

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et Drainage

THEME :

**AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DE LA
RIVE DROITE DU PERIMETRE DU KSOB
(W.M'SILA)**

Présenté par :

M^{elle} BENSAAD Hadjer

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

M^r T. KHETTAL	M C.A	Président
M^{me} A.AZIEZ	M A.A	Examinatrice
M^{me} D.DJODAR	M A.A	Examinatrice
M^r D.KOLIAI	Ingénieur en Chef	Examineur
M^{me} S.LEULMI	M A.A	Examinatrice
M^{me} L.S.BAHBOUH	M A.A	Promotrice

Septembre 2012

REMERCIEMENTS

Ces quelques lignes ne vont jamais exprimer à la juste valeur ma reconnaissance à l'égard de ma promotrice, M^{me} L.S.BAHBOUH, pour toute son aide, sa générosité et sa compréhension.

Je tiens à remercier vivement :

- M^{me} W.AZIEZ, enseignante à l'E.N.S.H, pour son aide et son orientation;
- Les membres de la bibliothèque de l'E.N.S.H, pour leurs précieuses aides ;
- Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.
- Un merci particulier à M^f : TARIK HOCINI pour son aide ; et pour ses précieux conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer.

Mes remerciements vont à tous les enseignants de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique et particulièrement à ceux et celles qui ont contribué à ma formation.

HADJER

DÉDICACES

Je consacre ce modeste effort

❖ A mes chers parents, à ma source de joie et d'aspiration, je vous remercie pour votre dent de donner et votre pouvoir de m'apporte la confiance et le bonheur pour contenue

❖ M^{me} : L.S.BAHBOUH pour ses aides et son encouragement

❖ A ma sœur aimable MERIEM

❖ A mes frères LAMINE, ATALAH

❖ Mes meilleurs amis : *MIMI ; DAOUIA, RAWA, WISSAM, SANA, ALLALI SARA, HAMZA, TARIK.*

❖ Sans oublier tous mes amis : ALYA, ZINEB, YASMIN, MOHAMED, AYOUB, ZIDAN

❖ A tous les enseignants de l'ENSH t qui m'ont accompagné durant mes études.

BENSAAD HADJER

SOMMAIRE

TITRE.....	page
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : : Analyse des ressources naturelle

Présentation générale

I-1- Situation géographique et administrative.....	2
I-2- Climatologie	4
I-2-1 Pluviométrie.....	4
I-2-2 La Température.....	5
I-2-3- Le vent.....	6
I-2-4- L'humidité relative	6
I-2-5- Le Siroco.....	7
I-2-6- L'insolation	7
I-2-7 L'évaporation.....	8
I-2-8- Les indices climatiques	8
a. L'indice climatique de MARTON.....	8
b. Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	9
I-3- Géologie	14
I-4- Hydrogéologie.....	14
I-5- Caractéristiques hydrodynamiques.....	14
I-5-1 Relif.....	15
I-5-2- Géomorphologie.....	15
I-5-3- Pédologie.....	15
I-6- Conclusion	16

CHAPITRE II : Hydrologie

II-1- Introduction	17
II-2- Homogénéité de la série pluviométrique.....	18
II-3- Etude de l'échantillon et choix du type de loi.....	20
a. Traitement de données.....	20
b. Ajustement de la série pluviométrique.....	20

SOMMAIRE

b.1.Ajustement à la loi Normale (GAUSS).....	21
b.2.Ajustement à la loi Log-Normale (GALTON).....	24
c. Test de validité d'un ajustement.....	26
c.1.Test de validité de l'ajustement à la Normale.....	26
II-4- Détermination de l'année de calcul.....	27

CHAPITRE III : Ressource en eau

III-1- Introduction	29
III-2-Présentation du barrage.....	29
III-3-Qualité de l'eau d'irrigation.....	29
1) La salinité.....	29
2) Le PH.....	29
III-4-Les limites admissibles.....	29
a)- La conductivité électrique.....	30
b)- Le SAR (sodium Absorption Ration).....	30
III-5- Conclusion.....	34

CHAPITRE IV : Besoin en eau

IV-1- Introduction	35
IV-2-Choix de l'assolement.....	35
IV-3- Besoin en eau des cultures	36
IV-3-1-Détermination de l'évapotranspiration (ET0).....	36
IV-3-1-1 - Méthodes d'évaluation d'évapotranspiration.....	36
IV -4- La pluie efficace.....	38
IV-5-L'évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ETC).....	39
IV-6- Détermination des besoins d'irrigation des cultures d'assolement.....	39
IV-7-Besoins nets en eau d'irrigation.....	47
IV-7-Besoins mensuel en eau d'irrigation des cultures.....	48
IV-8-Besoin en eau pour lessivage.....	48
IV-9-Calcul du débit fictif continu en mois de pointe	51
IV-10- Conclusion.....	52

CHAPITRE VI : Réseau de distribution

SOMMAIRE

V-1- Introduction	53
V-2-Plan de bornage.....	53
V-3- Implantation des bornes.....	53
V-4-Dimensionnement du réseau de distribution.....	54
V-4-1- Distribution au tour d'arrosage.....	54
V-4-2- Tour d'arrosage à la borne.....	55
V-4-3-Tour d'arrosage au niveau de l'antenne.....	55
V-5- Débit spécifique.....	55
V-5-1-Débit nécessaire a chaque borne.....	55
V-6-Matière des conduites.....	57
V-6-1Conduite en fonte.....	57
V-6-2- Conduite en acier.....	57
V-7- Choix du type des conduites.....	58
V-8-Calcul des diamètres.....	58
V-9-Equipement hydromécanique.....	65
V-9-1- Ventouses ou soupapes d'échappement	65
V-9-2- Puits de vidange.....	65
V-9-3- Vanne de sectionnement.....	65

CHAPITRE V : Technique d'irrigation

VI –1- Introduction	66
VI – 2-Technique d'irrigation.....	66
2-1-L'irrigation par aspersion.....	66
2-2- l'irrigation localisée.....	67
VI-3- L'irrigation gravitaire.....	67
3-1- L'irrigation par ruissellement.....	67
3-2-l'irrigation par submersion.....	68
VI-4- l'irrigation par infiltration.....	68
VI-5- Choix des techniques d'arrosage.....	69
VI-5-1- Les contraintes naturelles.....	69

SOMMAIRE

VI-6- les contraintes techniques et socio-économiques.....	69
VI-7- - Conclusion.....	71
CHAPITRE VII : Dimensionnement de la parcelle	
VII – 1- Introduction	72
VII- 2- Equipement de la parcelle pour l'irrigation localisé.....	72
VII- 3- Choix d'ilots type.....	73
VII-4- Besoins en eau journaliers.....	73
VII-5- Temps maximum de travail.	73
VII-6- Besoins journaliers en tenant compte de la réduction k_r	73
VII-7- Besoin d'irrigation brute.....	74
VII-8- pourcentage du sol humidifié	74
VII-9- Fréquence d'arrosages.....	75
VII-10- Fréquence des arrosages : espacement entre 2 arrosages	75
VII-11- La durée d'arrosage	75
VII- 12- durée d'arrosage journalier.....	75
VII-13- Nombre de poste	75
VII-14- Surface d'un poste.....	76
VII-15- Surface correspondant à une rampe.....	76
VII-16- Nombre de rampes par postes.....	76
VII-17- Nombre de goutteur par rampe.....	76
VII-18- Débit d'une rampe.....	76
VII-19- Calcul hydraulique.....	77
1) Type de goutteur.....	77
2) Le diamètre de la rampe.....	78
3) Les pertes de charge.....	78
4) Débit de porte rampe	78
5) Le diamètre de la porte rampe.....	78
VII-20-Conclusion.....	79
Conclusion générale.....	80

Liste des Figures

Figure I.1 : Plan de situation.....	3
Figure I.2 : Diagramme d'EMBERGER.....	11
Figure I.3 : Diagramme bioclimatique de GUAUSSEN.....	13
Figure II.1 : Graphe d'ajustement des données pluviométrique à la loi Normale.....	23
Figure II.2 : Graphe d'ajustement des données pluviométrique à la loi Log Normale.....	25
Figure III.1. Diagramme de classification des eaux d'irrigation.....	33

Liste des tableaux.

Tableau I.1: pluviométrie moyenne mensuelle.....	4
Tableau I.2: Températures moyenne mensuelles.....	5
Tableau I.3 : Vitesse moyenne mensuelle des vents (10 ans).....	6
Tableau I.4 : moyenne mensuelle de l'humidité relative.....	6
Tableau I.5 : Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco.....	7
Tableau I.6 : Insolation mensuelle moyenne (heures).....	7
Tableau I.7 : moyenne mensuelle de l'évaporation.....	8
Tableau I.8 : Classification du climat selon MARTON.....	9
Tableau II.1 : <i>Répartition</i> des pluies moyennes mensuelles et annuelles.....	18
Tableau II.2 : Test d'homogénéité.....	20
Tableau II.3 : Ajustement à la loi de Gauss.....	22
Tableau II.4 : Ajustement à la loi Log-Normal.....	24
Tableau II.5 : Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul.....	27
Tableau III.1 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....	29
Tableau III.2 : Classification des eaux en fonction du S.A.R.....	30
Tableau III.3 : résultats des analyses de l'eau	30
Tableau IV.1 :	
Tableau IV.2 : Evapotranspiration de référence (ET _o) de la zone d'étude selon Penman Monteith.....	37
Tableau IV.3 : Précipitation efficace dans la zone d'étude.....	38
Tableau IV.4 : Besoin en eau d'irrigation de la tomate.....	39
Tableau IV.5 : Besoin en eau d'irrigation de blé.....	40
Tableau IV.6 : Besoin en eau d'irrigation d'orge fourragé.....	41
Tableau IV.7 : Besoin en eau d'irrigation de poivron.....	42
Tableau IV.8 : Besoin en eau d'irrigation Carette.....	43
Tableau IV.9 : Besoin en eau d'irrigation d'olivier.....	44
Tableau IV.10 : Besoin en eau d'irrigation d'abricotier.....	45
Tableau IV.11 : Besoin en eau d'irrigation des cultures du périmètre k'sob.....	46
Tableau IV.12 : Détermination des besoins en eau des cultures.....	48
Tableau IV.13 : Détermination des besoins en eau des cultures pour lessivage.....	50

Tableau VI.1 : Calcul des débits de bornes.....	56
Tableau VI.2 : Calcul des pressions de borne.....	59
Tableau VII.1 : données générales.....	73

Liste des plans

Plans N°01 : périmètre du Ksob wilaya de M'sila

Plans N°02:Réseau de distribution

Plans N°03: Réseau goutte à goutte de la parcelle S₂₂

Plans N°04: Profil en long

الملخص

يندرج هذا العمل في إطار دراسة تهيئة الأراضي الزراعية للضفة اليمنى لمنطقة القصب بولاية المسيلة .

الهدف من هذه التهيئة هو تحويل شبكة السقي من السقي السطحي إلى شبكة السقي بالضغط من أجل توفير المياه و زيادة الفعالية .

استعملنا في ذلك نظام السقي بالتقطير .

RÉSUMÉ

Ce travail consiste en l'étude de l'aménagement hydro agricole de la rive droite du périmètre du ksob, situé de la wilaya de Msila.

Cet aménagement ; concerne la reconversion du réseau d'irrigation qui était gravitaire, en un réseau sous pression, en conduite.

A fin d'économiser l'eau et d'augmenter l'efficacité de même l'irrigation à la parcelle, de fera par goutte à goutte.

ABSTRACT

This work is included in the study of introducing the agricultural fields of the right region of El ksob Msila

The aim of this study is transforming the irrigation network from superficial irrigation to pressure irrigation in order to exploit water. In order to achieve this aim, we used the localized irrigation.

Chapitre I:

Analyse des ressources naturelles

INTRODUCTION GENERALE

La pratique de l'irrigation et la gestion convenable des apports d'eau joue un rôle prépondérant dans le développement socio-économique et social. En effet l'agriculture engendre un nombre important d'emploi dans les zones rurales mais ce développement est dépendant du climat et de la ressource en eau.

Le barrage du Ksob construit en 1940 a permis l'irrigation d'une grande partie de la plaine du hodna, mais en raison de son envasement et des sécheresses répétitives les dotations réelles en eau de surface n'ont jamais répondu aux besoins de l'irrigation.

L'adduction de l'eau du barrage vers la plaine se faisait par l'intermédiaire de canaux autoportés qui malheureusement ont été en partie endommagés par un séisme et par la négligence de la population rurale. Ce mode d'adduction s'est donc révélé peu efficace et surtout peu efficient vu les pertes d'eau tout le long du parcours.

Récemment le barrage a subi des travaux de surélévation afin d'augmenter sa capacité de retenue et de pouvoir ainsi irriguer plus d'hectares, cependant le système d'adduction choisie s'est porté sur le choix de conduites qui achemineront les volumes d'eau nécessaire jusqu'en tête du périmètre pour éviter toute perte d'eau.

C'est donc dans ce contexte que s'inscrit notre mémoire de fin d'étude.

Notre travail consiste à dimensionner le réseau d'adduction et le réseau d'irrigation à la parcelle du périmètre irrigué situé juste à l'aval du barrage du Ksob.

Présentation de la région***I-1 Situation géographique et administratives***

Le périmètre de l'aire d'irrigation du K'sob situé dans la wilaya de M'SILA et Borj-Argeridj est compris dans la grande plaine d'El-Hodna limité au nord par les monts homonymes et au sud par chott El Hodna

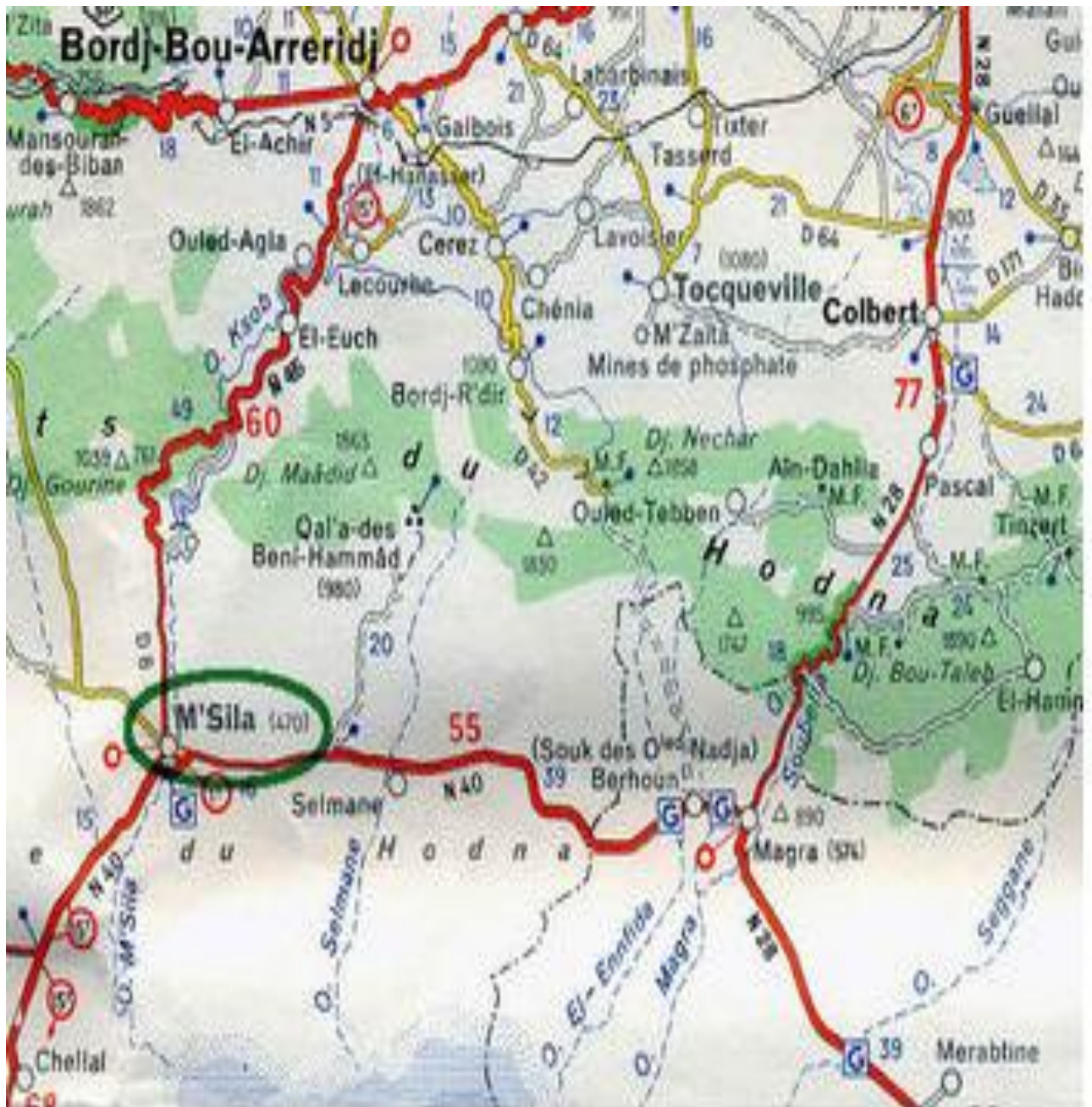
Le périmètre est traversé symétriquement par Oued K'sob qui court presque en parallèle aux routes qui relient, vers le nord le centre habité de M'SILA avec le barrage et vers le sud avec Bou-Saada.

