

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'ETUDES

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

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME DU PROJET :

**Dimensionnement du réseau d'irrigation du périmètre de
BELGHIMOUZ à partir de STEP d'EL-Milia
(Wilaya de Djidjel).**

PRESENTE PAR

Mr MECEMMA Tariq

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms

	Grade	Qualité
Mr : RASSOUL Abdelaziz	M.C.A	Président
Mme : AZIEZ Wahiba	M.A.A	Examinatrice
Mr : YAHIAOUI Samir	M.A.A	Examineur
Mr : KERID Rachid	M.A.A	Examineur
Mr : BOUZIANE Omar	M.A.A	Promoteur

Juin - 2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de Respect, de
Reconnaissance à :

Mes chers parents Foudil et Yamina

Mes frangins : Nasro, Chamso, Fares, Mohammed et
Badis.

Mes frangines: Soumaya, Widad et Nadjat .

Mes chers amis

A tous mes enseignants de Primaire, CEM, Lycee,
EPST – ANNABA et ENSH -BLIDA

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu Tout Puissant pour toutes les merveilles qu'il fait dans ma vie et pour m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

J'adresse mes sincères remerciements et toute ma reconnaissance à mon encadreur de thèse, Mr BOUZIANE Omar, pour avoir accepté d'être mon promoteur.

Mes vifs remerciement aux membres de jury d'avoir accepter d'évaluer mon travail.

A tous mes enseignants qui m'ont permis d'acquérir ce niveau d'instruction.

En fin j'adresse mes remerciements à tous ceux qui ont contribués à l'élaboration de ce travail de prés ou de loin et surtout Mr BENKASI , M AZIAZE et mon ami Hamza.

ملخص:

قمنا خلال هذه المذكرة بدراسة كيفية تزويد الأراضي الزراعية بالمياه باستخدام تقنية السقي عن طريق التقطير، انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة لمدينة الميلية ولاية جيجل. لهذا الغرض قمنا بدراسة عامة لمختلف الخصائص المناخية للمنطقة، إضافة إلى دراسة الخصائص المتعلقة بنوعية التربة ونوعية المياه المستعملة بالمنطقة محل الدراسة.

Résumé :

L'objectif de ce mémoire est la conception du réseau d'irrigation par le système goutte à goutte qui va alimenter en eaux usées épurées à partir de la station d'épuration d'El-Milia (W.Djidjel).

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

Abstract:

The objective of this study is the conception of the irrigation network using drop by drop irrigation technique using treated waste water in the station of El-Milia (wilaya of Djidjel). For this, we made a general survey on the climatic feature, as well as the characteristic of the soils and the waters treated of the region.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Analyse des conditions naturelles et agricoles de la zone d'étude

Introduction	2
I.1. Situation géographique et administrative de la région d'étude.....	2
I.2 .Localisation du périmètre d'irrigation	2
I.3. Situation climatique	4
I.4.Précipitation.....	4
I.5. Températures.....	6
I.6. Humidité	7
I.7. Les vents.....	7
I.8. Evaporation.....	8
I.9.Insolation.....	9
I.10. Classification du climat	9
I.10.1. Classification du climat selon l'indice de MARTON.....	9
I.10.2. Classification du climat selon le diagramme d'EMBERGER.....	10
I.11. Climogramme pluvio-thermique de BAGNOULS ET GAUSSEN.....	11
I.12.Hydrologie	12
I.12.1 Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique.....	12
I.12.2. Ajustement de la série pluviométrique.....	14

I.12.2.1.Ajustement à la loi normale (Gauss).....	14
I.12.2.1.Ajustement à la loi log-normale (Galton).....	15
I.12.2.3.Le test d'adéquation khi-deux.....	17
I.13.Détermination de l'année de calcul.....	18
Conclusion.....	19

Chapitre II : Etude agro-pédologique

Introduction.....	20
II.1.Aperçu géologique.....	20
II.2.Description des sols.....	21
II.2.1.Les analyses du sol.....	21
II.2.2.Interprétation.....	22
II.3.Possibilité de mise en valeur.....	27
II.3.1.Détermination des aptitudes culturales.....	27
II.3.1.1.Occupation des sols.....	27
II.3.1.2.Les conditions édaphiques.....	27
II.3.1.3.La structure et la texture.....	28
II.3.1.4.L'hydromorphie.....	28
II.4.Zones homogènes de mise en valeur.....	29
II.3.1.5.Teneur en calcaire.....	29
Conclusion.....	31

Chapitre III : Présentation de la station d'épuration d'EL MILIA

Introduction.....	32
III.1.Présentation et situation géographique.....	32
III.2.Objective de la STEP.....	32
III.3.Données de base.....	33
III.3.1.Charge Hydraulique.....	33
III.4. Les procédés d'épuration des eaux.....	33
III.4.1.Prétraitement.....	33
III.4.1.1.Dégrillage.....	33
III.4.1.2.Dessablage.....	34
III.4.1.3.Déshuilage-dégraissage.....	34
III.4.2.Le traitement primaire.....	34
III.4.2.1.La décantation.....	34
III.4.3.Le traitement secondaire (biologique).....	34
III.4.4.Les boues activées.....	34
III.5.Qualité des eaux	35
III.5.1.Eaux usées brutes (Entrée de la STEP).....	35
III.5.2.Eaux usées épurées (Sortie de la STEP).....	35
III.6.Mesure des débits (Sortie de la STEP).....	36
III.7.Etude physico-chimique des eaux de la STEP d'El-Milia.....	37
III.7.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation.....	37

III.7.2. Classification des eaux d'irrigation.....	38
III.7.2.1. Classification mondiale (F.A.O).....	39
III.7.2.2. Classification Russe.....	39
III.7.2. 3. Classification Américaine.....	39
III.8. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP d'El-Milia.....	41
II.8.1. Normes de rejets.....	41
III.8.2. Résultats d'analyses et interprétation.....	42
Conclusion.....	44

Chapitre IV : Calcul des besoins en eau

Introduction.....	45
IV.1. Besoins en eau des cultures.....	45
IV.2. L'évapotranspiration.....	45
IV.3. L'évapotranspiration potentielle ou de référence (ETP).....	45
IV.4. Méthode de Penman et Montheit modifiée	46
IV.5. calcul de la pluie efficace.....	47
IV.6. Le choix des cultures.....	47
IV.7. Calendrier et assolement des principales cultures préconisées.....	48
IV.8. L'évapotranspiration maximale (ETM).....	49
IV.10. Calcul des besoins bruts en eau d'irrigation.....	50
IV.11. Calcul de débit caractéristique.....	58
IV.12 Comparaison entre les besoins de la zone d'étude et la capacité de la STEP.....	59
Conclusion.....	59

Chapitre V : Dimensionnement de réseau de distribution de la zone d'étude

Introduction.....	60
V.1.Variante d'aménagement du réseau.....	60
V.2.Calcul de l'adduction	60
V.2.1Adduction gravitaire	60
V.3.Dimensionnement de la bache	62
V.4. Découpage des îlots d'irrigation.....	63
V.5. Le plan de bornage.....	63
V.6. Choix du tracé	64
V.7. Débits aux bornes	64
V.8.Choix du type et de diamètre de la borne	66
V.9.Caractéristiques de la conduite principale (CP) et le réseau de distribution.....	67
V.9.1. Choix du type de matériau.....	67
V.9.1.1 La fonte ductile.....	67
V.9.1.2. Le plastique.....	68

V.9.2. Calcul des diamètres des canalisations.....	69
V.10.Calcul de perte de charge dans les conduites.....	71
V.11.Calcul de pression aux bornes et nœuds.....	73
Conclusion.....	75

Chapitre VI : Etude des techniques d'irrigation des cultures

Introduction.....	76
VI. Les techniques d'irrigation.....	76
VI.1- Irrigation de surface.....	76
VI.2-Irrigation par aspersion.....	76
VI.3.1-Caractéristiques de l'irrigation localisée.....	77
VI.3-irrigation localisée.....	77
VI.3.1 Composition d'une installation goutte à goutte.....	78
Conclusion.....	81

Chapitre VII : Le réseau d'irrigation goutte à goutte

Introduction.....	82
-------------------	----

VII.1. Données générales.....	82
VII.2. Besoins journaliers.....	83
VII.3. Dose nette (dose pratique).....	83
VII.4. Calcul de la dose brute.....	84
VII.5. Fréquence des arrosages.....	84
VII.6. Durée d'arrosage par mois.....	85
VII.7. Durée d'arrosage journalier.....	85
VII.8. Nombre de poste.....	85
VII.9. Surface de poste.....	85
VII.10. Calculs hydrauliques	86
VII.10.1 .Conditions hydrauliques.....	86
VII.10.2. Le débit.....	86
VII.10.2.1. Le nombre d'arbres par rampe.....	87
VII.10.2.2. Nombre de goutteurs par rampe.....	87
VII.10.2.3. Le nombre de rampes.....	87
VII.10.2.4. Débit de la rampe.....	87
VII.10.2.5. Débit de la porte rampe.....	87
VII.10.2.6. Débit de la conduite secondaire.....	87
VII.11. Dimensionnement des différentes parties du réseau.....	87
VII.12. Vérification des pertes de charges.....	88
VII.13. Calcul des diamètres de la conduite secondaire.....	89
VII.14. La pression d'eau à la borne de distribution.....	89
Conclusion.....	90

Chapitre VIII : Evaluation du cout de projet

Introduction.....	91
VIII.1.Estimation du devis du réseau d'irrigation et d'adduction	91
VIII.1.1 Dépenses des équipements.....	91
VIII.1.2 Dépenses des travaux.....	92
VIII.1.3.Calcul du volume de déblai et remblai.....	93
Conclusion.....	94

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Analyse des conditions naturelles et agricoles de la zone d'étude

Tableau N° 1.1 : coordonnées Lambert du périmètre d'irrigation de BELGHIMOUZ	3
Tableau N°I.2 : coordonnées de la station météorologique	4
Tableau I.3 : Pluies moyennes annuelles (période 1985-2015).....	4

Tableau N°I.4 : la série pluviométrique de la Station d'El-MILIA.....	5
Tableau I.5 : Températures moyennes interannuelles	6
Tableau I .6 : Valeurs moyenne mensuelle et saisonnière de l'humidité relative.....	7
Tableau I.7. Vitesses moyennes mensuelles et saisonnières des vents.....	7
Tableau I.8. Evaporation moyennes	8
Tableau I.9. La durée d'insolation mensuelle.....	9
Tableau I .10 : Classification de climat selon MARTON.....	9
Tableau I.11: Test de Mood à la station d'El-Milia.....	13
Tableau I.12 : Ajustement à la loi de Gauss.....	14
Tableau I.13 : Ajustement à une loi de Galton.....	16
Tableau I.14. Test de khi-deux pour les deux lois.....	18
Tableau I.15. Précipitation mensuelle de l'année de calcul.....	19

Chapitre III : Présentation de la station d'épuration d'EL MILIA

Tableau III.1: données de la charge Hydraulique.....	33
Tableau III.2: les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes.....	35
Tableau III.3. : les paramètres physicochimiques des eaux usées épurées.....	35

Tableau III.4.: Rendement d'élimination.....	36
Tableau III.5: les débits et les volumes épurés durant l'année 2015(STEP d'El-Milia).....	36
Tableau III.6 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes).....	41
Tableau III.7: Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées de la STEP.....	42

Chapitre IV : Calcul des besoins en eau

Tableau IV.1 : Calcul de l'évapotranspiration.....	46
Tableau IV.2 : Pluies efficaces.....	47
Tableau IV.3 : Calendrier des principales cultures préconisées.....	48
Tableau IV.4 : Pourcentages proposés aux différentes cultures.....	48
Tableau IV.5: Besoins en eau d'irrigation de tomate.....	51
Tableau IV.6: Besoins en eau d'irrigation de pomme de terre	51
Tableau IV.7: Besoins en eau d'irrigation d'olivier.....	52
Tableau IV.8: Besoins en eau d'irrigation de pêcher	52
Tableau IV.9: Besoins en eau d'irrigation de courgette.....	53
Tableau IV.10: Besoins en eau d'irrigation de maïs.....	53
Tableau IV.12: Besoins en eau d'irrigation de pommier.....	54
Tableau IV.11: Besoins en eau d'irrigation de tomate industrielle.....	54
Tableau IV.13: Besoins en eau d'irrigation des agrumes	55
Tableau IV.14. Besoins nets en eau d'irrigation (mm).....	56
Tableau IV.15. Besoins bruts en eau d'irrigation.....	57
Tableau IV.16 : Besoins totaux annuels.....	59

Chapitre V : Dimensionnement de réseau de distribution de la zone d'étude

Tableau V.1. Coefficients K', m, B pour différents types du tuyau.....	61
Tableau V.2. Le bilan de distributions et l'apport journalier d'eau.....	62
Tableau V.3 : Débit caractéristique de chaque îlot (bornes) d'irrigation.....	65
Tableau V.5 : Les diamètres et les types des bornes.....	66
Tableau V.4 : Choix du diamètre de la borne.....	66
Tableau V.6: Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en fonte ductile.....	67
Tableau V.7 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PVC.....	68
Tableau V.8 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEHD.....	68
Tableau V.9 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEBD.....	69
Tableau V.10 : Seuil des vitesses admissibles en fonction des diamètres dans les conduites gravitaire	70
Tableau V.11 : Diamètres des canalisations et vitesses d'écoulement.....	70
Tableau V.12 : Pertes de charge dans les canalisations.....	72

Chapitre VII : Le réseau d'irrigation goutte à goutte

Tableau VII.1 : Caractéristique de la conduite de la rampe.....	88
Tableau VII.2 : Caractéristiques de la conduite de la porte rampe.....	89
Tableau VII.3 : Caractéristique de la conduite secondaire.....	89
Tableau VII.4 : Les pertes de charge de la borne jusqu'au goutteur	90

Chapitre VIII : Evaluation du cout de projet

Tableau VIII.1: Facture des pièces de réseau de distribution.....	91
Tableau VIII .2 : Facture des pièces d'adduction, et bêche.....	92
Tableau VIII .3 Facture des pièces de réseau localisé.....	92
Tableau VIII .3.Calcul de terrassement	93

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Analyse des conditions naturelles et agricoles de la zone d'étude

Figure I.1 : Situation géographique de La wilaya de Jijel.....	2
Figure I.2 : Situation du périmètre de Belghimouz.....	3
Figure. I.3 : Graphes des températures.....	7
Figure. I.4 : Répartition mensuelle de l'Evaporation.....	8
Figure I.5 : Diagramme bioclimatique.....	11
Figure I.6 : Climogramme pluviométrique de Gausse.....	12
Figure I-7. Ajustement des pluies annuelles à la loi normale(Gauss).....	15
Figure I.8 : Ajustement à la loi log-normal (Galton).....	17

Chapitre III : Présentation de la station d'épuration d'EL MILIA

Figure.III.1.Plan de situation de la STEP d'EL MILIA.....	32
FigureIII.2 .Diagramme de classification des eaux d'irrigation.....	44

Chapitre VI : Etude des techniques d'irrigation des cultures

Figure VI.1 : Schéma type d'un réseau d'irrigation en goutte à goutte.....81

Chapitre VII : Le réseau d'irrigation goutte à goutte

Figure VII.1: Schéma explicatif de la desserte borne-goutteur.....90

LISTE DES PLANCHES

Planche N° 1: Plan de situation du périmètre du BELGHIMOUZ

Planche N° 2: Plan d'occupation du sol de la zone d'étude.

Planche N° 3: Plan de réseau de distribution du périmètre.

Planche N° 4 : Projection d'un réseau localisé sur l'ilot N°08.

Planche N° 5: Profil en long de la conduite principale (Ba-B1)

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est un pays pauvre en eau et ça nous oblige à chercher des méthodes pour l'économiser, parmi ces méthodes on trouve la réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre mémoire de fin d'étude. Notre travail portera sur le dimensionnement d'un réseau d'irrigation par goutte à goutte de périmètre de BELGHIMOUZ à partir de la station d'épuration d'El-Milia (wilaya de JIJEL).

C'est pour ça une étude détaillée de la région est nécessaire sur les conditions climatologiques, hydrologiques et agro-pédologiques. Ainsi une analyse quantitative et qualitative de l'eau épurée.

Tout ça nous permet de choisir les cultures les plus adaptées sous ces conditions et calculer leurs besoins en eau pour éviter tout surdimensionnement ou sous-dimensionnement de réseau.

Après ça on peut faire notre dimensionnement d'adduction et de réseau de distribution par les lois hydrauliques qui dépendent de nos conditions jusqu'à l'arrivée de l'eau à la plante.

Introduction

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

I.1. Situation géographique et administrative de la région d'étude

La région de Jijel fait partie du Sahel littoral de l'Algérie. Elle est située au Nord-Est, entre les latitudes 36° 10' et 36° 50' Nord et les longitudes 5° 25' et 6° 30' Est. Le territoire de la wilaya de Jijel dont la superficie s'élève à 2 396 km² est bordé :

- Au Nord, par la méditerranée.
- Au Sud par les wilayas de Sétif et Mila.
- A l'Est, par la wilaya de Skikda.
- Au l'Ouest, par la wilaya de Béjaia.



Figure I.1 : Situation géographique de La wilaya de Jijel

I.2 .Localisation du périmètre d'irrigation

Le périmètre de BELGHIMOUZ fait partie de plusieurs communes à savoir SIDI ABDELAZIZ , DJEMAA BENI H'BIBI et EL ANCER, ces derniers se trouvent à l'est du chef-lieu de la wilaya de JIJEL.

Le périmètre d'irrigation BELGHIMOUZ s'étend sur une superficie de plus de 746ha, il est cerné entre les coordonnées Lamberts suivant.

Tableau N° 1.1 : coordonnées Lambert du périmètre d'irrigation de BELGHIMOUZ

Cordonnées Lambert en X(Km)		Cordonnées Lambert en Y (Km)	
750.3	757.3	4075.6	4081.6

Source :DRE JIJEL

Il est limité par :

Nord : BENI BEL AID

Sud : DJ.ELHADJER MECHTAT TAFRAH

Est : vallée d'oued ELKBIR

Ouest : mechtas : EL BASSER ET KAKOUCH

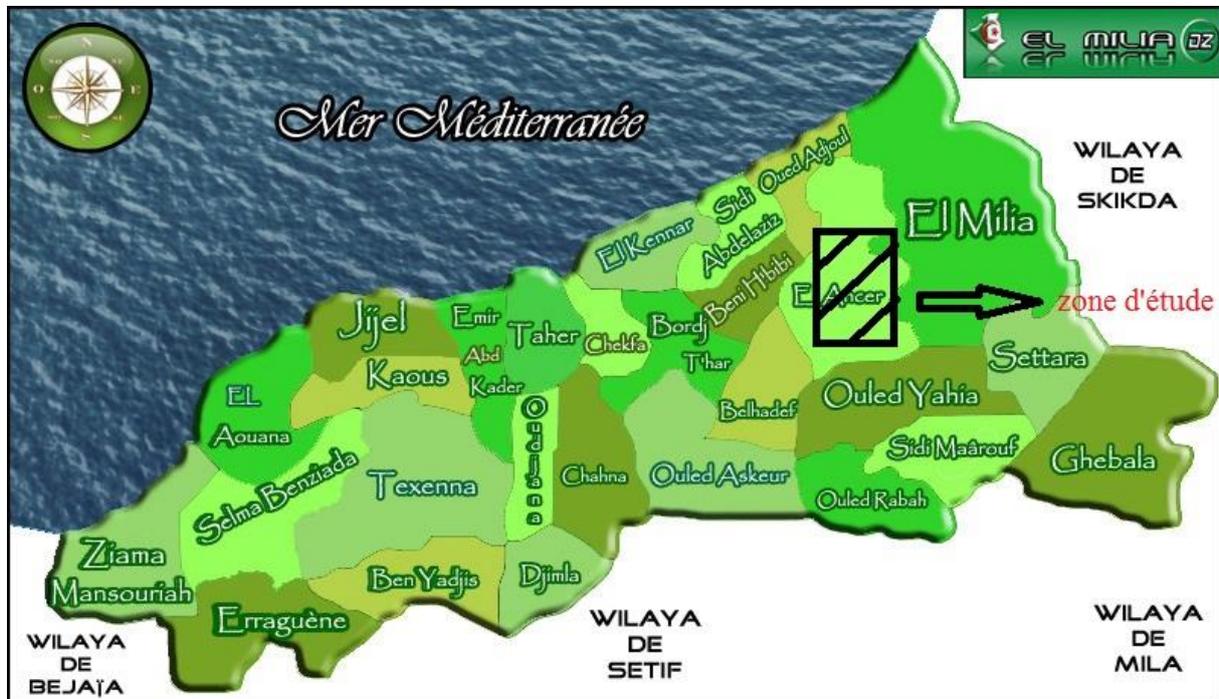


Figure I.2 : Situation du périmètre de Belghimouz

I.3. Situation climatique

La zone de l'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen :

- Humide et pluvieux en hiver.
- Chaud et sec en été.

