

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'IRRIGATION ET DRAINAGE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME DU PROJET :

**DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'IRRIGATION DU
PÉRIMÉTRE KHECHM ERRIH W.OUARGLA A PARTIR D'UN
FORAGE (100 ha)**

PRESENTE PAR :

M^r GHEDJATI MOHAMED NADJIB

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms	Grade	Qualité
M RASSOUL ABDELAZIZ	M.C.A	Président
Mme AZIEZ WAHIBA	M.A.A	Examinatrice
M YAHIAOUI SAMIR	M.A.B	Examineur
M KERID RACHID	M.A.A	Examineur
SAIL NADHIRA	M.	Promotrice

Septembre 2015

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

✚ *A ma mère et mon père pour tout les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard ;*

✚ *A mon frère **Samir** et mes sœurs **Ouafa** et **Amel***

✚ *A toute la famille : **GHEDJATI***

✚ *A mes amis (es) : **Khalil, Raouf, Youcef, Ridha, Billel , Attia, Mourad, Chouaib , Habib , Zaki, Mahfoud , Moussab , Yassin, Ahmed et Hamza(34-43).***

✚ *A tous mes amis de l'ENSH , la **cité 03** et **itihad chark***

✚ *A tous les anciens combattants de l'année 2008.*

✚ *Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ma formation .*

✚ *A tous mes amis de **Sétif***

GHEDJATI
Mohamed Nadjib

Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes vifs remerciements :

✧ *A mon promotrice M^{me} : **SAIL Nadhira** pour ces conseils et ses consultations qui m'ont tout aidé a la réalisation de mon projet.*

✧ *Je tiens aussi à remercier tout le personnel de L'ONM et ANRH de*
Ouargla

✧ *A tout le corps enseignants et le personnel de l'ENSH qui ont contribuer de près où de loin a ma formation.*

✧ *Aux membres de jury qui auront à juger et à apprécier ce travail.*

✧ *Je tiens aussi a remercier mes amis qui ma aidé pendant la réalisation de projet.*

GHEDJATI
Mohamed Nadjib

ملخص :

إن الهدف من انجاز مذكرة نهاية الدراسة يندرج ضمن السياسة الحالية المتعلقة بتسيير المساحات المسقية لمنطقة خشم الريح ولاية ورقلة وذلك من اجل رفع المردودية الفلاحية لها وذلك باستعمال أفضل تقنيات السقي وتسيير أمثل للموارد المائية. وهذا لن يتأتى إلا بتبني أنظمة سقي حديثة والتي فرضت فعاليتها في الميدان كالنظام السقي بالتقطير الاكثر تطورا في الآونة الأخيرة نتيجة للتقدم العلمي والتكنولوجي ومن بين ما تتميز به هذا النظام من محاسن هو تحقيقه لاقتصاد معتبر للمياه.

Résumé :

L'objectif de mon mémoire rentre dans le caractère de la politique actuelle de la gestion des périmètres irrigués de la zone de Khechm-Errih (W.Ouargla) ; dont l'objectif est d'augmenter le rendement agricole, par l'utilisation des meilleurs systèmes d'irrigation , et une meilleure gestion des ressources en eau et cela par adoption des systèmes d'irrigation modernes qui ont imposé leur fiabilité, à savoir : l'irrigation localisée la mieux développée avec l'évolution de la science et de la technologie. Ce système présente de multiples avantages, comme l'importante économie d'eau.

Abstract:

The aim of my present work has an aspect of the actual policy of the irrigated areas management in a way to attain a high investment feed back, showing a better efficiency of the irrigation system from one part, and a better management and potentialities preservation: water resource and from other part. This by adoption of modern irrigation system because of their reliability, i.e: localized irrigation the most developed with the evolution of science and technology. These systems present many advantages like important quantities of water

SOMMAIRE

CHAPITRE I :Analyse des conditions naturelles

Introduction	
I.1 Situation de la zone d'étude	
I.1.1 Situation géographique	
I.1.1.1.La position géographique de la wilaya d'Ouargla	
I.1.1.2.La position géographique de la zone d'étude.....	
I.2 Climatologie	
I.2.1.introduction.....	
I.2.2.Station de référence.....	
I.2.3. Les températures.....	
I.2.4.Humidité relative.....	
I.2.5.La pluviométrie.....	
I.2.6.L'insolation.....	
I.2.7.Les vents.....	
I.2.8. L'évaporation	
I.2.9.Indices climatiques.....	
I.2.9.1.Indice d'aridité de De Martonne	
I.3.Quotient pluviothermique d'Emberger (1955)	
I.4. climogramme de Gaussen	
I .5.Contexte géologique	
Conclusion	
CHAPITRE II: Ressources en eau et sol	
Introduction	
II.1.But de l'étude pédologique	
II.2.Les sols du sahara	
II.3.Profil pédologique	
II.4.Caractéristiques du sol	
II. 4.1.La texture	
II.4.2.La structure	
II.4.3.La perméabilité.....	
II.5.Caractérisation d'un sol représentatif	
II.5.1.Caractéristiques physiques du sol de Hassi ben Abdallah.....	
II.5.2.Caractéristique chimiques du sol de Hassi ben Abdallah.....	
II.6.Ressource en eau	
I .6.1 Contexte hydrogéologique	
a) La nappe du complexe terminal	

b).Continental intercalaire	
II.6.2.Classification mondiale (F.A.O)	
II.6.3.Classification américaine	
II.6.4.Pour la conductivité électrique C.E.....	
II.6.5.Pour le coefficient d'adsorption du sodium S.A.R	
II.7.L'analyse de l'eau d'irrigation	
II.7.1.Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe complexe terminal	
Conclusion	
CHAPITRE III : Besoins en eau des cultures	
Introduction	
III.1.Partie hydrologie	
III.1.1.Homogénéité de la série pluviométrique.....	
III.1.2.Ajustement statistique des pluies	
III.1.2.1.Traitement des données.....	
III.1.2.2 .Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale ..	
III-1-3.Test d'adéquation d'un ajustement.....	
III.1.4.Détermination de l'année de calcul	
III.2.Partie de régime d'irrigation	
III.2.1.Définition d'un régime d'irrigation.....	
III.2.2.Besoins en eau des cultures.....	
III.2.2.1.Définition	
III.2.2.2.L'évapotranspiration	
III.3.L'évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ETM).	
III.4.Pluies efficaces (Pe)	
III.5.méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration	
III.5.1.Méthodes directes	
III.5.2.Méthodes indirectes	
III.6.Détermination des besoins en eau d'irrigation	
III.6.1 Définition	
III.6.1.1 Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures	
III.6.1.2.Besoins totaux nets en eau d'irrigation	
III.7.Besoin en eau pour lessivage	
III.8.Occupation du sol	
III.9.Calcul du débit caractéristique..	
Conclusion	
CHAPITRE IV : choix de système d'irrigation	

Introduction	
IV.1.Choix technique d'irrigation	
IV.2.Différentes techniques d'arrosages	
IV.2.1.Irrigation gravitaire	
IV.2.1.1.L'irrigation par ruissellement.....	
IV.2.1.2.l'arrosage par infiltration (à la raie)	
IV.2.1.3.L'arrosage par submersion	
IV.2.2.l'irrigation par aspersion	
IV.2.3.l'irrigation localisée (goutte à goutte)	
IV.2.3.1.Composition d'une installation goutte à goutte	
IV.2.3.2.Choix d'un distributeur dans l'irrigation en goutte à goutte	
IV.3.Evolution de l'efficacité des différentes techniques d'arrosage par rapport aux conditions du périmètre.....	
Conclusion	
CHAPITRE V : Etude technique de l'irrigation goutte à goutte	
Introduction	
V.1.Données générales	
V.2.Besoins d'irrigation en irrigation localisée	
V.2.1.Influence du taux de couverture du sol	
V.2.1.A.Culture : Olivier	
V.2.1.B .Culture: Grenadier	
V.2.1.C. Culture: pécher	
V.2.1.D. Culture Amandier	
V.2.2.Dimensionnement des canalisations du réseau	
V.2.2.1.Conditions hydrauliques de base	
V.2.2.2.Calcul le diamètre de la conduite secondaire	
V.3.Calcul des dimensions du bassin	
V.4.Dimensionnement de la conduite principale	
V.5.Vérification avec Epanet	
V.6.Choix de la pompe	
Conclusion	
CHAPITRE VI : Etude technico-économique	
Introduction	
VI.1.Devis de réseau d'irrigation localisée	
VI.2.Dépenses des travaux	
Calcul du volume de déblai et remblai	
VI.3.Calcul les prix de déblai et remblai	

Conclusion	
-------------------------	--

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Situation administrative de la wilaya d’Ouargla.....	1
Tableau I.2 : Caractéristiques de la station Hydro climatique d’Ouargla.....	4
Tableau I.3: Température moyennes mensuelles.....	4
Tableau I.4: Humidité relative moyenne mensuelle	5
Tableau I.5: Précipitation moyenne mensuelles 1980-2014.....	6
Tableau I.6: Insolation moyenne journalière (h/j) pour chaque mois	7
Tableau I.7: Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station d’Ouargla.....	8
Tableau I.8: Evaporation dans la région d’Ouargla.....	9
Tableau I.9: Classification de climat selon Martonne.....	11
Tableau II.1 : Caractéristiques physiques du sol.....	17
Tableau II.2 : Caractéristiques chimiques du sol.....	18
Tableau II.3 : Les analyses de l’échantillon du sol de Hassin ben Abdallah.....	18
Tableau II.4 : Classification des eaux en fonction du SAR	20
Tableau II.5 : Caractéristiques du forage F1	21
Tableau II.6: Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe du CT.....	21
Tableau II.7: Analyse des données.....	22
Tableau III.1 : Série des pluies à station d’Ouargla (période :1980/2014).....	25
Tableau III.2: Test de wilcoxon.....	27
Tableau III.3 : Ajustement à une loi normale.....	29
Tableau III.4 : Ajustement à une loi log-normale.....	30
Tableau III.5 : Pluviométrie moyenne pour chaque mois en (mm)	33
Tableau III.6 : Evapotranspiration de référence ET_0 calculée à l’aide du logiciel CROPWAT 8.0	36
Tableau III.7 : Les précipitations efficaces.....	37

Tableau III.8 : Besoins en eau d'irrigation de l'olivier	39
Tableau III.9 : Besoins en eau d'irrigation du pêcher.. ..	39
Tableau.III.10 : Besoins en eau d'irrigation du grenadier	40
Tableau.III.11 : Besoins en eau d'irrigation d'amandier	40
Tableau.III.12 : Besoins en eau d'irrigation des cultures.....	41
Tableau.III.13 : Besoins cultures + lessivage (mm).....	42
Tableau.III.14 : Occupation du sol.....	42
Tableau IV.1 :Les résultats de comparaison entre l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisé par rapport aux conditions du périmètre	54
<hr/>	
Tableau.V.1 : Caractéristique de conduite de la rampe.....	63
Tableau.V.2 : Caractéristique de la conduite de la porte rampe	64
Tableau.V.3 : Caractéristique de la conduite secondaire.....	65
Tableau.V.4 : Vérification des vitesses.....	66
Tableau.V.5 : Vérification des pressions	66
Tableau.V.6 : Résultats du calcul.....	68
Tableau.VI.1 :Facturs proformat des pièces du réseau d'irrigation localisée.....	70
Tableau VI.2 :Calcul du terrassement.....	71