La superficie du périmètre est de 14.500HA dominés et de 13.00HA irrigable, la surface considérée dans la rive droite de l'oued K'sob 950ha.

Longitude : 04° 30' E

Latitude : 35° 40' N

Altitude : 500 m



*plan de situation de
la wilaya de M'sila*

1/5000

I-2 Climatologie

L'étude climatologique a pour but de fournir les éléments nécessaires aux aménagistes pour dimensionner les ouvrages hydrauliques qui constituent un des facteurs principaux pour l'aménagement du territoire et le développement économique et social du pays.

Cette étude s'appuiera sur les observations effectuées sur les principaux réseaux climatologiques existants

Les différents éléments caractérisant le climat, sont principalement : les précipitations, la température, le vent, l'humidité relative de l'air, l'insolation,... Tous ces facteurs climatiques conditionnent d'une manière particulière le développement des végétaux. Il est important donc de connaître chacune de ces composantes, afin d'adapter les cultures au type de climat et sous lequel certaines pratiques doivent être prévues pour assurer une bonne production

Les données climatiques de la zone d'étude sont celles des observations effectuées sur les principales stations hydro pluviométrique de l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques (ANRH) et l'Office National de la Météorologie (ONM)

I-2-1 Pluviométrie

a)- Pluviométries moyennes mensuelles

Le tableau suivant montre la pluviométrie moyenne mensuelle observée sur une période de 25 ans (1981 à 2006) de la station k'sob

Tableau I.1 : Pluviométrie moyenne mensuelle :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totale
P(mm)	15.83	23.1 5	29.30	22.10	27.74	16.7 8	18.12	19.01	26.37	8.17	3.36	4.74	214.67

Source ANRH-ALGIER

D'après ce tableau on distingue :

Le périmètre reçoit une pluviométrie moyenne interannuelle de **214.67**mm,

la répartition saisonnière est comme suit :

- Saison pluvieuse de septembre à janvier ;
- Saison sèche de juin à août;

-Saison à pluviométrie moyenne février à mai.

I-2-2 La température

Pour mieux appréhender les variations à travers la station, une attention particulière sera accordée aux valeurs minimales et maximales qui ont un effet direct sur le milieu naturel

Tableau I.2 : Températures moyenne mensuelles

Le tableau suivant montre les températures moyennes mensuelles

Station				M'SILA									
Période				1995-2004									
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
T_{min} (°C)	3.8	4.7	8	10.9	16.2	21.4	24.8	24.2	19.2	14.6	8.3	5.1	13.5
T_{max} (°C)	13.9	16.7	20.6	23.4	28.8	35.1	38.4	37.7	31.5	26.2	18.8	14.6	25.5
T_{moy} (°C)	8.8	10.7	14.3	17.1	22.5	28.3	31.6	31	25.4	20.4	13.6	9.9	19.5
Source							Office Nationale de la Météorologie (ONM)						

Avec :

T_{min} : moyenne de tous les minimas observés pour chaque mois

T_{max} : moyenne de tous les maximas observés pour chaque mois

T_{moy} : moyenne mensuelle.

Pour cette station l'année est divisée en deux périodes l'une froide qui s'étale d'Octobre à Février et une période plus chaude qui s'étale de Mars à Novembre.

La moyenne mensuelle la plus élevée correspond au mois de Juillet 31.6°C, tandis que la plus basse correspond au mois de Janvier 8.8°C

La température moyenne interannuelle est de 19.5

I-2-3 Le vent

Il s'agit d'un facteur important aussi bien sur un plan agronomique que du point de vue de l'aménagiste puisque il consiste élément déterminant dans le choix de type d'irrigation (aspersion ou gravitaire).

Le tableau suivant (I.3) présente les vitesses moyennes des vents

Tableau I.3: Vitesse moyenne mensuelle des vents (10 ans)

Mois	Jan.	Févr.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
V (m/s)	3.8	4.1	4.2	5.1	4.7	4.5	4.7	4.4	3.9	3.5	4	4.2

Source : (O.N.M)

L'analyse de ce tableau montre une stabilité des vitesses tout le long de l'année,

I-2-4 Humidité relative

C'est un élément climatique très important dans le cycle hydrologique contrôlant entre autre l'évaporation du sol et le couvert végétal et qui représente le degré de saturation de l'air en vapeur d'eau.

Les données d'humidité relative mensuelles moyennes de la région sont présentées au tableau

Tableau I.4 : moyenne mensuelle de l'humidité relative

Station				M'sila									
Période				1995-2004									
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Humidité min(%)	51	45	41	38	35	29	27	26	37	43	51	57	40
Humidité max(%)	90	85	79	77	70	62	56	59	75	78	86	89	75
Humidité moy(%)	69	65	60	57.5	52.5	45.5	41.5	42.5	56	60.5	68.5	73	57.5
Source							Office Nationale de la Météorologie (ONM)						

Les valeurs minimales se produisent en Juin-Août et les maximales généralement en Décembre et Janvier

I-2-5 Le Sirocco

Définition

C'est un vent chaud et sec qui souffle du Sahara vers le littoral. Il est très néfaste pour les végétaux car il peut provoquer le flétrissement de la plante ainsi que les chutes de rendement, donc sa connaissance est primordiale pour le choix des espèces à préconiser dans le périmètre :

Le nombre de jours de sirocco dans la zone d'étude d'après le tableau. Le mois de Juillet et Août comptabilise le maximum de jours.

Tableau I.5: Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco

Mois	Jan.	Févr.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Sirocco	0	0	0	0	0	1	4	2	0	0	0	0

Source :(O.N.M)

On peut dire à partir de ce tableau qu'il y a une particularité dans la saison estivale où on distingue les vents chauds tels que (Juillet – Août).

I-2-6 L'insolation

Les valeurs mensuelles moyennes d'insolations en heure sont présentées au tableau.

Le nombre d'heures d'ensoleillement dans la région est élevé.

Tableau I.6 : Insolation mensuelle moyenne (heures) :

Mois	Jan.	Févr.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ins(H)	6.24	19.2	8.98	9.22	10.3	10.9	11.5	10.2	8.9	8.5	6.6	5.7

Source :(O .N.M)

D'après ce tableau on observe que l'insolation est importante.

I-2-7 L'évaporation

Les valeurs de l'évaporation du plan d'eau de barrage. Elles sont données par le tableau ci-dessous

Tableau I.7 : Moyenne mensuelle de l'évaporation

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
E(mm)	58	52	85	88.9	137	175	269	215	202	186.7	119.5	89.2	68.7

Source : (ANRH)

L'évaporation atteint son maximum au mois de juillet (**269 mm**), par contre au mois de février elle est à son minimum (**52 mm**)

I-2-8 Les indices climatiques

Par indices, nous entendons une codification du climat par des formules dans le but de voir l'interférence des différentes variables de ce climat et leur action sur les plantes. Ces formules se basent principalement sur deux facteurs essentiels :

Pluviométrie et température

Les indices les plus connus sont ceux de MARTONE (1926) et EMBERGER (1932)

a)- L'indice d'aridité de MARTONE

Cet indice permet de préciser le degré de sécheresse de la région et par conséquent de renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation.

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

Avec : P : précipitation moyenne annuelles en (mm)

T : température moyenne annuelle en (°C)

I_A : indice d'aridité

Les limites des climats d'après l'indice climatique de MARTONNE sont donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1.8 : Classification du climat selon MARTON

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

Pour :

$$P = 214.67\text{mm} \quad T = 19.5^\circ\text{C}$$

$$I_A = \frac{214.67}{19.5 + 10} = 7.27 \quad I_A = 7.27$$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus, que la région est soumise à un régime du climat est désertique et l'irrigation est indispensable.

b) Quotient pluviométrique d'EMBERGER :

Les technique est fondée sur un diagramme dressé par Mr EMBERGER qui nous renseigne sur le climat ainsi que le type d'hiver, dominants d'un région pour cela, nous avons, calculé par l'expression (1-2) quotient de Mr EMBERGER, que avons projeté sur le diagramme bioclimatique

$$Q = \frac{1000P}{\frac{M+m}{2}(M-m)} \quad (1-2)$$

Où Q : coefficient pluviométrique d'EMBERGER

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud

m : moyenne des minimas du mois le plus froid

Pour:

$$P=214.67\text{mm}; \quad M = 37.7^\circ\text{C} ; \quad m = 3.8^\circ\text{C}$$

$$M = 37.7 + 273 = 310.7 \text{ K}$$

$$m = 3.8 + 273 = 276.8 \text{ K}$$

$$Q = 2000 \cdot \frac{214.67}{(310.7)^2 - (276.8)^2} = 21.55$$

D'où $Q=21.55$

En portant la valeur de (Q) dans le diagramme bioclimatique d'EMBERGER, et en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid, on peut confirmer que notre région se situe dans :

- L'étage bioclimatique : Aride
- Sous étage : Hiver tempéré

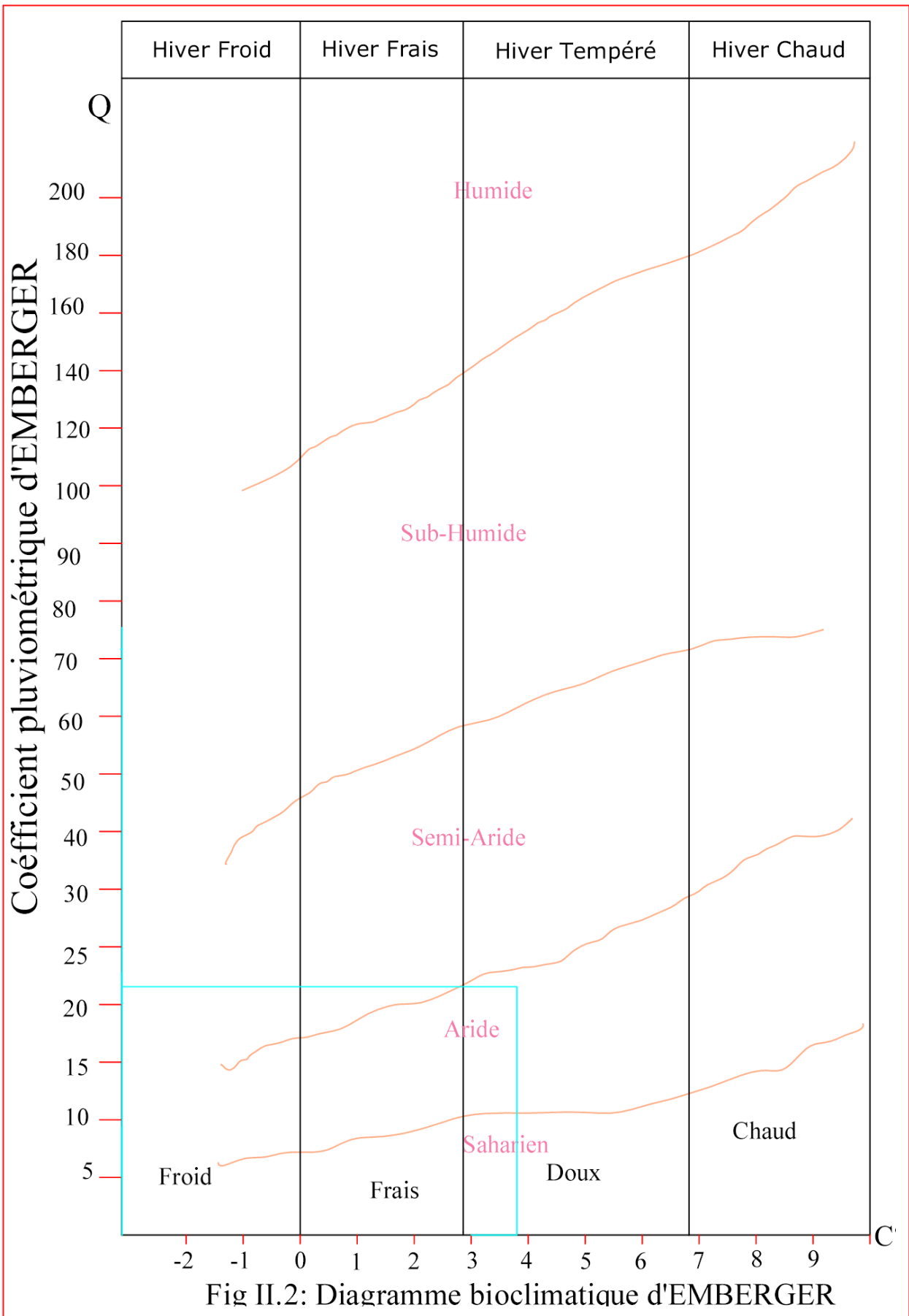
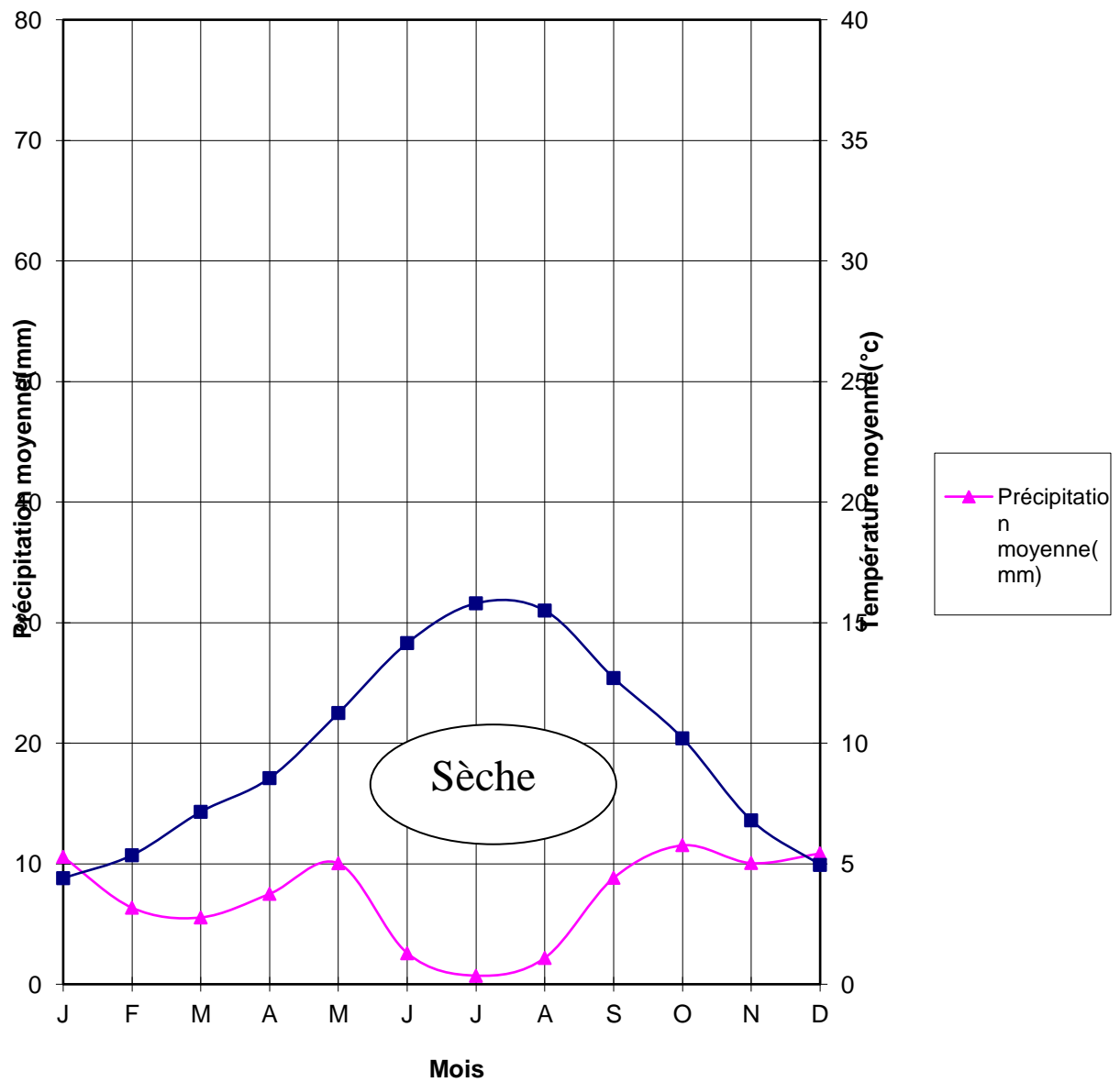


Fig II.2: Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

Description du graphe GAUSSEN :

Dans le diagramme de GAUSSEN, se trouve réunie la température moyenne et les précipitations mensuelles en respectant la convention des échelles suivante $P=2T$ selon le diagramme de GAUSSEN, on constate que il existe une période humide s'étalant sur une période de 1 mois, du mois janvier et une période sèche entre 10 et 11 mois du mois de Février jusqu'au mois de Décembre

Figure.II.5 Climogramme pluviothermique de GAUSSEN



I-3-Géologie :

Le périmètre en étude s'étend en grande partie au Nord de M'sila et se trouve dans la zone marginale septentrionale d'un grand chott. Dans ce chott ou se trouve toute les caractéristique morphologique et génétiques des terrains d'apport fluviaux des conoïdes

Le grande conoïde, apporté par l'oued K'sob présente des terrassements due à la double action de l'oued même, qui les a déposé de façon désordonnée, et d'érosion fluviale exercée dans une période de faible activité or génétique quaternaire.