Les coordonnées climatiques sont récoltées auprès des services de l'hydraulique de l'ANRH sur la station météorologique d'EL MILIA

Tableau N°I.2 : coordonnées de la station météorologique

Nom de la station	Code	Coordonnées Lambert			Coordonnées géographiques	
		X(km)	Y(km)	Z(km)	latitude	Longitude
La Station d'El-MILIA	100706	819.3	389.7	105	36°N	6°N

Source : annuaire pluviométrique ANRH

I.4.Précipitation

Pluviométrie moyenne mensuelle sur une période d'observation de 30 ans à la station d'El-MILIA est donnée par le tableau suivant

Tableau I.3 : Pluies moyennes annuelles (période 1985-2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Moy (mm)	43,45	74,95	137,75	158,25	118,7	94,05	82,85	76,85	28,85	4,65	1,25	2,95	956,7

Source : station d'EL-MILIA

D'après le tableau précédent, on remarque que la pluviométrie annuelle moyenne est répartie comme suit :

- la saison pluvieuse s'étale du mois d'Octobre au mois d'Avril.
- la saison sèche entre mois de Juin et mois Août.
- la saison moyenne entre les mois de Septembre et Mai.

La série pluviométrique est donnée dans le tableau suivant :

Tableau N°I.4 : la série pluviométrique de la Station d'El-MILIA

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
1985-1986	44,6	32,5	137,7	98,2	159,1	174,8	137,2	50,9	4,3	6,3	10,6	3,3	859,5
1986-1987	36,2	86,3	99,8	221,3	175,1	166,1	40	24,6	82,8	5,7	3	0,3	941,2
1987-1988	25,3	24,5	128	50,3	81,9	131,2	27,9	70,6	34,2	17	0	0	590,9
1988-1989	150,7	0,8	160,5	230,5	123,1	93,1	57,4	117,5	2,8	6,6	2	15,1	960,1
1989-1990	62,9	16	152,4	61	107,3	92,2	64,6	96,3	65,7	1,4	4,8	4,3	728,9
1990-1991	4,6	74,9	176,6	320,8	91,1	105,3	111,9	24,6	26,7	3,6	0	0,7	940,8
1991-1992	36,7	227	100	39,6	132,3	54	175,7	170,6	75,2	25	2,8	0	1038,9
1992-1993	7,4	91,2	47,6	329,3	85,8	77,4	49,6	95,6	54,4	2,8	0	0	841,1
1993-1994	37,4	75,2	104,1	140,5	90,2	107,6	94,3	80	14,7	0	0	0	744
1994-1995	71,9	116,5	7,5	337,1	148,6	33,2	119,3	60,3	3,6	13	0	17,2	928,2
1995-1996	56,8	99,1	62,3	89,9	138,1	293,9	113,1	119	48,9	45,9	7	9,6	1083,6
1996-1997	36,5	138,5	117,1	169	53,1	13,1	16	73,7	8,7	26,3	0	5	657
1997-1998	134,5	69,3	162,7	102	46,5	120,1	92,1	107,7	100,1	1,2	0	28,6	964,8
1998-1999	89,3	75	355,9	187,8	136,2	71,1	61,2	45,6	4,1	3,6	2,9	3	1035,7
1999-2000	28,6	19	279,8	213,3	87,5	29,5	17,6	24,6	56,7	8,7	1,6	0,2	767,1
2000-2001	9,9	106,3	97	107,3	240,4	79,4	13,1	63,3	53,1	0	0	2,9	772,7
2001-2002	20,4	0,3	125,2	113	71,2	59,7	34,7	47,1	11,2	0,3	5,8	23,4	512,3
2002-2003	25,3	46,4	260,4	353,5	349,2	118,6	37,2	114,3	40	0,6	1,5	0,3	1347,3
2003-2004	61,2	69	88,1	234,2	130,5	63	79,5	123,5	84	32,5	1	10	976,5
2004-2005	58	55	322	155	270	199,5	70	111,5	4	0	0,5	8	1253,5
2005-2006	33	13,5	206	160,5	176,5	172	55	26,5	28	1,5	0	45	917,5
2006-2007	31	74	25,5	344,2	5,5	95	263	80,1	14	38,5	4	1	975,8
2007-2008	96,5	156,5	200,9	237,5	41,2	20,1	185,5	28	153	3,5	0	0	1122,7

2008-2009	52	27,5	201,5	205,6	217,1	90,7	82,6	177,4	12,1	0	0	10,8	1077,3
2009-2010	208,4	79,8	191,9	146,6	166,6	64,5	107,8	46,4	75,2	51,5	0,4	1	1140,1
2010-2011	42,3	186,2	137,8	110,9	98,8	150,7	105,2	67,5	24,4	12,7	3,2	0	939,7
2011-2012	130,7	30,4	120,3	140	271,6	96,2	84,1	163,9	19,9	0	0	20,3	1077,4
2012-2013	132	76,5	129,1	156	114,3	61,3	103,5	52,4	87,9	37,5	2,8	0	953,3
2013-2014	48,2	216,7	199,1	108,3	88	155,4	83,1	83,9	29,7	34,5	9,9	0	1056,8
2014-2015	8,4	207,7	139,6	179	68,7	220,4	95,1	174,7	2,4	0	2,5	12,5	1111
Moy (mm)	43,45	74,95	137,75	158,25	118,7	94,05	82,85	76,85	28,85	4,65	1,25	2,95	956,7

I.5. Températures

La température est l'état atmosphérique de l'air, c'est le degré du froid ou de chaleur. C'est un facteur ayant une grande influence sur le bilan hydrologique du fait qu'il conditionne l'évapotranspiration.

Tableau I.5 : Températures moyennes interannuelles

Source : station EL MILIA

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ann
T_{max} (C°)	35.82	33.45	26.91	22.12	20	21.41	25.58	28.07	30.86	35.6	39.24	35.55	29.56
T_{min} (C°)	15.49	12.34	8.48	4.69	3.40	4.66	3.98	8.06	11.04	14.16	17.42	16.09	9.98
T_{moy} (C°)	23.57	21.04	16.09	11.72	11.43	11.85	13.59	16.21	19.17	23.24	26.39	23.8	18.18

D'après les données portées au tableau dessus, on trouve que :

- La moyenne du mois le plus froid est de 3.4 °C correspondant au mois de Janvier.
- La moyenne du mois le plus chaud est de 39.24 °C correspondant au mois de Juillet.

A partir du tableau I.05, on trace les graphes des températures (Figure. I.3).

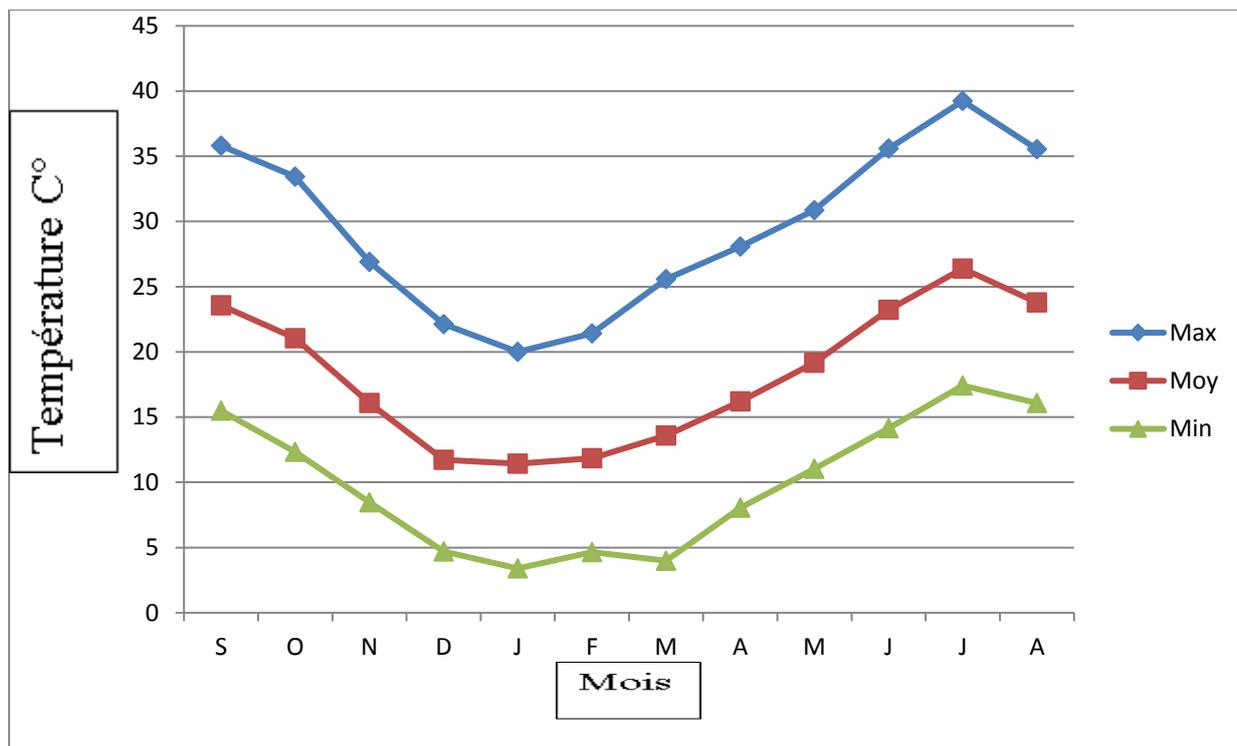


Figure. I.3 : Graphes des températures

I.6. Humidité

L'humidité de l'air est donnée par le tableau suivant :

Tableau I.6 : Valeurs moyenne mensuelle et saisonnière de l'humidité relative

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
H (%)	64	68	69	71	71	69	67	62	63	62	58	59

Source : station EL MILIA

I.7. Les vents

Les vents dominants dans la région d'étude sont ceux du Nord-Ouest et Nord-Est.

Les vitesses moyennes des vents sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.7. Vitesses moyennes mensuelles et saisonnières des vents

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
V _{moy} (m/s)	2	3.9	3	2.6	4	2	2.8	1.7	1.5	1	2.2	2
V _{max} (m/s)	5	5	6	5	5	8	6	4	3	2	3	3

$V_{\min}(\text{m/s})$	1	0.5	1.1	2.2	1.3	2	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2
------------------------	---	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Source : station EL MILIA

I.8. Evaporation

L'évaporation est un problème physique qui croit avec la température et la sécheresse de l'air.

La quantité d'eau évaporée pendant un temps donné dépend de plusieurs facteurs liés d'une part à l'état de l'atmosphère, d'autre part à la surface évaporant.

Tableau I.8. Evaporation moyennes

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Evaporation (mm)	166	136	80.6	70	77	61	88	116	126	151	232	291	1594.6

Source : station EL MILIA

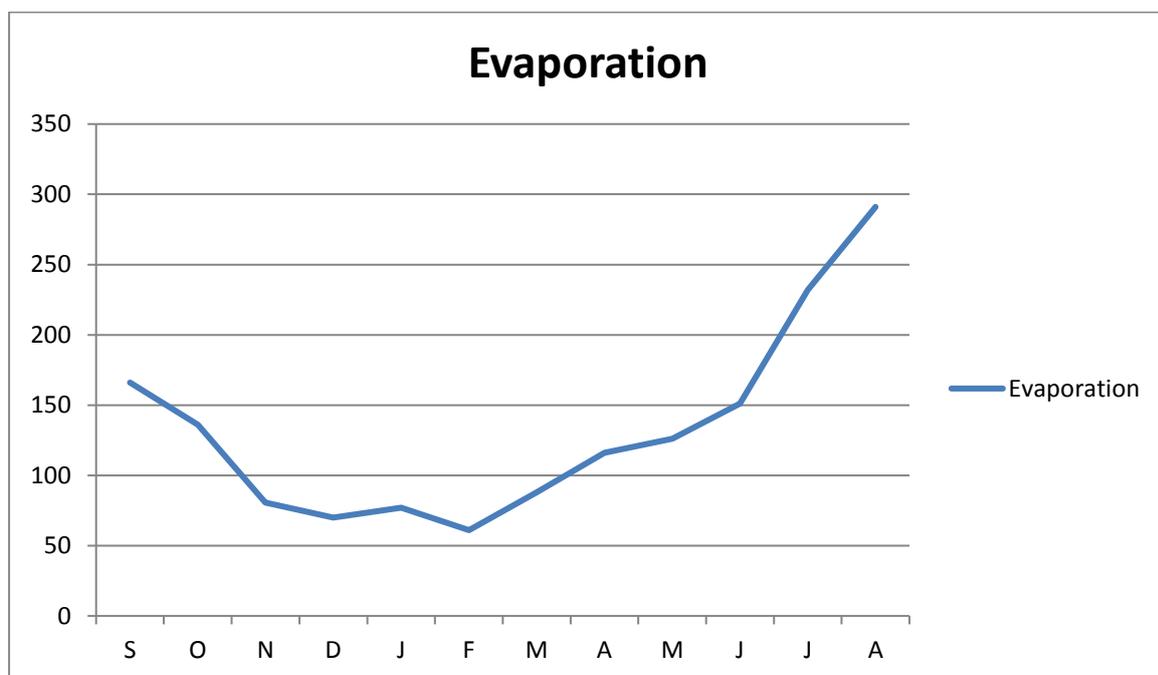


Figure. I.4 : Répartition mensuelle de l'Evaporation

L'évaporation annuelle est de 1594.6 mm .elle est important en période d'été .période dans laquelle les températures sont élevées.

I.9. Insolation

La durée d'insolation est la durée du rayonnement solaire, elle est exprimée en heure. Les valeurs mensuelles sont représentées dans le tableau ci-après.

Tableau I.9. La durée d'insolation mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Durée Insolation (heure)	9.51	8.14	7.11	5.08	5.32	7.45	7.60	8.62	8.36	11.24	11.9	10.31

Source : station EL MILIA

I.10. Classification du climat

I.10.1. Classification du climat selon l'indice de MARTON

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

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

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

Avec :

I_A : indice de MARTON.

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

T : température moyenne annuelle en °C.

Tableau I.10 : Classification de climat selon MARTON

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

Pour la région d'étude

P=956,7mm

T=18.18

$$I_A = \frac{956,7}{18.18 + 10} = 33.95$$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate, d'après la classification ci-dessus, que la région d'étude est soumise à climat de type humide

I.10.2. Classification du climat selon le diagramme d'EMBERGER

La méthode est fondée sur un diagramme dressé par EMBERGER qui nous renseigne sur le type de climat, ainsi que la nature d'hiver dominant d'une région. Le quotient d'EMBERGER que nous avons projeté sur le diagramme bioclimatique est le suivant :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

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

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

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

Pour : P = 956.7mm

$$M = 39.24 + 273 = 308.82 \text{ °K}$$

$$m = 3.4 + 273 = 276.4 \text{ K°}$$

On aura :

$$Q = \frac{956.7 * 2000}{(308.82)^2 - (276.4)^2} = 100.8$$

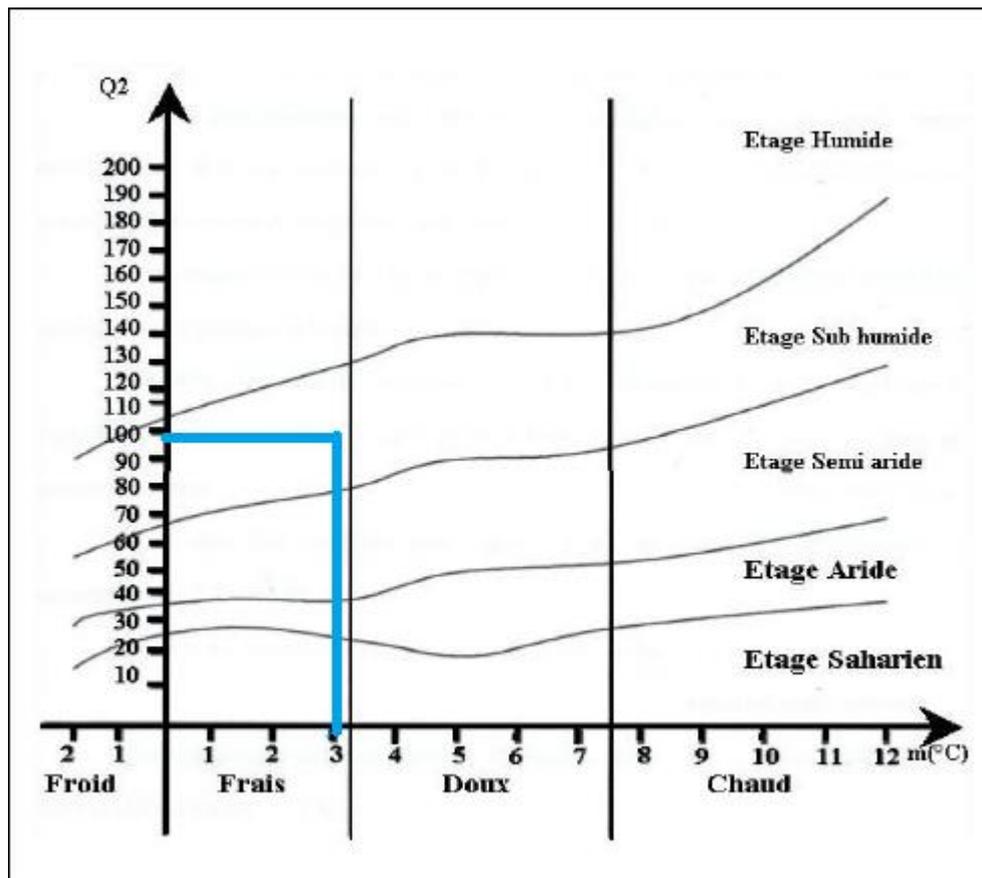


Figure I.5 : Diagramme bioclimatique

D'après la projection dans le diagramme d'EMBERGER, on peut constater que le périmètre de BELGHIMOUZE se situe dans une zone subhumide.

I.11. Climogramme pluvio-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Ces deux auteurs considèrent qu'un mois est sec quand le total de la précipitation **P** en millimètre est inférieur au double de la température **T**, c'est-à-dire quand le rapport $P/T < 2$ ou $P < 2T$ (BAGNOULS G. et GAUSSEN H. 1953).

Le diagramme Ombrothermique permet la détermination de la période sèche.

Sur le diagramme sont reportés :

- En abscisses : les mois de l'année.
- En ordonnées : les températures mensuelles d'un côté, et les précipitations moyennes mensuelles à une échelle double de celle des températures de l'autre.

Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures, la période qui s'étale entre les points d'interactions des deux courbes correspond à la durée de la période sèche.

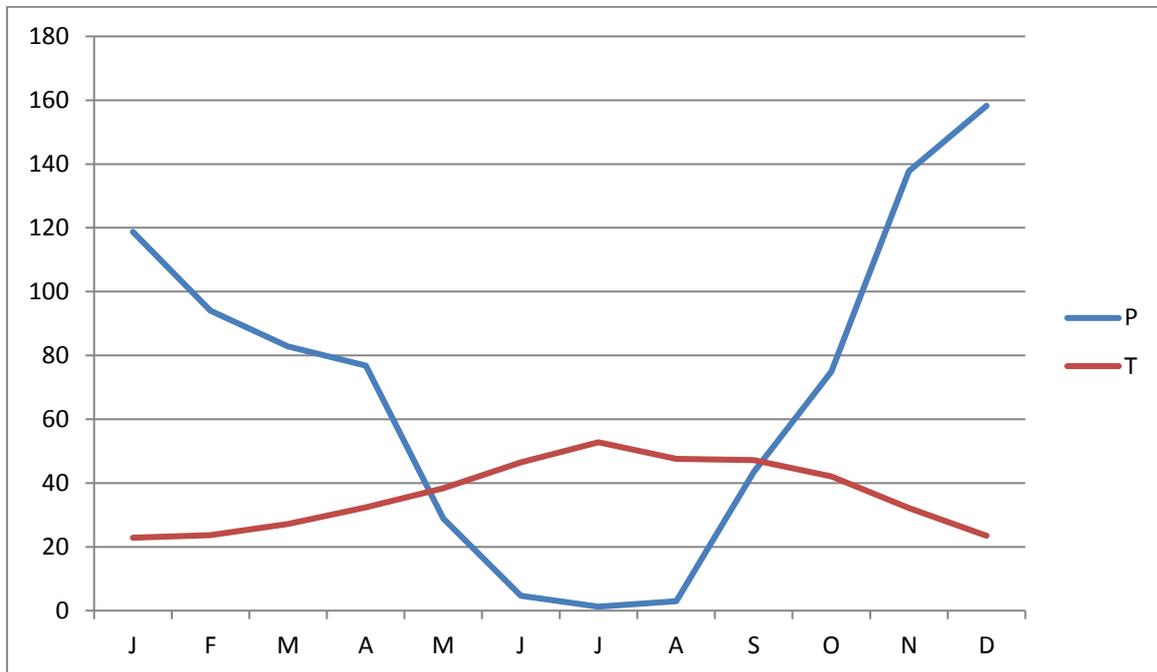


Figure I.6 : Climogramme pluviothermique de Gausson

D'après la figure on remarque que il y a une période sèche d'environ de 04 mois (15 Mai jusqu'a 15 Septembre). Durant cette période l'irrigation est indispensable

I.12.Hydrologie

I.12.1 Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

L'homogénéisation des données est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquente. Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrie on procède au test de **Mood** la vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous:

- Soit un échantillon $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$; déterminons sa médiane .La médiane M est le nombre qui sépare la série (ordonnée en valeurs croissantes) en deux groupes de même effectif. C'est un paramètre de position de la série.
- Pour les valeurs inférieures à la médiane sont codés comme "0". ceux qui sont supérieurs, sont codés comme "1". Les valeurs égales à la médiane ne sont pas utilisées dans l'analyse.