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Situation géographique de la région de Hassi ben Abdallah et khechm errih W.Ouargla.....	2
Figure I.2. Situation géographique du périmètre Khechm Errih.....	3
Figure I.3. Variations des températures moyennes mensuelles minimales et maximales à la station d’Ouargla durant la période (1980-2014)	5
Figure I.4. Diagramme de l’humidité relative	6
Figure I.5. Diagramme des les précipitations moyennes mensuelles	7
Figure I.6. Diagramme de l’insolation moyenne journalière (h/j) pour chaque mois	8
Figure I.7. Diagramme de la vitesse du vent	9
Figure I.8. Diagramme de l’évaporation dans la région d’Ouargla	10
Figure I.9. Position d’Ouargla dans le climogramme d’Emberger.....	11
Figure I.10. Climogramme ombrothermique de Gausсен.....	13
	19
Figure II.1. Carte des ressources en eau souterraines(CIet CT).....	
Figure II.2. Diagramme de classification des eaux d’irrigation.....	23
	30
Figure III.1. Ajustement des pluies annuelles à une loi normale.....	
Figure III.2. Ajustement à une loi log-normal.....	31
	46
Figure IV.1. Irrigation par rigole.....	
Figure IV.2. Irrigation par aspersion.....	48
Figure IV.3. Shéma type d’un réseau d’irrigation en goutte à goutte	49
Figure IV.4. Dileur d’engrais	50
Figure IV.5. Filtre à gravier.....	50
Figure IV.6. Goutteur.....	51
	61
Figure V.1. Schéma de la répartition du périmètre.....	
Figure V.2. Shéma de la conduite principale (Epanet).	67
Figure V.3. Courbe caractéristique de la pompe.....	68
	71
Figure VI.1. Shéma d’une tranchée.....	

Liste des Planches

Planche N°01 :

Plan de situation du périmètre Khechm Errih (W.Ouargla)

Planche N°02 :

Plan d'occupation du sol de la périmetre Khechm Errih (W.Ouargla)

Planche N°03 :

Plan de réseau d'irrigation goutte à goutte du périmètre Khechm Errih (W.Ouargla)

Planche N°04 :

Profil en long de la conduite principale du périmètre Khechm Errih (W.Ouargla)

INTRODUCTION GENERALE

Dans la région de **Khechm-Errih**, comme dans tout le Sahara, la disponibilité et la mobilisation des eaux constituent un facteur important pour la stabilité des populations locales. En effet. Tout développement économique dans cette région est conditionné par la disponibilité et l'utilisation de la ressource en eau.

La micro-irrigation est le niveau actuel de l'évolution de l'irrigation qui conviendrait à contrer la menace de pénurie d'eau et de pollution tout en augmentant les rendements agricoles. Elle ne s'applique pas à toutes les cultures, néanmoins elle permet une grande économie d'eau et de fertilisants.

Cependant la solution ne peut se trouver que dans un cadre collectif et participatif, entre les différents acteurs, sur le plan organisationnel et financier.

L'objectif de ce mémoire de fin d'études, est de dimensionner le réseau d'irrigation du périmètre agricole de **Khechm-Errih** dans le but d'assurer un bon recouvrement du périmètre d'une façon uniforme et économique, et assurer une meilleure qualité d'irrigation pour satisfaire le client c'est le plus important, et pour garantir un bon rendement de récolte sur court, moyen et long terme.

La première étape de notre travail, a consisté en une collecte de données sur le site de travail (situation géographique, climat, qualité de l'eau, qualité du sol...), par la suite nous avons abordé le calcul des besoins en eau des cultures (olivier, pécher, amandier , grenadier) de notre zone d'étude ce qui nous permettra de dimensionner notre réseau d'irrigation avec des calculs hydrauliques en tenant compte de l'étude technico-économique.

Introduction :

Le périmètre d'étude fait partie de la commune de Hassi ben Abdellah (W.Ouargla).

I.1 Situation de la zone d'étude :

I.1.1 Situation géographique :

I.1.1.1.La position géographique de la wilaya d'Ouargla :

La wilaya d'**Ouargla**, large territoire de 163 230 km² se positionne idéalement au centre de la région programme Sud-Est.Elle occupe la frange la plus au centre du Sahara dont elle constitue l'un des plus importants maillons.

Elle est limitée:

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued
- Au Sud, par Illizi et Tamanrasset
- A l'Est, par la Tunisie
- A l'Ouest, par Ghardaïa.

Situation administrative : La wilaya d'**Ouargla** compte actuellement 21communes regroupées en 10 Daïras selon la répartition suivante :

Tableau I.1 : Situation administrative de la wilaya d'Ouargla

Daïras	Communes
OUARGLA	Ouargla, Rouissat
N'GOUSSA	N'goussa
SIDI KHOULED	Sidi Khouiled, Ain Beida, Hassi ben Abdellah
HASSI MESSAOUD	Hassi Messaoud
EL BORMA	El Borma
EL HADJIRA	El Hadjira, Al Alia
TEMACINE	Temacine, Blidet Amor
TOUGGOURT	Touggourt, Nezzla, Tebesbest, Zaouia El Abidia
MEGGARINE	Meggarine, Sidi Slimane
TAIBET	Taibet, Bennaceur, M'Nagueur

I.1.1.2. La position géographique de la zone d'étude :

Le périmètre de Khechm-Errih fait partie de la commune de Hassi Ben Abdallah. il est situé à 45 Km d'environ au nord-est. Il se trouve à 116m d'altitude (32°7'52.14" N ; 5°37'32.95"E). La commune de Hassi ben Abdallah située à 27 km au Nord-Est d'Ouargla, englobant une superficie de 3060 km². Elle est limitée par :

- N'Goussa et el-Hdjira, au nord;
- Ain el Beida, au sud;
- Hassi Messaoud, au l'est;
- Sidi Khouiled, à l'ouest.

La station d'étude s'étend sur une superficie de 100 ha.

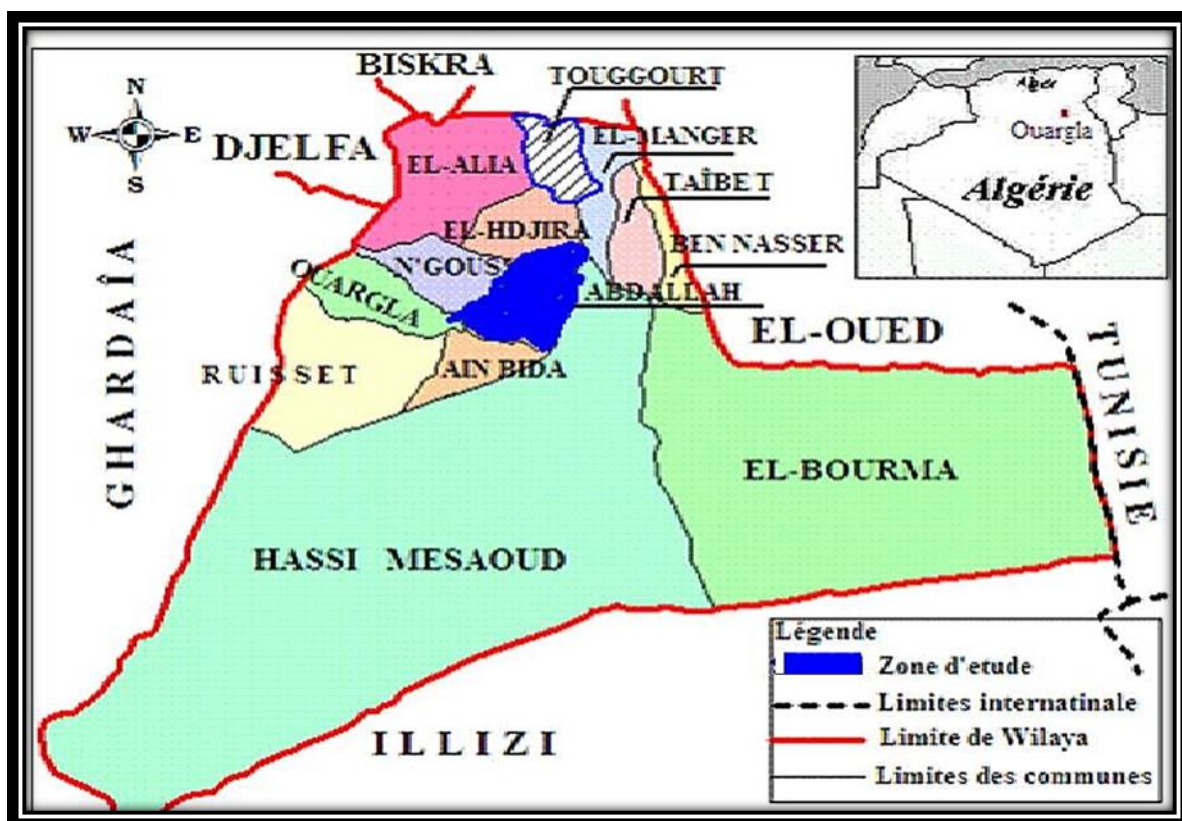


Figure I.1 .Situation géographique de la région de Hassi ben Abdallah et khechm errih

W.Ouargla (Wikipédia)