Le conoïde est constitué de matériaux alluviaux comme les argiles, les limons et les sables qui présente une certaine graduation et différence de granulométrie en se déplaçant du Nord vers Sud. Cette différence est plus accentuée pour les couche profondes ou se trouvent des niveaux de conglomérats qui vont en diminuant.

I-4-Hydrogéologie :

Il existe deux nappes :

- Une Phréatique à caractère superficiel
- Une nappe phréatique profonde qui était de type artésien

Les deux nappes sont situées respectivement dans les couche superficielles du quaternaire récent et dans celles sablo-caillouteuses de l'ancien quaternaire.

La nappe superficielle est liée à des alluvions perméables récentes, à limon décroissante de Nord au Sud et au dessous à cailloux en banc d'une épaisseur de 2 à 3m.

On ne connaît pas de substratum imperméable ; la nappe présente une inclinaison vers le sud de 2.5% observé, deux kilomètres plus au sud de M'Silla, le sens d'écoulement des eaux est naturellement de Nord au Sud. Cette nappe se trouve à des profondeurs variant d'un minimum de 3m environ à l'extrême Sud du périmètre.

Les deux nappes plus en rapport avec le phénomène de la salinité des terrains au moins dans la partie méridionale du périmètre ou se trouvant à des niveaux proches à ceux de la superficie topographique.

I-5- Caractéristiques Hydrodynamiques :

Les caractéristique hydrodynamique les plus significatives des sols pour la pluparts, propres aux sols présentant une texture lourde, de type limoneux-argileux : une partie limitée de sol présentent au contraire, les caractéristique de sol à Textures équilibrée.

I-5-1- Relief :

Le territoire de la wilaya de M'Sila constitue une zone charnière et de transition entre deux grandes chaînes de montagnes qui sont : l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien, ce qui donne la configuration géographique qui est caractérisé par :

Une zone de montagne de part et d'autre du Chott El Hodna.

Une zone centrale constituée essentiellement de plaines et de hautes plaines

Une zone de Chott et de dépression avec le Chott El Hodna au centre Est, et le Zehrez Chergui au centre Ouest.

Une zone des dunes de sables éoliens.

I-5-2-Géomorphologie

La wilaya de M'sila renferme différents types de paysage, les plaines comprises entre 400 et 500m, les hautes plaines limitées à partir de 500 jusqu'à 1000m (ou elles s'étendent sur des larges superficies : 11813km²) et les montagnes à partir de 1000m. Les terrains en pentes se localisent à l'extrême Nord et au Sud de la wilaya englobant les monts de Hodna, Les monts de Ouled Nail et les monts du M'Zab.

I-5-3-Pédologie :

L'étude pédologique est d'une importance capitale lors de toute étude d'aménagement d'un périmètre, ses principaux objectifs sont :

-L'appréciation de potentialités des terres vis-à-vis de l'irrigation en mettant l'accent sur les zones de faibles aptitudes à l'irrigation et la mise en culture pour les éliminer afin d'avoir les délimitations définitives du périmètre irrigable.

-Fournir à l'irrigateur les données fondamentales qui vont lui permettre de fixer

Les caractéristiques du sol sur la base desquelles il va choisir les genres de cultures adéquates et les systèmes d'irrigations appropriés

Les classifications des sols du périmètre d'irrigation de M'sila ont été divisées en deux classes fondamentales :

1-Classe des sols peu évolués, sous-classe d'origine climatique, groupe des sols gris subdésertique

2-Classe de sols holomorphes, sous-classe de sol à structure normale dégradée groupe de sol à salinité inférieure ou supérieure à 10mmhos/cm

I-6-Conclusion

L'analyse de notre région d'étude a partir des données climatique de la métrologique, montre que la région est dominée par un climat Aride à hiver tempéré avec un pluviomètre annuelle de 214.87 mm, une température annuelle de = 19.5°C et une période sèche de 11 mois d'où nécessite d'une irrigation.

Chapitre II:
HYDROLOGIE

Hydrologie

II-1-Introduction

Le but principal de l'étude hydrologique est de déterminer les caractéristiques des pluies de fréquence donnée qui nous a conduits à calculer les besoins en eau des cultures implantées.

Le périmètre est situé dans une zone assez bien pourvue en stations pluviométriques qui fonctionnaient pendant de longues périodes .

La série des précipitations moyennes mensuelles de la station pluviométrique K'SOB est donnée dans le tableau ci-après

Tableau II.1 : Répartition des pluies moyennes mensuelles et annuelles

Année	Sept	Oct	nov	Dec	Janv	Fev	Mars	avril	mai	juin	juil	aout	Annuel
1981	3,5	0	43,6	38	28,2	46	8	21,9	4,8	10,6	2,9	6	213,5
1982	9,6	37,6	0	27,7	19,2	17,4	43,8	39,7	58	4,2	4,3	0	261,5
1983	27,6	38,9	69,8	14,6	55,2	18,8	5,3	22,1	6,8	7,2	0	19	285,30001
1984	0	5,5	1,7	0	27	10	18,4	13,6	18,4	13,8	0	0	108,4
1985	2	22	31,1	3,7	44,5	17,5	21,4	5,7	30,8	0	8,7	0	187,4
1986	3,9	73,2	49,2	25	26,3	24,6	54,4	5,8	19,9	15,7	0	0	298
1987	15,6	31,1	20,4	27,2	24,1	35,5	2	14,5	24,3	4,6	14,2	0	213,5
1988	0	13,6	66,5	30	9,3	0	14,9	31,9	18,5	21,2	0	0	205,9
1989	1,4	3	37,2	24,2	46,9	6,6	10	50,2	14,2	25,4	0	19,8	238,9
1990	20,1	6,6	32,6	10,9	20,4	0	21,5	42,8	87,8	1	7,9	8,7	260,3
1991	22,3	2,6	27,4	25,5	16,77	31,6	59,4	12,3	17,9	3,3	0	0	219,07
1992	14,7	55,3	9,8	14,7	31	13	17,3	13,7	47,9	11,5	20,4	0	249,3
1993	20,2	7,3	34,8	26,5	55,8	9,5	18,9	5,4	26,9	9,5	0	12,5	227,3
1994	26,4	0,7	34,1	16,2	7,8	21,6	9,6	2,9	0	8,17	0	0	127,47
1995	0	17,2	45,6	14	15,96	19,2	18,24	19,01	27,26	0	3,36	0	179,83
1996	30,5	10,6	25,8	16,2	45,8	16,8	22	16,7	47,6	17,5	10,9	5,3	265,7
1997	14	22,8	29,6	22,5	22,6	14,5	18,24	3	27,26	8,17	0	4,93	187,6
1998	15,8	23,16	22,4	19,2	49,2	18,6	15,2	19,01	2,5	0	3,36	0	188,43
1999	12,2	26	32,2	22,2	32,5	4,6	25,8	6,9	0	4	0	12,2	178,6
2000	54,6	44,5	25	52,8	0	0	11,5	19,1	17,1	0	0	3,7	228,3
2001	39,7	33	2,5	30,2	23,3	7,5	3,4	12,5	4,2	8,17	0	4,93	169,4
2002	18,8	20,16	25,6	22,5	12,9	8,2	2	11,1	5,6	1,7	0	10,6	139,16
2003	12,1	10,5	24,1	13,6	33,5	8,5	3,8	27,4	9,2	10,5	0,4	0,1	153,7
2004	2,2	62,9	24,7	30,3	4,9	6,5	31,2	37,9	87,5	4	3,6	4,4	300,1
2005	8,8	12,1	6,5	44,4	22	25,9	13,6	13,6	1,1	22,1	0,6	0,3	171
2006	35,5	21,7	39,6	2,6	46,1	54	1,3	25,6	80,1	0	6,8	10,8	324,1
Source			Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)										

D'après les résultats du tableau pendant la période 1981 –2006, On a remarqué une irrégularité dans la répartition des précipitations et aussi une variabilité mensuelle et annuelle. Ces pluies sont nettement insuffisantes pour les mois de juillet et août, elles sont moyennes au printemps et maximales en hiver.

L'étude statistique de la série s'effectue par le logiciel HYDROLAB.

Donnant son diagramme de dispersion et son traitement. Le même logiciel fait son ajustement aux lois théoriques (GUMBEL, Normale, Log-normale)

II-2- Homogénéité de la série pluviométrique

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon :

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous :

- On divise la série complète en deux sous séries : x et y tel que : N_1 et N_2

Représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement $N_2 > N_1$

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

M^r Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée.

Avec :

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

$$W_x = |Rang|_x$$

W_x : Somme des rangs des sous séries

$$W_{\min} = \left[\left(\frac{(N_1 + N_2 + 1) \times N_1 - 1}{2} \right) - 1,96x \left(\frac{N_1 \times N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{0,5} \right]$$

$$W_{\max} = [(N_1 + N_2 + 1) \times N_1 - W_{\min}]$$

Le tableau suivant détaille le procédé de Test d'homogénéité pour la station de k'sob code(051005).

Tableau II.2 : Test d'homogénéité

Rang	Série d'origine P (mm)	Série x (mm)	Série y (mm)	TRI (mm)	x union y
1	213,50	213,50	249.30	108,40	X
2	261,50	261,50	227.30	127,47	Y
3	285,30	285,30	127.47	139,16	Y
4	108,40	108,40	179.83	153,70	Y
5	187,40	187,40	265.70	169,40	Y
6	298,00	298,00	187.60	171,00	Y
7	213,50	213,50	188.43	178,60	Y
8	205,90	205,90	178.60	179,83	Y
9	238,90	238,90	228.30	187,40	X
10	260,30	260,30	169.40	178,60	Y
11	219,07	219,07	139.16	188,43	Y
12	249,30		153.70	205.9	X
13.5	227,30		300.10	213.5	X
13.5	127,47		171.00	213.5	X
15	179,83		324.10	219.07	X
16	265,70			227.3	Y
17	187,60			228.3	Y
18	188,43			238.9	X
19	178,60			249.3	Y
20	228,30			260.3	X
21	169,40			261.5	X
22	139,16			265.7	Y
23	153,70			285.3	X
24	300,10			298.00	X
25	171,00			300.1	Y
26	324,10			324.1	Y

$$W_x = 170$$

$$W_{\min} = 111$$

$$W_{\max} = 180$$

$$180 < W_x < 282$$

La condition de M^f Wilcoxon est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle de la station dek'sob est homogène.

II-3- Etude de l'échantillon et choix du type de loi

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
- Loi de Gumbel

a .Traitement des données

La simulation des apports annuels avec le logiciel HYDROLAB nous donne les résultats suivantes :

Station k'sob

Statistiques de base

Nombre d'observations	26
Minimum	108.4
Maximum	324.1
Moyenne	214.7
Ecart-type	55.59
Médiane	213.5

b) .Ajustement de la série pluviométrique

On soumet la série pluviométrique annuelle de la station retenue aux ajustements à la loi Normale, la loi log –normale et la loi de Gumbel

b.1) .Ajustement à la loi Normale (GAUSS)

L'ajustement des séries par la loi normale appelée souvent loi de Gauss s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles. En effet sa fonction de répartition est de la forme

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \text{Exp}\left(\frac{-1}{2x\mu^2}\right) du$$

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

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de k'sob est regroupé dans le tableau et la figure suivantes :

Tableau II.3 : Ajustement à la loi de Gauss

**Ajustement
à une loi
de Gauss**

Taille n= 26 Moyenne= 214.68 U Gauss= 1.9604
 Ecart-type= 55.59 I.C. à (en%)= 95

Valeurs de Départ	Valeurs classées	Ordre de Classement	Fréquence expérimentale	Variable Réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne Inférieure	Borne Supérieure
213.50	108.40	1	0.0192	-2.070	108.40	99.58	49.48	131.32
261.50	127.47	2	0.0577	-1.575	127.47	127.13	85.61	154.69
285.30	139.16	3	0.0962	-1.304	139.16	142.19	105.01	167.80
108.40	153.70	4	0.1346	-1.105	153.70	153.26	119.07	177.64
187.40	169.40	5	0.1731	-0.942	169.40	162.31	130.40	185.87
298.00	171.00	6	0.2115	-0.801	171.00	170.16	140.08	193.13
213.50	178.60	7	0.2500	-0.674	178.60	177.20	148.64	199.78
205.90	179.83	8	0.2885	-0.558	179.83	183.69	156.41	206.02
238.90	187.40	9	0.3269	-0.448	187.40	189.78	163.58	212.00
260.30	187.60	10	0.3654	-0.344	187.60	195.58	170.30	217.80
219.07	188.43	11	0.4038	-0.243	188.43	201.17	176.68	223.51
249.30	205.90	12	0.4423	-0.145	205.90	206.63	182.79	229.19
227.30	213.50	13	0.4808	-0.048	213.50	212.01	188.70	234.89
127.47	213.50	14	0.5192	0.048	213.50	217.36	194.48	240.66
179.83	219.07	15	0.5577	0.145	219.07	222.73	200.18	246.58
265.70	227.30	16	0.5962	0.243	227.30	228.19	205.85	252.69
187.60	228.30	17	0.6346	0.344	228.30	233.79	211.56	259.06
188.43	238.90	18	0.6731	0.448	238.90	239.59	217.37	265.79
178.60	249.30	19	0.7115	0.558	249.30	245.68	223.34	272.96
228.30	260.30	20	0.7500	0.674	260.30	252.16	229.59	280.72
169.40	261.50	21	0.7885	0.801	261.50	259.21	236.24	289.29
139.16	265.70	22	0.8269	0.942	265.70	267.05	243.50	298.96
153.70	285.30	23	0.8654	1.105	285.30	276.11	251.72	310.30
300.10	298.00	24	0.9038	1.304	298.00	287.18	261.57	324.36
171.00	300.10	25	0.9423	1.575	300.10	302.23	274.68	343.76
324.10	324.10	26	0.9808	2.070	324.10	329.78	298.05	379.89

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.200	-0.841	167.903	137.313	191.026	167.903	0.200	1.3
0.500	0.000	214.683	191.603	237.763	214.683	0.500	2.0
0.800	0.841	261.463	238.340	292.053	261.463	0.800	5.0