- Soit " N " la taille de l'échantillon, N_S Le nombre totale de séries de "1" ou "0" et T_S la taille de la plus grande série de "1" ou "0" .
- N_S suit approximativement une loi normale et T_S suit approximativement une loi binomiale.

Tableau I.11: Test de Mood à la station d'El-Milia

Année	Précipitation	0 ou 1
1985-1986	859,5	0
1986-1987	941,2	0
1987-1988	590,9	0
1988-1989	960,1	1
1989-1990	728,9	0
1990-1991	940,8	0
1991-1992	1038,9	1
1992-1993	841,1	0
1993-1994	744	0
1994-1995	928,2	0
1995-1996	1083,6	1
1996-1997	657	0
1997-1998	964,8	1
1998-1999	1035,7	1
1999-2000	767,1	0
2000-2001	772,7	0
2001-2002	512,3	0
2002-2003	1347,3	1
2003-2004	976,5	1
2004-2005	1253,5	1
2005-2006	917,5	0
2006-2007	975,8	1
2007-2008	1122,7	1
2008-2009	1077,3	1
2009-2010	1140,1	1
2010-2011	939,7	0

2011-2012	1077,4	1
2012-2013	953,3	1
2013-2014	1056,8	1
2014-2015	1111	1
La Médiane	956.7	
N = 30	Ns=15	Ts= 4

$$0,5 (30 + 1 - 1.96\sqrt{30 + 1}) = 10.04 < N_s$$

$$3,3 \log_{10}(30 + 1) = 4.92 > T_s$$

La condition de **Mood** est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle de la station d'El-MILIA est homogène.

I.12.2. Ajustement de la série pluviométrique

La pluviométrie est souvent ajustable à des lois statistiques très nombreuses, on utilise pour notre projet celle qui garantit le meilleur ajustement possible. Les lois d'ajustement les plus communément employées sont les suivantes :

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

I.12.2.1. Ajustement à la loi normale (Gauss)

La fonction de répartition est :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Avec $u = \frac{x - \mu}{\sigma}$; dépend de deux paramètres qui sont la moyenne μ et l'écart type σ

Les résultats de l'Ajustement de la série des pluies moyenne annuelles de la station d'El-MILIA obtenu par le logiciel HYFRAN sont résumés ci-après.

Tableau I.12 : Ajustement à la loi de Gauss

T	q	XT	Ecart- type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	1640	97.0	1450	1830
2000.0	0.9995	1560	87.3	1380	1730
1000.0	0.9990	1520	82.8	1360	1680
200.0	0.9950	1420	71.5	1280	1560
100.0	0.9900	1380	66.2	1250	1510
50.0	0.9800	1330	60.6	1210	1440
20.0	0.9500	1250	52.6	1150	1350
10.0	0.9000	1180	46.2	1090	1270
5.0	0.8000	1100	39.7	1020	1180
3.0	0.6667	1020	35.6	954	1090
2.0	0.5000	943	34.0	877	1010
1.4286	0.3000	846	36.3	775	917
1.2500	0.2000	787	39.7	709	865
1.1111	0.1000	705	46.2	614	796
1.0526	0.0500	637	52.6	534	740
1.0204	0.0200	561	60.6	442	680
1.0101	0.0100	511	66.2	381	640
1.0050	0.0050	464	71.5	324	604
1.0010	0.0010	368	82.8	206	531
1.0005	0.0005	331	87.3	160	502

1.0001	0.0001	252	97.0	61,4	442
--------	--------	-----	------	------	-----

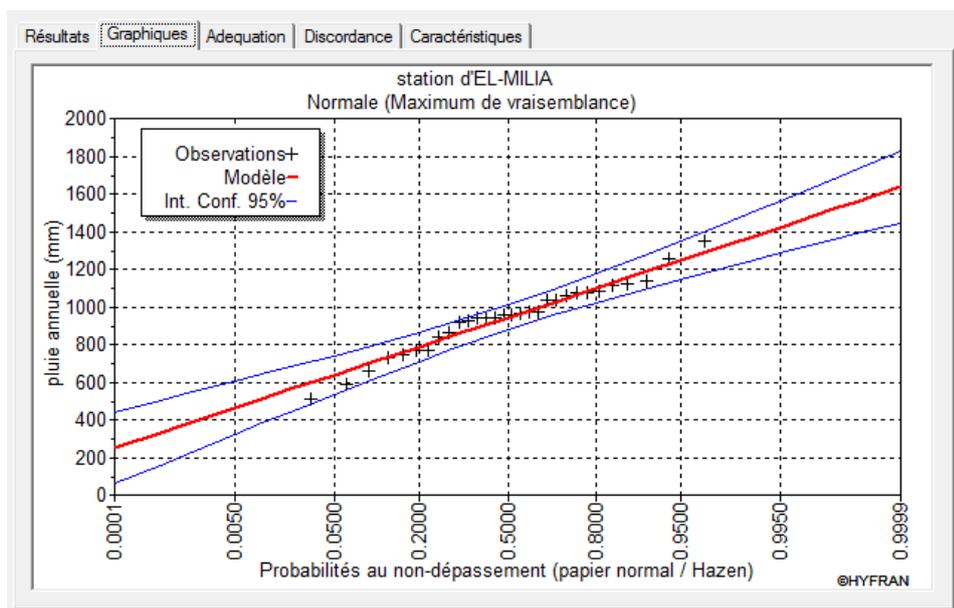


Figure I-7. Ajustement des pluies annuelles à la loi normale(Gauss)

I.12.2.1.Ajustement à la loi log-normale (Galton)

Cette méthode est comme suit : les données statistiques des pluies sont rapportées à une autre échelle à savoir l'échelle du log normale.

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

$$\text{Ln}(X_{p\%}) = \overline{\text{Ln}(X)} + \delta_{\text{Ln}} * U_{p\%}$$

Avec :

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

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

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

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

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

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

$U_{p\%}$: variable réduite de Gauss.

Pour les calculs, on a utilisé le logiciel Hyfran. Les résultats de calcul obtenus figurent dans le tableau I.13 et la figure I.8

Tableau I.13 : Ajustement à une loi de Galton

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	2050	229	1600	2500
2000.0	0.9995	1870	188	1500	2240
1000.0	0.9990	1790	171	1460	2120
200.0	0.9950	1600	132	1350	1860
100.0	0.9900	1520	116	1290	1750
50.0	0.9800	1430	100	1240	1630
20.0	0.9500	1310	79,6	1160	1470
10.0	0.9000	1220	64,6	1090	1340
5.0	0.8000	1110	505	1010	1210
3.0	0.6667	1010	41,5	932	1090
2.0	0.5000	924	36,1	853	995
1.4286	0.3000	826	34,5	758	894
1.2500	0.2000	772	35,3	703	841
1.1111	0.1000	702	37,3	629	775
1.0526	0.0500	650	39,3	573	727
1.0204	0.0200	595	41,5	514	677

1.0101	0.0100	561	42,8	478	645
1.0050	0.0050	532	43,8	446	618
1.0010	0.0010	477	45,4	388	566
1.0005	0.0005	457	45,9	367	547
1.0001	0.0001	417	46,5	326	508

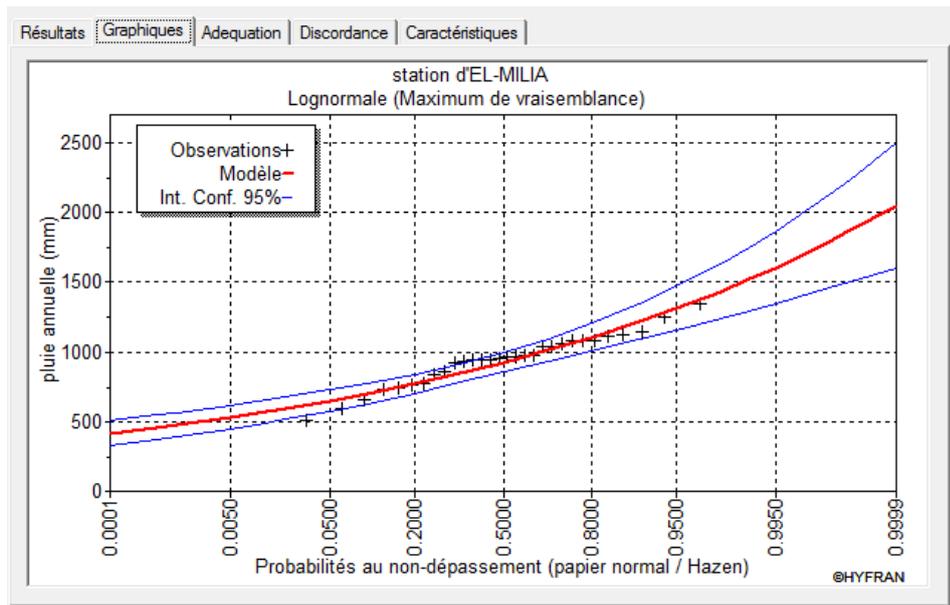


Figure I.8 : Ajustement à la loi log-normal (Galton)

I.12.2.3. Le test d'adéquation khi-deux

Parmi tous les tests existants, le test du χ^2 de K. PEARSON est le plus pratique et le plus utilisé bien qu'il ne soit pas très puissant. Pour mettre en œuvre ce test, on procède de la façon suivante :

- on découpe l'échantillon de n éléments, en K classes ($K > 4$) de façon à ce que chaque classe contienne théoriquement plus de 5 éléments ;

- soit n_j le nombre d'éléments contenus dans la $i^{\text{ème}}$ classe et $n'_j (> 5)$ le nombre théorique qui devrait s'y trouver ; on forme le terme suivant :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$$

Cette variable χ^2 suit une loi de probabilité dite loi du χ^2 , à ν degrés de liberté avec :

$$\nu = K - p - 1$$

K = Nombre de classes ;

p = Nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon.

Les tables données en annexes permettent de connaître la valeur numérique du χ^2 qui a $\alpha\%$ de chance d'être dépassé par le seul fait du hasard, en fonction des valeurs dev.

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

Les résultats du test pour les deux lois sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.14. Test de khi-deux pour les deux lois

La loi	Normale	log –Normale
χ^2 calculé	14.33	6.4
Degré de liberté α	4	4
Nombre de classe	7	7
Pour une erreur $\alpha =0.01$	La loi est adéquate	La loi est adéquate
Pour une erreur $\alpha =0.05$	La loi est adéquate	La loi est adéquate

On remarque que $\chi^2_{\text{calculé}}$ par la loi log-normale est plus petit que $\chi^2_{\text{calculé}}$ par la loi normale. Donc, la loi log- normale donne des bons résultats.

I.13.Détermination de l'année de calcul

Le but pour la détermination de l'année est pour connaître la fraction de la pluie efficace qui peut être utilisé par la plante, on utilise la formule suivant :

$$P_{80\%}^{sec} = P_{moy.i} \times \frac{P_{80\%}}{P_{50\%}}$$

Avec :

$P_{80\%}^{sec}$: Précipitation mensuelle de l'année de calcul ;

$P_{moy.i}$: La précipitation moyenne mensuelle ;

$P_{80\%}$: La précipitation théorique annuelle de fréquence 80% ;

$P_{50\%}$: La précipitation théorique annuelle de fréquence 50% ;

D'après les résultats de l'ajustement par la loi log-normal on a :

$$P_{80\%} = 595 \text{ mm}$$

$$P_{50\%} = 650 \text{ mm}$$

Tableau I.15. Précipitation mensuelle de l'année de calcul

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
$P_{moy.i}$	43,45	74,95	137,75	158,25	118,7	94,05	82,85	76,85	28,85	4,65	1,25	2,95
$P_{80\%}^{sec}$	39,76	68,58	126,04	144,8	108,61	86,06	75,81	70,32	26,4	4,25	1,14	2,7

Conclusion :

De l'examen des données, il ressort que la région d'étude jouit d'un climat subhumide avec un régime pluviométrique variable en volume et en répartition dans le temps. L'année est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été sec.

pour à l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles, il faut signaler que le test de Khi carré a montré un ajustement meilleur avec la loi log-normale. Ce qui nous a conduits à prendre en considération cette loi pour l'estimation des pluies servant au dimensionnement du réseau d'irrigation de la zone d'étude.

Introduction

L'étude pédologique est l'une des étapes essentielles pour prendre en compte de la nature, des caractéristiques et des contraintes relevant du sol dans tout aménagement hydro-agricole. Pour l'irrigation, plusieurs caractéristiques doivent être prises en considérations. On peut citer notamment :

- La profondeur du sol qui commande l'épaisseur des couches accessibles aux racines et par suite la réserve en eau disponible ;
- La texture ou granulométrie de la terre fine et la charge caillouteuse qui jouent sur les possibilités de rétention en eau ;
- La structure et la porosité des horizons qui commandent la perméabilité du milieu et, globalement, la plus ou moins grande facilité de conduite des arrosages ;
- Les caractéristiques chimiques (pH, CE) qui influent sur l'éventail des possibilités culturales de la zone à irriguer.

La bonne connaissance du sol permet le bon choix des cultures les plus adaptées aux agriculteurs.

II.1.Aperçu géologique :

Au niveau de site d'étude il existe trois complexes principaux de roches et terrains être considérées

- Un complexe du quaternaire qui comprend des dépôts récents et actuels constitués par des alluvions, des dépôts colluviaux, des cônes de déjection, des dépôts de glissement
- Un complexe de l'Eocène supérieur (Numidien) formé par essentiellement de sédiments tels que les argiles et grès
- Une séquence primaire (l'âge pouvant être du carbonifère-permien) formé des roches métamorphique et comprenant des schistes graphique, micaschistes graphique et quartzites

La prospection pédologique sur le terrain a été effectuée selon les critères habituels à savoir : humidité, texture, structure, porosité, consistance, enracinement, inclusion, réaction avec l'HCL, et examine pour tous les profils généralement à une profondeur supérieure à 120 cm.

En référence la carte d'homogénéité des sols, nous avons procédé à la description de 45 profils pédologiques dont 13 échantillonnés et analysés. Les principales analyses effectuées

sont la granulométrie, la matière organique, les réserves minérales, le complexe absorbant, le PH et la conductivité électrique

II.2.Description des sols :

II.2.1.Les analyses du sol :

- **Granulométrie : méthodes internationale : pipette Robinson**

Destruction de la matière organique, dispersion avec l'Hexametaphosphohate de sodium avec prélèvement et tamisage, les fractions suivantes sont obtenues :

Argile <2 μ

Limon fin 2 à 20 μ

Sable fin 50 à 200 μ

Sable grossier 200 à 2000 μ

Les textures sont obtenues par le triangle American des textures (2eme approximation)

- **Textures** : argilo-limoneux
- **Conductivité électrique** : sur pate Méthode Riverside si $CE > 2$ → détermination du bilan ionique
- **PH** : (sur extrait de pate saturé)
- **Le carbone** : attaque à froid par le mélange sulfo-chromique et dosage par colorimètre
- **Phosphore totale** : attaque d'un échantillon de 5 g par acide perchlorique a 60% ; chauffer a ébullition jusqu'à décoloration totale de la solution et doser par colorimètre
- **Potassium totale** : attaque de l'échantillon pendant 05 heures a l'acide nitrique bouillant, dosage du potassium par photométrie a flamme
- **CEC et Base échangeables** :
CEC : percolation avec une solution de chlore de sodium a 10% et dosage des ions ammonium déplacent par réaction de Berthelot
Base échangeable : percolation de l'échantillon avec une solution normale d'acétate d'ammonium a PH 8.2
- **Na⁺ et K⁺** : par photométrie a flamme
- **Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺** : utilisation du complexant

NB : le bilan ionique de la solution du sol est établi pour les échantillons salés $CE > 2$ mmhos/cm

II.2.2. Interprétation :

L'étude des sols a permis d'identifier les sols suivants :

A. Classe des sols minéraux bruts non climatique :

D'érosion, ces sols situent sur la colline, sont de faible profondeur ou nus
Vu leur situation topographique et leur profondeur ils sont inaptes à l'irrigation

B. Classe des sols peu évolués d'origine non climatique :

▪ D'apport alluvial modal :

-ces sols sont localisés au Sud Est et au Nord-Ouest de la zone

-ce sont des jeunes développés sur les alluvions récentes de l'Oued El Kebir

Ce sont des sols profonds (plus de 120 cm), leur structure est généralement favorable sauf dans quelque cas où elle est massive à grossière. La structure est variable selon les profils, grossière, moyenne, à fine.

Au point de vue chimique ces sols sont pauvres en matière organique dont le taux est inférieure à 20% en générale

Profil N°1

- **Situation** : plane
- **Pente** : moins de 1 % vers l'oued
- **Géomorphologie** : terrasse de l'oued el kbir
- **Occupation du sol** : arboriculture

Description :

0-40 cm : sec, brun clair, texture équilibré, structure polyédrique moyenne, quelque radicelles, peu poreux, consistance dure, effervescence HCL généralisée

40-85 cm : analogue à l'horizon précédent sauf texture argilo-limoneuse et couleur plus foncé

85-130cm : analogue au précédent horizon mais de couleur encore plus foncé, texture équilibré

Classification :

- **Classe** : des sols peu évolués
- **S/classe** : d'origine non climatique

- **Groupe** : d'apport alluvial
- **S/groupe** : modal
- **Famille** : alluvion calcaire de texture équilibrée
- **Travaux et aménagement obligatoires** : labours profonds et lutte contre les inondations obligatoires

Fish analytique

Profondeur (cm)	0-40	40-85	85-130
Granulométrie			
Argile %	23	29	26
Limon fin %	11	18	16
Limon grossier %	21	18	17
Sable fin %	35	34	36
Sable grossier %	9	1	1
Matière organique			
Matière organique %	1.35	1.06	1.06
Carbone % _o	7.9	6.2	6.2
Azote % _o	0.68	0.54	0.51
C/N	12	11	12
Reserve minérales			
CaCO ₃ totale %	28.52	20.84	23.20
CaCO ₃ actif %	5.4	6.6	6.3
P ₂ O ₅ total % _o	1.15	1.3	1.65
P ₂ O ₅ assimilable (ppm)	290	210	190
K ₂ O totale % _o	1.05	1.8	1.18
Bases échangeables			
Ca ⁺⁺ (méq/100g)	7	10	20
Mg ⁺⁺ (méq/100g)	11	14	16
K ⁺ (méq/100g)	0.12	0.05	0.18
Na ⁺ (méq/100g)	0.55	0.55	0.60
CEC (méq/100g)	9.2	8.3	10.20
Solution			
PH	7.8	8	8

CE (mmhos/cm)	0.6	0.4	0.4
---------------	-----	-----	-----

▪ **D'apport alluvial Hydromorphes :**

Ces sols ont été décrits au nord-ouest du village de Belghimouz. Ces sols sont caractérisés par la présence en grande quantité de pseudogleys dans le profil. Cette caractéristique est un frein à nombreuses cultures sensibles à l'hydromorphie. Si on considère cette hydromorphie comme un niveau limitant, la profondeur de ces sols est faible, souvent inférieure à 30 cm.

La structure dans la majorité de ces cas est favorable et la texture varie selon les profils grossière, moyenne à fine.

Au point de vue chimique, ces sols sont caractérisés par une pauvreté en matière organique, moins de 2 % pour la majorité des profils.

Profil N°2

- **Situation** : 1 km au nord-ouest de Belghimouz
- **Topographie** : plane
- **Pente** : moins de 1 % vers l'oued
- **Géomorphologie** : terrasse de l'oued el kbir
- **Occupation du sol** : végétation naturelle

Description :

0-40 cm : sec, brun clair, texture limono-argileux, structure polyédrique grossière, quelques racines et radicelles, peu poreux, consistance dure, présence de quelques pseudogleys, effervescence HCL généralisée.

40-85 cm : sec à frais, brun foncé, texture limono-argileux, structure polyédrique cubique grossière mal développée, peu poreux, consistance dure, nombreux pseudogleys, effervescence HCL généralisée.

85-130 cm : analogue au précédent horizon mais de couleur noirâtre et texture argilo-limoneuse.

Classification :

- **Classe** : des sols peu évolués
- **S/classe** : d'origine non climatique
- **Groupe** : d'apport alluvial

- **S/groupe** : hydromorphes
- **Famille** : alluvion fines calcaire
- **Série** : niveau hydromorphes a partir de 40 cm
- **Travaux et aménagement obligatoires** : drainage

Fish analytique

Profondeur (cm)	0-40	40-85	85-130
Granulométrie			
Argile %	31	30	33
Limon fin %	24	17	34
Limon grossier %	13	15	14
Sable fin %	22	30	12
Sable grossier %	1	1	1
Matière organique			
Matière organique %	1.72	1.78	1.71
Carbone % _o	10	10.20	0.99
Azote % _o	1.3	1	0.94
C/N	8	10	11
Reserve minérales			
CaCO ₃ totale %	28.54	25.42	24.3
CaCO ₃ actif %	8.1	6.9	8.95
P ₂ O ₅ total % _o	1.25	1.39	1.5
P ₂ O ₅ assimilable (ppm)	80	100	90
K ₂ O totale % _o	1.04	0.68	0.46
Bases échangeables			
Ca ⁺⁺ (méq/100g)	10	11	10
Mg ⁺⁺ (méq/100g)	15	15	12
K ⁺ (méq/100g)	0.15	0.14	0.15
Na ⁺ (méq/100g)	0.30	0.40	0.40
CEC (méq/100g)	24.10	24.3	24.20
Solution			
PH	7.8	8	8
CE (mmhos/cm)	0.6	0.4	0.8

C. Classe des sols hydromorphes minéraux ou peu humifères a pseudogleys :

Cette classe occupe une grande partie de la zone étudiée

Ces sols sont caractérisés par la présence de nombreux pseudogleys dans tout le profil et dans certains cas de gleys en profondeur.