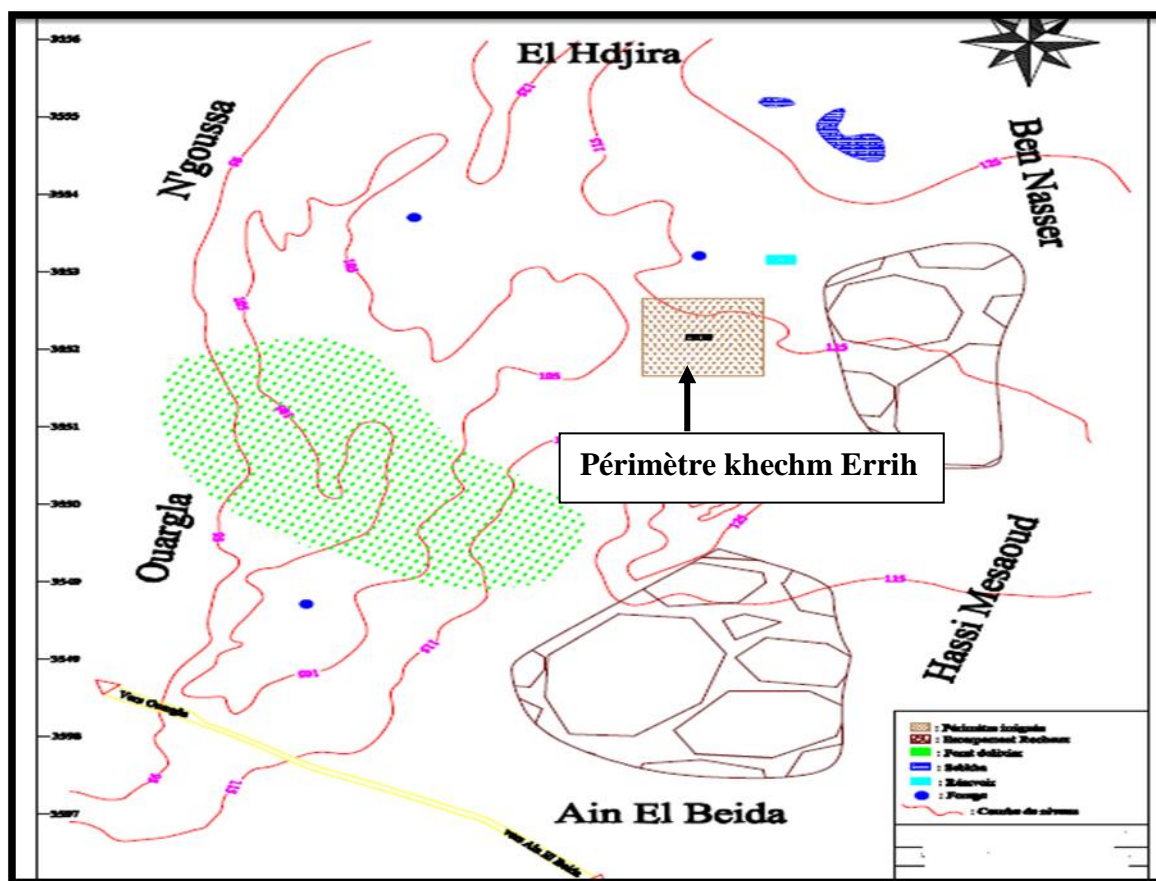


Figure I.2. Situation géographique du périmètre Khechm errih W.Ouargla (1/50000)

I.2 Climatologie :

I.2.1.introduction :

La climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à long terme de la moyenne des paramètres requis pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la direction et la vitesse du vent.

Un projet d'irrigation dépend essentiellement des conditions climatiques, car ces paramètres (températures, précipitation, humidité relative, évaporation), influent directement sur l'irrigation et le développement végétatif des cultures.

I.2.2.Station de référence :

La station la plus représentative de notre zone d'étude est la station d'Ouargla qui est la plus proche de **Hassi Ben Abdellah**

La synthèse climatique a été faite sur une durée de 34 ans (1980 - 2014), pour tous les paramètres climatiques (température, humidité, précipitation, insolation, vitesse du vent, évaporation et évapotranspiration). Le tableau suivant représente les caractéristiques de la station d'Ouargla.

Tableau I.2 : Caractéristiques de la station Hydro climatique d'Ouargla.

Station d'Ouargla	X (km)	Y (km)	Z(m)
Caractéristiques	748.048	154.065	130

Source : ONM d'Ouargla

I.2.3. Les températures :

Les températures constituent un des facteurs majeurs caractéristiques de climat.

Les relevés mensuels moyens des températures sur une période de 34 ans (1980 -2014) sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau I.3 : Températures moyennes mensuelles.

Mois	J	F	M	Av	Mai	Jin	Jt	A	S	O	N	D	Moy annuelle
Tmin(c°)	4,7	6,4	10,6	14,4	19,8	27,5	27,7	27,3	23,2	17,3	10,2	6	16
Tmax(c°)	18,2	20,8	25,2	29,3	35,0	40,0	43,2	42,8	37,0	31,3	24,0	19,4	30,5
Tmoy(c°)	11,4	13,6	17,9	21,9	27,4	32,3	35,3	35	30,1	24,3	17,1	12,7	23,2

Source ONM Ouargla

Les températures se caractérisent par des valeurs maximales en été qui atteignent 43.2°C et des valeurs minimales enregistrées de l'ordre de 4,7°.

Les variations des températures moyennes mensuelles montrent que les mois les plus chauds sont Juillet et Aout avec des températures qui dépassent 40 °C et les mois les plus froids sont : Décembre, Janvier et Février avec des températures inférieures à 7°C.

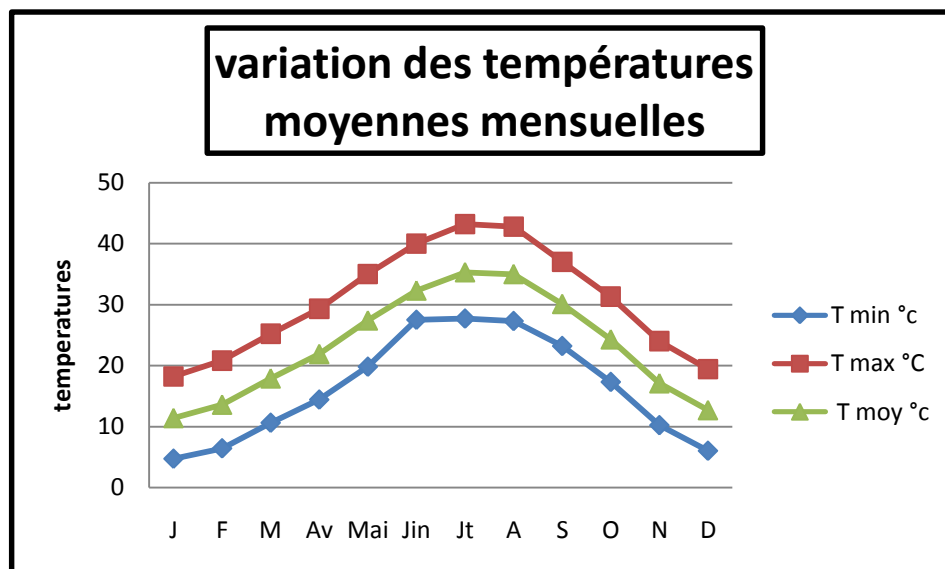


Figure I.3 .Variations des températures moyennes, minimales et maximales mensuelles à la station d'Ouargla durant la période (1980-2014)

I.2.4.Humidité relative :

L'humidité relative ou état hygrométrique de l'air est un élément du cycle hydrologique qui contrôle l'évaporation du sol et la couverture végétale. Elle indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation. C'est la valeur de l'humidité relative qui comprend la sensation de l'humidité ou de sécheresse de l'air.

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

Tableau I.4 : Humidité relative moyenne mensuelle

Mois	J	F	M	Av	Mai	Jin	Jt	A	S	O	N	D	Moy
HR%	62	52	43	36	31	27	24	26	36	48	56	62	42

Source : ONM Ouargla

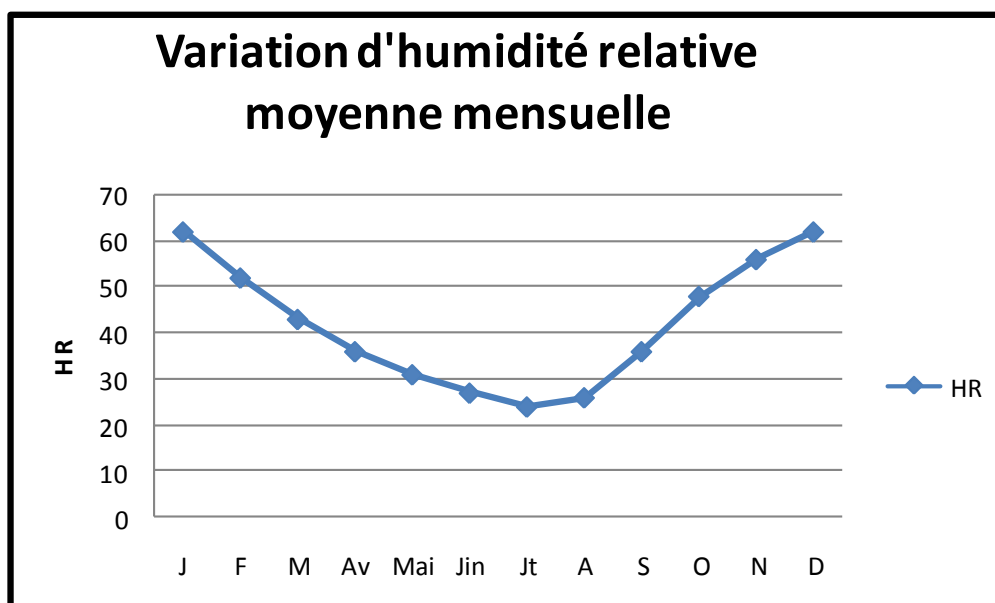


Figure I.4. Diagramme de l'humidité relative

D'après le graphe N°03, nous avons une humidité maximale 62% en janvier et décembre Celle-ci diminue jusqu'à 24% en mois de juillet ce qui provoque une intense évapotranspiration, signe de sécheresse accentuée.

I.2.5. La pluviométrie :

La connaissance de la pluviométrie et sa répartition dans le temps de la zone d'étude sont primordiales, puisqu'elle nous permet de connaître le régime pluviométrique, ce qui conditionne le dimensionnement des réseaux d'irrigation et le pilotage des arrosages.

Pour l'étude de la pluviométrie, nous disposons d'une série d'observation mensuelle couvrant la période allant de 1980 à 2014. Le tableau suivant présente les valeurs des précipitations moyennes mensuelles.

Tableau I.5 : Précipitations moyennes mensuelles 1980-2014

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moy. annuelle
P (mm)	5.26	6.87	6.44	5.32	7.01	1.26	3.94	1.93	1.21	0.32	0.64	0.59	40.78

Source : ONM Ouargla

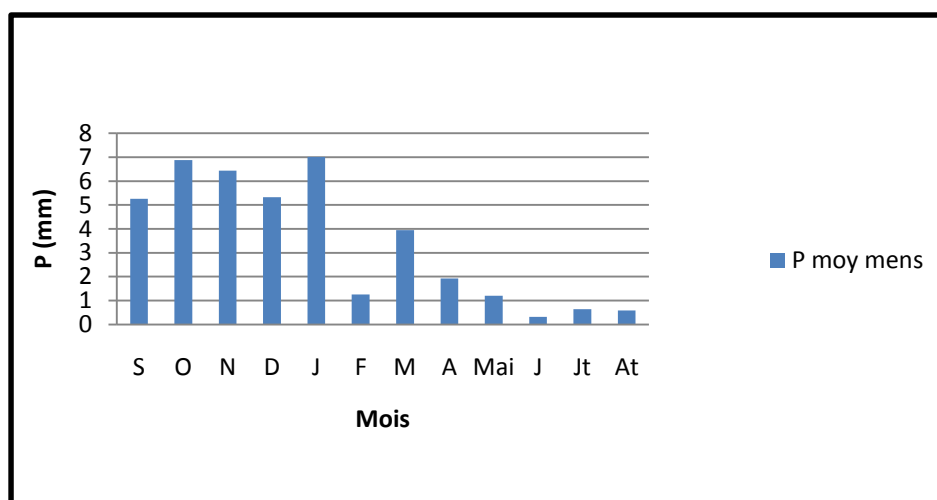


Figure I.5.Diagramme des précipitations moyennes mensuelles

D'après le tableau, le total moyen des précipitations annuel est égal à 40.78 mm. Le minimum de précipitations est enregistré au mois de juin avec une valeur de 0.32 mm et le maximum est enregistré au mois de janvier avec un total de 7.01 mm.