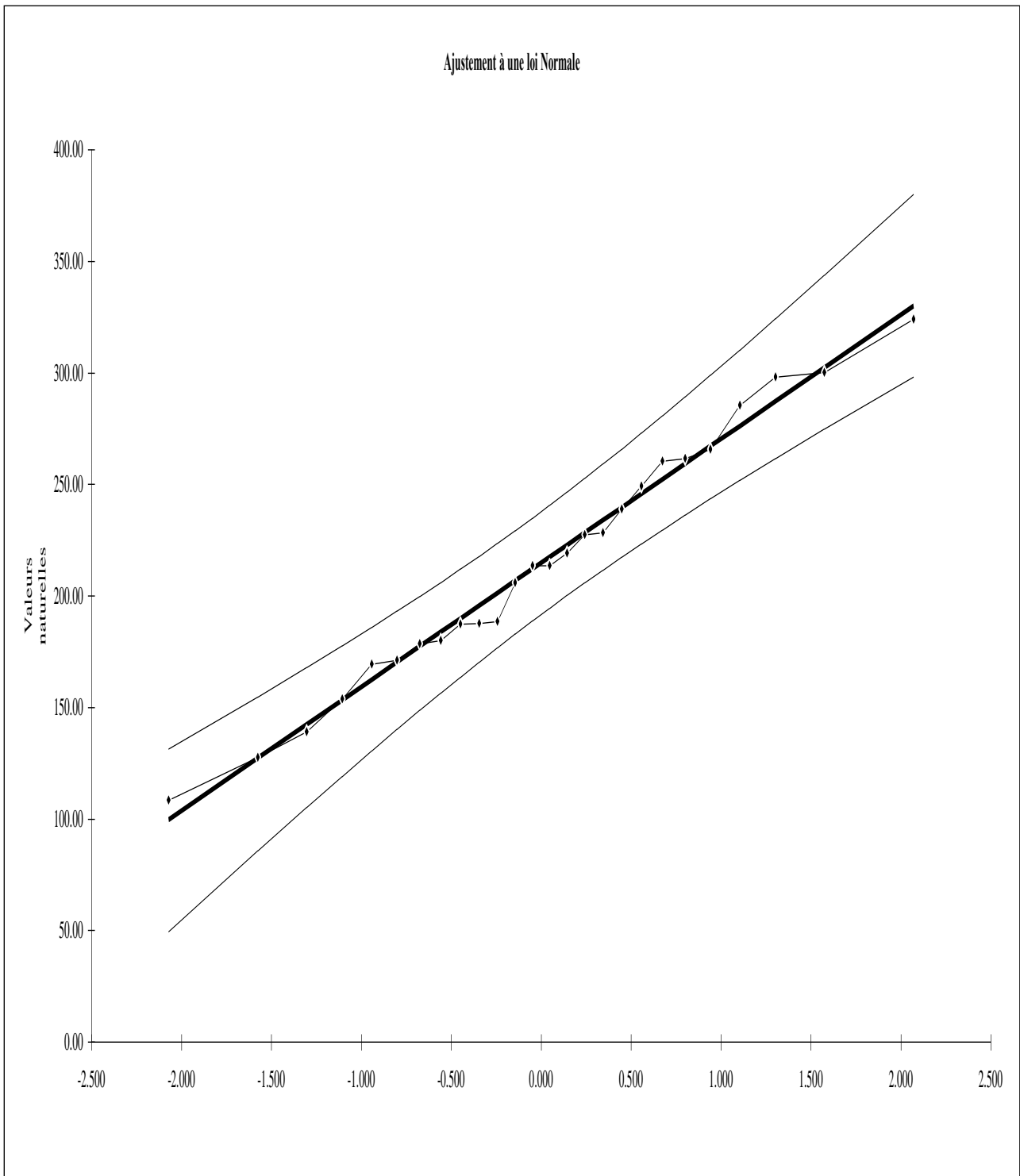


Figure II.1: Ajustement à la loi normale

b.2) .Ajustement à la loi Log-Normale (GALTON)

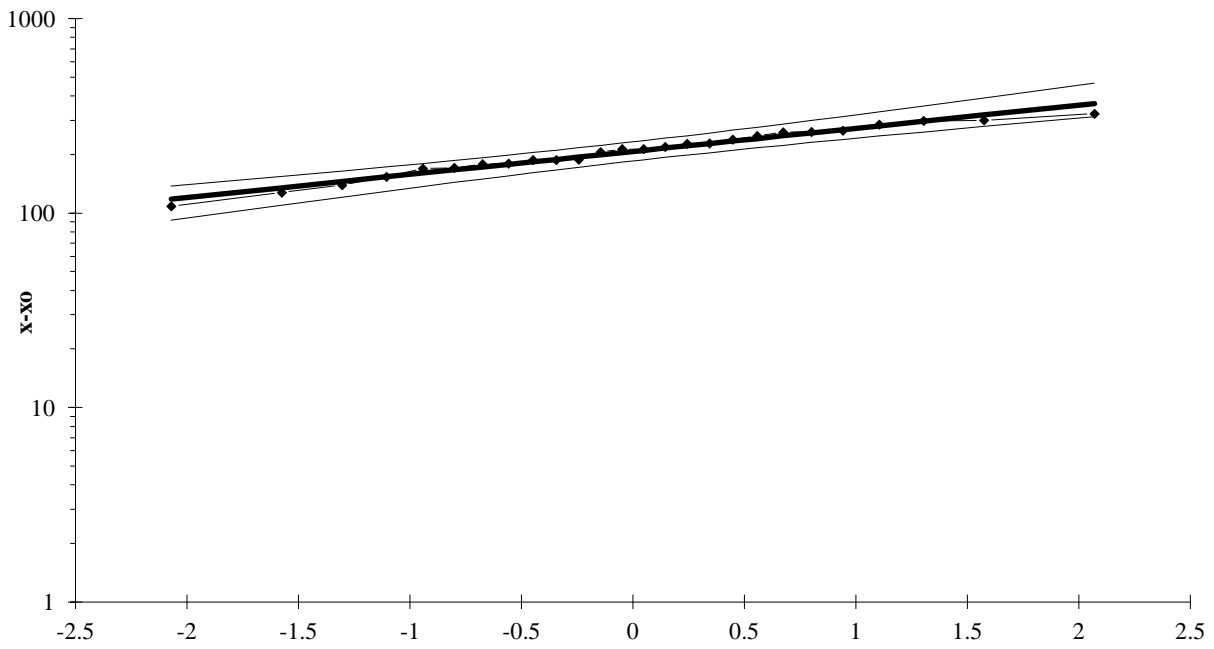
Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de k'sob sont regroupés dans le tableau et la figure :

Tableau II.4: Ajustement à la loi Log-Normal

Ajustement à une loi Log-normale								
Taille n= 26		Moy.log(x- xo)= 2,3168581					U	
xo= 0		E.T. log(x- xo)= 0,1187494		I.C. à (en%)= 95			Gauss= 1,960	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de Classement	Fréquence Expérimentale	Variab le Réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne Supérieure
213,5	108,40	1	0,019	-2,070	108,40	117,76	92,04	137,65
261,5	127,47	2	0,058	-1,575	127,47	134,85	109,94	154,42
285,3	139,16	3	0,096	-1,304	139,16	145,22	120,95	164,71
108,4	153,70	4	0,135	-1,105	153,70	153,34	129,61	172,88
187,4	169,40	5	0,173	-0,942	169,40	160,32	137,04	180,01
298,0	171,00	6	0,212	-0,801	171,00	166,63	143,72	186,56
213,5	178,60	7	0,250	-0,674	178,60	172,50	149,90	192,76
205,9	179,83	8	0,288	-0,558	179,83	178,10	155,73	198,78
238,9	187,40	9	0,327	-0,448	187,40	183,51	161,32	204,70
260,3	187,60	10	0,365	-0,344	187,60	188,82	166,75	210,63
219,1	188,43	11	0,404	-0,243	188,43	194,09	172,06	216,63
249,3	205,90	12	0,442	-0,145	205,90	199,37	177,31	222,76
227,3	213,50	13	0,481	-0,048	213,50	204,71	182,54	229,10
127,5	213,50	14	0,519	0,048	213,50	210,17	187,80	235,70
179,8	219,07	15	0,558	0,145	219,07	215,80	193,14	242,65
265,7	227,30	16	0,596	0,243	227,30	221,67	198,61	250,06
187,6	228,30	17	0,635	0,344	228,30	227,86	204,26	258,02
188,4	238,90	18	0,673	0,448	238,90	234,45	210,18	266,70
178,6	249,30	19	0,712	0,558	249,30	241,58	216,45	276,27
228,3	260,30	20	0,750	0,674	260,30	249,41	223,20	287,03
169,4	261,50	21	0,788	0,801	261,50	258,20	230,62	299,37
139,2	265,70	22	0,827	0,942	265,70	268,36	239,01	313,96
153,7	285,30	23	0,865	1,105	285,30	280,58	248,87	331,97
300,1	298,00	24	0,904	1,304	298,00	296,28	261,22	355,73
171,0	300,10	25	0,942	1,575	300,10	319,05	278,61	391,35
324,1	324,10	26	0,981	2,070	324,10	365,35	312,56	467,45

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,2	-0,841	164,79	141,77	184,64	164,79	0,2	0,1
0,5	0,000	207,42	185,17	232,36	207,42	0,5	0,2
0,8	0,841	261,08	233,02	303,47	261,08	0,8	0,5

Ajustement à une loi Log-normale



($x_0=0.00$ Moy. $\log(x-x_0)=2.3169$ E.T. $\log(x-x_0)=0.1187$ $n=26$ et I.C. à 95%)

Figure II.2 : Ajustement à la loi Log normale

c .Test de validité d'un ajustement :

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon , ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié , l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation . Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des test le plus employé, est le test du Khi carré " χ^2 "

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

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

$$v_i = N \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(X) dX = N[F(X_i) - F(X_{i-1})]$$

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

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$$

$$\lambda = K - 1 - P$$

Avec :

P : Nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition

Donc :

P=2 : pour la loi de Gumbel et Gauss

P=3 : pour la loi de Galton

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

Si cette probabilité est **supérieure à 0,05**, l'ajustement est satisfaisant

c.1) Test de validité de l'ajustement à la loi Normale

Le test de validité de Khi carrée pour l'ajustement à la loi Normale est fait par le logiciel Hyfran.

Test d'adéquation : Loi Normale**Résultats**

Khi carré = 0.38

Probabilité p (χ^2) = 0.9837

Degrés de liberté : 4

Nombre des classes 7

c.2) Test de validité de l'ajustement à la loi Log-Normale

Station k'sob

Test d'adéquation : Loi log-Normale**Résultats**

Khi carré = 1.46

Probabilité p (χ^2) = 0.8334

Degrés de liberté : 4

Nombre des classes 7

Conclusion

Le test de Khi carré et les Figure II-1 ; Figure II-2 montrent que la loi de GUAUSS présente une adéquation meilleure que la loi Log Normale

II-4- DETERMINATION DE L'ANNEE DE CALCUL

Puisque la loi de Gauss est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne annuelle représentative de la région

Comme nous sommes dans une région aride et que la pratique montre que pour ce type de climat la probabilité de calcul doit être prise entre 75% et 90%.

Nous opterons donc pour l'année de calcul avec une probabilité de 80% et les précipitations totales correspondantes $X_{80\%}=167.88\text{mm}$ (voir le tableau II.5)

L'année de calcul est obtenue en appliquant la formule suivante :

$$P_{80\%}^{mensuelle} = P_{moy}^{mensuelle} \times \frac{P_{20\%}^{annuelle}}{P_{50\%}^{annuelle}}$$

Tableau II.5: Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul

Année	septembre	octobre	Novembre	Décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	total annuel
$X_{80\%}$ (mm)	12.38	18.10	22.92	17.28	21.69	13.12	14.17	14.87	20.62	6.39	2.63	3.71	167.88

Chapitre III:

Ressource en eau

III-1-Introduction

Avant d'entamer une étude d'adduction, il faut d'abord localiser et quantifier l'eau nécessaire à l'irrigation. Pour cela et à travers ce chapitre on va présenter les ressources en eau qui peuvent alimenter notre zone d'étude.

III-2- Présentation du barrage

Le barrage K'Sob est situé au lieu dit HAMMAN entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Gruon à 15km au nord est de la ville de M'sila sur la route nationale en direction vers la wilaya de B.B. Il fut construit à cet endroit sur l'oued K'Sob entre les années 1934 et 1940 permettant l'irrigation du périmètre agricole de la commune de M'sila. Par suite de l'envasement progressif de la retenue, sa capacité initiale de 12Hm³ est tombée à 3Hm³ en 1970, la hauteur construite est de 31m. Pour remédier à cette situation, la surélévation du barrage K'sob a été prévue dans le cadre du premier plan quadriennal. La surélévation du barrage sur une hauteur de 15m portera la capacité utile de la retenue à 29.5Hm³ et assurera une régularisation à l'irrigation de 13000Ha dont 4250Ha pour la culture intensive (culture maraîchère, arbres fruitiers et fourrage etc...) et 2000Ha pour la culture de céréales.

III-3- Qualité de l'eau d'irrigation

1- La salinité

Parmi les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation, la salinité qui constitue l'aspect le plus important, l'irrigation avec des sources des eaux du barrage du ksob.

2-le PH

Dans la majorité des cas, et pour l'eau d'irrigation, le pH est situé entre 5.5 et 9.

III-4-Les limites admissibles

La classification des eaux suivant la qualité chimique a été établie selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation, en fonction de deux paramètres, celui de la conductivité électrique CE, et le rapport d'absorption du Sodium SAR

a) -La conductivité électrique

La conductivité électrique est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25°C et exprimée en mmhos/cm

On distingue quatre classes de danger de salinité de l'eau en fonction de la conductivité électrique :

Tableau III.1 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique CE (mmhos/cm) à 25°C	Qualité des eaux
C_1	$CE \leq 0,25$	Eau de risque faible
C_2	$0,25 < CE \leq 0,75$	Eau de risque moyen
C_3	$0,75 < CE \leq 2,25$	Eau de risque élevé
C_4	$CE > 2,25$	Eau de risque très élevé

Remarque :

- C_1 : convient pour toutes les cultures.
- C_2 : convient pour les plantes moyennement tolérantes.
- C_3 : ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes
- C_4 : eau difficilement utilisable sur sol bien drainé

b) Le SAR (Sodium Absorption Ration)

Si l'eau est riche en Sodium, celui-ci peut se fixer sur le complexe du sol et exercer alors une action défloculation. Pour apprécier le risque alcalin, on compare donc la concentration en ions Na^+ et celle en ions Ca^{++} et Mg^{++} .

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

4 classes de danger d'alcalinisation ont été définies en relation avec le risque salin.

Tableau III.2 : Classification des eaux en fonction du S.A.R

Classe	S.A.R.	Danger d'alcalinisation
S_1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S_2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S_3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
S_4	$SAR > 26$	Risque très élevé

Calcul et interprétation des résultats

L'analyse de l'eau a été effectuée au niveau de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H), au laboratoire de chimie des eaux.

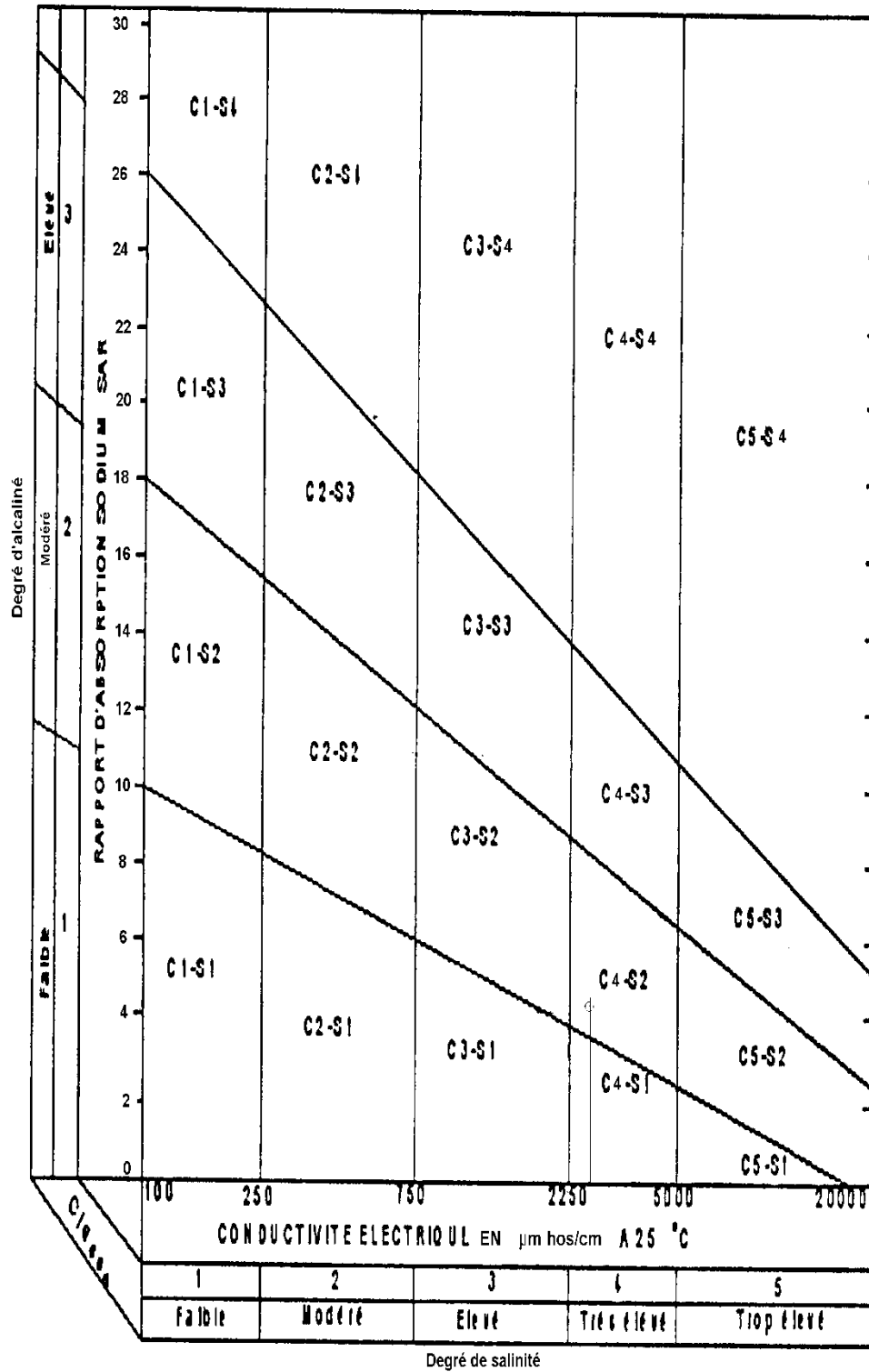
Les résultats de l'analyse sont donnés par le tableau suivant:

Tableau III.3 : résultats des analyses de l'eau :

ANALYSES	RÉSULTATS
Calcium Ca^{++} : méq/l	1.7
Magnésium: Mg^{++} : méq/l	1.4
Sodium: Na^+ : méq/l	5.1
Potassium: K^+ : méq/l	2.5
Chlorures: Cl^- : méq/l	3.7
Sulfates: SO_4^- : méq/l	3.96
Bicarbonates: HCO_3^- : méq/l	6.6
Nitrates: NO_3^- : méq/l	4
Ph	7.5
Conductivité électrique à 25 °C (mmhos/cm)	3.3

$$S.A.R = \frac{5.1}{\sqrt{\frac{(1.7+1.4)}{2}}} = 4.09$$

On réfère au diagramme de classification des eaux d'irrigation (Fig.III.1.), on peut affirmer que notre eau est caractérisée par une salinité très forte avec un degré d'alcalinité faible (C_4, S_1), se qui montre la mauvaise qualité de ces eaux .