Leur aptitude aux cultures est donc excessivement limitée, soit à cause de cette forme d'hydromorphie soit par la présence d'une profondeur variable selon les régions

La structure est variable selon les profils : polyédrique fine à moyenne à grossière ainsi que la texture, moyenne à fine

La texture organique est faible dans la majorité des profils moins de 2 %

Profil N°3

- **Situation** : au nord de Belghimouz
- **Topographie** : plane
- **Pente** : presque nulle vers l'oued
- **Géomorphologie** : terrasse de l'oued el kbir
- **Occupation du sol** : jachère

Description :

0-42 cm : frais, brun très foncé, texture équilibrée, structure polyédrique grossière mal développée, quelques radicules, très peu poreux, consistance dure, vive effervescence HCL généralisée.

42-77 cm : frais, brun foncée, texture sablo-argileuse, structure mal définie, peu poreux, consistance dure, rares amas salins nombreuses taches de pseudogleys effervescence HCL généralisée.

77-110 cm : frais, brun foncée, texture argileuse-limoneuse, structure mal définie, peu poreux, consistance dure, rares amas salins nombreuses taches de pseudogleys effervescence HCL généralisée.

Classification :

- **Classe** : des sols hydromorphe
- **S/classe** : minéraux et peu humifères
- **Groupe** : à pseudogleys
- **S/groupe** : de surface

- **Famille** : alluvion non calcaire de structure équilibrée

Fish analytique

Profondeur (cm)	0-42	42-77	77-110
Granulométrie			
Argile %	19	15	38
Limon fin %	17	11	26
Limon grossier %	14	5	15
Sable fin %	29	19	21
Sable grossier %	22	46	6
Matière organique			
Matière organique %	1.13	1.13	1.02
Carbone ‰	6.50	6.50	6.10
Azote ‰	0.70	0.68	0.72
C/N	9	9	9
Reserve minérales			
CaCO ₃ totale %	12.98	14.90	14.60
CaCO ₃ actif %	3.10	2.50	3.00
P ₂ O ₅ total ‰	1.045	1.52	1.35
P ₂ O ₅ assimilable (ppm)	310	230	210
K ₂ O totale ‰	0.74	0.62	0.82
Bases échangeables			
Ca ⁺⁺ (méq/100g)	11	9	9
Mg ⁺⁺ (méq/100g)	09	14	17
K ⁺ (méq/100g)	0.1	0.11	0.11
Na ⁺ (méq/100g)	0.7	1.50	1.80
CEC (méq/100g)	19.40	13.20	1.63
Solution			
PH	7.9	7.9	7.7
CE (mmhos/cm)	0.9	1.8	3.0
CO ₃ H ⁻ (méq/l)	-	-	0.5
SO ₄ ⁻ (méq/l)	-	-	10.9
Cl ⁻ (méq/l)	-	-	20.1

Ca ⁺⁺ (még/l)	-	-	7.6
Mg ⁺⁺ (még/l)	-	-	4.3
Na ⁺ (még/l)	-	-	26.2

II.3.Possibilité de mise en valeur :

II.3.1.Détermination des aptitudes culturales :

Les crinières de détermination des aptitudes culturales reposent essentiellement sur les caractéristiques des sols morphologiques et leurs position topographique sans tenir compte de la ressource en eau ainsi la détermination est établit en considérant que l'on dispose d'une eau d'irrigation de bonne qualité

II.3.1.1.Occupation des sols :

Les sols hydromorphes est quelques sols sont peu évolués hydromorphes qui sont de qualité médiocre, dégradés par l'excès d'eau et le surpâturage sont utilisés comme pacage de mauvais qualité.

Quelques cultures de céréales et fourrage sont pratiquées dans la zone. En bordure des oueds et sur les bordures colluviales, sur les sols peu évolués en général, on rencontre des petits jardins avec des cultures maraichères familiales comprenant surtout des melons, des pastèques, des tomates, des piments, des haricotes, ainsi quelque arbre fruitiers.

Des oliviers très disséminés se rencontrent sur différentes zones des rives de l'Oued El Kebir.

Parmi les travaux d'aménagement qui ont été déjà effectués, on trouve quelque drain et fosses d'assainissement un peu partout. Ces fosses sont pour la plupart complètement délaissées et non entretenues. Ces dernières années la plasticulture a été introduite dans la région pour contourner les mauvaises conditions édaphiques des sols par l'apport de terre saine. En effet l'implantation des serres se multiplie et les rendements sont encourageants dans ce créneau.

II.3.1.2.Les conditions édaphiques :

Si les sols de la zone étudiée sont généralement profonds, le volume exploitable par les racines se trouve parfois limité par un des facteurs suivant :

- Niveau d'hydromorphie
- Plan d'eau persistant

Ces niveaux sont représentés sur la carte pédologique par des cartouches avec leur profondeur d'apparition dans le profil.

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

Ainsi la présence à faible profondeur d'horizons peu pénétrable aux racines des plantes (une structure défavorable associée souvent à une texture trop fine) limite considérablement les réserves disponibles : souvent en devra réaliser préalablement des façons culturales pour pouvoir pratiquer certaines spéculations.

En fin, la présence d'un plan d'eau, ainsi que les éventuelles fluctuations selon les besoins peut limiter considérablement cette profondeur de sol utilisable par les plantes. Le plus souvent, dans ces cas, l'on a préconise un réseau d'assainissement.

II.3.1.3.La structure et la texture :

La structure influe directement sur le développement racinaire des plantes et sur le bilan de l'eau. Le plus souvent, l'action de la structure est relie 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.

II.3.1.4.L'hydromorphie :

Dans le périmètre étudié, c'est le processus pédologique le plus important :

Ce phénomène est du essentiellement a l'égorgement partiel en eau, de quelque horizon ou de tout le profil durant la saison pluvial conjugué aux conditions topographiques (insuffisante de pente) se traduisant par :

- Une profondeur de sol insuffisante (utilisable par la plante) parfois même nulle (zone inondée pendant les périodes pluviaux)
- L'exécution des travaux du sol sont difficiles voire impossible dans ces condition
- Pauvreté chimique, solubilisation rapide par l'eau des éléments nitrites
- Formation de plans d'eau imperméable (diffusion très lente)
- Des phénomènes de réduction qui dureront pendant tout la période humide et qui se traduisent par une mauvaise aération du sol
- La présence d'une nappe phréatique souvent très faible profondeur

Au cours de la période pluvieuse les eaux de pluie qui s'accumulent dans le sol et provoquent des engorgements superficiels ou profonds, de plus ou moins grande durée. Hydromorphie qui affecte les sols est plus ou moins due aux conditions topographiques défavorables de nombreuses parties des plaines à très faible pente formant des dépressions.

Mais elle est provoquée par le défaut de certains sols à faible perméabilité et leur pouvoir de rétention.

L'hydromorphie est peu importante, moins de 4 mmhos dans certains profils au nord-ouest de Belghimouz.

II.3.1.5. Teneur en calcaire :

Le taux du calcaire actif ne dépasse guère 10% et ne sera donc considéré comme facteur limitant à l'exception de quelques arbres fruitiers.

II.4. Zones homogènes de mise en valeur :

La définition des zones homogènes s'est faite sur la base des critères suivants :

- Profondeur
- Texture et structure
- Degré et niveau d'hydromorphie
- Aptitudes culturales des sols en irrigué
- Nature des travaux nécessaires ou recommandés pour la mise en valeur des sols

Les zones sont classées selon leur intérêt pour la mise en valeur en irrigué. D'après un choix des spéculations envisagées et d'après l'importance et le degré d'exigence des travaux d'aménagement à effectuer. Ainsi les sols de zone étudiée ont été répartis en 05 catégories de mise en valeur.

✓ Catégorie I :

Zone mise en valeur prioritaire ne présente pas en général de problèmes de mise en culture. Les sols sont généralement sains de texture moyenne ou fine, structure assez favorable présentant rarement des phénomènes secondaires, des travaux tels que : labours et amendements organiques seront parfois recommandés pour l'amélioration des conditions physiques du sol (structure et aération).

Les sols sont à une large gamme de cultures, les aptitudes sont bonnes à moyenne pour les cultures possibles sous le climat de la région. Superficie totale : **38.97 ha** soit **5.22%** de la superficie totale

✓ Catégorie II :

Zone irrigable mais dont la mise en valeur nécessitera quelques aménagements préalables obligatoirement. Les sols sont affectés par un facteur défavorable qui peut se manifester dès la surface :

- Texture fine reliée une structure défavorable
- L'hydromorphie si elle existe, apparaît en profondeur a plus de 80 cm

Les travaux nécessaires sur les sols de cette catégorie se résumeront donc en :

- Un labour profond 30-50 cm

Après aménagements appropriés, les aptitudes de ces sols peuvent être moyennes a bonnes pour les cultures industrielles, céréalières et maraichères, certains sols ont des aptitudes moyennes pour les cultures arbustives. Superficie totale : **178.03 ha** soit **23.86%** de la superficie totale.

✓ **Catégorie III :**

Zones irrigables à problèmes d'aménagements essentiels nécessitant des travaux indispensables. Ces zones diffèrent des précédentes par une hydromorphie accentuée à partir de 50 cm sont remembrés dans cette catégorie les sols qui sont inopportuns a l'exploitation à cause des inondations et l'hydromorphie dans le profil. Cette catégorie de sol présente des traces de salinisation.

Les aménagements obligatoires pour réussir la mise en culture en irrigué pour cette catégorie de sols sont

- Le drainage et l'assainissement superficiel
- Le labour profond pour l'amélioration de la structure du sol
- Travaux de lutte contre les inondations pour les zones à risques
- Dessalage des sols a risques

Après aménagement approprié ces sols peuvent avoir des aptitudes moyennes a médiocres pour les cultures céréalières et maraichères et quelques arbre fruitiers.

L'irrigation doit être pratiquée avec beaucoup de précaution afin d'éviter toute aggravation des problèmes déjà existants.

Superficie totale : **48.85 ha** soit **6.54%** de superficie totale.

✓ **Catégorie IV :**

Zones difficilement irrigables, affectés par l'hydromorphie apparaissant entre 30 et 50cm, la mise en place d'un système de drainage et d'assainissement est obligatoire avant toute

mise en valeur. À cette condition, les sols auront aptitude moyenne pour certaines cultures fourragères. Pour cette catégorie de sols il est conseillé la mise en culture sec.

Superficie de : **470.65 ha** soit **63.09%** de la superficie totale des sols. Cette catégorie occupe la plus grande superficie

✓ **Catégorie V :**

Zones non irrigables constituées : de sols peu profonds ou situés sur un terrain en pente. Ces sols seront réservés aux pâturages. Elle occupe une surface de **4.5ha** soit **0.6 %** de la superficie total.

Remarque : vu les spécificités tant topographique que climatiques de la région d'étude, l'implantation de brises vent et les travaux d'assainissement sont très recommandés

Conclusion

D'après ce chapitre on a pu déterminer les différentes classes des sols de la zone d'étude pour faire un meilleur choix des cultures, ils présentent généralement une texture argilo-limoneuse et limono-argileux, avec des problèmes qui peuvent être réglés par le labour et drainage, pour le dimensionnement on va concentrer sur les sols de catégorie I et II sur une superficie de 217 ha.

Introduction :

Pour apprécier la qualité des eaux en général et exactement à la sortie de notre station, les différents paramètres de pollution qui les caractérisent doivent être mesurés et comparés par la suite avec les principales normes nationales d'abord et mondiales ensuite de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles.

III.1.Présentation et situation géographique :

La STEP est implantée au cotée nord-ouest de la ville d'EL MILIA (W.JIJEL) , la station est destinée à épurer les eaux usées urbaine de la population de la ville d'EL-MILIA
La ville d'EL MILIA occupe une superficie de 232.07 km²



Figure.III.1.Plan de situation de la STEP d'EL MILIA

III.2.Objective de la STEP :

La STEP a pour objectif d'améliorer les conditions écologiques de la région et la qualité des eaux de l'oued EL KBIR ainsi protéger l'environnement contre les eaux usées domestique avec une capacité de 20640 m³/j

III.3.Données de base:

III.3.1.Charge Hydraulique

Les charges hydrauliques sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau III.1: données de la charge Hydraulique

	A l'horizon 2018	A l'horizon 2033
Débit journalier	20640 m ³ /j	30960 m ³ /j
Débit de pointe de temps sec	396.56 l/s	358.33 l/s
Débit de pointe de temps de pluie	477.78 l/s	716.66 l/s

III.4. Les procédés d'épuration des eaux:

Les étapes de l'épuration sont les suivantes :

- Les prétraitements
- Le traitement primaire
- Le traitement biologique secondaire
- Exceptionnellement un traitement tertiaire

III.4.1.Prétraitement :

III.4.1.1.Dégrillage :

Le système de dégrillage permettra de retenir les matières solides volumineuses contenues dans les eaux usées à traiter pour éviter l'accumulation, les odeurs, le colmatage des canalisations, l'inefficacité des ouvrages et des équipements.

Dégrillage grossier : B=1 m, h=1.2m

Dégrillage fin : B=2 m, h=1.2m, L=1.88m

B : largeur de grille

h : hauteur maximale amissible sur une grille

L : longueur

III.4.1.2.Dessablage :

Le dessablage s'effectue sur des particules de dimensions supérieures à 200 mm. La vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre)

Profondeur =3m

Largeur=3m

Longueur=10m

III.4.1.3.Déshuilage-dégraissage :

Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction des matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau.

Volume= 86.4m³

Surface=28.8m²

Hauteur=3m

Largeur=3m

Longueur =10m

III.4.2.Le traitement primaire :

III.4.2.1.La décantation :

Elle consiste à faire traverser l'influent à faible vitesse à travers un bassin de façon que les matières en suspension puissent sédimenter

Nombre de décanteur : 2

Volume : 1085 m³

Surface horizontale : 361.5m²

Diamètre : 21.5m

Hauteur : 3m

III.4.3.Le traitement secondaire (biologique) :

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau qui dégradent la matière organique, elles peuvent être anaérobies c.-à-d. se déroulant en absence d'oxygène ou aérobies c.-à-d. nécessitant un apport d'oxygène.

III.4.4.Les boues activées :

Le procédé d'épuration par boues activées consiste à alimenter en continu un bassin dans lequel la biomasse contenue dans l'eau usée probablement décanté est aérée et agitée de façon

à maintenir l'ensemble de la liqueur mixte en suspension et à permettre la prolifération des micro-organismes épurateurs.

Nombre de bassin d'aération : 2

Surface : 501.5m²

Longueur : 44m

Largeur : 11m

III.5. Qualité des eaux

III.5.1. Eaux usées brutes (Entrée de la STEP)

A l'entrée de la STEP, les concentrations moyennes obtenues des eaux usées brutes concernant les différents paramètres physicochimiques s'élèvent :

1. **Tableau III.2:** les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes.

paramètres chimiques	MES mg/l	DBO-5 mg/l	DCO mg/l	Nitrite mg/l	nitrate mg/l	Azote totale kjeldahl (NTK) mg/l	Azote ammoniacal (N-NH ₄)	Phosphate mg/l
les concentrations	407	314	270	0.82	2.43	54,84	41.9	3,65

B.

Source : STEP d'El-Milia.2015

C. III.5.2. Eaux usées épurées (Sortie de la STEP) :

A la sortie de la STEP, les teneurs moyennes enregistrées des eaux usées épurées concernant les paramètres chimiques précédemment cités, sont :

1. **Tableau III.3 :** les paramètres physicochimiques des eaux usées épurées

paramètres chimiques	MES mg/l	DBO-5 mg/l	DCO mg/l	Nitrite mg/l	nitrate mg/l	Azote totale kjeldahl (NTK) mg/l	Azote ammoniacal (N-NH ₄)	Phosphate mg/l
les concentrations	9,47	6,16	12.75	0,29	8,92	2,5	2.2	1.63

Source : STEP d'El-Milia.2015

Le rendement épuratoire de la station d'épuration des paramètres physicochimiques cités précédemment est présent dans le tableau suivant :

Tableau III.4.: Rendement d'élimination.

paramètres chimiques	MES kg/j	DBO-5 kg/j	DCO kg/j
Rendement (%)	97.6	98	95.3

Source : STEP d'El-Milia.2015

D'Après les résultats obtenues on constate que le rendement d'élimination des : **MES, DBO-5** et **DCO** est plus élevé, qu'il signifie qu'un bon traitement de ces paramètres dans cette station.

III.6.Mesure des débits (Sortie de la STEP) :

Durant l'année 2015, les débits d'eaux usées épurées et les volumes épurés sont représentés dans le tableau suivant :

2. **Tableau III.5:** les débits et les volumes épurés durant l'année 2015(STEP d'El-Milia).

Mois	Débit (m3/j)	Volume épuré (m3)
Janvier	7561,2	226836,3
Février	6308,0	189240,0
Mars	6500,3	195009,9
Avril	8337,9	250136,7
Mai	6787,2	203617,4
Juin	5921,6	177647,9
Juillet	6049,8	181494,5
Aout	5837,7	175130,2
Septembre	6127,7	183830,3
Octobre	6514,8	195443,3
Novembre	6534,1	196022,4
Décembre	6108,5	183255,9
Total		2357664,8= 2.35 Mm³

--	--

III.7. Etude physico-chimique des eaux de la STEP d'El-Milia:

III.7.1. 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 différents tests de contrôle et de surveillance. La notion de « surveillance continue » implique des mesures quantitatives périodiques de certains paramètres physiques et chimiques dans des échantillons d'eau prélevés à la station d'épuration.

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

- United State Salinity Laboratory ;
- ✓ 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 les sels, on a trouvé des 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.

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.7.2. 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 majeur (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 ont proposé différentes classes d'eau salée comme nous allons voir.

III.7.2.1. Classification mondiale (F.A.O)

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.7.2.2. Classification Russe

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

- 0,2-0,5g/l l'eau est de meilleure qualité
- 1,0-2,0g/ l'eau comportant des risques de salinité
- 3,0-7,0g/l l'eau ne peut être utilisée pour l'irrigation qu'avec
Un lessivage et un drainage

III.7.2. 3. Classification Américaine

La classification est basée sur deux paramètres C.E (conductivité électrique) à 25°C et S.A.R (Sodium Adsorption Ratio).

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** : $0,25 < \text{CE} < 0,75$ 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** : $0,75 < \text{CE} < 2,25$ 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-coefficient d'adsorption du sodium S.A.R :

S.A.R: Sodium Adsorption Ratio

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

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

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

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.8. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP d'El-Milia:

II.8.1. 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.6 : 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/100MI

III.8.2. Résultats d'analyses et interprétation :

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP sont tirées du bilan annuel 2015 de la STEP, elles sont présentées dans le tableau III.7

Tableau III.7: Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées de la STEP

Paramètres		Unités	Eaux Brutes	Eaux épurées
Potentiel d'hydrogène	PH	---	7,28	7,82
Température	T°	(C°)	21,1	17,5
conductivité électrique	CE	dS/m	1.589	1,357
Demande Chimique en Oxygène	DCO	mg/l	270	12,75
Matière en Suspension	MES	mg/l	407	9,47
Demande Biologique en Oxygène	DBO5	mg/l	314	6,16
Phosphate	PO4 ³⁻	mg/l	3,65	1,63
Azote ammoniacal	N-NH4	mg/l	41,9	2,2
Nitrate N-NO3	NO3-	mg/l	2.43	8,92
Nitrite N-NO2	NO2-	mg/l	0,82	0,29
l'azote KEJELDAHL	NTK	mg/l	54,84	2,5
Magnésium	Mg ⁺⁺	méq/l	---	5,25
Calcium	Ca ⁺⁺	méq/l	---	5,42
Sodium	Na ⁺	méq/l	---	3,7

STEP d'El-Milia en 2015 (entrée et sortie).

✓ **Interprétation :**

D'après les résultats du tableau **III.7** on constate que :

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

L'eau épurée est moyennement dure, donc le problème d'entartage de canalisation est à prendre en considération dans le cas de l'utilisation dans le domaine d'agriculture.

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

Le rendement d'élimination de la DCO est efficace (plus de 95 %) et pour la DBO5 il est de l'ordre de plus de 98%. La bonne élimination de la DBO5 s'explique par le fait du bon

ajustement du pH du milieu ambiant, ainsi l'absence des matières inhibitrices, 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 2,07, signifie que l'effluent de la station est biodégradable.

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

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

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

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

$$S.A.R = \frac{3,7}{\sqrt{\frac{5,42 + 5,25}{2}}} = 1,6$$

D.

Interprétation des résultats

des analyses:

D'après les résultats, on peut dire que :

*C.E = 1,677 mmhos/cm; fait partie de la classe C3, elle ne convient qu'a des sols bien drainés.

