,00
Vannes de sectionnement	6	U	978317,00	5869902,00
ventouse DN 150	1	U	25000,00	25000,00
Té égal 200	2	U	850,00	1700,00
Té égal 160	1	U	860,00	860,00
Té égal 500	1	U	1200,00	1200,00
Té réduit 200/160	5	U	920,00	4600,00
Té réduit 250/160	4	U	970,00	3880,00
Té réduit 315/125	1	U	970,00	970,00
Té réduit 400/125	1	U	1200,00	1200,00
Té réduit 315/160	2	U	970,00	1940,00
Té réduit 315/110	1	U	970,00	970,00
Té réduit 160/110	1	U	850,00	850,00
Té réduit 400/90	2	U	1200,00	2400,00
Asperseurs	1233	U	4600,00	5671800,00
		Total 3		27554232,00
Coût Total			137836590,5	

Donc le coût total du projet de dimensionnement du périmètre de Tissemsilt à partir de la station d'épuration est estimé à : 161268810,90 DA (Tableau IX-05)

Tableau IX-05 : Coût total TTC.

Total HT	137836591,51
TVA 17%	23432220,39
Total TTC	161268810,90

Conclusion :

D'après le coût de la projection des réseaux qu'on a obtenus, on remarque que l'estimation financière du réseau d'irrigation par aspersion est relativement importante. Cette élévation est due à l'utilisation d'un nombre de conduite assez important car la surface à irriguer est considérablement élevée (312,28 ha). Néanmoins, ce coût prend en considération tous les travaux réalisés sur le chantier et les équipements en totalité.

L'aménagement de ce périmètre permettra un développement socio-économique important pour la région de Tissemsilt.

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude était de caractériser au mieux les eaux usées de la station d'épuration de Tissemsilt en vue d'une utilisation sans risque sur le périmètre d'Ain Fedha.

Les résultats analytiques ont montré que les eaux usées de la STEP de Tissemsilt sont d'une bonne qualité lui permettant facilement d'être utilisées dans le domaine agricole (irrigation).

Un réseau d'adduction et de distribution a été dimensionné afin d'assurer la bonne alimentation des parcelles.

Un réseau d'irrigation par aspersion a été conçu avec un dimensionnement adapté au type de cultures choisies et des débits disponibles.

Parmi les recommandations proposées avant de généraliser cette pratique, il est important que les techniques de réutilisation des eaux usées épurées soient bien maîtrisées pour cela, il serait nécessaire :

- Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées ;
- Un traitement adapté aux conditions locales ;
- Une meilleure connaissance des impacts sanitaires et écologiques de la réutilisation.

Références Bibliographique et sitographie

[1] Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), École nationale vétérinaire de Nantes, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, École nationale de la santé publique (ENSP). Les germes pathogènes dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, *Guide et cahiers techniques « Connaître pour agir »*, août 1994, 89 pages

[2] M.R.E., 2007 - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées, D.A.P.E.

[3] Baumont S Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. E.N.S.A.T.

[4] M.R.E., 2007 - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 2: Schéma directeur, D.A.P.E.

[5] <http://www.lenntech.com/fran%E7ais/nitrate.htm>

[6] www.revue-ein.com RÉUTILISATION DES EAUX USÉES Intérêt, bénéfiques et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France

[7] <http://irrigazette.com/fr/articles/les-techniques-dirrigation-agricole>.

[8] EXTRAIT-du-livre-Gestion-durable-de-la-terre---Efficiency-de-l-utilisation-de-l-eau.

[9] <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2013-2-page-30.htm>.

[10] Catalogue Techniques d'irrigation par Groupe CHIALI. Edition octobre 2010.

[11] [http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/Equipements techniques/ECS et chauffage/Systemes de conduction d eau/Tuyau de distribution d eau.html](http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/Equipements_techniques/ECS_et_chauffage/Systemes_de_conduction_d_eau/Tuyau_de_distribution_d_eau.html).

[12] Traité d'irrigation. : 2è édition Broché – 28 septembre 2006 de Jean-Robert Tiercelin

[13] MR KOKAI: cours de réutilisation 5^{ème} année (2010/2011)