FigIII.1. diagramme de classification des eaux d'irrigation

III-5-Conclusion

Le présent chapitre avait pour but de définir les ressources en eaux disponibles dans la zone d'étude.

La salinité de l'eau du barrage est qualifiée de très forte, cette eau est n'utilisable en conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un dose de lessivage

Chapitre IV:

Besoin en eau

IV-1-Introduction

Le présent chapitre, se propose de quantifier les besoins en eau des cultures sur la base des informations définies auparavant, conditionnant la conception de notre projet tels que : les conditions climatiques, systèmes agronomiques, potentialités des sols, l'eau disponible, fertilité des sols.

IV-2- Choix de l'assolement

Le bon choix des cultures et leurs rotations est une étape déterminante dans la rentabilité économique des terres à exploiter. Les performances agronomiques des zones homogènes d'aptitudes culturales. Les culturales qu'on a choisis et leur répartition sur la surface irrigable sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1

<i>Cultures</i>	<i>Surface (ha)</i>
<i>Blé</i>	<i>300</i>
<i>Orge fourragé</i>	<i>200</i>
<i>Abricotier</i>	<i>200</i>
<i>Olivier</i>	<i>150</i>
<i>Tomate</i>	<i>34</i>
<i>Poivron</i>	<i>33</i>
<i>Carotte</i>	<i>33</i>
<i>Totale</i>	<i>950</i>

IV-3- Besoin en eau des cultures

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

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

IV-3-1 Détermination de l'évapotranspiration (ETo)

1) Définition

L'évapotranspiration se définit comme étant le rejet global de vapeur d'eau par le sol et par les feuilles d'une plante. On distingue deux types d'évapotranspiration :

- Evapotranspiration potentielle ETP
- Evapotranspiration réelle ETR

L'évapotranspiration potentielle représente la quantité d'eau évaporée, et transpirée par une végétation qui recouvrirait totalement le sol en eau n'est pas limité.

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau effectivement évaporée, à un moment donné, par le sol et la végétation.

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

L'évapotranspiration potentielle est rarement mesurée à l'aide de bacs, et d'évaporomètres. Le plus souvent elle est calculée par des formules à partir des données climatiques mesurées, mais ces formules (Turc, Blaney-criddle, Penman...) ne sont pas toutes équivalentes, leur représentativité varie selon les paramètres utilisés et des régions climatiques où elles ont été établies.

Les formules, les plus utilisées en Algérie sont celles de Blaney-criddle (U.S.A 1945), Turc (France 1960), et Penman (Angleterre 1948). Pour notre cas on doit utiliser la formule de Penman

- La formule de M^r Penman et Montheit modifiée se présentant comme suit:

$$ET_o = C \times [w \times R_n + (1 - w) \times F (u) \times (e_a - e_d)]$$

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

w : facteur de pondération tenant compte de l'effet de rayonnement à différentes températures et altitudes.

R_n : rayonnement net évaporation équivalente exprimé en mm/ jr

$F(u)$: fonction liée au vent.

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

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

$(e_a - e_d)$: constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est effectué à l'aide d'un logiciel appelé CROPWAT 8.0, fondé sur la méthode de M^r Penman et Monteith modifiée et recommandée par la consultation des experts de la FAO tenue à Rome en Mai 1990.

Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les données climatiques mensuelles de la station météorologique: à savoir:

- Les températures moyennes en degré Celsius.
- L'humidité relative de l'air exprimée en (%)
- L'insolation journalière en heure
- La vitesse du vent en m /s

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ETo calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau IV.2: Evapotranspiration de référence (ET_o) de la zone d'étude selon Penman Monteith

<i>Evapotranspiration de référence (ET_o) (Penman et Monteith)</i>						
<i>Pays: ALGERIE Station climatique : M'SILA</i>						
<i>Mois</i>	<i>Temp. Moy</i>	<i>Humidité</i>	<i>Vent</i>	<i>Insola</i>	<i>Radiation</i>	<i>ET_o – penman</i>
	<i>°C</i>	<i>%</i>	<i>m/s</i>	<i>heurs</i>	<i>MJ/ m² .jour</i>	<i>mm / jour</i>
<i>Janvier</i>	8.8	69	3.8	3.2	10.1	1.67
<i>Février</i>	10.7	65	4.1	3.8	26.4	2.81
<i>Mars</i>	14.3	60	4.2	4.5	18.5	3.57
<i>Avril</i>	17.1	57.5	5.1	4.6	21.7	4.82
<i>Mai</i>	22.5	52.5	4.7	5.1	24.8	6.49
<i>Juin</i>	28.3	45.5	4.5	5.4	26.2	8.35
<i>Juillet</i>	31.6	41.5	4.7	5.7	26.8	9.58
<i>Août</i>	31	42.5	4.4	5.11	23.7	8.61
<i>Septembre</i>	25.4	56	3.9	4.4	19.4	5.57
<i>Octobre</i>	20.4	60.5	3.5	4.2	15.8	3.78
<i>Novembre</i>	13.6	68.5	4	3.3	11	2.23
<i>décembre</i>	9.9	73	4.2	2.8	9.0	1.57
<i>moyenne</i>	19.5	57	4.3	9.7	19.5	4.92

IV-4-La pluie efficace

La pluie efficace est définie comme étant la fraction des précipitations contribuent effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, et par percolation en profondeur etc...

Ces pertes sont estimées de 20 % de la pluie tombée .Pour l'appréciation de la pluie efficace on distingue deux (2) cas:

1) Pluie efficace ($P_{\text{eff}} = 0$) pour les mois où la pluie ne dépasse pas les 5 mm.

2) Pluie efficace ($P_{\text{eff}} = 80 \%$) de la pluie moyenne mensuelle dans les autres cas.

Les valeurs moyennes mensuelles de P_{eff} sont regroupées dans le tableau suivant:

Tableau IV.3: Précipitation efficace dans la zone d'étude.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total annuel
P (mm)	12.38	18.10	22.92	17.28	21.69	13.12	14.17	14.87	20.62	6.39	2.63	3.71	167.88
P_{eff} (mm)	12.1	17.6	22..1	1.7	20.9	12.8	13.8	14.5	19.9	6.3	2.6	3.7	163.3

IV-5- L'évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ET_c)

L'évapotranspiration d'une culture, ET_c , se calcule en multipliant l'évapotranspiration de référence ET_o par un coefficient cultural, K_c .

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Avec: K_c : Représente le coefficient culturale, dépendant du type de la culture et de son stade de développement et des conditions climatiques qui y règnent.

IV-6- Détermination des besoins d'irrigation des cultures d'assolement

1) Définition

Le besoin en eau d'irrigation, B , est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sur qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau ou une fraction déterminée de celui-ci. Si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égale au besoin en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoin de lessivage, percolation profonde, inégalités de répartition, etc.).

2) Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (P_{\text{eff}} + RFU) \quad (1)$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm)

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

RFU : réserve facilement utilisable

L'irrigation est fait lorsque $B > 0$, (d'après la formule 1)

Les résultats de calcul pour les différentes cultures sont :

1. Besoins d'irrigation de la tomate

Tableau IV.4 : Besoin en eau d'irrigation de la tomate

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Peff Mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	-	-	20.9	0	-
Février	81.49	-	-	12.8	0	-
Mars	110.67	-	-	13.8	0	-
Avril	144.6	0.50	72.3	14.5	0	72.3
Mai	201.19	0.5	100.6	19.9	0	100.6
Juin	250.5	0.8	200.4	6.3	0	200.4
Juillet	296.98	1.25	371.23	2.6	0	371.23
Août	266.91	0.95	253.56	3.7	0	253.56
Septembre	167.1	0.65	108.62	12.1	0	108.62
Octobre	117.18	-	-	17.6	0	-
Novembre	66.9	-	-	22.1	0	-
Décembre	48.67	-	-	16.8	0	-
Somme	1803.96			163.3	0	1106.71

2. Besoins d'irrigation de blé

Tableau IV.5 : Besoin en eau d'irrigation de blé

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Peff Mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	0.8	41.42	20.9	0	41.42
Février	81.49	0.8	65.19	12.8	0	65.19
Mars	110.67	1.2	132.80	13.8	0	132.80
Avril	144.6	1.2	173.52	14.5	0	173.52
Mai	201.19	0.75	150.89	19.9	0	150.89
Juin	250.5	0.25	62.63	6.3	0	62.63
Juillet	296.98	-	-	2.6	0	-
Août	266.91	-	-	3.7	0	-
Septembre	167.1	-	-	12.1	0	-
Octobre	117.18	-	-	17.6	0	-
Novembre	66.9	0.4	26.76	22.1	0	26.76
Décembre	48.67	0.4	19.47	16.8	0	19.47
Somme	1803.96			163.3	0	672.68

3. Besoin d'irrigation d'orge fourragé

Tableau IV.6 : Besoin en eau d'irrigation d'orge fourragé

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Peff Mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	0.8	41.42	20.9	0	41.42
Février	81.49	0.8	65.19	12.8	0	65.19
Mars	110.67	1.2	132.80	13.8	0	132.80
Avril	144.6	1.2	173.52	14.5	0	173.52
Mai	201.19	0.75	150.90	19.9	0	150.90
Juin	250.5	-	-	6.3	0	-
Juillet	296.98	-	-	2.6	0	-
Août	266.91	-	-	3.7	0	-
Septembre	167.1	-	-	12.1	0	-
Octobre	117.18	-	-	17.6	0	-
Novembre	66.9	0.4	26.76	22.1	0	26.76
Décembre	48.67	0.4	19.47	16.8	0	19.47
Somme	1803.96			163.3	0	610.06

4. Besoin d'irrigation de poivron

Tableau IV.7 : Besoin en eau d'irrigation de poivron

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Peff Mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	-	-	20.9	0	-
Février	81.49	-	-	12.8	0	-
Mars	110.67	-	-	13.8	0	-
Avril	144.6	-	-	14.5	0	-
Mai	201.19	0.4	80.48	19.9	0	80.48
Juin	250.5	0.75	187.88	6.3	0	187.88
Juillet	296.98	1.0	296.98	2.6	0	296.98
Août	266.91	0.9	240.22	3.7	0	240.22
Septembre	167.1	-	-	12.1	0	-
Octobre	117.18	-	-	17.6	0	-
Novembre	66.9	-	-	22.1	0	-
Décembre	48.67	-	-	16.8	0	-
Somme	1803.96			163.3	0	805.56

5. Besoins d'irrigation de la Carotte

Tableau IV.8: Besoin en eau d'irrigation de la Carotte

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Pe _{eff} Mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	0.57	29.51	20.9	0	29.51
Février	81.49	-	-	12.8	0	-
Mars	110.67	-	-	13.8	0	-
Avril	144.6	-	-	14.5	0	-
Mai	201.19	-	-	19.9	0	-
Juin	250.5	-	-	6.3	0	-
Juillet	296.98	-	-	2.6	0	-
Août	266.91	-	-	3.7	0	-
Septembre	167.1	0.42	70.18	12.1	0	70.18
Octobre	117.18	0.70	82.03	17.6	0	82.03
Novembre	66.9	0.81	54.19	22.1	0	54.19
Décembre	48.67	0.77	37.48	16.8	0	37.48
Somme	1803.96			163.3	0	273.39

6. Besoins d'irrigation d'olivier

Tableau IV.9 : Besoin en eau d'irrigation d'olivier

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Peff Mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	0.83	42.97	20.9	0	42.97
Février	81.49	0.73	59.49	12.8	0	59.49
Mars	110.67	0.5	55.34	13.8	0	55.34
Avril	144.6	0.5	72.3	14.5	0	72.3
Mai	201.19	0.5	100.60	19.9	0	100.60
Juin	250.5	0.54	135.27	6.3	0	135.27
Juillet	296.98	0.68	201.95	2.6	0	201.95
Août	266.91	0.83	221.54	3.7	0	221.54
Septembre	167.1	0.95	158.75	12.1	0	158.75
Octobre	117.18	0.95	111.32	17.6	0	111.32
Novembre	66.9	0.95	63.56	22.1	0	63.56
Décembre	48.67	0.93	45.26	16.8	0	45.26
Somme	1803.96			163.3	0	1268.35

7. Besoins d'irrigation d'abricotier

Tableau IV.10 : Besoin en eau d'irrigation d'abricotier

Mois	ET0 mm/Mois	Kc	ETM mm/Mois	Pe _{eff} mm	RFU mm	B mm
Janvier	51.77	0.78	40.38	20.9	0	0
Février	81.49	0.70	57.04	12.8	0	0
Mars	110.67	0.50	55.34	13.8	0	0
Avril	144.6	0.50	72.3	14.5	0	72.3
Mai	201.19	0.53	106.63	19.9	0	106.63
Juin	250.5	0.68	170.34	6.3	0	170.34
Juillet	296.98	0.83	246.49	2.6	0	246.49
Août	266.91	0.95	253.56	3.7	0	0
Septembre	167.1	0.95	158.75	12.1	0	0
Octobre	117.18	0.95	111.32	17.6	0	0
Novembre	66.9	0.91	60.88	22.1	0	0
Décembre	48.67	0.84	40.88	16.8	0	0
Somme	1803.96			163.3	0	595.76

IV-7- Besoins nets en eau d'irrigation

Le calcul des besoins en eau nets des cultures

$$B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}}}{\text{eff}}$$

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau IV.11 : Besoin en eau d'irrigation des cultures du périmètre k'sob :

Cultures	S en (ha)	Besoins en eau net (mm)	Besoins en eau net (m³ / ha)	Efficiencie (%)	Besoins en eau brut (m³ / ha)	Besoins bruts totaux (m³)
<i>Tomate</i>	34	1106.71	11067.1	0.75	14756.13	501708.42
<i>Blé</i>	300	672.68	6726.8	0.75	8969.07	2690721
<i>Orge fourragé</i>	200	610.06	6100.6	0.75	8134.13	
<i>Poivron</i>	33	805.56	8055.6	0.75	10740.8	354446.4
<i>Carette</i>	33	273.39	2733.9	0.75	3645.2	120291.6
<i>Olivier</i>	150	1268.35	12683.5	0.75	16911.33	2536699.5
<i>Abricotier</i>	200	595.76	5957.6	0.75	7943.47	1588694
					Total	7792560.92

IV-8 : Besoins mensuel en eau d'irrigation des cultures

Tableau IV.12 : Détermination des besoins en eau des cultures

Cultures Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Tomate	-	-	-	72.3	100.6	200. 4	371.2 3	253.5 6	108.6 2	-	-
Blé	41.42	65.19	132. 80	173.5 2	150.89	62.6 3	-	-	-	-	26.76	19.4 7
Orge fourragé	41.42	65.19	132. 80	173.5 2	150.90	-	-	-	-	-	26.76	19.4 7
Poivron	-	-	-	-	80.48	187. 88	296.9 8	240.2 2	-	-	-	-
Carotte	29.51	-	-	-	-	-	-	-	70.18	82.03	54.19	37.4 8
Olivier	42.97	59.49	55.3 4	72.3	100.06	135. 27	201.9 5	221.5 4	158.7 5	111.3 2	63.56	45.2 6
Abricotier	0	0	0	72.3	106.63	170. 34	246.4 9	0	0	0	0	0
Total	155.3 2	189.8 7	320. 94	563.9 4	689.56	756. 52	1117. 1	715.3 2	337.5 5	193.3 5	171.2 7	121. 68

IV-9 : Besoin en eau pour lessivage

Dans les sols salés il faut non seulement couvrir les besoins d'évapotranspiration de la culture et les besoins d'humectation et d'évaporation du sol avec une quantité d'eau, mais il faut ajouter une quantité supplémentaire pour dissoudre les sels solubles.