I.2.6.L'insolation :

L'insolation est un paramètre climatique qui intervient généralement dans le calcul de l'évapotranspiration potentielle. Les valeurs mensuelles moyennes observées sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau I.6: Insolation moyenne journalière (h/j) pour chaque mois

Mois	J	F	M	Av	Mai	Juin	Juil	A	S	O	N	D	Moy. annuelle
Insolation (h)	7,6	7.9	8,6	9,4	9,3	10,2	11	10,5	8,5	8,2	7,9	6,9	9,2

Source : ONM Ouargla

D'après la figure N°05, l'insolation journalière est fort durant toute l'année (>7 h/j)

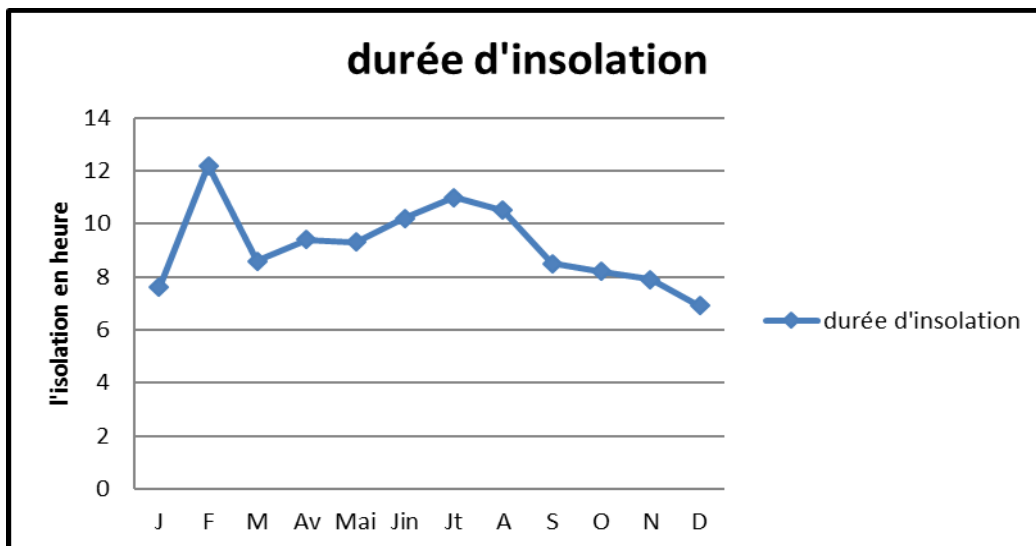


Figure I.6.Diagramme de l'Insolation moyenne journalière (h/j) pour chaque mois

I.2.7. Les vents :

Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station d'Ouargla (1980-2014) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.7: Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station d'Ouargla

Mois	J	F	M	Av	Mai	Juin	Jt	A	S	O	N	D	Année
Vitesse moy (m/s)	2,7	3,2	4,0	4,5	4,7	4,8	4,3	3,8	4,2	3,4	2,7	2,7	3,7

Source : ONM d'Ouargla

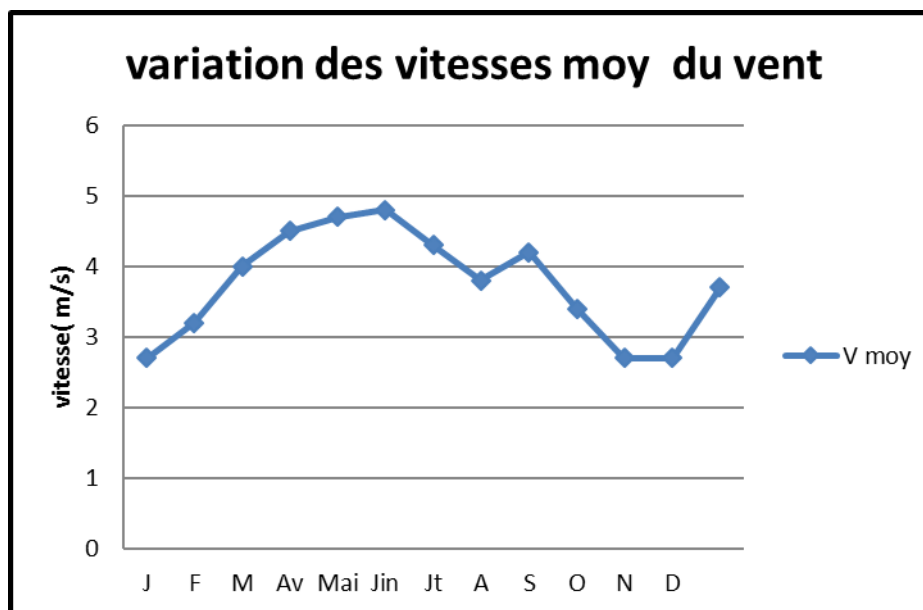


Figure I.7.Diagramme de la vitesse du vent

D'après le tableau, On remarque que la vitesse minimale du vent est enregistrée au mois du Novembre, Décembre et Janvier elle est de 2.70 m/s et la vitesse maximale est enregistrée en Juin et atteint 4.8 m/s, et dans des différentes directions.

I.2.8. L'évaporation :

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

Tableau I.8: Evaporation dans la région d'Ouargla

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Année
L'évaporation (mm)	237.2	174.7	102.7	85.70	85.68	111.0	144.9	201.2	236.3	278.0	307.2	314.3	4895

Source : ONM Ouargla

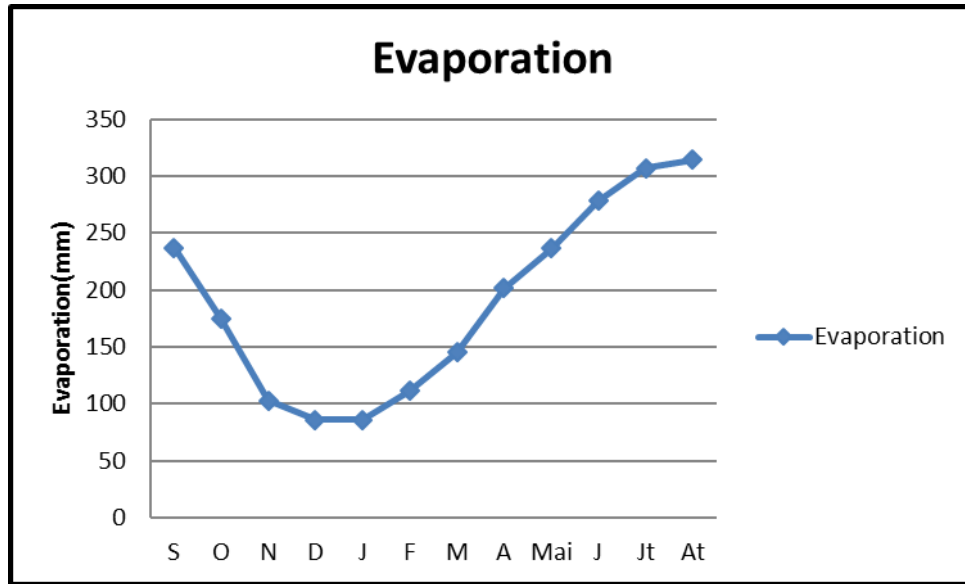


Figure I.8.Diagramme de l'évaporation dans la région d'Ouargla.

Le diagramme montre qu'il y a une diminution de l'évaporation pendant la période s'étalant entre Octobre et Février.

I.2.9.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 DE.MARTONE (1926) et E.EMBERGER (1932)

I.2.9.1.Indice d'aridité de De Martonne :

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

$$I_A = \frac{P}{T + 10} \dots\dots\dots (1)$$

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 DE MARTONNE sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.9: Classification de climat selon De Martonne

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

Pour :

$$P = 40.78 \text{ mm}$$

$$T = 23.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_A = \frac{40.78}{23.2 + 10} = 1.23$$

On obtient un indice d'aridité : $IA < 5$

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

I.3. Quotient pluviométrique d'Emberger (1955) :

Le quotient pluviométrique d'Emberger exprime la sécheresse globale d'un climat en faisant la comparaison entre la consommation en eau et l'apport par le rapport P/E.

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

Avec :

P : Moyenne annuelle pluviométrique (mm).

M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud (Kelvin).

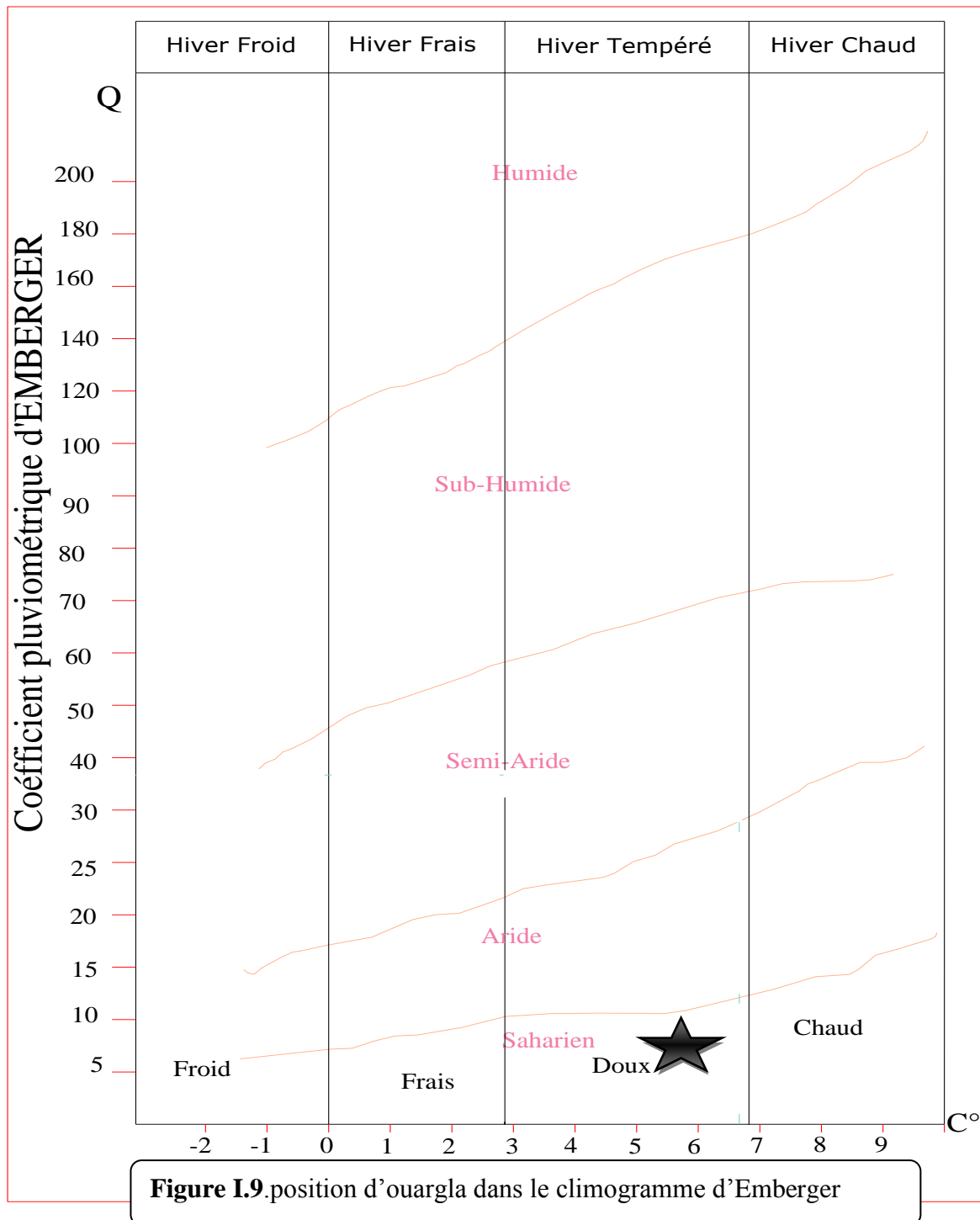
m : moyenne des températures minima du mois le plus froid (Kelvin).