*S.A.R= 1.6, c'est-à-dire appartient à la classe S1 Les eaux sont de faible alcaline et peuvent être utilisées du point de vue alcalin pour tous les sols avec un peu de danger par le donner d'un taux

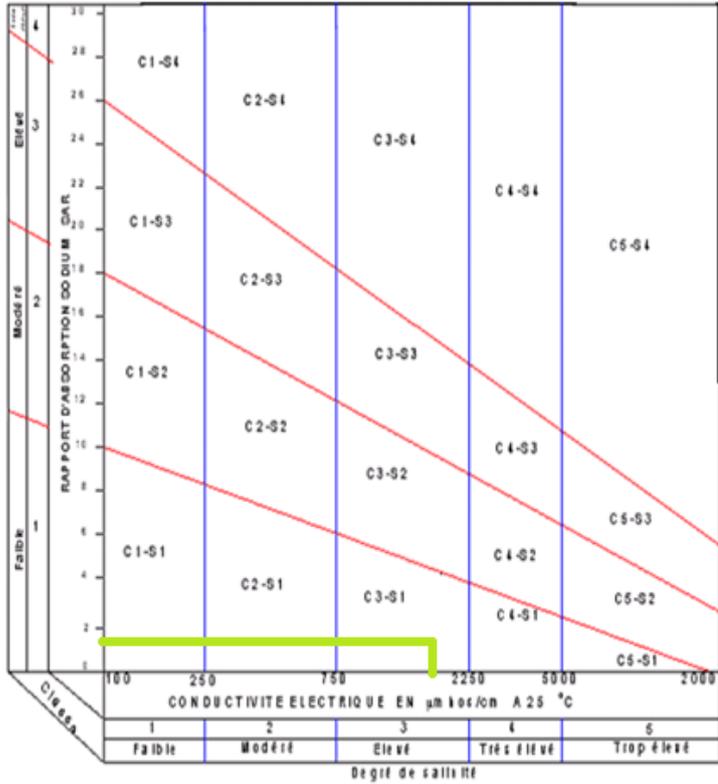


Figure III.2 .Diagramme de classification des eaux d’irrigation

Donc les eaux sont de classe C3S1 d’après le diagramme. C’est une eau acceptable pour l’irrigation tant que on va utiliser le goutte a goutte

Conclusion :

D’après les résultats qui ont été obtenu avant et après le traitement on remarque que le traitement effectuée par la STEP de’El-Milia est efficace (rendement est plus de 90%), et que les normes des rejets sont respectées donc il n’y a pas de risque sur les cultures.

Introduction

L'estimation des besoins en eau des cultures est une étape essentielle dans l'établissement d'un projet d'irrigation. Ces besoins doivent être minutieusement calculés pour éviter tous surdimensionnement ou sous-dimensionnement des réseaux d'irrigation.

IV.1. Besoins en eau des cultures :

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

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

IV.2.L'évapotranspiration :

On désigne par évapotranspiration la somme de deux volumes d'eau qui sont :

- Utilisés par les plantes (eau en construction, eau de végétation). Le phénomène biologique par lequel les plantes absorbent une quantité d'eau du sol qui est restituée partiellement sous forme de vapeur par la surface des feuilles, s'appelle transpiration.
- Evaporés par la surface du sol, par transformation de l'état de l'eau en vapeur (phénomène d'évaporation).

IV.3.L'évapotranspiration potentielle ou de référence (ETP)

ETP est l'évaporation maximale que nous pouvons avoir avec des conditions optimales en admettant que le sol reste constamment humide.

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration potentielle, les plus employées sont :

- Méthodes des lysimètres.
- Méthodes des stations expérimentales.
- Méthodes directs de l'évaporation.
- Méthodes empiriques.

Pour notre projet on va utiliser le logiciel CROPWAT qui permet l'évaluation de l'évapotranspiration en basent sur la méthode empirique de Penman et Monteith modifié.

IV.4.Méthode de Penman et Monteith modifiée :

La formule se présentant comme suite :

$$ET0 = C[W \times Rn + (1 - W) \times f(u) \times (ea - ed)]$$

Avec :

ET0 : représente l'évapotranspiration de référence, exprimée en mm/jour.

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

Rn : rayonnement net évaporation équivalente exprimé en mm/j.

F (u) : fonction liée au vent.

Ea : tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

Ed : tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

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

Le tableau suivant représente l'évapotranspiration de référence ET₀, calculée à l'aide du logiciel CROPWAT

Tableau IV.1 : Calcul de l'évapotranspiration

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ET ₀
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	3.4	20.0	71	345	5.3	9.2	2.48
February	4.7	21.4	69	173	7.5	13.5	2.36
March	4.0	25.6	67	242	7.6	16.7	3.72
April	8.1	28.1	63	147	8.6	20.8	4.22
May	11.0	30.9	62	130	8.4	22.0	4.74
June	14.2	35.6	62	86	11.2	26.6	5.61
July	17.4	39.2	59	190	12.0	27.4	7.29
August	16.1	35.5	58	173	10.3	23.6	6.12
September	10.0	29.6	64	173	9.5	20.0	4.33
October	15.5	35.8	68	337	8.1	15.1	5.10
November	12.3	33.5	69	260	7.1	11.3	3.80
December	8.5	26.9	71	225	5.1	8.3	2.59
Average	10.4	30.2	65	207	8.4	17.9	4.36

IV.5.calcul de la pluie efficace

Elle est définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur. C'est la pluie effectivement retenue dans la zone racinaire. Pour l'estimation de la pluie efficace, nous avons pris en considération la méthode basée sur une fraction de la pluie totale (pourcentage), elle est détaillée comme suit :

$$P_{eff} = 0,8 \times P_{sec80\%}$$

Avec :

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

P_{sec80%} : Pluie sec de probabilité de dépassement de 80%, en (mm)

Les calculs sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Pluies efficaces

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel
P _{80%} (mm)	108.6	86.8	75.8	70.3	26.4	4.3	1.1	2.7	39.8	68.6	126.0	144.8	755.2
P _{eff} (mm)	89.7	74.7	66.6	62.4	25.3	4.2	1.1	2.7	37.2	61.1	100.6	111.3	637.0

IV.6. Le choix des cultures:

Avant d'évaluer les besoins en eau des cultures de la zone d'étude, il faut d'abord définir l'occupation et la répartition culturelle dans le périmètre.

Le choix des cultures à mettre en place doit concilier entre les critères suivant :

- Les conditions climatiques de la région étudiée.
- La qualité et disponibilité de l'eau d'irrigation.
- L'aptitude culturelle des sols basée sur l'étude pédologique

Pour notre périmètre et tant que l'irrigation est à partir d'une STEP, on va choisir entre l'arboriculture et les cultures qu'on ne consomme pas directement (on a choisi la tomate parce que elle a une longue tige qui peut diminuer les risques de la qualité d'eau avant d'arriver à la tomate).

- | | |
|-------------------|---------------|
| 1- Pomme de terre | 6- Tomate ind |
| 2- Tomate | 7- Pommiers |
| 3- Olivier | 8- Mais |
| 4- Pécher | 9- Agrumes |
| 5- Courgette | |

IV.7. Calendrier et assolement des principales cultures préconisées

Pour le calcul des besoins en eau des cultures, il est impératif de déterminer calendrier des principales cultures préconisées des différentes cultures, il est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.3 : Calendrier des principales cultures préconisées

Culture	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tomate												
Courgette												
Olivier												
Pomme de terre												

Pêcher												
Maïs												
Tomate ind												
Pommiers												
Agrumes												

Tableau IV.4 : Pourcentages proposés aux différentes cultures

Culture	N° d'ilot	Superficie (ha)	Pourcentage %
Pommiers	1-2-3-4-5-6	34,16	15,74
Tomate	7-8-9-10-11	33,29	15,34
Agrumes	12-13-14	23,95	11,04
Tomate ind	15-16-17	29,91	13,78
pomme de terre	18-19	22,87	10,54
Pêcher	20-21	24,52	11,30
Maïs	22-23-24	16,08	7,41
Olivier	25-26	23,48	10,82
Courgette	27	8,74	4,03
Somme		217	100

Pour l'année prochaine on garde les mêmes superficies et on fait une rotation des cultures

Maïs → Pomme de terre

Tomate → Courgette

IV.8.L'évapotranspiration maximale (ETM)

Elle exprime les besoins en eau des cultures suivant leur stade végétatif, elle est donnée par la formule suivante :

$$ETM = Kc \times ET0$$

Avec :

Kc : coefficient cultural

$Et0$: évapotranspiration potentielle ou de référence.

IV.9. Calcul des besoins nets en eau d'irrigation

Lorsqu'on établit les besoins périodiques en eau d'irrigation pour une culture ou un plan de culture donnés, il faut tenir compte de façon préférentielle de trois variables (ETP , P_{eff} et RFU).

La relation qui existe entre les besoins nets B_{net} et ces variables peut être exprimée comme suit:

$$B_{net} = ETM - P_{eff} - RFU$$

RFU : c'est la réserve facilement utilisable par les cultures, dans cette approche elle exprime l'humidité du sol du mois précédent accessible aux cultures. Le calcul de la RFU se fait comme suit :

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Da \cdot Z.$$

Y : degré de tarissement généralement égal à 2/3.

Da : densité apparente.

Z : profondeur d'enracinement mm.

H_{cc} : humidité à la capacité au champ, dans notre cas, on prend : 27%.

H_{pf} : humidité au point de flétrissement, dans notre cas, on prend : 13%

P_{eff} : pluie efficace.

Pour le calcul de la RFU réelle on compare les pluies du mois $i-1$ à l' ETP de mois $i-1$

IV.10. Calcul des 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 suivants :

- 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 :

$$B_{bru} = \frac{B_{net}}{E_i} \quad (V.11)$$

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

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

E_i : L'efficience globale du système d'irrigation, on prend $E_i = 0.75$.

Tableau IV.5: Besoins en eau d'irrigation de tomate

Tomate	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC				0,4	0,7	1	0,75					
ETM				50,64	99,54	168,3	164,025					
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)				0,1	0,2	0,7	1					
RFU max				9,33	19,66	65,33	93,33					
RFU réelle				0	0	0	0					
Bnet (mm)				-11.76	74.24	164.1	162.925					

Tableau IV.6: Besoins en eau d'irrigation de pomme de terre

pomme de terre	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC			0,5	0,7	0,95	0,75	0,55					
ETM			55,8	88,62	135,09	126,22 5	120,285					
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3

Z (m)			0,5	0,53	0,55	0,57	0,6					
RFU max			46,6666 7	49,4666 7	51,3333 3	53,2	56					
RFU reele			46,67	23,33	0	0	0					
Bnet (mm)			-57.47	2.89	109.79	122.02 5	119.185					

Tableau IV.7: Besoins en eau d'irrigation d'olivier

Olivier	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC	0,69	0,7	0,67	0,77	0,65	0,68	0,7	0,68	0,65	0,67	0,68	0,69
ETM	51,336	49,56	74,772	97,482	92,43	114,444	153,09	124,848	84,435	102,51	77,52	53,613
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
RFU max	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252
RFU reele	252	252	252	126	0	0	0	0	0	0	0	126
Bnet (mm)	-290.36	-277.14	-243.82	-90.918	67.13	110.244	151.99	122.148	47.235	41.41	-23.08	-183.68

Tableau IV.8: Besoins en eau d'irrigation de pêcher

pêcher	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC	0,73	0,6	0,58	0,51	0,5	0,6	0,6	0,63	0,65	0,71	0,8	0,76
ETM	54,312	42,48	64,728	64,566	71,1	100,98	131,22	115,668	84,435	108,63	91,2	59,052
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
RFU max	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33	65,33
RFU reele	65,33	65,33	65,33	32,66	0	0	0	0	0	0	0	32,66
Bnet (mm)	-100.72	-97.55	-67.202	-30.494	45.8	96.78	130.12	112.968	47.235	47.53	-9.4	-84.908

Tableau IV.9: Besoins en eau d'irrigation de courgette

courgette	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC									0,81	1,08	1,06	
ETM									105,219	165,24	120,84	
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)									0,2	0,3	0,5	
RFU max									19,66	28	46,66	

RFU reele									0	0	0	
Bnet (mm)									68.019	104.14	20.24	

Tableau IV.10: Besoins en eau d'irrigation de maïs

Maïs	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC			0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5				
ETM			55,8	63,3	99,54	117,81	153,09	91,8				
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)			0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5				
RFU max			9,33	18,667	18,67	37,33	46,67	46,67				
RFU reele			9,33	4,66	0	0	0	0				
Bnet (mm)			-20.13	-3.76	74.24	113.61	151.99	89.1				

Tableau IV.11: Besoins en eau d'irrigation de tomate industrielle

Tomate ind	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC			0,45	0,5	0,85	1,02	0,96	0,85	0,75			

ETM			50,22	63,3	120,87	171,666	209,952	156,06	97,425			
P eff (mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)			0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1			
RFU max			37,33	56	65,33	74,67	84	93,33	93,33			
RFU reele			37,33	37,33	28	0	0	0	0			
Bnet (mm)			-53.71	-36.43	67.57	167.466	208.852	153.36	60.225			

Tableau IV.12: Besoins en eau d'irrigation de pommier

Pommiers	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 mm/mois	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC	0,7	0,7	0,5	0,62	0,75	0,82	0,9	0,95	0,87	0,82	0,8	0,78
ETM	52,08	49,56	55,8	78,492	106,65	138,006	196,83	174,42	113,013	125,46	91,2	60,606
P eff mm	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
RFU max	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
RFU reele	112	112	112	56	0	0	0	0	0	0	0	112
Bnet	-149.62	-137.14	-122.8	-39.908	81.35	133.806	195.73	171.72	75.813	64.36	-9.4	-162.69

Tableau IV.13: Besoins en eau d'irrigation des agrumes

Agrumes	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
ET0	2,48	2,36	3,72	4,22	4,74	5,61	7,29	6,12	4,33	5,1	3,8	2,59
ET0 (mm/mois)	74,4	70,8	111,6	126,6	142,2	168,3	218,7	183,6	129,9	153	114	77,7
KC	0,64	0,65	0,65	0,68	0,7	0,71	0,69	0,7	0,7	0,68	0,66	0,65
ETM	47,616	46,02	72,54	86,088	99,54	119,49 3	150,903	128,52	90,93	104,04	75,24	50,505
P eff(mm)	89,7	74,7	66,6	62,4	25,3	4,2	1,1	2,7	37,2	61,1	100,6	111,3
Z (m)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
RFU max	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
RFU reele	112	112	112	56	0	0	0	0	0	0	0	112
Bnet (mm)	-154.08	-140.68	-106.06	- 32.312	74.24	115.29 3	149.803	125.82	53.73	42.94	-25.36	-172.795

Tableau IV.14. Besoins nets en eau d'irrigation (mm)

Culture	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb re	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Tomate	0	0	0	0	74,24	164,1	162,925	0	0	0	0	0	401,265
pomme de terre	0	0	0	2,89	109,79	122,025	119,185	0	0	0	0	0	353,89
Olivier	0	0	0	0	67,13	110,244	151,99	122,148	47,235	41,41	0	0	540,157
Pêcher	0	0	0	0	45,8	96,78	130,12	112,968	47,235	47,53	0	0	480,433
courgette	0	0	0	0	0	0	0	0	68,019	104,14	20,24	0	192,399
Maïs	0	0	0	0	74,24	113,61	151,99	89,1	0	0	0	0	428,94
Tomate ind	0	0	0	0	67,57	167,466	208,852	153,36	60,225	0	0	0	657,473
Pommiers	0	0	0	0	81,35	133,806	195,73	171,72	75,813	64,36	0	0	722,779
Agrumes	0	0	0	0	74,24	115,293	149,803	125,82	53,73	42,94	0	0	561,826
Total	0	0	0	2.89	594,36	1023,324	1270,595	775,116	352,257	300,38	20,24	0	

Tableau IV.15. Besoins bruts en eau d'irrigation

Culture	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb re	Octobre	Novembre	Décembr e	Total
Tomate	0	0	0	0	989,8667	2188	2172,333	0	0	0	0	0	5350,2
pomme de terre	0	0	0	38,53	1463,867	1627	1589,133		0	0	0	0	4718,53
Olivier	0	0	0	0	895,0667	1469,92	2026,533	1628,64	629,8	552,1333	0	0	7202,093
Pêcher	0	0	0	0	610,6667	1290,4	1734,933	1506,24	629,8	633,7333	0	0	6405,773
courgette	0	0	0	0	0	0	0	0	906,92	1388,533	269,8667	0	2565,32
Maïs	0	0	0	0	989,87	1514,8	2026,53	1188	0	0	0	0	5719,2
Tomate ind	0	0	0	0	900,93	2232,88	2784,69	2044,8	803	0	0	0	8766,3
Pommiers	0	0	0	0	1084,66	1784,08	2609,73	2289,6	1010,84	858,13	0	0	9637,04
Agrumes	0	0	0	0	989,86	1537,24	1997,373	1677,6	716,4	572,53	0	0	7491,003
Total	0	0	0	38,53	7924,787	13644,32	16941,26	10334,88	4696,76	4005,06	269,8667	0	

IV.11. Calcul de débit caractéristique

Le calcul de débit caractéristique permet de définir le débit max que le système doit fournir pour l'irrigation

$$Q = S \cdot q_s$$

Q : débit caractéristique

q_s : débit spécifique de la culture la plus exigeant (l/s/ha)

S : surface agricole utile

Le débit spécifique est calculé par la formule

$$q_s = \frac{B_{\text{pointe}} \cdot 10.1000}{K \cdot N_h \cdot n_j \cdot 3600}$$

Avec :

- B_{pointe} : Besoins de pointe (mm/mois).
- q_s: Débit spécifique (l/s/ha).
- K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation (k=0,75).
- N_h : nombre des heures d'irrigation = 22 h.
- n_j: nombre de jours par mois = 30 jours.

$$q_s = \frac{209.10.1000}{0,75.22.30.3600}$$

$$q_s = 1.17 \text{ l/s/ha} < 1.5 \text{ l/s/ha}$$

$$Q = 1.17 \cdot 217 = 254.51 \text{ l/s} = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$$

IV.12 Comparaison entre les besoins de la zone d'étude et la capacité de la STEP

Tableau IV.16 : Besoins totaux annuels

Culture	Superficie (ha)	Bnet (mm)	Bnet (m ³ /ha)	Bnet (m ³)
Tomate	33,29	401,265	4012,65	133581,1

pomme de terre	22,87	353,89	3538,9	80934,64
Olivier	23,48	540,157	5401,57	126828,9
Courgette	8,74	192,399	1923,99	16815,67
tomate ind	29,91	657,473	6574,73	196650,17
Mais	16,08	428,94	4289,4	68973,55
Pêcher	24,52	480,433	4804,33	117802,17
Pommiers	34,16	722,779	7227,79	246901,3
Agrumes	23,95	561,826	5618,26	134557,3
Besoins nets d'irrigation (m³)				1123044,8
Besoins bruts totaux (m³)				1497393,07
Besoins bruts totaux (Mm³)				1.5
Volume sortant de la STEP(Mm³)				2.35

Conclusion

Après le choix des cultures est basant sur la méthode de Penman-Monteith modifiée on a pu déterminer les besoins nets des cultures pour déterminer le débit caractéristique de notre périmètre, on remarque que le mois de pointe est juillet et la plante la plus exigeante est la tomate industrielle avec un besoin de 209 mm/mois, et à partir du résultat de la comparaison entre la capacité de la STEP et les besoins des cultures on conclure qu'elle suffit à l'alimentation de notre périmètre.

Introduction

Dans tout aménagement hydro-agricole d'une certaine taille, on peut distinguer trois types d'équipement.

Les ouvrages de transport : transitent l'eau d'irrigation depuis la prise d'eau jusqu'aux périmètres à desservir. Ces ouvrages transitent des débits importants sur de longues distances.

Les réseaux de distribution : répartissent à l'intérieur du périmètre et jusqu'aux prises d'irrigation propres à chaque agriculteur, l'eau amenée par les ouvrages ramifiés.

Les équipements à la parcelle : conduisent l'eau des prises d'irrigation jusqu'aux plantes.

Ce chapitre est spécifiquement consacré aux ouvrages de transport et réseaux de distribution pour lesquels nous examinerons facteurs essentiels qui conduisent à définir l'organisation spatiale des ouvrages et les débits à transiter par tronçon.

L'objet du présent chapitre est la détermination des caractéristiques techniques et du gabarit des différents éléments dont l'ensemble constitue le réseau de distribution de l'eau depuis le lieu de prélèvement jusqu'aux lieux d'utilisation à des fins agricoles.

V.1.Variante d'aménagement du réseau

Lorsque d'une conception d'un réseau sous pression il est indispensable de définir la variante d'aménagement de périmètre d'irrigation, en précision le schéma hydraulique du système d'adduction et de distribution.

Pour notre cas on a une variante classique où le périmètre est situé en aval de la source (STEP), dans ce cas un seul système hydraulique est généralement à préconiser : le réseau gravitaire avec l'implantation d'un ouvrage de stockage

V.2.Calcul de l'adduction

V.2.1 Adduction gravitaire

C'est une adduction ou l'écoulement se fait gravitairement. On rencontre ce type dans le cas où la source se situe à une cote supérieure à la cote piézométrique de l'ouvrage d'arrivée.

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

$$\Delta H = \frac{k' * L * Q^\beta}{D^m}$$

ΔH : Perte de charge totale (m)

k' : Coefficient de perte de charge

L : longueur équivalente de la conduite (m)

$$L = L_g + L_e$$

L_g : longueur géométrique de la conduite (m)

L_e : longueur équivalente des pertes de charge singulières (m)

Les pertes de charge singulières sont estimées à 10% des pertes de charge linéaires

$$L_e = 1.10 * L_g$$

Q : débit véhiculé par la conduite (m³/s)

D : diamètre avantageux calculé de la conduite (m)

β : exposant tenant compte du régime d'écoulement.

m : exposant tenant compte du type du matériau.