On appelle la quantité supplémentaire la dose de lessivage

Cette méthode de lutte contre la salinité a pour but de limiter l'extension des terres salées, de récupérer les sols, ainsi d'améliorer les rendements des cultures. Les besoins en eau pour le lessivage seront évalués à 30% des besoins d'irrigation.

Le lessivage est envisagé lorsque:

- L'eau d'irrigation est salée ($C_{ew} > 1,5 \text{ ds/cm}$)
- Le sol a une tendance saline ($C_{es} > 4 \text{ ds/cm}$)

On distingue deux types de lessivage:

- Lessivage capital (ou initial):

Il consiste à ramener une grande quantité d'eau pour lessiver le sol.

- Lessivage continu (ou lessivage d'entretien):

Contrairement à celui capital, ce type consiste à ramener de l'eau sous forme de doses supplémentaires avec ceux d'irrigation et ce type de lessivage la qu'on va utiliser dans notre projet.

Calcul des doses de lessivage:

$$LR = \frac{C_{eiv}}{5C_{es} - C_{eiv}} \text{ (corrigé)}$$

- LR : Leaching Requirement ou fraction lessivante
- C_{eiv} : conductivité électrique de l'eau d'irrigation = 3.3 ds/cm.
- C_{es} : conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol

$$C_{es} = 3.01 \text{ ds/cm}$$

$$\Rightarrow LR = \frac{3.3}{(5 \times 3.01) - 3.3} = 0,30 \quad \Rightarrow LR = 0,3$$

$$LR = 30\%$$

Tableau IV.12 : Détermination des besoins en eau des cultures pour lessivage

Cultures Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Tomate	-	-	-	72.3	100.6	200. 4	371.2 3	253.5 6	108.6 2	-	-
Blé	41.42	65.19	132. 80	173.5 2	150.89	62.6 3	-	-	-	-	26.76	19.4 7
Orge fourragé	41.42	65.19	132. 80	173.5 2	150.90	-	-	-	-	-	26.76	19.4 7
Poivron	-	-	-	-	80.48	187. 88	296.9 8	240.2 2	-	-	-	-
Carotte	29.51	-	-	-	-	-	-	-	70.18	82.03	54.19	37.4 8
Olivier	42.97	59.49	55.3 4	72.3	100.06	135. 27	201.9 5	221.5 4	158.7 5	111.3 2	63.56	45.2 6
Abricotier	0	0	0	72.3	106.63	170. 34	246.4 9	0	0	0	0	0
Total	201.9	246.8 3	417. 22	733.1 2	896.42	983. 47	1452. 23	929.9 1	438.8 1	251.3 5	222.6 5	158. 18

II.1 Calcul du débit fictif continu en mois de pointe (juillet)

Les débits spécifiques sont définis d'après les besoins en eau de chaque culture

Ces débits spécifiques sont calculés par la formule [*]

$$q_s = \frac{B * 10 * 1000}{t * T * eff * 3600} \dots\dots[*]$$

Tels que : B : Besoins mensuels mm

T : Temps d'irrigation par jour=20h/j

t : Nombre de jours d'irrigation =26jours.

K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation=0.75

$$q_s = \frac{207.44 * 10 * 1000}{26 * 20 * e0.75 * 3600} = 1.47 l / s$$

IV-10-Conclusion :

L'étude qui a été faite au niveau de notre région dans le but de déterminer la formule exacte pour l'estimation de l'évapotranspiration; la connaissance des apports, des pertes d'eau et les besoins en eau des plantes, nous ont permis de déterminer les besoins en eau d'irrigation pour les cultures que nous avons proposés précédemment.

Chapitre V

Réseau de distribution

Calcul du réseau de distribution

V-1-Introduction

L'ilot d'irrigation est par définition la plus petite entité hydraulique desservie par une borne d'irrigation.

La prise (borne) d'irrigation représente le point limite du système de distribution ou l'administration du réseau d'irrigation intervenant dans la gestion de l'eau.

V-2- Plan de bornage

Les conditions d'accès à la prise d'irrigation par les irrigants, sont matérialisées sur le plan de bornage, appelé **plan d'implantation** des différentes bornes du réseau.

On trouvera dans la **planche N°02** le plan de bornage.

V-3-Implantation des bornes

L'emplacement des bornes d'irrigation est le premier problème auquel doit s'attaquer le projecteur. Le réseau étant en effet destiné à amener l'eau en un certain nombre de points, il serait erroné d'étudier d'abord les tracés des conduites et de placer les bornes ensuite. Les conduites n'ont d'autres fonctions que de relier les bornes entre elles.

La position de chaque borne résulte d'un compromis entre l'intérêt économique qu'il y a à limiter le nombre de bornes et le désir d'une utilisation facile par l'agriculteur.

En effet une forte densité améliore les conditions de travail des agriculteurs en diminuant les longueurs de canalisations mobiles de surface, mais , il accroît le travail de montage et de transport des canalisations mobiles.

On admet généralement que l'implantation des bornes répond aux critères suivants :

Pour les zones de petite et moyenne exploitation :

- une prise par îlot d'exploitations
- quatre (04) prises maximum sur une même borne
- borne implantées en limites d'îlots
- dénivelée maximum de 5m entre les points les plus hauts et les plus bas du bloc d'îlots
- prendre en considération la possibilité d'une modification de la structure foncière

V-4- Dimensionnement du réseau de distributions

Un réseau collectif de distribution peut fonctionner en deux modes :

VI.2.1 Distribution d'eau à la demande

Dans ce mode chaque irrigant étant libre d'utiliser le débit qu'il a souscrit à toute heure du jour ou de la nuit. L'organisme de gestion du réseau vent l'eau sur la base des débits souscrits à l'irrigant et les volumes effectivement prélevés. Ce pendant le débit affecté à une prise sera supérieur au débit fictif continu (le débit qui serait nécessaire si l'irrigation s'effectuait 24h sur 24 pendant la période de pointe). De là un limiteur de débit, monté sur chaque prise d'irrigation, qui va interdire le dépassement du débit souscrit est indispensable. La pression à assurer à l'amont du réseau collectif est généralement de l'ordre de 3.5 à 4.5 bars, correspondant à une irrigation avec asperseurs à moyenne pression.

V-4-1- Distribution au tour d'arrosage

Elle est inspirée du mode de desserte spécifique des réseaux d'irrigation de surface avec réseau collectif constitué de canaux à ciel ouvert dont le débit transité par chaque tertiaire correspond au module d'irrigation et cela successivement pour tous les îlots dépendant de ce tertiaire, l'analogie des systèmes de distribution sous pression au réseaux de surfaces c'est traduite par deux modalités de fonctionnement.

V-4-2 Tour d'arrosage à la borne

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

V-4-3 Tour d'arrosage au niveau de l'antenne

Dans le cas des petites propriétés, les modules disponibles en appliquant la modalité précédente pourront être trop faibles. On peut alors songer à regrouper plusieurs bornes sur une antenne donnée. Le débit fictif continu relatif aux superficies irriguées desservies par cette antenne constituera le module d'irrigation successivement délivré aux différentes prises de l'antenne, ce principe d'organisation correspond à un tour d'eau à module variable, ou l'antenne joue le même rôle que le tertiaire de l'irrigation de surface.

V-5- Débits spécifiques

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

Ces débits spécifiques sont calculés par la formule suivante :

$$q_s = \frac{B * 10 * 1000}{t * T * eff * 3600}$$

Tels que : B_m : Besoins mensuels maximum net =207.44mm

T : Temps d'irrigation par jour=20h/j

t : Nombre de jours d'irrigation =26jours.

K : Coefficient d'efficacité globale du système d'irrigation=0.75

D'après le calcul $q_s=1.47l/s$

V-5-11 Débit nécessaire à chaque borne

Après avoir découpé le périmètre en îlots suivant les limites et propriétés existantes, nous avons affecté des bornes (voir plan de bornage).

Le débit de chaque borne est calculé à partir de la formule suivante c'est le débit caractéristique :

$$Q = q_s * S_p$$

Avec : q : débit spécifique

S_p : surface de chaque parcelle (ha).

Tableau VI.1 : Calcul des débits de bornes

N°:Borne	Surface S(ha)	Débit Spécifique (q) (l/s/ha)	Débit Caractéristique (l/s)
1	16.83	1.47	24.7401
2	20.38	1.47	29.9586
3	21.38	1.47	31.4286
4	22.48	1.47	33.0456
5	21.39	1.47	31.4433
6	15.47	1.47	22.7409
7	12.75	1.47	18.7425
8	10.87	1.47	15.9789
9	16.36	1.47	24.0492
10	14.81	1.47	21.7707
11	29.60	1.47	43.512
12	15.10	1.47	22.197
13	33.99	1.47	49.9653
14	16.80	1.47	24.696
15	10.01	1.47	14.7147
16	14.89	1.47	21.8883
17	25.08	1.47	36.8676
18	15.45	1.47	22.7115
19	20.05	1.47	29.4735
20	17.38	1.47	25.5486
21	12.19	1.47	17.9193
22	6.20	1.47	9.114
23	6.87	1.47	10.0989
24	23.72	1.47	34.8684
25	24.89	1.47	36.5883
26	14.00	1.47	20.58
27	12.63	1.47	18.5661
28	11.10	1.47	16.317
29	23.63	1.47	34.7361
30	3.66	1.47	5.3802
31	3.62	1.47	5.3214
32	2.82	1.47	4.1454
33	3.91	1.47	5.7477
34	12.30	1.47	18.081
35	9.50	1.47	13.965
36	0.11	1.47	0.1617
37	6.62	1.47	9.7314
38	22.37	1.47	32.8839
39	6.24	1.47	9.1728
40	8.51	1.47	12.5097
41	5.64	1.47	8.2908
42	8.2	1.47	12.054
43	31.74	1.47	46.6578
44	21.00	1.47	30.87
45	6.82	1.47	10.0254
46	12.64	1.47	18.5808
47	5.42	1.47	7.9674
48	20.87	1.47	30.6789
49	11.07	1.47	16.2729

N°:Borne	Surface S(ha)	Débit Spécifique (q) (l/s/ha)	Débit Caractéristique (l/s)
50	5.45	1.47	8.0115
51	6.33	1.47	9.3051
52	9.89	1.47	14.5383
53	26.03	1.47	38.2641
54	7.2	1.47	10.584
55	12.24	1.47	17.9928
56	22.26	1.47	32.7222
57	7.76	1.47	11.4072
58	6.28	1.47	9.2316
59	3.87	1.47	5.6889
60	3.38	1.47	4.9686
61	2.83	1.47	4.1601
62	1.74	1.47	2.5578
63	1.61	1.47	2.3667
64	1.62	1.47	2.3814
65	2.3	1.47	3.381
66	1.15	1.47	1.6905
67	2.94	1.47	4.3218
68	1.26	1.47	1.8522
69	15.24	1.47	22.4028
70	10.50	1.47	15.435
71	12.00	1.47	17.64
72	12.54	1.47	18.4338
73	11.67	1.47	17.1549
74	17.62	1.47	25.9014
75	12.02	1.47	17.6694
76	12.70	1.47	18.669
77	10.23	1.47	15.0381

V-6- Matière des conduites

Du point de vue matériaux on distingue plusieurs types de conduites destinées au transport de l'eau.

V-6-1 Conduites en fonte

elles représentent les caractéristiques suivantes :

- Bonne étanchéité.
- Bonne résistance aux forces internes.
- Bonne coefficient d'écoulement.

V-6-2 Conduites en acier

Les conduites en acier sont utilisées lorsqu'on a une pression importante, elles présentent également un bon coefficient d'écoulement hydraulique et une bonne étanchéité.

V-7- Choix du type des conduites

Le choix entre les différents types de conduites est établi sur des critères d'ordre technique à savoir :

- Le diamètre
- La pression nécessaire
- Les conditions de pose des conduites

V-8- Calcul des diamètres

Le calcul des diamètres est réalisé sur la base des débits véhiculés par le tronçon de conduite, et les vitesses admissibles maximales et minimales.

La formule de BONIN nous donne une approche du diamètre calculé qu'on normalise

$$D = \sqrt{Q}$$

Avec : Q : Débit en m³/s

D : Diamètre en m

- Les résultats des calculs qui sont faits par logiciel EPANET sont représentés dans le tableau :

Tableau VI.2 : calcul des pression de borne

Points	Altitude(m)	Demande (l/s)	Charge(m)	Pression(m)
B1	450	24.74	542.79	92.79
B2	450	29.96	545.86	95.86
B3	458	31.42	546.50	88.50
B4	463	33.04	547.63	84.63
B5	467	31.44	541.70	74.70
B6	469	22.75	548.67	79.67
B7	475	18.74	548.12	73.12
B8	477	15.98	547.43	70.43
B9	479	24.04	549.50	70.50
B10	480	21.77	549.55	69.55
B11	477	43.51	548.08	71.08
B12	480	22.20	548.44	68.44
B13	477	49.97	549.04	72.04
B14	473	24.70	547.05	74.05
B15	469	14.71	544.69	75.69
B16	465	21.89	545.50	80.50
B17	458	36.87	546.74	88.74
B18	455	22.71	545.04	90.33
B19	451	29.48	545.24	92.24
B20	457	25.55	546.61	89.61
B21	466	17.92	548.17	82.17
B22	460	9.12	549.56	89.56
B23	465	10.10	550.64	85.64
B24	470	34.87	549.28	79.28
B25	485	36.58	549.88	64.88
B26	477	20.58	549.90	72.90
B27	485	18.56	550.47	65.47
B28	480	16.32	548.91	68.91
B29	477	34.73	551.35	74.35
B30	470	5.38	550.39	80.39
B31	465	13.97	549.54	84.54
B32	469	0.17	550.75	81.75
B33	462	9.37	548.51	86.51
B34	462	32.89	545.29	83.29
B35	459	9.17	542.96	83.96
B36	463	12.51	547.04	84.04
B37	455	8.29	547.04	92.04
B38	460	12.06	545.41	85.41
B39	467	46.66	548.62	81.62
B40	472	30.87	549.85	77.85
B41	474	10.87	543.18	69.18
B42	475	7.96	543.87	68.87
B43	475	7.96	542.01	67.01
B44	485	30.68	549.92	64.92

Points	Altitude(m)	Demande (l/s)	Charge(m)	Pression(m)
B45	484	16.27	547.78	63.78
B46	480	8.01	549.87	69.87
B47	484	9.31	546.47	62.47
B48	485	38.27	549.96	64.96
B49	485	10.59	546.81	61.81
B50	485	18.00	549.02	64.02
B51	485	32.72	551.08	66.02
B52	480	11.41	542.48	62.48
B53	485	9.24	544.42	59.42
B54	480	12.41	546.88	61.88
B55	480	9.25	546.13	66.13
B56	480	9.30	546.32	66.32
B57	464	22.40	546.25	82.25
B58	467	15.43	544.07	77.07
B60	470	17.64	544.40	74.40
B61	465	18.43	545.57	80.57
B62	461	17.16	541.65	80.65
B63	485	25.90	548.84	63.84
B64	482	17.67	546.33	64.33
B65	475	18.66	550.74	75.74
B66	485	15.04	549.89	64.89
N1	455	0.0	545.33	90.33
N2	455	0.0	547.58	92.58
N3	459	0.0	547.02	88.02
N4	460	0.0	548.24	88.24
N5	465	0.0	548.50	83.50
N6	464	0.0	548.41	84.41
N7	463	0.0	546.91	83.91
N8	463	0.0	546.35	83.35
N9	465	0.0	546.16	81.16
N10	469	0.0	545.94	76.94
N11	467	0.0	548.65	81.65
N12	467	0.0	547.49	80.99
N13	470	0.0	548.89	78.89
N14	475	0.0	549.13	74.13
N15	480	0.0	548.59	68.59
N16	477	0.0	549.49	72.49
N17	477	0.0	549.12	72.12
N18	480	0.0	550.72	70.72
N19	480	0.0	550.21	70.21
N20	480	0.0	551.45	71.45
N21	480	0.0	550.25	70.25
N22	485	0.0	551.55	66.55
N23	480	0.0	551.17	71.17

Points	Altitude(m)	Demande (l/s)	Charge(m)	Pression(m)
N24	477	0.0	550.54	73.54
N25	485	0.0	551.02	66.02
N26	481	0.0	551.57	70.57
N27	480	0.0	551.50	71.50
N28	482	0.0	551.45	69.45
N29	475	0.0	551.41	76.41
N30	476	0.0	551.37	75.37
N31	475	0.0	551.34	76.34
N32	470	0.0	551.25	81.25
N33	465	0.0	551.07	86.07
N34	465	0.0	550.88	85.88
N35	465	0.0	550.83	85.83
N36	476	0.0	544.83	68.83
N37	476	0.0	544.79	68.79
N38	470	0.0	551.20	81.20
N39	470	0.0	551.09	81.09
N40	470	0.0	550.99	80.99
N41	470	0.0	548.36	78.36
N42	458	0.0	545.85	87.85
N43	463	0.0	549.21	86.21
N44	458	0.0	548.32	90.32
N45	457	0.0	548.27	91.27
N46	455	0.0	548.13	93.13
N47	485	0.0	551.67	66.67
N48	485	0.0	551.58	66.58
N49	485	0.0	551.40	66.40
N50	485	0.0	551.78	66.78
N51	485	0.0	551.76	66.76
N52	485	0.0	550.09	65.09
N53	485	0.0	550.08	65.08
N54	480	0.0	550.05	70.05
N55	485	0.0	552.00	67.00
N56	485	0.0	551.67	66.67
N57	485	0.0	549.51	64.51
N58	485	0.0	549.17	64.17
N59	485	0.0	548.95	63.95
N60	485	0.0	549.15	64.15
N61	480	0.0	547.23	67.23
N62	480	0.0	546.51	66.51
N63	480	0.0	546.41	66.41
N64	450	0.0	547.01	97.09
Réservoir	550	-1350.21	552.00	2.00

Nous remarquons d'après les calculs que les pressions disponibles au niveau des bornes varient de 5 à 9 bars.