Q : Quotient pluvio-thermique d'Emberger.

Les calculs donnent :

$$Q = 2000 \frac{40.78}{(42.8 + 273)^2 - (4.7 + 273)^2} = 3.61$$

Un coefficient d'Emberger égal à 3.61 situe la région d'Ouargla (khechm-errih) dans l'étage bioclimatique saharienne à hiver chaud sur le climogramme d'EMBERGER



I.4. climogramme de Gaussen :

Le climogramme de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période où l'irrigation est indispensable (période sèche).

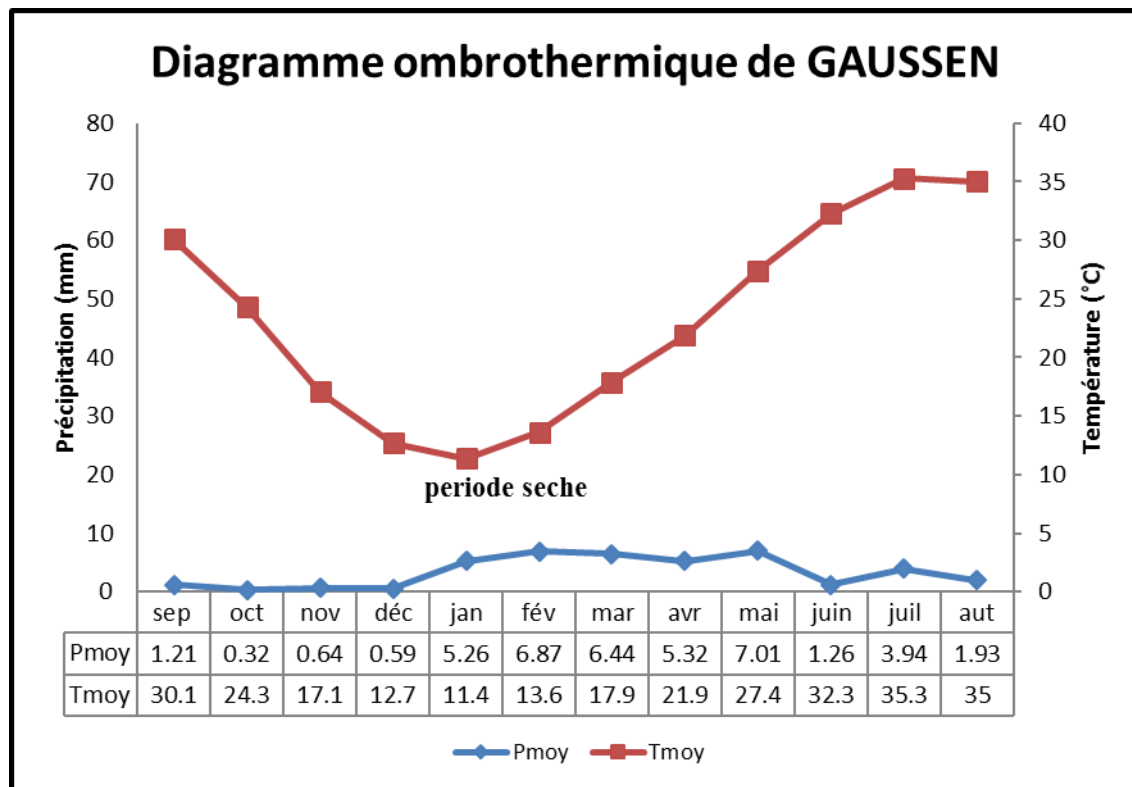


Figure I.10.climogramme ombrothermique de GausSEN

Dans le cas de notre région d'étude la courbe des pluies passe au-dessous de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale sur toute l'année.

I .5.Contexte géologique :

La région d'étude fait partie du bas Sahara qui se présente en cuvette synclinale dissymétrique, il est caractérisé par un remplissage sédimentaire constitué d'une alternance de terrains perméables et imperméables.

De haut en bas, nous distinguons :

-Quaternaire :Formé de dépôts sableux de 15m d'épaisseur, en moyenne.

-Moi-pliocène :Il est formé d'une alternance de sables et d'argiles et repose en discordance sur le Sénonien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 150m.

-Sénonien-Eocène :Formé de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d'argiles, reconnu sur une épaisseur de 360 mètres et repose sur la série imperméable dr Sénonien lagunaire.

-**Turonien** :Formé de calcaires fissurés et constitue un aquifère captif dans la région de Hassi Messaoud.Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 60m et repose sur un substratum imperméable du Cénomanién anhydritique et argileux.

-**Albien** :Il correspond à la série supérieure du Continental Intercalaire, il est essentiellement gréseux formant un important aquifère captif reconnu sur une épaisseur de 400m, reposant sur substratum imperméable (Aptien).

-**Barrémien** :Il est essentiellement sablo-gréseux.

Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons essayé de présenter les conditions naturelles de notre zone d'étude.

L'étude climatique de la région de **Hassi Ben Abdellah** révèle bien le caractère saharién de cette zone qui caractérise une pluviométrie très réduite ou nulle avec une forte évaporation, et de fortes températures.

Ces différentes informations représentent les premières données de base pour l'élaboration du dimensionnement du réseau d'irrigation du périmètre d'étude.

Introduction :

La pédologie est l'étude de reconnaissance des sols. En ce qui concerne l'alimentation en eau des plantes, le sol joue essentiellement un rôle d'un réservoir. Les caractéristiques de ce réservoir et son mode de fonctionnement sont essentiels à connaître dans un périmètre d'irrigation, et il s'agit pour un Ingénieur de bien dimensionner le réseau de distribution ou pour les usagers de bien utiliser l'eau qui est mise à leur disposition.

II.1. But de l'étude pédologique :

Le but de l'étude pédologique c'est de :

- tenter d'évaluer la capacité des sols du secteur étudié, d'assurer un bon développement végétatif des cultures envisagées et de valoriser économiquement l'investissement.
- Estimer le degré de contribution des sols du périmètre à l'alimentation hydrique des plantes à irriguer.
- Choisir les techniques d'arrosage les plus adaptées aux conditions du sol et de culture (aspersion ; goutte à goutte ; submersion).
- Fixer les règles à respecter pour une conduite des arrosages dans le système «sol-culture» pratiqué. Ceci nécessite une connaissance approfondie des sols à l'échelle de la parcelle d'exploitation agricole. Il s'agit en effet pour l'irrigant d'économiser l'eau et d'adapter les apports aux besoins de la plante. Mais il faut aussi protéger les eaux des nappes phréatiques et du réseau hydrographique contre les risques de pollution.

II.2. Les sols du Sahara :

La formation et l'évolution des sols dans ce vaste territoire sont essentiellement conditionnées par le climat et la salinité.

Le climat très aride influe sur la pédogenèse par la très forte évaporation, ce qui a engendré dans certaines zones de fortes accumulations salines surtout après la mise en irrigation (jusqu'à 50 mmhos/cm). Ce phénomène est aggravé le plus souvent par une topographie généralement plane, qui ne facilite pas le drainage naturel des eaux excédentaires et par une eau d'irrigation relativement chargée en sels.

La roche mère des sols de ces régions est le plus souvent (Sahara septentrional) du continental intercalaire, elle se caractérise par des formations gréseuses plus ou moins compactes avec des passées argileuses.

Ces formations sont hétérogènes : elles présentent une texture le plus souvent sableuse mais on peut rencontrer des textures limono sableuses des dépôts marneux ou un plan d'eau à une profondeur variable ces sols ne sont pas généralement calcarifères. Mais, ils sont tous affectés plus ou moins de salinité. Ces caractères de sols expliquent en grande partie la prédominance de ces facteurs pédogénétiques sur l'évolution des sols du Sahara qui sont principalement : la texture, la structure, la salinité (halomorphie) et l'action de l'eau (hydromorphie).

II.3.Profil pédologique :

Le profil pédologique représente à un instant donné à l'évolution d'un sol, à partir des observations analytiques et en tenant compte de l'environnement.

Notre choix est porté, donc sur la prise d'un échantillon correspondant à un profil pédologique permettant une meilleure appréhension des caractères physico-chimiques du sol de la zone d'étude.

II.4.Caractéristiques du sol :

Le sol est caractérisé par un certain nombre de paramètres physiques mesurables. Les valeurs de ces paramètres sont généralement en fonction à la fois de la structure et de la texture du sol, sans toute fois leurs êtres rigoureusement liés.

II. 4.1.La texture :

La texture d'un sol caractérise la dimension et la distribution des différents éléments qui le constituent, elle est déterminée par l'analyse d'échantillon du sol sur la terre fine obtenue après élimination par tamisage des graviers ou cailloux de taille supérieure à 2 mm L'analyse granulométrique est faite au laboratoire.

II.4.2.La structure :

La structure d'un sol est définie par le taux de ses constituants les uns par rapport aux autres.

Des sols de texture identique peuvent avoir des structures différentes, plus ou moins stables et plus ou moins favorables à la pénétration de l'eau, de l'air et des racines.