Les coefficients k' , m et β sont données dans le tableau

Tableau V.1. Coefficients K' , m , B pour différents types de tuyau.

Tuyau	k'	M	B
Acier et fonte	0.00179-0.001735	5.1-5.3	1.9-2
Amiante-ciment	0.00118	4.89	1.85
Plastique	0.001052	4.722	2

On déduit le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D = \sqrt[m]{\frac{k' * L * Q^\beta}{\Delta H}}$$

Pour les conduites en PEHD on prend : $k'=0.001052$; $\beta=2$; $m=4.772$

La longueur de la conduite est égale à 2700 m

Le débit est égal à 0.25 m³/s

$$\Delta H = 36 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[4.772]{\frac{0.001052*1.1*2700*0.25^2}{36}} = 0.335 \text{ m donc } D_N=400 \text{ mm}$$

La perte de charge engendrée par la partie la conduite de diamètre 400 mm est :

$$\Delta H = \frac{0.001052*1.1*2700*0.25^2}{0.4^{4.772}} = 15.47 \text{ m}$$

On augmente le diamètre pour diminuer les pertes $D_N=500\text{mm}$

$$\Delta H = \frac{0.001052*1.1*2700*0.25^2}{0.5^{4.772}} = 5.33 \text{ m}$$

$36-5,33= 30,67 \text{ m} = 3.037 \text{ bars}$ c'est la pression au niveau de la bache.

V.3.Dimensionnement de la bache

La bache est alimentée par la STEP. Le débit journalier entrant la bache (Ba) pendant 24h est de :

$$Q=0.25*3600*24= 21600 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tableau V.2.Le bilan de distributions et l'apport journalier d'eau.

Heure (h)	Apport(%)	Distribution(%)	Stockage(%)	Déstockage(%)	Vol restant(%)
01	4.17	4.55		0.38	0.38
02	4.17	4.55		0.38	0.71
03	4.17	4.55		0.38	1.09
04	4.17	4.55		0.38	1.47
05	4.17	4.55		0.38	1.85
06	4.17	4.55		0.38	2.27
07	4.17	4.55		0.38	2.65
08	4.17	4.55		0.38	3.03
09	4.17	4.55		0.38	3.41
10	4.17	4.55		0.38	3.79
11	4.17	4.55		0.38	4.17
12	4.17	-	4.17	-	0
13	4.17	4.55		0.38	0.38
14	4.17	4.55		0.38	0.71
15	4.17	4.55		0.38	1.09
16	4.17	4.55		0.38	1.47
17	4.17	4.55		0.38	1.85

18	4.17	4.55		0.38	2.27
19	4.17	4.55		0.38	2.65
20	4.17	4.55		0.38	3.03
21	4.17	4.55		0.38	3.41
22	4.17	4.55		0.38	3.79
23	4.17	4.55		0.38	4.17
24	4.17	-	4.17	-	0

Le volume de la bache sera égal :

$$V_{Ba} = \frac{4.17 * 21600}{100} = 900.72 \text{ m}^3 \rightarrow V_{Ba} = 910 \text{ m}^3$$

V.4. Découpage des îlots d'irrigation

Le terme îlot d'irrigation décrit l'unité hydro-agricole alimenté par une borne d'irrigation. Cette borne comporte une ou plusieurs sorties ou « prises » suivant le nombre d'arrosages qu'elle doit assurer simultanément, en particulier lorsqu'elle se trouve en limite de plusieurs exploitants. Chaque borne doit assurer toutes les fonctions d'une prise c'est-à-dire :

- Régler le débit, ou plus exactement le limiter au module.
- Régler la pression.
- Assurer le comptage de l'eau livrée.
- Encaisser les suppressions accidentelles.

Le réseau d'irrigation dans notre périmètre est de type ramifié.

Le périmètre est partagé en îlots d'irrigation, chaque îlots est desservi par une borne d'irrigation.

Les bornes sont alimentés par des conduites secondaires, en suite le réseau secondaire est alimenté par un réseau principale jusqu'à la bache.

La taille de l'îlot est déterminée en fonction des modèles d'exploitations élaborés suivant plusieurs critères : fonciers, topographiques, hydro-agricoles. Dans certains cas, la taille de l'îlot dépend du débit d'équipement de prise en relation avec le débit fictif continu maximum au niveau de l'îlot.

En outre, le débit fourni par la prise d'irrigation doit correspondre à une main d'eau compatible avec la méthode d'irrigation adoptée au niveau de l'exploitation.

V.5. Le plan de bornage

Le plan de bornage est le résultat d'un compromis entre l'intérêt des utilisateurs (qui souhaiteraient disposer d'une borne chacun, idéalement située par rapport à leur champ) et celui de l'organisme d'aménagement qui cherche à en limiter le nombre (de manière à diminuer le coût du réseau collectif).

En effet une forte densité améliore les conditions de travail des agriculteurs en diminuant les longueurs de canalisation mobile de surface, mais il en résulte une augmentation importante des frais d'installation du réseau fixe. Une trop faible densité accroît le travail de montage et de transport de canalisation mobiles.

La base du regroupement des parcelles sur une même borne est le découpage des propriétés. Dans le cas de petites propriétés morcelées :

- une prise par îlot d'exploitations ;
- quatre (04) prises maximum sur une même borne ;
- bornes implantées en limites d'îlots ;
- dénivelée maximum de 5 m entre les points les plus hauts et les plus bas du bloc d'îlots.

Pour les grandes propriétés :

- La borne se situe au centre de la parcelle ;
- 4 prises sur la même borne.

V.6. Choix du tracé

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

- La recherche d'un tracé au plus court et avec le minimum de changement de direction concerne principalement la conduite maîtresse ;
- Eviter dans la mesure du possible de faire passer des conduites en plein champs ;
- Essayer de positionner la borne le plus proche de chaque parcelle à desservir afin d'éviter de pénaliser des exploitants par des têtes mortes trop longues ;

- Les conduites suivront au maximum (dans la mesure du possible) les routes et pistes et éviterons les plantations et zones bâties.

V.7. Débits aux bornes

Le but est de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation doit véhiculer pour répondre à la demande en eau des cultures:

Le débit caractéristique de chaque borne pouvant desservir un ilot est formulé comme suit :

$$Q_b = q_s \cdot S$$

Avec :

Q_b : Débit caractéristique de chaque borne (l/s) ;

q_s : Débit spécifique (l/s/ha) ;

S : Superficie de l'ilot (ha).

- **Donné de base du dimensionnement (chapitre IV)**

Le débit spécifique est évalué à **1.17 l/s/ha**.

La surface du périmètre est égale à **217 ha**

Donc le débit caractéristique est :

$$Q_c = 1.17 \times 217 = \mathbf{253.89l/s}$$

Les caractéristiques des bornes et les ilots d'irrigation desservie sont donnés par le tableau ci-après.

Tableau V.3 : Débit caractéristique de chaque ilot (bornes) d'irrigation

N° de l'ilot (bornes) d'irrigation	N° de la parcelle	la superficie de la parcelle	débit de la prise l/s	débit brut de la borne (l/s)
1	1	4,31	5,04	5,04
2	2	5,67	6,63	6,63
3	3	5,35	6,26	6,26
4	4	5,67	6,63	6,63
5	5	3,93	4,60	4,60
6	6a	2,55	2,98	10,8
	6b	6,68	7,82	
7	7a	3,47	4,06	8,49
	7b	3,79	4,43	
8	8	4,57	5,35	5,35
9	9	4,72	5,52	5,52
10	10	8,34	9,76	9,76

11	11a	4,7	5,50	9.83
	11 b	3,7	4,33	
12	12a	5,52	6,46	13.05
	12b	5,63	6,59	
13	13	7,38	8,63	8,63
14	14	5,42	6,34	6,34
15	15	8,74	10,23	10,23
16	16a	8,48	9,92	18.03
	16b	6,93	8,11	
17	17	5,76	6,74	6,74
18	18	8,84	10,34	10,34
19	19a	7,2	8,42	16.41
	19b	6,83	7,99	
20	20a	5,37	6,28	17.98
	20b	3,2	3,74	
	20c	6,8	7,96	
21	21	9,15	10,71	10,71
22	22	5,45	6,38	6,38
23	23	5,08	5,94	5,94
24	24	5,55	6,49	6,49
25	25	7,73	9,04	9,04
26	26a	7,35	8,60	18.43
	26b	8,4	9,83	
27	27a	4,34	5,08	10.23
	27b	4,4	5,15	
Total		217	253.89	253.89

V.8.Choix du type et de diamètre de la borne

Le choix du type de la borne dépend de la surface à desservir par la borne :

Pour les surfaces $S \leq 15$ ha on prend la Borne à deux prises ;

Pour les surfaces $S \geq 15$ ha on prend la Borne à quatre prises.

Les diamètres des bornes en fonction des débits sont comme suit :

Tableau V.4 : Choix du diamètre de la borne

Débit fourni	Diamètre de la borne
$Q < 8 \text{ l/s}$	DN = 65 mm
$8 < Q < 20 \text{ l/s}$	DN = 100mm
$20 < Q < 25 \text{ l/s}$	DN = 150mm
$Q > 25 \text{ l/s}$	DN = 200mm

Les diamètres et les types des bornes sont présentés dans le tableau V.5

Tableau V.5 : Les diamètres et les types des bornes

N° de l'ilot d'irrigation	débit de la prise l/s	débit brut de la borne (l/s)	Diamètre des prises (mm)	Type de borne et bec de sortie
1	5,04	5,04	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
2	6,63	6,63	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
3	6,26	6,26	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
4	6,63	6,63	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
5	4,60	4,60	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
6	2,98	10.8	65	borne d'irrigation type a à 2 bec de sortie
	7,82		100	
7	4,06	8.49	65	borne d'irrigation type a à 2 bec de sortie
	4,43		65	
8	5,35	5,35	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
9	5,52	5,52	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
10	9,76	9,76	100	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
11	5,50	9.83	65	borne d'irrigation type a à 2 bec de sortie
	4,33		65	
12	6,46	13.05	65	borne d'irrigation type a à 2 bec de sortie
	6,59		65	
13	8,63	8,63	100	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
14	6,34	6,34	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
15	10,23	10,23	100	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
16	9,92	18.03	100	borne d'irrigation type b à 2 bec de sortie
	8,11		100	

17	6,74	6,74	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
18	10,34	10,34	100	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
19	8,42	16.41	100	borne d'irrigation type b à 2 bec de sortie
	7,99		100	
20	6,28	17.98	65	borne d'irrigation type b à 3 bec de sortie
	3,74		65	
	7,96		100	
21	10,71	10,71	100	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
22	6,38	6,38	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
23	5,94	5,94	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
24	6,49	6,49	65	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
25	9,04	9,04	100	borne d'irrigation type a à 1 bec de sortie
26	8,60	18.43	100	borne d'irrigation type b à 2 bec de sortie
	9,83		100	
27	5.15	10.23	65	borne d'irrigation type a à 2 bec de sortie
	5,676		65	

V.9. Caractéristiques de la conduite principale (CP) et le réseau de distribution

V.9.1. Choix du type de matériau

Il n'existe pas de matériels présentant tous les avantages. Le choix des tuyaux sera donc un compromis accepté par l'agriculteur en fonction de ses contraintes d'investissement, de temps, économiques, etc.

V.9.1.1 La fonte ductile

Les tuyaux en fonte ductile sont les plus résistants, utilisés lorsque les pressions d'utilisation sont élevées (16 bars et plus), un produit de métallurgie avancé.

La fonte ductile offre la marge de sécurité la plus élevée possible contre les pannes de service dues au mouvement du sol et aux contraintes de poutre. virtuellement incassable dans un service utilitaire ordinaire, elle offre aussi une résistance accrue au bris causé par une manipulation rude lors de l'expédition et de l'installation.

La résistance à la corrosion du tuyau en fonte ductile a été éprouvée dans tout un éventail de tests accélérés et s'est avérée au moins aussi bonne que celle de la fonte grise.

Tableau V.6: Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en fonte ductile

Diamètres (DN) (mm)	80-100-125-150-200-250-300-350-400-450- 500-600-700-800-900-1000
Longueur (m)	0,5 – 6
PN (bars)	10-16-25
Branchements	Soudure ou raccords
Durée de vie estimée (ans)	100

Source : GROUPE CHIALI

V.9.1.2. Le plastique

Les tuyaux en plastique bien que moins résistants mécaniquement que tuyaux métalliques sont très employés en irrigation pour des pressions d'utilisation allant jusqu'à 16 bars. Quatre qualités principales distinguent ce tuyau des tuyaux métalliques :

- Légèreté (densité spécifique entre 0,9 et 1,4) ;
- Grand résistance aux corrosions de l'air et de l'eau ;
- Grand pouvoir isolant électrique et thermique ;
- Facilité de les coller à froid ou de les souder à basse température.

Dans l'irrigation on utilise principalement deux matières plastiques : le **chlorure polyvinyle (PVC)** (polymère du chlorure de vinyle $H_2C = CHCl$), et le **polyéthylène (PE)** qui selon le procédé de polymérisation de l'éthylène $H_2C = CH_2$ a une densité spécifique dite basse (**PEBD**), autour de 0,93, ou une densité dite haute (**PEHD**) autour de 0,99.

Les canalisations en PVC sont assez rigides à l'inverse des canalisations en PE. Les tuyaux en PE à basse densité (PEBD), souples, permettent leur enroulement. Les tuyaux en PE à haute densité (PEHD), ont une plus grande rigidité et une meilleure résistance à la chaleur que les précédents et leur utilisation est en nette progression.

Tableau V.7 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PVC

Diamètres (DN) (mm)	20-40-50-63-75- 90-110-125-160-200-250-315-400-500-630
Longueur (m)	6
PN (bars)	PN 6 - PN 10 et PN 16
Branchements	Soudure à la colle ou raccords à pression par joints caoutchouc
durée de vie estimée (ans)	50

Tableau V.8 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEHD

Diamètres (DN) (mm)	63- 75- 90-110-125-160-200-250-315-400-500-630
Longueur (m)	Couronne de 100 m pour DN 20 à 63 mm. Couronne de 50 pour DN 75- 90- 110mm. Barre droite de 12 m à partir du DN 125 mm
PN (bars)	PN 10 et PN 16
Branchements	Soudure a basse température ou raccords
durée de vie estimée (ans)	50

Source : GROUPE CHIALI

Tableau V.9 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEBD

Diamètres (DN) (mm)	16 – 20 – 32 – 40 – 50 – 63 – 90 - 110 mm
Longueur (m)	Couronne de 100 m
PN (bars)	PN 4
Branchements	Soudure a basse température ou raccords
durée de vie estimée (ans)	50

Source : GROUPE CHIALI

Dans notre étude, nous utiliserons les conduites en PEHD grâce a :

- Ils supportent des pressions élevées ;
- Une résistance aux contraintes (choc, écrasement, déplacement du terrain);
- Ils offrent une bonne flexibilité ;
- Disponible sur le marché.

V.9.2. Calcul des diamètres des canalisations

Le diamètre de la conduite principal et du réseau de distribution sera calculé sur la base d'une vitesse idéale.

$$D_{cal} = \sqrt{\frac{4Q_{dim}}{\pi \cdot V_{ideal}}}$$

Où :

D_{cal} : Diamètre calculé (théorique) de tronçon considéré en (m) ;

Q_{dim} : Débit véhiculé par le tronçon considéré en (m³/s) ;

V_{ideal} : Vitesse admissible idéale choisi en (m/s).

La fixation d'un seuil minimum de vitesse admissible dans les conduites, ne correspond pas véritablement à un impératif technique et 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.

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

Tableau V.10 : Seuil des vitesses admissibles en fonction des diamètres dans les conduites gravitaires

Diamètre (mm)	100	125	150	200	250	300	350	400	500
Vitesse minimum (m/s)	0,20	0,25	0,25	0,35	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50
Vitesse maximum (m/s)	1,80	1,85	1,95	2,00					

Nous choisissons une vitesse moyenne de 1.3 m/s, admissible pour tous les diamètres.

Après avoir déterminé le diamètre calculé on choisit un diamètre normalisé ou commercialisé (qui diffère généralement de celui calculé) : $D_{nor} \geq D_{cal}$

On calcul les vitesses obtenus par la normalisation des diamètres. Les résultats du calcul des diamètres de chaque tronçon sont présentés dans le tableau V.11.

Tableau V.11 : Diamètres des canalisations et vitesses d'écoulement

Tronçon	L (m)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)	D _{cal} (m)	D _{cal} (mm)	D _{nor} (mm)	V _{cal} (m/s)
B1-N1	133,64	5,05	0,005	0,0703	70,31	75	0,98
B3-N1	75,1	6,26	0,006	0,0783	78,33	90	0,85

N1-N2	167,6	11,32	0,011	0,1053	105,30	125	0,79
B4-N2	91,38	6,63	0,007	0,0806	80,62	90	0,90
N2-N3	21,2	17,95	0,018	0,1326	132,62	160	0,77
B2-B5	178,02	6,63	0,007	0,0806	80,62	90	0,90
B5-N3	110,5	11,23	0,011	0,1049	104,92	125	0,79
N3-N4	97	29,19	0,029	0,1691	169,13	200	0,80
B6-N4	12,81	10,80	0,011	0,1029	102,87	110	0,98
N4-N5	113,6	40,00	0,040	0,1980	197,98	250	0,70
B7-N5	78,94	8,50	0,009	0,0913	91,28	110	0,77
N5-N6	117,1	48,49	0,048	0,2180	217,99	250	0,85
B8-B9	99,81	5,34	0,005	0,0724	72,37	90	0,72
B9-N6	118,83	10,87	0,011	0,1032	103,21	110	0,99
N6-N7	86,9	59,36	0,059	0,2412	241,19	250	0,68
B11-N7	81,63	9,83	0,010	0,0981	98,13	110	0,89
N7-N8	22	69,20	0,069	0,2604	260,41	315	0,79
B10-N8	88,57	9,76	0,010	0,0978	97,82	110	0,88
N8-N9	246,5	78,97	0,079	0,2782	278,17	315	0,90
B12-N9	170,62	13,05	0,013	0,1131	113,08	125	0,92
N9-N10	208,5	92,01	0,092	0,3003	300,28	315	0,63
B15-N10	149,53	10,23	0,010	0,1001	100,11	110	0,93
N10-N11	106,65	102,25	0,102	0,3165	316,54	400	0,70
B13-B14	87,49	8,64	0,009	0,0920	92,01	110	0,78
B14-B16	270,87	14,98	0,015	0,1212	121,16	160	0,64
B16-N11	88,42	33,03	0,033	0,1799	179,91	200	0,91
N11-N12	251	135,27	0,135	0,3641	364,08	400	0,93
B17-B19	252,1	6,74	0,007	0,0813	81,28	90	0,91
B19-N12	96,6	23,17	0,023	0,1507	150,67	160	0,99
N12-N13	440,5	158,44	0,158	0,3940	394,03	400	0,69
B18-B20	342,57	10,34	0,010	0,1007	100,68	110	0,94
B20-N13	126,44	28,34	0,028	0,1666	166,64	200	0,78
N13-N14	32,1	186,77	0,187	0,4278	427,81	500	0,82
B21-N14	119,52	10,71	0,011	0,1024	102,43	110	0,97
N14-N15	179,2	197,49	0,197	0,4399	439,91	500	0,87
B26-B25	114,89	18,43	0,018	0,1344	134,39	160	0,79
B25-B22	277,34	27,48	0,027	0,1641	164,09	200	0,75

B22-B23	67,3	33,87	0,034	0,1822	182,17	200	0,93
B23-N15	50,2	39,81	0,040	0,1975	197,51	200	0,70
N15-N16	63,6	237,30	0,237	0,4822	482,21	500	0,65
B27-B24	223,99	10,23	0,010	0,1001	100,11	110	0,93
B24-N16	76,15	16,72	0,017	0,1280	128,02	160	0,71
N16-Ba	733,46	254,53	0,254	0,4989	498,92	500	0,70

V.10. Calcul de perte de charge dans les conduites

La loi de perte de charge employée et celle de **Calmon et Lechapt**, donnée par la formule suivante :

$$j = \frac{Q^M}{D^N} L$$

Avec :

j : Perte de charge unitaire en (m/km) ;

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 : $L = 1,2$; $M = 1,89$ et $N = 5,01$.