Dans le cas de l'utilisation d'un système d'irrigation qui ne nécessite pas beaucoup de pression, il faudra prévoir des limiteurs de pressions.

Calcul hydraulique du réseau collectif de distribution :

Compte tenu du schéma et du tracé du réseau, les résultats du calcul hydraulique se résument dans le tableau ci après.

Tableau VI.3 Calcul hydraulique du réseau collectif de distribution

Conduite	Longueur(m)	Diamètre(m)	Débit (lps)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)
C1	828	200	24.74	0.79	3.07
C2	335	250	22.71	0.46	0.86
C3	391	200	29.96	0.95	4.41
C4	654	250	47.45	0.97	3.45
C5	326	300	36.87	0.52	0.86
C6	332	250	31.42	0.64	1.58
C7	443	300	68.29	0.97	2.75
C8	794	400	77.41	0.62	0.83
C9	208	200	18.43	0.59	1.76
C10	269	200	21.89	0.70	2.43
C11	267	300	36.07	0.51	0.82
C12	721	150	17.16	0.97	6.51
C13	205	350	57.96	0.60	0.93
C14	259	200	22.40	0.71	2.54
C15	721	400	75.12	0.60	0.78
C16	1170	400	97.52	0.78	1.28
C17	452	250	33.04	0.67	1.73
C18	129	500	130.56	0.66	0.73
C19	726	600	145.70	0.52	0.36
C20	493	800	276.26	0.55	0.29
C21	629	800	323.13	0.64	0.39
C22	306	250	33.45	0.68	1.77
C23	261	200	18.74	0.60	1.82
C24	554	800	345.88	0.69	0.44
C25	359	300	40.68	0.58	1.03
C26	297	150	15.98	0.90	5.69
C27	676	200	24.70	0.79	3.06
C28	675	800	379.33	0.75	0.53
C29	158	250	45.81	0.93	3.22
C30	245	200	24.04	0.77	2.90
C31	275	200	21.77	0.69	2.41
C32	1925	800	420.01	0.84	0.64
C33	423	300	69.41	0.98	2.84
C34	743	250	43.51	0.89	2.92
C35	423	200	25.90	0.82	3.35
C36	947	800	465.82	0.93	0.78
C37	435	500	143.52	0.73	0.87
C38	1095	200	22.20	0.71	2.50
C39	642	400	84.84	0.68	0.98
C40	987	300	49.97	0.71	1.52
C41	617	250	36.58	0.75	2.10
C42	722	1200	535.23	0.47	0.13

Conduite	Longueur(m)	Diamètre(m)	Débit (lps)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)
C43	100	800	355.37	0.71	0.46
C44	750	150	17.67	1.00	6.89
C45	100	800	339.05	0.67	0.42
C46	100	800	318.47	0.63	0.38
C47	697	200	20.58	0.66	2.17
C48	354	200	18.66	0.59	1.80
C49	100	800	299.81	0.60	0.34
C50	100	200	7.96	0.25	0.37
C51	626	150	7.96	0.45	1.53
C52	731	125	7.96	0.65	3.80
C53	100	300	38.57	0.55	0.93
C54	1153	150	5.38	0.30	0.74
C55	100	250	33.19	0.68	1.75
C56	348	150	13.97	0.79	4.41
C57	100	200	19.22	0.61	1.90
C58	419	200	10.10	0.32	0.57
C59	100	200	9.12	0.29	0.48
C60	259	125	9.12	0.74	4.92
C61	100	550	235.30	0.99	1.39
C62	885	250	30.87	0.63	1.52
C63	100	550	204.43	0.86	1.06
C64	368	40	0.17	0.14	0.94
C65	709	250	46.66	0.95	3.34
C66	325	250	32.89	0.67	1.72
C67	1657	250	12.06	0.25	0.27
C68	627	200	17.92	0.57	1.67
C69	316	150	9.73	0.55	2.23
C70	1079	125	9.17	0.75	4.97
C71	58	400	75.83	0.60	0.79
C72	508	200	25.55	0.81	3.26
C73	193	350	50.28	0.52	0.71
C74	676	200	29.48	0.94	4.28
C75	296	500	83.97	0.43	0.32
C76	881	500	65.41	0.33	0.20
C77	620	200	18.56	0.59	1.78
C78	322	200	30.68	0.98	4.62
C79	881	500	34.73	0.18	0.06
C80	611	1500	1135.86	0.64	0.18
C81	142	500	63.16	0.32	0.19
C82	369	150	15.04	0.85	5.07
C83	471	250	48.12	0.98	3.54
C84	680	150	2.40	0.14	0.12

Conduite	Longueur(m)	Diamètre(mm)	Débit (lps)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)
C85	100	200	12.13	0.39	0.81
C86	71	400	33.59	0.27	0.17
C87	391	150	16.27	0.92	5.89
C88	608	400	17.32	0.14	0.05
C89	485	200	8.01	0.25	0.37
C90	699	125	9.31	0.76	5.11
C91	1063	1500	1199.02	0.68	0.20
C92	347	500	151.19	0.77	0.96
C93	347	400	118.47	0.94	1.85
C94	466	250	38.27	0.78	2.29
C95	877	350	80.20	0.83	1.72
C96	877	250	18.00	0.37	0.56
C97	149	300	62.20	0.88	2.31
C98	899	125	9.24	0.75	5.04
C99	860	125	11.41	0.93	752
C100	100	200	20.65	0.66	2.18
C101	209	500	41.55	0.21	0.09
C102	359	125	10.59	0.86	6.53
C103	401	200	18.55	0.59	1.78
C104	224	150	17.64	1.00	6.87
C105	430	150	16.32	0.92	5.92
C106	100	550	204.26	0.86	1.06
C107	1254	250	30.96	0.63	1.53
C108	347	250	32.72	0.67	1.70
C109	220	200	9.30	0.30	0.49
C110	1254	250	12.41	0.25	0.28
C111	189	150	9.25	0.52	2.03
C112	178	200	9.30	0.30	0.49
C113	628	300	22.75	0.32	0.35
C114	802	150	14.71	0.83	4.86
C115	655	250	34.87	0.71	1.92
C116	912	400	85.00	0.68	0.99
C117	1654	250	44.95	0.92	3.11
C118	1054	400	112.65	0.90	1.68
C119	194	250	46.87	0.95	3.37
C120	737	150	15.43	0.87	5.32
C121	302	150	31.44	1.78	20.85
C122	674	1500	1051.89	0.60	0.16
C123	100	1300	678.85	0.51	0.14
C124	392	1000	373.04	0.47	0.17
C125	888	200	25.94	0.83	3.36
C126	882	125	10.02	0.82	5.88
C127	625	150	15.92	0.90	5.65
C128	470	200	20.80	0.66	2.21
C129	133	200	8.29	0.26	0.40
C130	492	300	12.51	0.18	0.12

V-9- Equipement hydromécanique :

Pour assurer le bon fonctionnement, ainsi que la protection du réseau de distribution, nous prévoyons l'installation des équipements hydromécaniques tels que :

V-9-1-Ventouses ou soupapes d'échappement : Installées sur les points haut des canalisations. Elles permettent l'évacuation de l'air.

V-9-2- Puits de vidange : Placés dans les points Bas (dépression naturelle). Ils permettent le chassage de l'eau en cas de nécessité.

V-9-3-Vanne de sectionnement : Elles permettent la régularisation des modules d'irrigation dans les tronçons du réseau de desserte. En plus elles sont installées au niveau de la station de pompage et les réservoirs.

Le calcul hydraulique du réseau collectif de distribution réalisé à l'aide du logiciel EPANET donne des résultats plus ou moins satisfaisant, cependant quelques aberrations sont à noter, quelques tronçons de conduite présentent des vitesses très faible de l'ordre de 0,14m/s et des diamètres identiques bien que les débits soient différents.

Il importe donc de vérifier chaque points et trouver le moyen de corriger ces aberrations.

Chapitre VI

Technique d'irrigation

Choix des techniques d'irrigation

VI-1-Introduction

L'irrigation est l'humidification artificielle du sol de telle manière que les plantes en tirent le maximum de profit ; en effet il existe plusieurs techniques pour la faire et chacune de ces techniques présente des avantages et des inconvénients

VI-2- techniques d'irrigation

2-1- l'irrigation par aspersion

Dans cette technique l'eau est fournie aux plantes sous forme de pluie artificielle issues d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression. Cette technique ne nécessite aucun nivellement de la surface à irriguer et assure l'aération de l'eau et du sol. C'est une méthode qui permet d'arroser convenablement des sols très perméables. Les systèmes issus de cette technique peuvent être soit mobiles ; semi-mobiles ou fixes.

a) Les avantages

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

b) les inconvénients

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

2-2- l'irrigation localisée

La distribution de l'eau se fait avec un réseau sous pression posé sur le sol où suspendu où partiellement enterrer entraînant l'humidification d'une partie seulement du sol.

Le réseau contient des rampes souples où demi-dures perforées ou munies à intervalles variables selon les cultures de dispositifs distributeurs tels que les ajutages ; les goutteurs et les mini- diffuseurs.

a) les Avantages

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

b) Les inconvénients

- Coût très élevé du matériel
- Risque d'obstruction des goutteurs
- Nécessité d'une main d'œuvres spécialisés

VI-3- L'irrigation gravitaire

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

3-1- L'irrigation par ruissellement

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

a) Les avantages de l'irrigation par ruissellement

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

b) les inconvénients

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

3-2- l'irrigation par submersion

Elle se pratique en recouvrant le sol avec une couche d'eau épaisse qui séjournera le temps nécessaire par la qu'elle s'infiltre à la profondeur utile .Cette profondeur est fonction des besoins nécessaire pour la croissance des plantes. Cette méthode reste valable dans le cas des terrains perméable et de pente Inférieur à 2 %.

a) Les avantages de la submersion

- Destruction des adventices
- Protégé contre le gel

b) Les inconvénients de la submersion

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

VI-4- l'irrigation par infiltration

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

a) les avantages

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

b) Les inconvénients

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

VI-5- Choix des techniques d'arrosage

Pour pouvoir choisir la technique d'irrigation convenable, il est nécessaire de savoir les contraintes suivantes :

VI-5-1- Les contraintes naturelles

a) L'évaporation

Notre zone d'étude est caractérisée par une évaporation élevée durant l'été, ce qui provoque une perte d'eau importante

b) Le vent

C'est le facteur déterminant dans le choix de technique d'irrigation, notre zone d'étude est caractérisée par des vitesses faibles d'une part et moyennes d'autre part (3.8m/s au moyen)

c) Le sol :

Les sols de la station présentent une texture argilo-limoneuse, la perméabilité est moyenne, d'où l'irrigation de surface doit être prudente afin d'éviter l'asphyxie des plantes, dans ce cas l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée des avantages du fait qu'on peut donner des faibles doses.

d) Topographie

La topographie représente aussi une contrainte importante parmi les contraintes naturelles. Elle est caractérisée par la pente du terrain.

Un terrain à faible pente est caractérisé par une faible vitesse d'écoulement soit dans les canaux, soit dans les rigoles ce qui provoque la poussée des mauvaises herbes.

Donc il n'est pas nécessaire d'envisager l'irrigation de surface. Si la pente est très forte un problème d'érosion peut se poser, d'où dans deux cas l'irrigation par aspersion et par goutte à goutte qui sont adaptées

VI- 6- les contraintes techniques et socio-économiques

a) Contraintes techniques

Il s'agit :

- Des dimensions et configurations des parcelles qui doivent correspondre aux paramètres linéaires de la technique d'arrosage.
- De la mise en œuvre et de l'entretien du système d'irrigation.
- Fiabilité du matériel utilisé.
- Possibilité d'automatisation du système d'arrosage.

b) Contrainte socio-économique

- Economie d'eau.
- Existence ou non d'une main d'œuvre qualifiée.
- Possibilité de créer des emplois.

VI-7- Conclusion

Dans ce chapitre on a parlé par les choisir des techniques d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte, ces deux techniques présentent beaucoup d'avantage et inconvénients ainsi que le choix le plus adéquat qui est en fonction de climat, le sol, composition chimique de l'eau d'irrigation , et les contraintes technico-économique.

Donc pour les cultures de l'assolement on opte pour l'irrigation par aspersion, pour les arbres on opte pour l'irrigation par le goutte à goutte.

Chapitre VIII

Dimensionnement a la parcelle

Dimensionnement d'un réseau d'irrigation en goutte à goutte

VII-1-Introduction

L'irrigation localisé ou micro-irrigation est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle

VII-2-Equipement de la parcelle pour l'irrigation localisé

Un équipement type de goutte à goutte comprend les éléments suivants :

1) le goutteur

C'est organe central du système par lequel l'eau sort à la pression atmosphérique sous forme de gouttes a un faible débit et il est alimenté à partir des rampes.

Le choix et le fonction selon les données physique (sol, climat, plant) les goutteurs ont un débit faible 1et8l/h sous une pression de 1bars (10m.c.e)

2) la rampe

C'est conduit qui porte les goutteurs placés à des écartements constants. Lorsqu'elle est entrée, la rampe est en pvc rigide.

3) la porte rampe

Alimente les rampes par des départs sur un coté ou sur les deux et peut être flexible si elle reste en surface ou rigide dans le cas ou elle est entrée.

4) la conduit principale

Elle relie les divers portes rampes au points d'eau et peut être en PE,PVC ,en acier ou en ciment.

5) l'unité de tête

Installée souvent à proximité du point d'eau, elle comporte de capteurs d'injecteurs d'engrais, d'appareils de contrôle automatique de manomètre et de filtre nécessaire à la bonne marche de l'installation.

VII-3- Choix d'ilots type

Pour le dimensionnement par goutte à goutte en choisissant un îlot type avec $S=6.02\text{ha}$

3.1. Données générales

- Cette parcelle comporte des plants d'Abricotier

Tableau VII.1 : données générales

Culture	Agrumes
Espacement entre arbres	5m
Espacement entre rangs	5m
Caractéristique de goutteur	
Débit nominal	4l/h
Pression nominale	10 mec
Espacement entre goutteurs	5m

VII-4- Besoins en eau journaliers

On rappelle que les besoins pointe pour cet îlot, en Juillet, sont de 246.94mm.

$$\Rightarrow \text{Les besoins journaliers } b_j = \frac{246.94}{31} = 7.97\text{mm/j}$$

Donc les besoins journaliers correspondent à **B = 7.97 mm / jour**

VII-5- Temps maximum de travail

Temps maximum journaliers de travail 20h/24h

3. Détermination des données de bases

Surface totale à irriguée

$S(t) = 6 \text{ ha}$

VII-6- Besoins journaliers en tenant compte de la réduction k_r

La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0,5(1 - C_s). \quad C_s : \text{couverture du sol en \%}$$

$$K_r = 0.6 + 0,5(1 - 0.6) = 0.8$$

Les besoins seront réduits sont :

$$B_j = b_j \cdot K_r = 7.97 \cdot 0.8 = 6.38 \text{ mm/j}$$

VII-7-Besoin d'irrigation brute

$$B_{brut} = \frac{B_j}{C_u * eff}$$

Cu : coefficient d'uniformité%=0.90

Eff : efficience, rendement du système =0.95

Donc
$$B_{brut} = \frac{6.38}{0.85} = 7.5 \text{ mm}$$

VII-8-pourcentage du sol humidifié

$$P = \frac{100 \cdot n_g \cdot l_g \cdot Ln}{S_a \cdot S_r}$$

N_g : nombre de goutteurs

L_g : espacement entre goutteurs

Ln : largeur de la bande humidifiée=Ecartement entre rampe

S_a : espacement entre arbre (m)

S_r : Ecartement entre rangs d'arbre (m)

$$P = \frac{100 * 2 * 5 * 1}{5 * 5} = 40\%$$

VII-9-Fréquence d'arrosages :

La fréquence ou espacement entre deux arrosages. Cette valeur dépend de la transpiration journalière moyenne dans la période de pointe des cultures et de la dose appliquée à chaque arrosage

Pour un sol limono argileux la réserve utile RU = 180 mm/m

$$RFU = \frac{2}{3} * RU = \frac{2}{3} * 180 = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Dose nette} = RFU * P = 120 * 0.4 = 48 \text{ mm}$$

VII-10-Fréquence des arrosages : espacement entre 2 arrosages

$$F \text{ min} = \frac{D_{\text{nette}}}{B} = \frac{48}{6.38} = 8 \text{ jours}$$

VII-11-La durée d'arrosage

$$\theta = \frac{b_{\text{brute}} * S_a * S_r}{n * q_g} = \frac{7.5 * 5 * 5}{2 * 4} = 23 \text{ heures}$$

VII-12-durée d'arrosage journalier

$$dj = \frac{\theta}{F \text{ min}} = \frac{23}{8} = 3 \text{ heures}$$

VII-13- Nombre de poste :

$$\theta = \frac{24 * F}{20h} = \frac{24 * 8}{20} = 10 \text{ poste} \Rightarrow \theta = 10 \text{ postes}$$

VII-14- Surface d'un poste

$$S(p) = \frac{S(t)}{N(p)} \Rightarrow S(p) = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ ha}$$

$$\mathbf{S(p)=0.6ha}$$

S (f) : Surface totale en ha.