II.4.3.La perméabilité :

La perméabilité du sol est définie par sa vitesse d'infiltration qui est la vitesse apparente de l'eau s'écoulant à travers un sol saturé, sous une pente motrice égale à l'unité c'est le coefficient K de la loi de Darcy.

Selon les différentes valeurs de K, on peut classer les sols comme suit : Sols imperméables $K < 10^{-6}$ m/s

- Sols peu perméables $10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-6}$ m/s
- Sols perméables $5 \cdot 10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Sols très perméables $K > 5 \cdot 10^{-5}$ m/s

Le perméabilité est déterminée au laboratoire d'après la quantité d'eau s'écoulant par unité de temps, en travaillant sous charge constante. (Méthode henin)

II.5.Caractérisation d'un sol représentatif :

Sol, profond homogène sur toute sa profondeur avec texture sablo limoneuse et d'une structure particulière. La topographie est plane, d'où une faible rétention de l'eau. PH est alcalin (8.3), le calcaire est faible.

La matière organique est faible, avec l'absence relative de l'argile qui donne CEC faible (CE=2.4mmhos/cm).une faible compacité, une bonne porosité, la densité apparente ($D_a=1.828$).

II.5.1.Caractéristiques physiques du sol de Hassi ben Abdallah :

Les paramètres physiques du sol de la station Hassi ben Abdallah sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Caractéristiques physiques du sol

carrière	n(%)	D_a	D_r	e
Hassi ben Abdallah	31,02	1,828	2,65	0,450

Source DSA Ouargla

- La densité apparente D_a .
- La densité réelle D_r .
- La porosité n.
- L'indice des vides.

II.5.2.Caractéristique chimiques du sol de Hassi ben Abdallah :

Les caractéristiques chimiques du sol de la station Hassi ben Abdallah sont représentées dans le tableau suivant

Tableau II.2 : Caractéristique chimiques du sol

carrière	%Sels	pH	%MO	%Caco3
H Ben A	0,017	8,300	0,344	0,220

Source DSA Ouargla

Les paramètres chimiques de notre sable sont :

- **Le pH** : pour déterminer la valeur de pH, nous avons utilisé un PH-mètre.
- **La conductivité électrique** : nous avons utilisé conductimètre.
- **Matière organique** : après les analyses on trouve teneur en matière organique faible.
- **Taux de calcaire** : mesuré par calcimètre de Bernard normes

Tableau II.3: Les analyses de l'échantillon du sol de Hassi ben Abdallah

Echantillon	Granulométrie				Texture	Calcaire (%)		pH	ESP	
	Argile	Limon		Sable		Total	Actif			
		Fin	Grossier	Fin						Grossier
H Ben A	1.82	24.3	9.62	39.46	13.72	Sablo-limoneux	5.1	0.01	8.30	7.1

Source DSA Ouargla

II.6.Ressource en eau

L'eau souterraine constitue la principale source d'eau dans la région d'Ouargla. On distingue différentes nappes qui coulent au dessous de cette région, l'irrigation du périmètre de Khechm errih ce fait à partir des eaux souterraines (d'un forage).

I.6.1 Contexte hydrogéologique :

Notre région d'étude renferme deux grands systèmes aquifères :

a) La nappe du complexe terminal :

Parmi les formations qui affleurent dans la région, la plus importante du point de vue hydrogéologique, est celle du crétacé inférieure et appelée aussi le complexe terminal, L'examen de la carte des affleurements géologiques permet de définir cette nappe comme un groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes

(Sénonien, Eocène et Miopliocène), car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique (Bel et Cuche, 1969 ; Eress, 1972a ; Oss, 2003a et b ; Babasy, 2005). Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire, mais ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin.

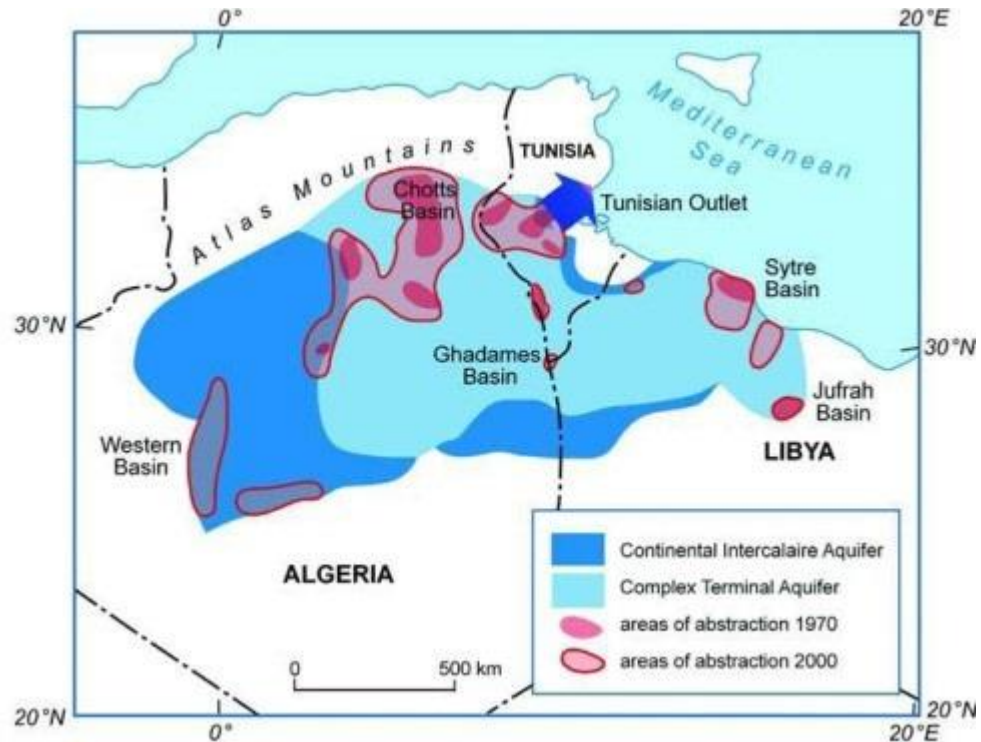


Figure II.1. Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT)

a.1. Puissance utile du réservoir du CT :

L'épaisseur de la formation du complexe terminal varie du nord vers le sud et qui déborde de même vers la Tunisie et la Libye, l'est vers l'ouest, Selon les données des forages semi profonds, son épaisseur oscille entre 30 m et 450 m.

a.2. Niveau statique de la nappe aquifère du complexe terminal (CT) :

La nappe du Complexe Terminal (CT) est assez profonde (250m) et captive sur la région d'Ouargla.

b). Continental intercalaire :

Communément appelé nappe de l'albien, le continental intercalaire est le géo réservoir le plus important du sahara, composé essentiellement de sable, grès et argiles sableuses d'âge Albien et Barrémien. la profondeur moyenne de cet aquifère sur le territoire de la wilaya d'Ouargla varie

entre 1200 et 1700 mètres, le débit moyen d'exploitation est de 120 l/s.

Les eaux de cette nappe sont chaudes atteignant dans certaines zones les 60°C avec un résidu sec oscillant entre 1,5 et 1,7 g/l.

II.6.2. Classification mondiale (F.A.O) :

La classification donnée en fonction de la concentration des sels.

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

II.6.3. Classification américaine :

La classification américaine est basée sur deux paramètres (CE à 25°C et S.A.R).

II.6.4. Pour la conductivité électrique C.E :

•C1 : C.E<0,250	mmhos/cm	l'eau de faible salinité.
•C2 : 0,250<C.E<0,750	mmhos/cm	l'eau de salinité moyenne.
•C3 : 0,750<C.E<2,250	mmhos/cm	l'eau à forte salinité.
•C4 : C.E>2,250	mmhos/cm	l'eau à très forte salinité.

II.6.5. Pour le coefficient d'adsorption du sodium S.A.R :

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

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \dots\dots\dots (1)$$

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

Tableau II.4 : Classification des eaux en fonction du S.A.R

Classe	S.A.R.	Danger d'alcalinisation
S1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
S4	$SAR > 26$	Risque très élevé

II.7.L'analyse de l'eau d'irrigation :

A partir des collectes des données et les différentes enquêtes, il à été établi que tous les forages d'irrigation sont des forages du complexe terminal. Pour notre projet la profondeur des forages est en moyenne de 160 à 220 ml avec un débit de 25 à 50 l/s (ANRH Ouargla).

Tableau II.5 : Caractéristiques du forage F1

Nom du forage	coordonnées		nappe sollicitée	NS (m)	débit (l/s)	année
	x	y				
F1	749	3553	CT	13.45	40	1997

II.7.1.Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe complexe terminal

l'ANRH permis d'identifier les caractéristiques suivantes du forage F1:

Tableau II.6 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe du CT

éléments	mg/l	méq/l
Ca ²⁺	93	4.65
Mg ²⁺	227	18.92
Na ⁺	480	20.87
K ⁺	29	0.74
Cl ⁻	895	25.21
SO ₄ ²⁻	725	15.1
HCO ₃ ⁻	102	1.68
CO ₃ ⁻	0	0
NO ₃ ⁻	14	0.23

Source ANRH Ouargla

Tableau II.7 : Analyse des données

Analyse des données	
Somme des cations	45.02 méq/l
Somme des anions	41.22 méq /l
Somme des ions	2561 mg/l
Résidu sec à 110°C	2912 mg/l
Minéralisation	3231 mg/l
Conductivité électrique	2.19 ms/cm
PH	7.84
Turbidité (FTU)	2
SAR	6.08

Source ANRH Ouargla

Interprétation :

- CE = 2190 μs ($750 < \text{CE} < 2250$). L'eau du forages appartient à la classe C3

(eau à forte salinité)

- Nous avons $\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^+ + \text{Mg}^{2+}} = 0.90$; $0.90 < 1$ à 2 .donc, l'eau ne présente pas de danger

d'alcalinisation.

$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+}} = 4.50 < 5$.donc on peut utiliser cette eau sans amendement physique.

$S.A.R = 6.08 \leq 10$, donc le risque d'alcalinisation est faible, l'eau est propre à l'irrigation.

D'après les valeurs de la conductivité électrique et du la SAR, les eaux de complexe terminale appartiennent à la classe C3 S1 avec:

Classe S1 : $SAR \leq 10$ donc la quantité de sodium est de Risque faible pour les sols.

Classe C3 : la conductivité électrique est C3 : $0,750 < C.E < 2,250$, c'est-à-dire la salinité est forte .