Généralement les pertes de charges singulières dans un réseau représentent environ 10 % des pertes linéaires des conduites d'adduction, donc en prenant : $k=10\%$.

$$\Delta H = j \times L$$

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau ci dessous :

Tableau V.12 : Pertes de charge dans les canalisations

Tronçon	L (m)	Q (m ³ /s)	D _{nor} (m)	Perte de charge total ΔH_t (m)
B1-N1	133,64	0,005	0.075	3,42
B3-N1	75,1	0,006	0.090	1,09
N1-N2	167,6	0,011	0.125	1,47
B4-N2	91,38	0,007	0.090	1,77
N2-N3	21,2	0,018	0.160	0,14
B2-B5	178,02	0,007	0.090	3,45
B5-N3	110,5	0,011	0.125	0,97
N3-N4	97	0,029	0.200	0,50

B6-N4	12,81	0,011	0.110	0,21
N4-N5	113,6	0,040	0.250	0,35
B7-N5	78,94	0,009	0.110	0,90
N5-N6	117,1	0,048	0.250	0,52
B8-B9	99,81	0,005	0.090	1,02
B9-N6	118,83	0,011	0.110	1,98
N6-N7	86,9	0,059	0.250	0,57
B11-N7	81,63	0,010	0.110	1,14
N7-N8	22	0,069	0.315	0,06
B10-N8	88,57	0,010	0.110	1,23
N8-N9	246,5	0,079	0.315	0,88
B12-N9	170,62	0,013	0.125	2,05
N9-N10	208,5	0,092	0.315	0,99
B15-N10	149,53	0,010	0.110	2,08
N10-N11	106,65	0,102	0.400	0,19
B13-B14	87,49	0,009	0.110	1,00
B14-B16	270,87	0,015	0.160	1,24
B16-N11	88,42	0,033	0.200	0,59
N11-N12	251	0,135	0.400	0,74
B17-B19	252,1	0,007	0.090	4,88
B19-N12	96,6	0,023	0.160	0,99
N12-N13	440,5	0,158	0.400	1,75
B18-B20	342,57	0,010	0.110	4,76
B20-N13	126,44	0,028	0.200	0,62
N13-N14	32,1	0,187	0.500	0,06
B21-N14	119,52	0,011	0.110	1,99
N14-N15	179,2	0,197	0.500	0,35
B26-B25	114,89	0,018	0.160	0,74
B25-B22	277,34	0,027	0.200	1,26
B22-B23	67,3	0,034	0.200	0,47
B23-N15	50,2	0,040	0.200	0,48
N15-N16	63,6	0,237	0.500	0,18
B27-B24	223,99	0,010	0.110	3,11
B24-N16	76,15	0,017	0.160	0,44
N16-Ba	733,46	0,254	0.500	2,34

V.11.Calcul de pression aux bornes et nœuds

La pression au point X est donnée par la relation :

$$P = H - \Delta H - Z$$

H : La charge totale ;

ΔH : La somme des pertes de charge en amont de point X ;

Z : L'altitude de point X.

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau ci dessous :

Tableau V.13 : La pression aux bornes et nœuds en (m.c.e)

Borne ou nœud	Cote terrain aval Z (m)	cote piézométrique (m)	Pression au point P(m)
Ba	26,8	57,47	30.67
N16	34,4	54,46	20.06
B24	37,2	54,02	16.82
B27	36,8	47,71	10.91
N15	35,9	57,08	21.18
B23	33,3	56,62	23.32
B22	30	56,13	26.13
B25	29,5	54,87	25.37
B26	34,3	54,13	19.83
N14	32	56,73	24.73
B21	27,1	54,74	27.64
N13	30,8	56,67	25.87
B20	31,1	56,05	24.95
B18	24,9	51,29	26.39
N12	25,1	54,92	29.82
B19	24	53,93	29.93
B17	22,1	49,05	26.95
N11	22	54,18	32.18
B16	22	53,59	31.59
B14	22,3	52,35	30.05
B13	21,1	51,35	30.25

N10	21	53,99	32.99
B15	20,5	52,01	31.51
N9	20	53	33
B12	19,8	50,95	31.15
N8	24	52,12	28.12
B10	23	50,89	27.89
N7	24,2	52,06	27.86
B11	24,4	50,92	26.52
N6	23,4	51,49	28.09
B9	23,8	49,51	25.71
B8	23	48,49	25.49
N5	22,8	50,97	28.17
B7	22,6	50,07	27.47
N4	21,5	50,62	29.12
B6	21,3	50,41	29.11
N3	20,6	50,12	29.52
B5	20,4	49,15	28.75
B2	16	45,7	29.7
N2	20,2	49,98	29.78
B4	20	48,21	28.21
N1	16	48,51	32.51
B3	16	47,42	31.42
B1	12	45,09	33.09

Conclusion

A partir de ce chapitre on a proposé une variante plus classique pour projeter notre réseau d'adduction et de distribution, cette variante consiste en la projection d'une conduite maîtresse enterrée, de différents diamètres (500 à 75 mm), le matériau proposé est le PEHD à 10 bars.

27 bornes d'irrigation et robinets vannes sous regards sont proposés au niveau des ilots. Le calcul de perte de charge est fait par la formule de Calmon et Lechapt pour des conduites en PEHD, ainsi, on a déterminé les pressions au niveau de chaque borne et nœud.

Introduction

L'irrigation est une opération qui consiste à apporter de l'eau à des végétaux cultivés pour augmenter leurs rendements, et permettre leur développement optimal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

VI. Les techniques d'irrigation

VI.1- Irrigation de surface

Les irrigations de surface recouvrent l'ensemble des techniques d'irrigation où l'eau disponible en tête de parcelle est répartie sur le terrain à irriguer par un écoulement gravitaire de surface, ne nécessitant aucun aménagement adéquat du sol.

On classe généralement les différentes techniques d'irrigation de surface en trois groupes principaux : irrigations par submersion, irrigations par ruissellement, irrigations par rigoles d'infiltration.

Avantages :

- Matériel d'irrigation simple ;
- Cout faible;
- Pas d'équipement pour la mise sous pression de l'eau ;
- Protège contre le gel.

Inconvénients:

- Tassement du sol ;
- Pertes en d'eau importantes ;
- Nécessite une évacuation de l'eau ;
- Erosion du sol ;
- Diminution de la perméabilité du sol.

VI.2-Irrigation par aspersion :

Avec l'aspersion, l'eau d'irrigation est amenée aux plantes sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression. Les asperseurs sont généralement disposés en carré, dont le côté est choisi dans la série des écartements normalisés.

Avantages :

- Possibilité d'automatisation du système;
- Nécessite moins de main d'œuvre ;
- économie d'eau ;
- Pas d'aménagement préalable;

Inconvénients:

- Le cout relativement élevé en particulier les premiers investissements ;
- Tassement du sol ;
- Une évaporation intense si les goutte d'eau sont fines;
- Non homogénéité de l'arrosage en cas de vent.

VI.3-irrigation localisée

On appelle irrigation localisée les systèmes qui consistent à répartir l'eau d'irrigation sur la

parcelle par un réseau de conduites fixes sous une faible pression et aussi à localiser l'apport d'eau au voisinage des plantes cultivées. Dans ce cas, seule une fraction du volume du sol exploitable par les racines sera humidifiée. Les débits apportés à chaque zone humidifiée sont faibles (quelques litres à quelques dizaines de litres par heure, selon les systèmes). L'irrigation s'effectue à faible dose et forte périodicité (souvent journalière).

La micro irrigation, nom donnée à l'irrigation localisée sur le plan international. Elle consiste à apporter sur une partie du sol seulement (les zones utilisées par la plante au voisinage des racines) par petites doses fréquentes (système goutte à goutte, mini diffuseur, véhiculé par un faible débit).

VI.3.1- Caractéristiques de l'irrigation localisée

L'installation à la parcelle est entièrement fixée, n'arrose qu'une fraction du sol donc on limite la surface mouillée, de ce fait on limite les pertes par évaporation, on utilise de faibles débits (2 à 12 l/h) avec une faible pression (souvent 1 bar), on met en œuvre des équipements légers, les transferts d'eau sont faciles, donc l'alimentation hydrique des plantes plus régulière, il s'en suit une meilleure efficacité de l'eau d'irrigation, elle convient bien à l'irrigation fertilisante.

Avantages :

Les avantages de cette technique sont :

a) Économie d'eau importante qui peut atteindre plus de 50 % par rapport à l'irrigation à raie car les doses étant faibles, les pertes par percolation se trouvent limitées.

b) Pression de fonctionnement très faible : La pression nominale de fonctionnement des distributions est en générale de 10 m.c.e.

c) Réduction des mauvaises herbes : La localisation de l'eau limite le développement des adventices (mauvaise herbe).

e) Réduction du tassement du sol et maintien d'une structure favorable.

f) la technique la plus adaptée pour les eaux épurées.

g) d'autres possibilités favorables :

-Possibilité d'arrosage sous paillage plastique (fraisier).

-Possibilité d'automatiser le réseau.

-Possibilité de l'utiliser pour la fertirrigation.

Inconvénients:

Les inconvénients majeurs de cette technique sont résumés comme suit :

- a) Leur coût très élevé en investissements, qui peuvent être amortis après quelques années d'exploitation
- b) l'obstruction des goutteurs dans le cas d'irrigation avec une eau chargée ;
- c) Leur emploi est réservé aux cultures pérennes et maraîchères, et ne s'adaptent pas aux cultures en plein champ.

VI.3.1 Composition d'une installation goutte à goutte

1- Point de fourniture d'eau :

Une crépine filtrante peut être nécessaire si la ressource en eau, constituée par un petit barrage (lac collinaire) ou un cours d'eau, contient de la matière organique ou des particules en suspension, mais non si elle est relativement propre (Veschambre & Vaysse, 1980).

2- L'unité de tête :

Cette unité est reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des porte-rampes ou même des rampes.

Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles, azote en particulier : c'est un petit récipient sous pression avec une entrée et une sortie.

3. Conduites et rampes

- La conduite principale

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte-rampes. Elle peut être en amiante ciment, en PVC rigide ou en acier galvanisé comme en irrigation par aspersion. Pour les petites installations, du polyéthylène haute densité peut également être utilisé.

- Le porte-rampes

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

- Les rampes

Ce sont les conduites qui généralement en PEBD (polyéthylène basse densité), et sont équipés de distributeurs. Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé.

- Les distributeurs

Les distributeurs constituent la partie essentielle de l'installation. C'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (quelques l/h). Il existe de nombreux types différents, des ajutages ou des mini diffuseurs dont le débit est un peu plus important (quelques dizaines de l/h).

Différents types de distributeurs

- Goutteurs: les plus utilisés ont des débits de 2 l/h pour les cultures maraîchères et de 4 l/h pour les cultures pérennes. Ils sont placés en dérivation, en ligne ou intégrés dans les rampes.

- Gaines: destinée aux cultures maraîchères, peut être utilisée pour les vergers; elles assurent conjointement un rôle de transport et de distributeur.

- Tubes poreux: la paroi à structure poreuse laisse passer l'eau, ils sont généralement enterrés.

- Mini diffuseurs: ils sont toujours placés en dérivation, fixés directement sur la rampe, fonctionnent comme de petits asperseurs statiques ne couvrant qu'une partie de la surface du sol au voisinage des cultures.

a- Qualité de l'eau

C'est un élément essentiel dont vont dépendre les risques de colmatage des distributeurs. Les eaux de mauvaise qualité (trop chargées) sont généralement des eaux de surface (rivière, canaux lacs, bassins) riches en impuretés sous forme minérale ou organique. Si les éléments les plus gros sont retenus par une filtration efficace, les éléments très fins par contre traversent les filtres et se déposent à l'intérieur des distributeurs entraînant peu à peu une diminution de leur débit.

Dans ce cas, on utilisera essentiellement des goutteurs en ligne à cheminement long non uniforme, ayant un débit de 4 l/h.

b- Nature du sol

La nature du sol permet de choisir entre mini diffuseurs et goutteurs. Dans certains sols très filtrants, sableux ou caillouteux comportant une nature grossière, pour lesquels la diffusion latérale de l'eau est faible, ainsi que dans certains sols argileux comportant des argiles gonflantes dont la dessiccation entraîne la formation de fentes retraites.

Pour tous les autres types de sol, des goutteurs de 2 ou 4 l/h conviennent, d'autant que les investissements nécessaires sont dans ce cas plus faibles.

c- Nature des cultures

Pour les cultures pérennes, telles que les arbres fruitiers, vignes, ou l'installation est fixe les distributeurs en ligne ou en dérivation sur la rampe peuvent être envisagés.

Par contre, dans le cas des cultures annuelles ou les rampes doivent être enroulées ou déroulées lors de la mise en place de la culture et pour la récolte, on évitera les goutteurs en dérivation faisant saillie sur la rampe, au bénéfice des goutteurs en ligne, des goutteurs intégrés dans la rampe, des gaines souples.

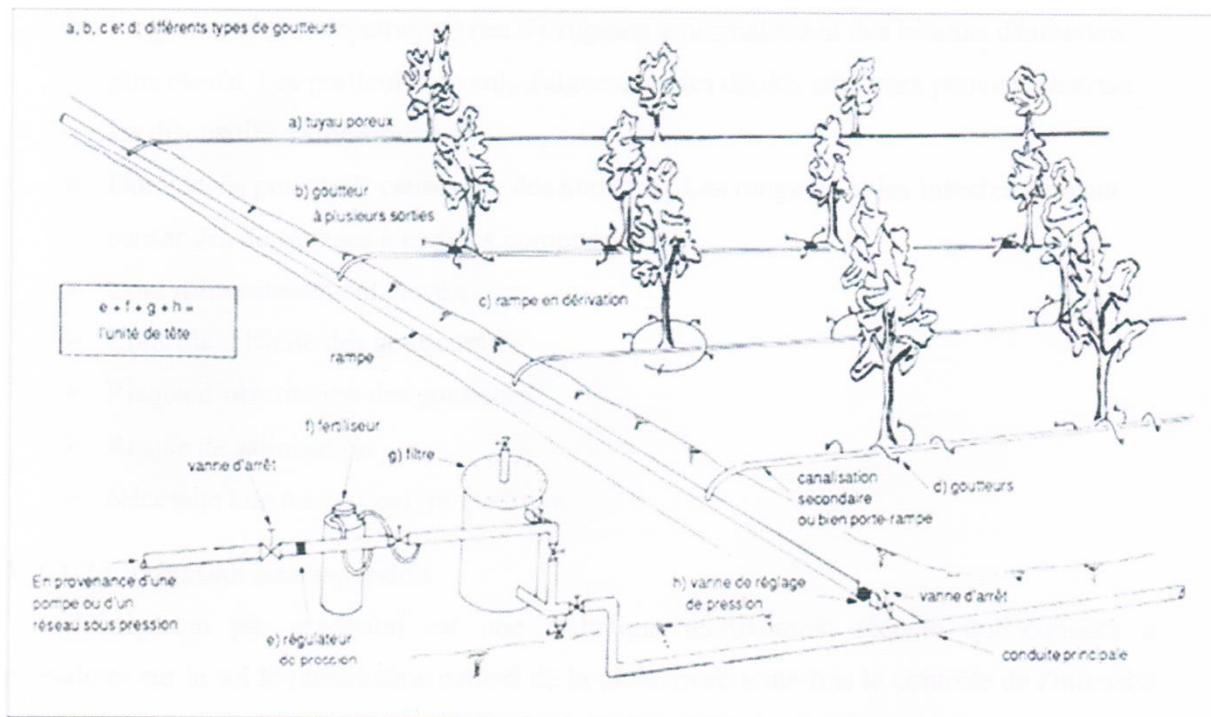


Figure VI.1 : Schéma type d'un réseau d'irrigation en goutte à goutte

Conclusion :

En tenant compte des conditions climatiques de la région d'étude, de la nature du sol, et l'aptitude culturale on peut choisir entre l'irrigation par aspersion ou par le goutte à goutte mais tant que notre source d'eau est une STEP (les eaux épurées) alors on est obligé de travailler avec le goutte à goutte.

Introduction

Le présent chapitre concerne le dimensionnement du réseau d'irrigation localisée (le système goutte à goutte), dont les principales caractéristiques ont été définies précédemment. Pour ce projet, nous avons choisi d'étudier la culture de la tomate qui connaissent un engouement dans la région de Jijel, et cela vu les qualités agronomiques et commerciales de cette culture.

VII.1. Données générales

Le dimensionnement du réseau d'irrigation localisée nécessite la connaissance de données de base comme la surface de la parcelle, les besoins journaliers et le temps maximum journalier de travail.

Le réseau d'irrigation sera installé sur l'ilot n° 8 alimentée par la borne n° 8 (borne à une prise) et dont les pressions calculées sont de l'ordre de 2.5 bars, ce qui est largement suffisant. La surface de l'exploitation est de 4,57 hectares.

Culture : Tomate

- Espacement entre arbres : 1 m.
- Espacements entre rangs : 1 m.
- Besoins de pointe 209 mm.

Caractéristique du goutteur :

- Débit nominal : 4l/h.
- Pression nominal : 10 m.c.e.
- Espacement des goutteurs : 1 m.

Le nombre de goutteurs par arbre : 1

VII.2. Besoins journaliers

En micro-irrigation, les apports d'eau étant localisés sur une portion très faible de la surface du sol située au voisinage des plantes, donc à l'ombre du feuillage, la part d'évaporation directe à partir du sol est réduite (Ollier & Poirée, 1981).

On applique alors à L'ETM un coefficient de réduction : K_r

K_r dépend du taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) pour les plantes adultes et peut être calculé par diverses formules proposées ci-après :

- KELLER et KARMELI (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0.85}$$

- La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s)$$

- La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s$$

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

$K_r = 0.71$ selon Keller et Karmeli.

$K_r = 0.80$ selon Freeman et Garzoli.

$K_r = 0.70$ selon Decroix (CTGREF).

On prendra un coefficient $K_r = 0.80$

$$b_j = B * K_r$$

B : besoin brut journalier => $B = 209/30 = 6.96 \text{ mm/j}$

$$b_j = 6.96 * 0.8 = 5.57 \text{ mm/j}$$

VII.3. Dose nette (dose pratique)

La deuxième étape en micro-irrigation, est la détermination d'une fraction ou pourcentage d'humidification du bulbe humide dans la zone racinaire. La différence par rapport aux autres systèmes (goute à goutte ou par aspersion) est qu'il ne s'agit plus d'humidifier uniformément la totalité du sol sur une même profondeur h :

La dose pratique (nette) qui correspond à la RFU étant calculée comme suit :

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

Tel que : H_{cc} : humidité à la capacité au champ (27 %).

H_{pf} : humidité au point de flétrissement (13 %).

Y : degré d'extraction de l'eau du sol (2/3).

Z : profondeur d'enracinement en (1000 mm).

D_a : densité apparente du sol ($D_a = 1$).

P : Pourcentage du sol humidifié, il est calculé comme suit :

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

n : Nombre de point de distribution par arbre (égal à 1) ;

S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre (0,5 m) ;

S_h : Largeur de la bande humidifiée (0,5 m) ;

S_r : Ecartement entre rangs d'arbre (1) ;

S_a : espacement des arbres sur les rangs (1).

$$P = (1 \cdot 0.5 \cdot 0.5) / (1 \cdot 1) = 0.25 = 25\%$$

$$D_p = (27 - 13) / 100 \cdot 2/3 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 0.25 = \mathbf{23.33\text{mm}}$$

VII.4. Calcul de la dose brute

$$D_{brute} = \frac{D_p}{C_u \cdot eff} = \frac{23.33}{0.9 \cdot 0.9} = 29.8 \text{ mm / mois}$$

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

Eff : efficacité du réseau d'irrigation $Eff = 90\%$.

VII.5. Fréquence des arrosages

La fréquence des arrosages se calcule à partir des besoins en eau journaliers de la culture et de la dose nette apportée à chaque arrosage. La fréquence d'arrosage (intervalle entre 2 arrosages) est donnée par la formule suivante :

$$Fr = \frac{\text{Dose nette}}{bj} = \frac{23.33}{5.57} = 4.18 \text{ jours}$$

Donc on prend un intervalle de **4 jours**.

On recalcule la nouvelle dose réelle : $Dr = 4 * 5.57 = \mathbf{22.28 \text{ mm}}$

Et la dose brute :

$$D_{brute} = \frac{Dr}{Cu * \text{eff}} = \frac{22.28}{0,9 * 0,9} = \mathbf{27.5 \text{ mm}}$$

VII.6. Durée d'arrosage par mois

$$\theta = \frac{Db * Sa * Sr}{n * qg} = \frac{27.5 * 1 * 1}{1 * 2} = 13.75 \text{ heures/mois}$$

VII.7. Durée d'arrosage journalier :

$$Dj = \frac{\text{durée d'arrosage}}{Fr} = \frac{13.75}{4} = 3.43 \text{ heures}$$

VII.8. Nombre de poste :

Le nombre de poste par jour est défini comme suit :

$$N = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = \frac{22}{3} = 7.33 = 7 \text{ postes}$$

VII.9. Surface de poste

$$Sp = \frac{\text{Surface totale}}{\text{Nombre de poste}} = \frac{4,57}{7} = 0,65 \text{ ha}$$

VII.10. Calculs hydrauliques

VII.10.1 .Conditions hydrauliques

La variation maximale du débit entre goutteur ne doit pas dépasser 10% selon la règle de Christiansen

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

La variation maximale de la pression :

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

Telle que :

q(g) : débit nominal du goutteur.

H(n) : pression nominal.

X : exposant en fonction du type du matériau de goutteur =0.5m

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

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

$$\Delta H (\max) = \Delta H_{lin} + \Delta H_{sin}$$

$$\Delta H_{lin} = 90\% \cdot \Delta H (\max) = 1.8 \text{ m}$$

$$\Delta H_{sin} = 10\% \cdot \Delta H (\max) = 0.2 \text{ m}$$

On admit que :

- 1/3 de perte de charge linéaires pour les portes rampes = 0.6 m.c.e
- 2/3 de perte de charge linéaire pour les rampes = 1.2 m.c.e

VII.10.2. Le débit

$$Q_r = Q_g * N_r$$

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

Avec:

Q_r : Débit de rampe.