N (p) : Nombre de poste.

VII-15-Surface correspondant à une rampe

Al=longueur de la rampe × espacement entre les rampes

$$Al = 100 \times 5 = 500 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{Al = 500 \text{ m}^2.}$$

VII-16- Nombre de rampes par postes

$$N(r) = \frac{S(p)}{Al} \Rightarrow N(r) = \frac{6000}{500} = 12 \text{ rampes}$$

$$\mathbf{N(r)=12rampes}$$

Avec :

S (p) : Surface du poste en m².

Al : Surface correspondant à une rampe en m².

VII-17- Nombre de goutteur par rampe

$$Ng = \frac{Lr}{Sr} = \frac{100}{5} = 20 \text{ goutteurs}$$

Avec :

L_r : longueur de la rampe

S_r : espacement entre culture

VII-18-Débit d'une rampe

$$Q_r = N_g * q_g = 2 * 20 * 4 = 160 \text{ l/h}$$

$$Q_r = 160 \text{ l/h}$$

Avec :

Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur

N_g : Nombre des goutteurs par rampe

VII-19-Calcul hydraulique**1) Type de goutteur**

Variation maximale de débits entre goutteurs

$$\Delta q / q = 10\%$$

Variation maximale de la pression

$$q = K * H^x$$

$$\frac{\Delta q}{q_g} = 0.1 = 0.5 \frac{\Delta H}{H_n}$$

Avec q_g : débit d'un goutteur

H_n : Pression nominale

$$H = 10 \text{ mce}$$

$$\Delta H_{\text{adm}} = 2 \text{ mce}$$

$$p.d.c_{\text{sing}} = 10\% \quad p.d.c_{\text{linéaire}}$$

$$Pdc(\text{sing}) = 2 * 0.1 = 0.2 \text{ mce}$$

$$Pdc(\text{sing}) = 0.2 \text{ mce}$$

$$Pdc(\text{linéaire}) = 2 - 0.2 = 1.8 \text{ mce}$$

$$Pdc(\text{linéaire}) = 1.8 \text{ mce}$$

La répartition de la perte de charge est :

1/3 sur la porte rampe

2/3 sur les rampes

$$p.d.c(\text{porte rampe}) = 1/3 P_{dc} (\text{linéaire}) = 1/3(1.8) = 0.6\text{m}$$

$$p.d.c(\text{porte rampe}) = 0.6\text{m}$$

$$p.d.c(\text{rampe}) = 2/3 P_{dc} (\text{linéaire}) = 2/3(1.8) = 1.2\text{m}$$

$$p.d.c(\text{rampe}) = 1.2\text{m}$$

2) Le diamètre de la rampe

$$D = \left[\frac{P_{dc} \times 2,75}{0,478 \times Q_r^{1,75} \times L_r} \right]^{(-1/4,75)} = 11.38\text{mm}$$

$$D_{\text{normalisé}} = 16\text{mm}$$

3) Les pertes de charge

$$j_{PVC} = \left[\frac{0,478 \times D^{-4,75} \times Q_r^{1,75} \times L}{2,75} \right] = 0.293\text{m.c.e}$$

$$j_{PVC} = 0.293 \text{ m} < 1,2 \text{ m} \Rightarrow \text{la condition est vérifiée}$$

4) Débit de porte rampe

$$Q_{\text{porte rampe}} = N \times Q_{\text{rampe}} = 12 \times 160 = 1920\text{l/h}$$

5) Le diamètre de la porte rampe

$$D = \left[\frac{P^r_{dc} \times 2,75}{0,478 \times Q_r^{1,75} \times L_r} \right]^{(-1/4,75)} = 22.56$$

D_{normalisé} = 40mm

6) Les pertes de charge

$$j_{PVC} = \left[\frac{0,478 \times D^{-4,75} \times Q^{1,75} \times L}{2,75} \right] = 0.142 \text{ m.c.e}$$

$j_{PVC} = 0,142 \text{ m} < 0,6 \text{ m} \Rightarrow$ la condition est vérifiée

VII-20-Conclusion

Dans ce chapitre on déterminé le nombre de postes ainsi que leurs compositions et dimensionnement du réseau d'irrigation localisé

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de fin d'étude à consisté l'élaboration d'un projet d'aménagement hydraulique de la rive droite du périmètre du ksob situé dans la wilaya de MSILA.

Cet aménagement s'est' imposé suite aux travaux réalisés sur le barrage du KSOB qui ont permis d'avoir une réserve en eau plus importante. Donc dans le souci d'économiser l'eau nous avons tenu à remplacer le système d'irrigation existant c'est-à-dire le gravitaire par un système plus performant qui est l'irrigation localisée. Ce système ne s'applique que sur les cultures en ligne qui dans notre cas sont représentés par les abricotiers, arbres s'adaptant au climat régional.

En effet l'étude climatique à pu révéler ce caractère aride ou les pluies sont rares et dont le total ne dépasse pas les 200mm par ans.

Ainsi compte tenu des caractéristiques naturelles de la région à savoir la topographie, la nature des sols et les assolements traditionnels pratiqués, nous avons projeté un réseau d'adduction du barrage jusqu'en tête du périmètre et un réseau de distribution alimentant les différentes bornes que nous avons affectées à chaque ilots de notre périmètre.

Au niveau des ilots nous avons aussi projeté un réseau d'irrigation à la parcelle qui est le goutte à goutte.

Toutes ces conduites ont pour rôle d'économiser l'eau par la réduction de l'évaporation et par les faibles pertes et fuites au niveau de ces dernières.

L'utilisation de logiciel de calcul est intéressant pour la rapidité des calculs cependant certaines corrections doivent être apportées si l'on remarque des aberrations.

La réussite de tels projets ne peut cependant pas être assurée que par la sensibilisation et la participation active de tous les exploitants. Cet aménagement peut engendrer beaucoup d'emploi et un développement économique de la région.

BIBLIOGRAPHIE

AZIEZ, cours d'irrigation, ENSH-BLIDA, 2010-2011

BAHBOUH L.S. ET AZIEZ, cours et TD donnés à l'E.N.S.H. _2011/2012

BOUALEM SALAH Cours d'alimentation en eau potable, ENSH

Sitographie :

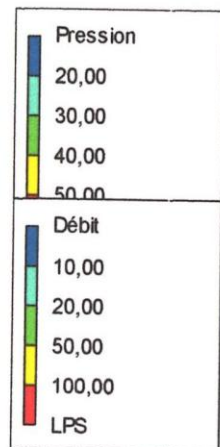
[http// :www.google/Geonetwork3.fao.org](http://www.google/Geonetwork3.fao.org)

Touibia.B, Manuel pratique d'hydrologie; ENSH-BLIDA, **2004**

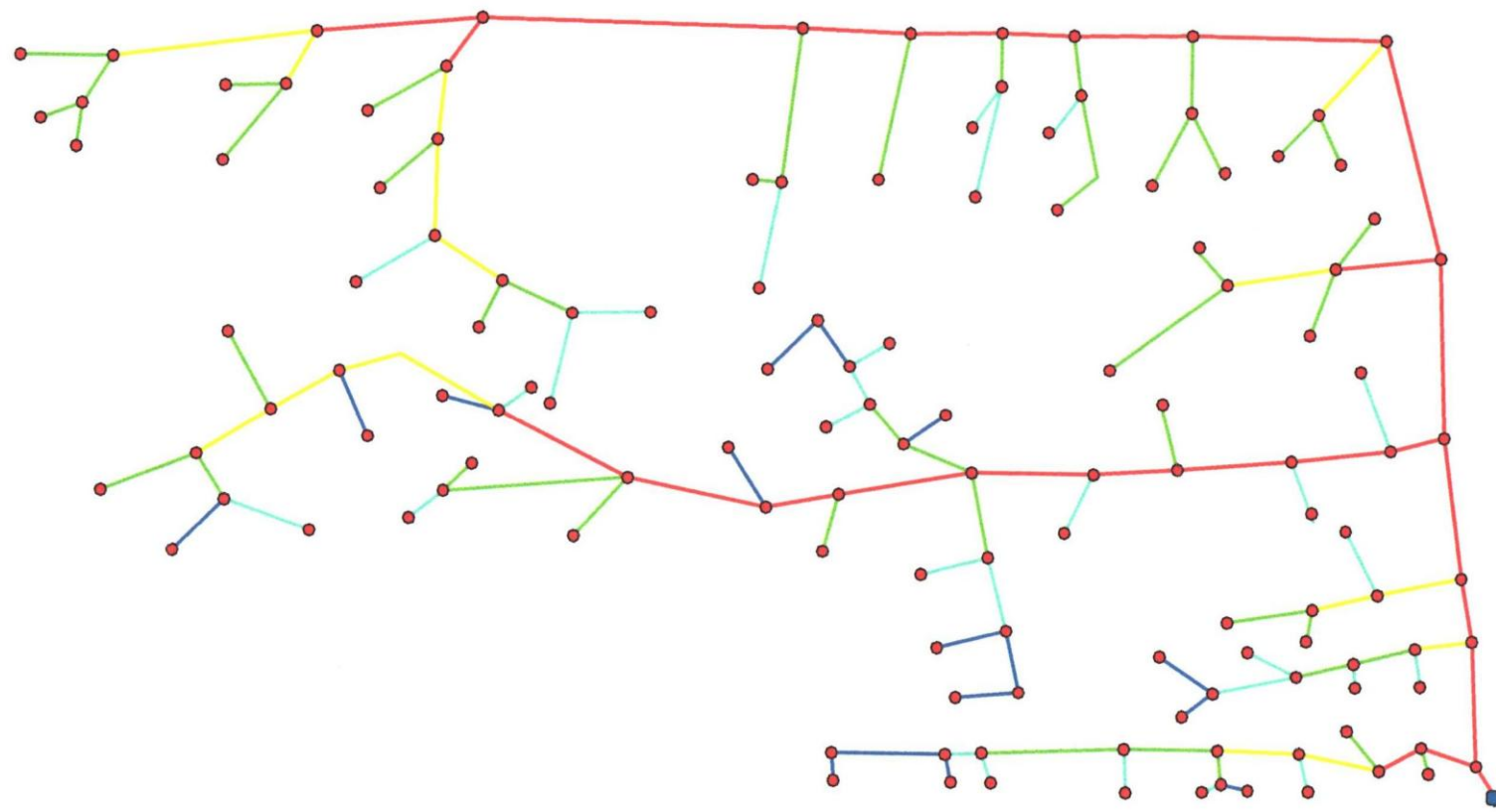
Tierclin, J-R Traité d'irrigation, édition Lavoisier technique et documentation
11, Rue Lavoisier ; F 75384 Cedex 8. Paris, **1998**

Annexes

FIGUREV.1:Représentation du réseau de distribution



Jour 1, 12:00 A



2. COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc)

CULTURE	Stades de développement de la culture					Durée totale de la période végétative
	Initial	Développement	Mi-saison	Arrière saison	Récolte	
Bananier 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
Bananier 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
Mais 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
Mais grain	0.3-0.5*	0.7-0.85*	1.05-1.2*	0.8-0.95	0.55-0.6*	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	1.05-1.2	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						0.65-0.75
Agrumes sans sarclage						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.

5. RESERVE D'HUMIDITE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)

DONNEES GENERALES SUR LA PROFONDEUR D'ENRACINEMENT DES CULTURES EN PHASE DE PLEIN DEVELOPPEMENT, FRACTION DE L'EAU UTILISABLE (p) ET RESERVE FACILEMENT UTILISABLE (p.Sa) POUR DIFFERENTS TYPES DE SOLS (en mm/m de profondeur) QUAND $ET_{cult} = 5-6$ mm/jour

Culture	Profondeur d'enracinement (d) m	Fraction (p) de l'eau utilisable ¹	Réserve d'eau facilement utilisable (p.Sa) mm/m ¹		
			T.fin	T.moyenne	T.grossière
Luzerne	1.0-2.0	0.55	110	75	35
Banane	0.5-0.9	0.35	70	50	20
Orge ²	1.0-1.5	0.55	110	75	35
Haricot ²	0.5-0.7	0.45	90	65	30
Betterave	0.6-1.0	0.5	100	70	35
Chou	0.4-0.5	0.45	90	65	30
Carotte	0.5-1.0	0.35	70	50	20
Céleri	0.3-0.5	0.2	40	25	10
Agrumes	1.2-1.5	0.5	100	70	30
Trèfle	0.6-0.9	0.35	70	50	20
Cacao		0.2	40	30	15
Coton	1.0-1.7	0.65	130	90	40
Concombre	0.7-1.2	0.5	100	70	30
Datte	1.5-2.5	0.5	100	70	30
Fruitiers cadu.	1.0-2.0	0.5	100	70	30
Lin ²	1.0-1.5	0.5	100	70	30
Céréales ²	0.9-1.5	0.6	120	80	40
Céré. d'hiver ²	1.5-2.0	0.6	120	80	40
Vigne	1.0-2.0	0.35	70	50	20
Gazon	0.5-1.5	0.5	100	70	30
Arachide	0.5-1.0	0.4	80	55	25
Laitue	0.3-0.5	0.3	60	40	20
Maïs ²	1.0-1.7	0.6	120	80	40
Maïs-ensilage		0.5	100	70	30
Melon	1.0-1.5	0.35	70	50	25
Olivier	1.2-1.7	0.65	130	95	45
Oignons	0.3-0.5	0.25	50	35	15
Palmier	0.7-1.1	0.65	130	90	40
Pois	0.6-1.0	0.35	70	50	25
Poivron	0.5-1.0	0.25	50	35	15
Ananas	0.3-0.6	0.5	100	65	30
Pomme de terre	0.4-0.6	0.25	50	30	15
Carthame ²	1.0-2.0	0.6	120	80	40
Sisal	0.5-1.0	0.8	155	110	50
Sorgho ²	1.0-2.0	0.55	110	75	35
Soja	0.6-1.3	0.5	100	75	35
Epinard	0.3-0.5	0.2	40	30	15
Fraisier	0.2-0.3	0.15	30	20	10
Betterave suc.	0.7-1.2	0.5	100	70	30
Canne à sucre ²	1.2-2.0	0.65	130	90	40
Tournesol ²	0.8-1.5	0.45	90	60	30
Patate douce	1.0-1.5	0.65	130	90	40
Tabac - init.	0.5-1.0	0.35	70	50	25
tard		0.65	130	90	40
Tomate	0.7-1.5	0.4	180	60	25
Légumes	0.3-0.6	0.2	40	30	15
Blé	1.0-1.5	0.55	105	70	35
maturité		0.9	180	130	55
Volume total d'eau du sol disponible (Sa) (mm/m)			200	140	60

¹ Quand $ET_{cult} < 3$ mm/jour, augmenter les valeurs de 30 % ; quand $ET_{cult} > 8$ mm/jour, réduire les valeurs de 30 %. Ceci suppose des conditions non salines ($CE < 2$ dS/m).

² Des valeurs supérieures à celles indiquées ici sont observées durant la maturation.

Sources: Taylor (1965), Stuart et Hagan (1972), Salter et Goode (1967), Rijtema (1965), etc.

Source: Bulletin FAO d'Irrigation et Drainage N° 24, Tableau 39 (nouvelle version).