Q_g: Débit de goutteur.

N_{g/r} : Nombre des goutteurs par rampe.

N_r : Nombre des rampes.

Q_{pr}: Débit de porte rampe.

D'où :

La longueur de la rampe (L_r) : 74 m.

La longueur de la porte rampe (L_{pr}): 140 m.

La longueur de la conduite secondaire (L_s) : 1 m.

VII.10.2.1. Le nombre d'arbres par rampe

$$N \text{ arbres} = L_r / E_r = 74 / 1 = 74 \text{ arbres}$$

VII.10.2.2. Nombre de goutteurs par rampe

$N_g = N_{arbres} * n = 74 * 1 = 74$ goutteurs

VII.10.2.3. Le nombre de rampes

$N_r = L_{pr}/E_r = 140/1 = 140$ rampes

VII.10.2.4. Débit de la rampe

$$Q_r = N_g * Q_g$$

$$Q_r = 74 * 4 = 296 \text{ l/h}$$

VII.10.2.5. Débit de la porte rampe

$$Q_{pr} = Q_r * N_r = 296 * 140 = 41440 \text{ l/h}$$

VII.10.2.6. Débit de la conduite secondaire

Etant donné que nous avons 1 porte rampe :

$$Q_{csl} = Q_{pr} * N_{pr} = 41440 * 1 = 41440 \text{ l/h.}$$

VII.11. Dimensionnement des différentes parties du réseau :

pour le calcul des dimensions des canalisations (rampe et porte rampe), on propose que les rampes soient en PEBD ou PEHD.

le diamètre de rampes ainsi que des porte rampes est calculé d'après les formule suivante :

$$\phi_r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r) * 2,75}{0,478 * Q(r)^{1,75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = \left[\frac{1,2 * 2,75}{0,478 * 296^{1,75} * 74} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = 13,40 \text{ mm}$$

$$\phi_{pr}(cal) = \left[\frac{P.d.c(pr) * 2,75}{0,478 * Q(pr)^{1,75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = \left[\frac{0,6 * 2,75}{0,478 * 41440^{1,75} * 140} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = 109,57 \text{ mm}$$

Avec :

- $Pdc(r)$: la perte de charge dans la rampe.
- $Q(r)$: le débit de la rampe en l/h.
- $L(r)$: la longueur de la rampe en m.
- $\phi_r(cal)$: le diamètre de rampes.
- $\phi_{pr}(cal)$: le diamètre de porte rampe.

VII.12. Vérification des pertes de charges :

Pour la détermination des pertes de charges des différents tronçons de la canalisation après choix du diamètre, on applique la formule de « Tison ».

La perte de charge unitaire

$$i = \frac{0,478}{2,75} \cdot D^{-4.75} \cdot Q^{1.75}$$

La perte de charge le long de la conduite en (m)

$$j = \frac{L}{2.75} \cdot i$$

Où :

L : la longueur de la conduite ;

Q : débit (l/h) ;

D : diamètre intérieur de la canalisation (mm) ;

Tableau VII.1 : Caractéristique de la conduite de la rampe

Culture	Surface (ha)	Lr(m)	Ng	Qr (l/h)	hr(m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	hcal(m)
Tomate	4,57	74	74	296	1,2	13.44	16	0.19

La valeur de la perte de charges calculée est inférieure à 1.2 mce (hr max).

Tableau VII.2 : Caractéristiques de la conduite de la porte rampe

Culture	Surface (ha)	Lpr(m)	Nr	Qpr (l/h)	hpr(m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	hcal(m)
Tomate	4,57	140	140	41440	0.6	109.57	110	0.22

La valeur de la perte de charges calculée est inférieure à 0,6 mce (hpr max).

D'après les deux tableaux précédents, on voit que les pertes de charges totales n'ont pas dépassé la limite imposée par la règle de Christiansen $\Delta H (\max) = 0,41 < 2$.

VII.13. Calcul des diamètres de la conduite secondaire

La conduite secondaire alimente l'ilot n° 8 ayant des surfaces respectivement de 4,57.

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1,05 m/s tel que :

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

Avec :

Q : débit de la conduite considérée (m³/s);

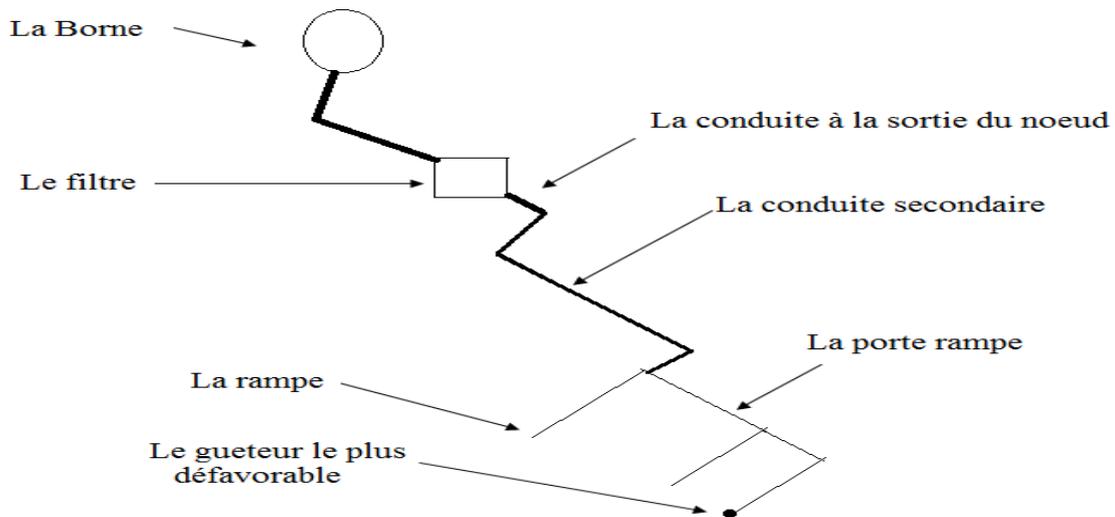
V : Vitesse d'écoulement (m/s).

Tableau VII.3 : Caractéristique de la conduite secondaire

Culture	Surface ha	L(m)	Q (m ³ /s)	V supposée (m/s)	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vcal (m/s)	hcal (m)
Tomate	4.57	1	0.0115	1.05	118.17	125	0.94	0.5

VII.14. La pression d'eau à la borne de distribution

La pression d'eau que doit fournir la borne de distribution à la parcelle est égale à la somme de la pression nominale (10 m.c.e) plus la somme des pertes de charges de cheminement de la borne d'irrigation jusqu'au goutteur le plus défavorable (éloigné ou élevé).



	La rampe	Porte rampe	Conduite secondaire
Longueur(m)	74	140	1
Diamètre(m)	16	110	125
Débit (m ³ /s)	$8.22 \cdot 10^{-5}$	0.0115	0.0115
Pertes de charge (m)	0.19	0.22	0.5

A partir du tableau on peut déterminer la perte de charge totale entre la borne d'irrigation jusqu'à le goutteur le plus défavorable ; Donc la pression demandée à la borne égale à la pression nominale plus la somme des pertes de charges.

$$P = 10 + 0,19 + 0,22 + 0,5 = 10,91 \text{ m}$$

Les pertes de charges ainsi que la pression calculée est de l'ordre de 1.1 bars < 2.5 bars la pression assurer par la borne

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le dimensionnement d'un réseau goutte à goutte, pour un type de culture (la tomate), et ces différentes parties (goutteur, rampe, porte-rampe, conduite

secondaire et conduite principale) et on a vérifié que la borne assure la pression nécessaire pour le fonctionnement du réseau.

Introduction :

Après l'étude ou l'élaboration d'un tel projet, un aspect économique doit être pris en considération, pour cette raison on doit faire une estimation des frais.

VIII.1.Estimation du devis du réseau d'irrigation et d'adduction :

VIII.1.1 Dépenses des équipements :

Les prix unitaires des pièces et accessoires sont mentionnés dans les tableaux suivant :

Tableau VIII.1: Facture des pièces de réseau de distribution.

Pièces	Prix unitaire(DA)	Unité	Quantité	Total
Tube Ø 75 PEHD	404	m/l	134	54136
Tube Ø 90 PEHD	188	m/l	697	131036
Tube Ø 110PEHD	721	m/l	1137	819777
Tube Ø 125 PEHD	934	m/l	449	419366
Tube Ø 160 PEHD	1500	m/l	580	870000
Tube Ø 200PEHD	2397	m/l	707	1694679
Tube Ø 250 PEHD	3709	m/l	231	856779
Tube Ø 310 PEHD	5881	m/l	477	2805237
Tube Ø 400 PEHD	9500	m/l	799	7590500
Tube Ø 500 PEHD	14816	m/l	877	12993632
Borne S1 D65	675850	U	12	8110200
Borne S2 D65 D65	896570	U	4	3586280
Borne S1 D100	957660	U	6	5745960
Borne S2 D100 D100	124550	U	3	373650
Borne S2 D100 D65	114380	U	1	114380
Borne S3 D100 D65	168750	U	1	168750
Vanne Ø 75	8500	U	1	8500
Vanne Ø 90	10500	U	5	52500
Vanne Ø 110	12000	U	10	120000
Vanne Ø 125	13150	U	2	26300
Vanne Ø 160	14000	U	4	56000
Vanne Ø 200	18000	U	5	90000
Total				46687662

Tableau VIII .2 : Facture des pièces d'adduction, et bache.

Pièces	Prix unitaire(DA)	Unité	Quantité	Total
Adduction Ø500	13800	m/l	2700	37260000
Bâche	5000 DA	M ³	910	4550000
Total				41810000

Tableau VIII .3 Facture des pièces de réseau localisé

Pièces	Prix unitaire(DA)	Unité	Quantité	Total
Tube Ø16	30	m/l	74	2220
Tube Ø110	721	m/l	140	100940
Tube Ø125	934	m/l	1	934
Gouteur	10	U	74	740
Vanne Ø125	13150	U	1	13150
Total				117984

VIII.1.2 Dépenses des travaux :

Le prix de terrassement est égal à :

Pour les déblais :

$$F_{deb} = V_{deb} \cdot K_{deb}$$

Kdeb : prix de 1 m³ de déblai=300 DA

Vdeb : volume total de déblai

Pour les remblais :

$$F_{rem} = V_{rem} \cdot K_{rem}$$

Krem : prix de 1 m³ de remblai=100 DA

Vrem: volume total de remblai

VIII.1.3.Calcul du volume de déblai et remblai :

La pose en terre des conduites s'effectue dans un tranché dont la largeur de fond B sera donnée par la formule suivante :

$$B=D+2\times 0,3$$

D : diamètre de la conduite (m)

La profondeur de fouille est en fonction du diamètre de la conduite, de la température du lieu (max, min) et les sollicitations des charges mobiles.

$$H\geq D+0,8$$

$$\text{Déblai} =L.H.B$$

$$\text{Remblai} = \text{déblai} - (\pi D^2/4).L$$

Tableau VIII .3.Calcul de terrassement

Paramètres	Ø (mm)	B (m)	H (m)	L(m)	Déblai (m3)	Remblai (m3)
Conduite ADDUCTION	500	1,1	1,3	2700	3861	3331,13
Conduite du réseau	75	0,675	0,875	134	79,14	78,55
Conduite du réseau	90	0,69	0,89	697	428,03	423,60
Conduite du réseau	110	0,71	0,91	1137	734,62	723,82
Conduite du réseau	125	0,725	0,925	449	301,11	295,60
Conduite du réseau	160	0,76	0,96	580	423,17	411,51

Conduite du réseau	200	0,8	1	707	565,60	543,40
Conduite du réseau	250	0,85	1,05	231	206,17	194,84
Conduite du réseau	310	0,91	1,11	477	481,82	445,84
Conduite du réseau	400	1	1,2	799	958,80	858,45
Conduite du réseau	500	1,1	1,3	877	1254,11	1082,00
Total					9293,57	8388,73

Donc pour le déblai:

$F_{deb} = 9293,57 \times 300 = 2788071 \text{ DA}$

Pour le remblai :

$F_{rem} = 8388,73 \times 100 = 838873 \text{ DA}$

Donc : Le total **3626944 DA**

Conclusion :

On constate que le coût de la projection du réseau d'irrigation et l'adduction est évalué à **92242590 DA**

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de la présente mémoire est de dimensionner le système d'irrigation du périmètre de BELGHIMOUZ (W. Jijel) qui se localise à l'aval de la station d'épuration d'El-Milia.

La zone d'étude présente une géomorphologie quasi plane. L'analyse climatologique montre que la région possède un climat subhumide avec une pluviométrie assez insuffisante pour l'obtention de rendements acceptables des différentes cultures pour la saison estivale (été).

L'aptitude des sols reste bonne pour les cultures maraichères ainsi que les cultures arboricoles.

Les analyses de l'eau de la STEP montre que c'est une eau acceptable pour l'irrigation avec aucun risque sur les cultures.

En basant sur la méthode de Penman-Monteith modifiée pour estimer l'évaporation potentielle (ETP) et la méthode basée sur une fraction de la pluie totale pour le calcul de la pluie efficace, nous avons pu estimer les besoins en eau d'irrigation pour les cultures de la zone à irriguée.

L'étude comparative entre les techniques d'irrigation, nous a montré que le système d'irrigation par goutte à goutte est le plus convenable pour les cultures proposées. Permet une meilleure gestion de la ressource en eau et une meilleure conservation du sol.

Un réseau hydraulique classique est proposé, composé de conduites circulaires enterrées de diamètres entre 75 et 500 mm pour le réseau de distribution. Le matériau de canalisation est le PEHD en PN 10 bars.

Références bibliographiques

Benkaci A.T. (2016-2017). Travaux dirigés : dimensionnement un réseau sous pression, Document non publié, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida

TOUAIBIA B. (Cours d'Hydrologie 3ème Année et Régularisation des débits 4ème année) ENSH, Guerouaou (Blida).

MAJDOUB.(2014-2015).travaux dirigés. Calcul des paramètres du réseau goutte a goutte. Document non publié, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida

Aouata I. (2014). Etude de permettre d'irrigation d'Ain Kercha partie ouest wilaya d'Oum El Bouaghi. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida ;

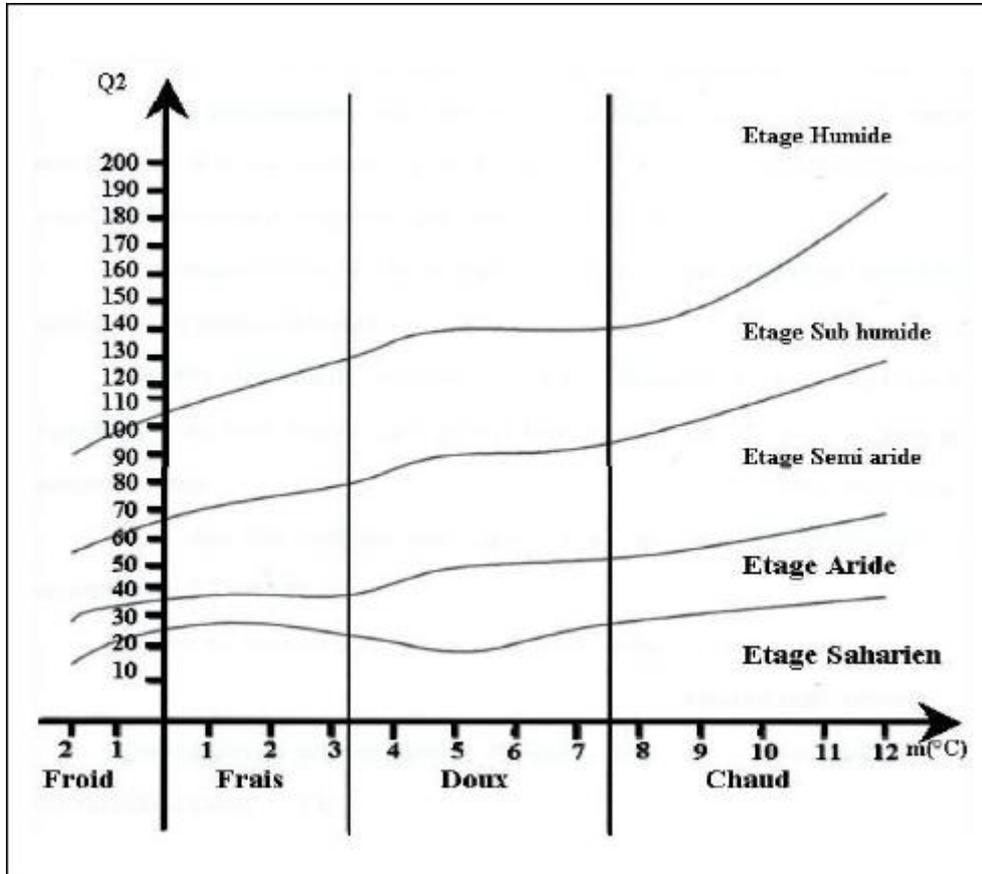
MESSAHEL MEKKI, 1988 : Irrigation au goutte à goutte (Régime d'irrigation) Edition O.P.U.Alger

BULLTIN DE FAO N° 36, L'irrigation localisée (Calcul, mise en place exploitation, contrôle du fonctionnement).FAO 1983.

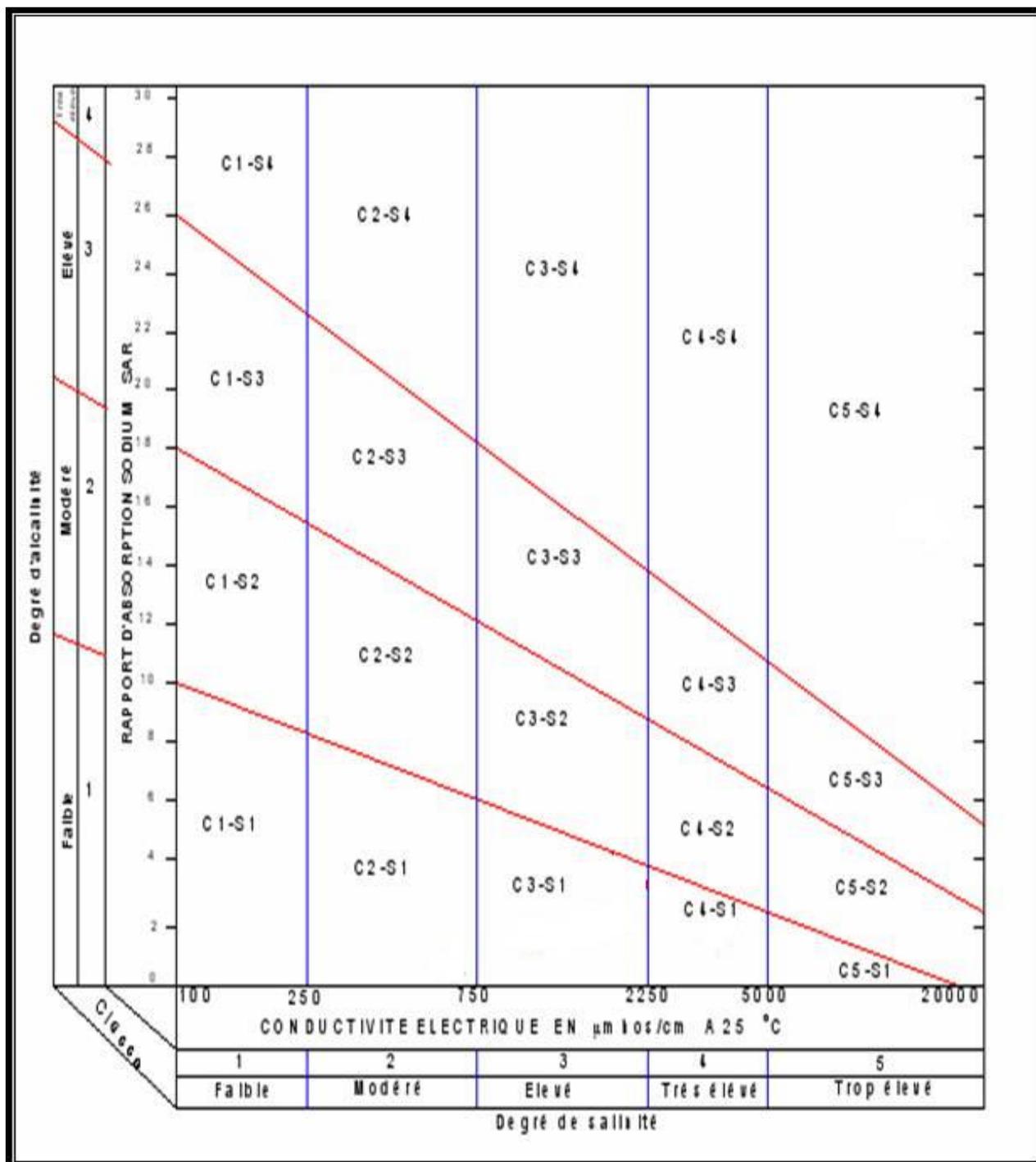
BULLTIN DE FAO N° 24, Les besoins en eau des cultures, 1975 (A C* E F)

Annexes

ANNEXE 1 : Diagramme bioclimatique d'Emberger



ANNEXE 2: Diagramme de classification des eaux d'irrigation



ANNEXE 3 : Caractéristiques hydriques de quelques sols

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

ANNEXE 4 : Coefficient culturel Kc de chaque culture

2. COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc)

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

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

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