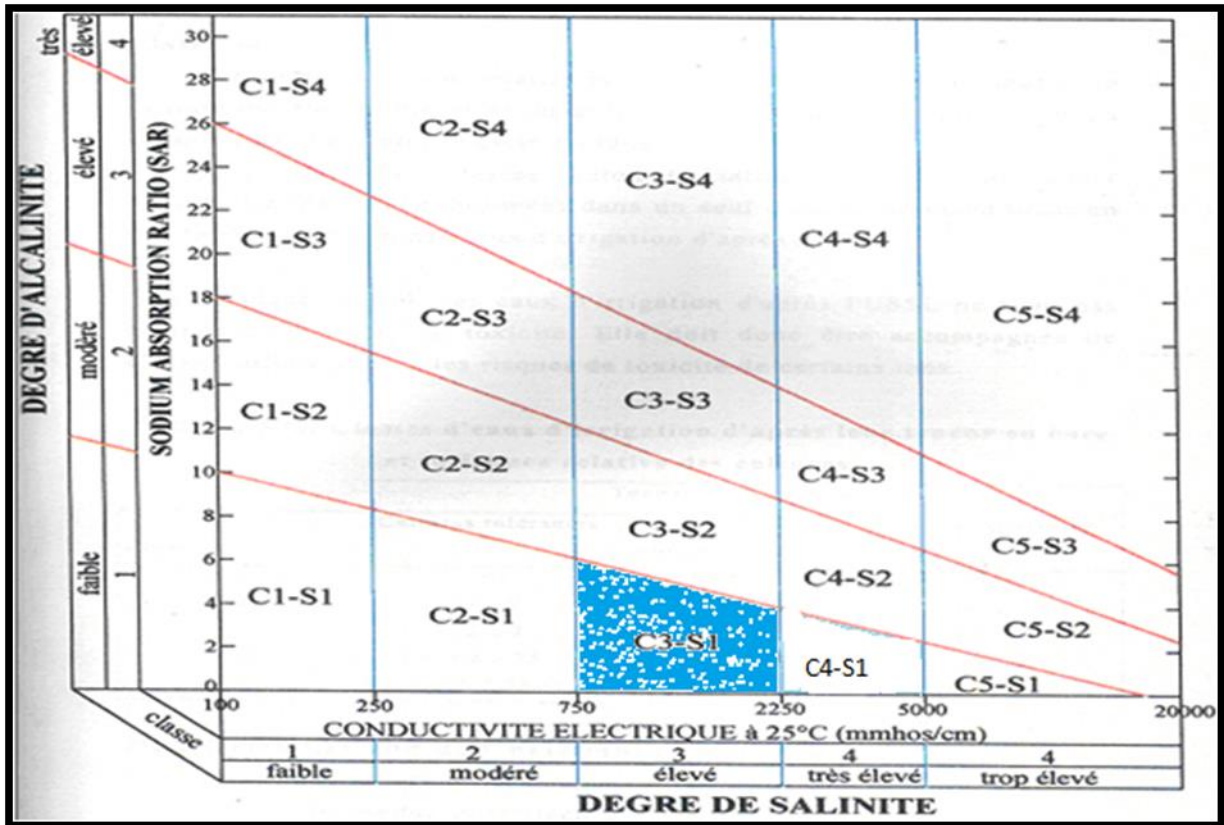


Figure II.2. Diagramme de classification des eaux d'irrigation

Conclusion :

D'après l'analyse chimique du sol et de l'eau destinée à l'irrigation, on peut dire que pour notre région d'étude:

- Le sol n'est pas salé car la conductivité électrique $< 4 \text{ mmhos/cm}$.
- Le sol est faiblement riche en matière organique.
- La valeur de SAR < 10 , donc l'eau utilisée pour l'irrigation ne présente pas de danger d'alcalinisation.

Introduction :

Les cultures se développent, puisent du sol l'eau et les éléments nutritifs, mais 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 rentre dans la constitution de 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.

III.1.Partie hydrologie :

L'hydrologie est définie comme une science qui étudie le cycle de l'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre.

L'étude porte sur la détermination de l'année de calcul, l'homogénéisation des séries pluviométriques, et l'étude fréquentielle des séries pluviométriques par des lois statistiques.

III.1.1.Homogénéité de la série pluviométrique :

La série des précipitations moyennes mensuelles (1980/2014) de la station pluviométrique d'ouargla est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau III.1 : Série des pluies à station d'Ouargla (période : 1980/2014)

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
1980-1981	0,0	0,0	10,6	5,0	0,0	0,2	4,9	0,0	0,0	1,2	2,1	1	25,0
1981-1982	0,0	0,0	2,5	11,1	5,7	0,0	6,8	6,5	0,0	0,0	0,0	0	32,6
1982-1983	0,0	0,0	7,6	4,8	0,0	6,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0	20,0
1983-1984	0,0	0,4	10,3	2,0	3,8	0,0	9,5	2,2	0,0	0,0	0,6	0	28,8
1984-1985	5,2	17,9	5,3	1,5	0,7	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	35,5
1985-1986	8,7	9,5	3,7	3,5	6,4	5,4	9,6	2,8	0,6	0,2	0,0	0	50,4
1986-1987	5,7	0,0	0,0	0,7	0,0	2,0	0,0	8,0	0,2	0,0	0,0	0	16,6
1987-1988	15,3	11,1	1,1	10,8	0,6	0,5	3,9	1,5	0,0	2,2	0,0	1	48
1988-1989	5,4	7,2	1,1	1,4	15,7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	31,3
1989-1990	1,0	1,3	21,0	6,4	0,0	0,0	3,2	0,0	18,2	0,0	0,0	0,5	51,6
1990-1991	0,0	0,0	10,6	5,0	0,0	0,2	4,9	0,0	0,0	1,0	3,0	0	24,7
1991-1992	0,0	0,0	2,5	25,1	7,7	0,0	7,8	7,0	0,0	0,0	0,0	0	50,1
1992-1993	0,0	0,0	13,6	22,4	0,0	6,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0	43,6
1993-1994	0,0	0,4	13,3	2,0	3,8	0,0	9,5	2,2	0,0	0,0	0,6	0	31,8
1994-1995	23,6	17,9	5,3	1,5	0,7	0,0	14,4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	64,6
1995-1996	13,7	16,5	3,7	4,5	27,5	5,4	9,6	2,8	0,6	0,2	0,0	0	84,5
1996-1997	5,7	0,0	0,0	0,7	0,0	2,0	0,0	8,0	0,2	0,0	0,0	0	16,6
1997-1998	17,5	10,1	0,0	10,8	0,0	0,8	2,9	1,8	0,0	2,8	0,0	0	46,7
1998-1999	6,4	6,3	2,1	1,6	19,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	36,6
1999-2000	1,0	1,3	21,0	6,4	0,0	0,0	3,2	0,0	18,2	0,0	0,0	0	51,1
2000-2001	5,2	30,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0	36,2
2001-2002	4,5	15,2	1,1	3,8	6,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0	30,9
2002-2003	0,1	6,4	2,5	0,0	12,5	5,5	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	37,3
2003-2004	3,9	3,8	1,0	0,6	13,6	0,0	0,6	5,4	0,0	1,2	0,0	8,2	38,3
2004-2005	0,0	15,7	36,5	10,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	63,3
2005-2006	9,2	3,2	16,5	1,9	9,9	0,5	0,8	4,7	0,0	0,0	0,0	2,5	49,2
2006-2007	5,4	10,6	0,0	1,9	0,1	0,5	0,1	3,7	1,2	0,0	0,0	1,6	25,1
2007-2008	0,0	0,8	0,0	3,6	7,6	2,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0	14,5
2008-2009	14,4	26,8	0,0	0,0	52,1	1,1	12,0	0,8	0,0	1,5	0,0	0	108,7
2009-2010	5,3	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	5,0	0,2	17,9
2010-2011	6,4	8,8	0,0	3,0	6,4	1,1	3,7	1,8	0,0	0,5	1,0	0,2	32,9
2011-2012	5,3	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	0,2	0,0	1,3	0,0	8,0	1,2	21,7
2012-2013	4,3	1,2	12,5	21,4	11,5	0,0	8,6	2,5	0,0	0,0	0,0	1	63
2013-2014	5,8	10,5	13,5	6,5	13,8	1,2	2,7	3,5	0,0	0,0	0,0	0	57,5
Total	179	233,6	218,9	180,8	238,4	42,9	133,8	65,7	41	10,8	21,7	20,2	1386,8

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 suivan [3]:

- 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 $N_1 > N_2$

➤ On constitue par la suite, la série X union Y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant. a ce stade, on attribue a chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Touaibia, 2004) , si la relation ci-dessous est vérifiée .

Avec :

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

$$W_x = |Rang|_x$$

W_x : Somme des rangs de sous séries

$$W_{\min} = \left(\frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} \right) - 1.96 \left(\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{1/2}$$

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

Les résultats du test de Wilcoxon sont détaillés comme suit :

Tableau III.2 : Test de wilcoxon

Rang	Série d'origine P (mm)	Série x (mm)	Série y (mm)	TRI (mm)	x union y
1	25,0	25,0	16,6	14,5	y
2	32,6	32,6	46,7	16,6	x
3	20,0	20,0	36,6	16,6	y
4	28,8	28,8	51,1	17,9	y
5	35,5	35,5	36,2	20	x
6	50,4	50,4	30,9	21,7	y
7	16,6	16,6	37,3	24,7	x
8	48	48	38,3	25	x
9	31,3	31,3	63,3	25,1	y
10	51,6	51,6	49,2	28,8	x
11	24,7	24,7	25,1	30,9	y
12	50,1	50,1	14,5	31,3	x
13	43,6	43,6	108,7	31,8	x
14	31,8	31,8	17,9	32,6	x
15	64,6	64,6	32,9	32,9	y
16	84,5	84,5	21,7	35,5	x
17	16,6		63	36,2	x
18	46,7		57,5	36,6	y
19	36,6			37,3	y
20	51,1			38,3	y
21	36,2			43,6	x
22	30,9			46,7	y
23	37,3			48	x
24	38,3			49,2	y
25	63,3			50,1	x
26	49,2			50,4	x
27	25,1			51,1	y
28	14,5			51,6	x
29	108,7			57,5	y
30	17,9			63	y
31	32,9			63,3	y
32	21,7			64,6	x
33	63			84,5	x
34	57,5			108,7	y

- $W_x = 292$
- $W_{\min} = 222,69$
- $W_{\max} = 337,31$

Donc : $222,69 < W_x < 337,31$

D'après les calculs, on voit que la condition de Wilcoxon $W_{\min} < W_x < W_{\max}$ est vérifiée, donc la série des précipitations moyenne annuelle de la station d'Ouargla est homogène.

III.1.2. Ajustement statistique des pluies :

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 dans le cas de pluies annuelles sont les suivantes :

- Loi de Gauss ou loi normale
- Loi de Galton ou loi log–normale

III .1. 2.1. Traitement des données :

La simulation des pluies annuelles avec le logiciel HYFRAN nous donne les résultats suivants :

- Minimum = 14.5
- Maximum = 108.7
- Moyenne = 40.3
- Ecart-type = 14.2
- Médiane = 40.3
- Coefficient de variation (Cv) = 0.502
- Coefficient d'asymétrie (Cs) = 1.34
- Coefficient d'aplatissement (Ck) = 3

III.1.2.2 .Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale :

Le procédé de calcul consiste à:

Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.

Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.

Calculer la fréquence expérimentale (par la formule de Hazen par exemple).

$$\text{Variable réduite de gauss : } U = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \dots\dots\dots (2)$$

Calcul des caractéristiques empirique de loi (\bar{X} ; δ ; Cv; CS=0).

$$\text{Le coefficient de variation : } Cv = \frac{\delta}{\bar{X}} \dots\dots\dots (3)$$

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

$$XP\% = \bar{X} + \delta * Up\% \dots\dots\dots (4)$$

Avec :

- * XP%: précipitation de probabilité P%.
- * Up%: variable réduit de Gauss.
- * \bar{X} : Moyenne arithmétique.
- * δ : Écart type

Tableau III.3 : Ajustement à une loi normale

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000	0.9999	151	32.3	87.6	214
2000	0.9995	125	24.1	78.1	173
1000	0.999	115	21	73.9	156
200	0.995	92.2	14.5	63.7	121
100	0.99	82.8	12.1	59.1	106
50	0.98	73.6	9.84	54.3	92.9
20	0.95	61.7	7.17	47.7	75.7
10	0.9	52.8	5.38	42.2	63.3
5	0.8	43.6	3.83	36.1	51.1
3	0.6667	36.5	2.87	30.9	42.2
2	0.5	30.4	2.28	25.9	34.8
1.4286	0.3	24.2	1.94	20.4	28
1.25	0.2	21.1	1.85	17.5	24.8
1.1111	0.1	17.5	1.78	14	21
1.0526	0.05	14.9	1.74	11.5	18.3

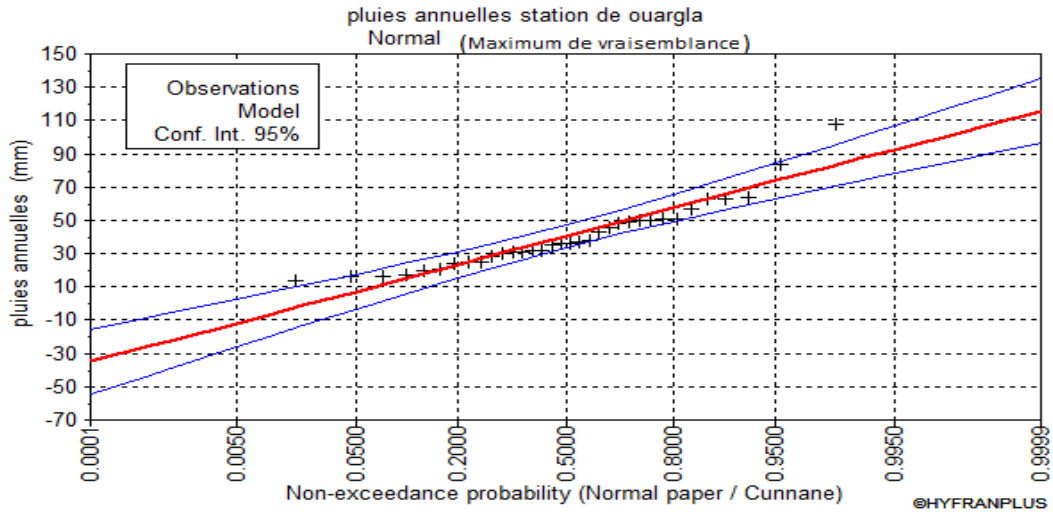


Figure III.1. Ajustement des pluies annuelles à une loi normale

Tableau III.4 : Ajustement à une loi log-normale

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000	0.9999	85.9	7.04	72.1	99.7
2000	0.9995	79.8	6.33	67.4	92.2
1000	0.999	77	6.01	65.2	88.8
200	0.995	69.7	5.19	59.5	79.9
100	0.99	66.2	4.8	56.7	75.6
50	0.98	62.3	4.4	53.7	70.9
20	0.95	56.5	3.82	49	64
10	0.9	51.3	3.35	44.8	57.9
5	0.8	45.1	2.88	39.5	50.8
3	0.6667	39.3	2.58	34.2	44.3
2	0.5	33.2	2.47	28.3	38
1.4286	0.3	25.8	2.64	20.6	30.9
1.25	0.2	21.3	2.88	15.6	26.9
1.1111	0.1	15	3.35	8.44	21.6
1.0526	0.05	9.86	3.82	2.38	17.3

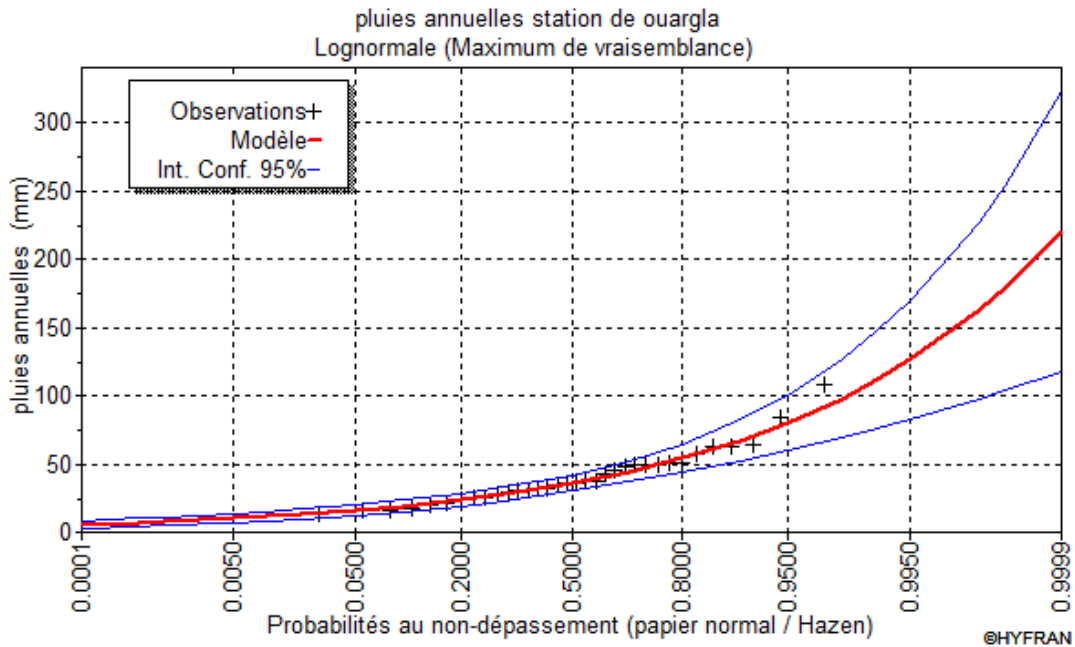


Figure III.2. Ajustement à une loi log-normale

III-1-3. Test d'adéquation 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 tests le plus employé, est le test du Khi 2 " χ^2 ".

Soit un échantillon de N valeurs, classées par ordre croissant ou décroissant à étudier, et pour lequel une loi de répartition F(X) a été déterminée. On divise cet échantillon en un certain nombre de classe K contenant chacune ni valeurs expérimentales. Le nombre Vi 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 :

$$v_i = N \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(X) dX = N [F(X_i) - F(X_{i-1})] \dots \dots \dots (5)$$

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

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

$\lambda = k - 1 - p$

Avec :

p : Nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition, donc : $p = 2$. On cherche dans la table de Pearson la probabilité de dépassement correspondante au nombre de degré de liberté, définie ci-dessus par λ .

*** Test de Khi 2**

- ✓ On calcule χ^2 calculé.
- ✓ On calcule le nombre de degré de liberté λ :
- ✓ On détermine χ^2 théorique sur la table de Pearson III.

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

La loi est adéquate pour une erreur $P = 0.05$ si et seulement si :

$$\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}}$$

Test d'adéquation : Loi Normale

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

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 5.75 \quad \gamma = 5$$

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

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 11.17$$

$\chi^2_{\text{calculé}} = 5.75 < \chi^2_{\text{théorique}} = 11.17$ Donc l'ajustement est à considérer.

Test d'adéquation : Loi log-Normale

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

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 5.75 \quad \gamma = 5$$

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

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 15.19$$

$\chi^2_{\text{calculé}} = 3.65 < \chi^2_{\text{théorique}} = 15.19$ Donc l'ajustement est à considérer.

III .1.4.Détermination de l'année de calcul :

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

on utilise la formule suivante :

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} * \frac{P_{\text{theorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{theorique (50\%) annuelle}}} \dots \dots \dots (6)$$

$$P_{\text{théorique de 50\%}} = 33.2\text{mm}$$

$$P_{\text{théorique de 80\%}} = (1 - P_{80\%}) = 21.3\text{mm}$$

$$P_{\text{moy80\%}} = 0.64 P_{\text{moy mensuelle}}$$

Tableau III .5 :Pluviométrie moyenne pour chaque mois en (mm)

Mois	Jan	Fév	Mars	avri	Mai	Juin	juil.	Aou	sept	Oct	nov	déc.
Pmoy mm/mois	7.01	1.26	3.94	1.93	1.21	0.32	0.64	0.59	5.26	6.87	6.44	5.32
P _{moy80%} mm/mois	4.49	0.81	2.52	1.24	0.77	0.20	0.41	0.38	3.37	4.40	4.12	3.40

III.2.Partie de régime d’irrigation :

III.2.1.Définition d’un régime d’irrigation :

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

III.2.2.Besoins en eau des cultures :

II.2.2.1.Définition :

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

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

III.2.2.2.L’évapotranspiration :

L’évapotranspiration représente la quantité d’eau perdue sous forme de vapeur à partir d’une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en m³/ha/jour, en m³/ha/mois ou en m³/ha/an. Bien entendu, l’évapotranspiration peut également s’écrire en mm/jours par mois ou par an.

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

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

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

- Calcul de L'évapotranspiration potentielle ou de référence :

Dans ce travail, le calcul des besoins en eau des cultures est effectué à l'aide du logiciel CROPWAT, qui permet au passage, l'évaluation de l'évapotranspiration de référence, selon la méthode empirique la plus appropriée de M^F Penman et Monteith modifiée.

En Angleterre, précisément en 1948, Mr Penman et Motheit ont proposés une étude de l'évapotranspiration en reliant inséparablement l'énergie solaire incidente. Cette formule est limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prenne pas en considérations l'effet de quelques paramètres météorologiques. Les expériences ont montres que la formule telle qu'elle est, n'est pas applicable dans les zones arides ou semi arides de faibles humidité.

Pour cela, nous adaptons la nouvelle formule de Mr Penman et Motheit, modifiée, qui prend en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent comptent des conditions météorologique diurne et nocturne.

L'expérience a montré que l'expression obtenue, prédirait de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaudes et semi arides. La formule de Mr Penman et Motheit modifiée se présentant comme suite:

$$ET_0 = C \times W \times R_N + 1 - W \times F_u \times (e_a - e_d) \dots \dots \dots (7)$$

D'où :

- ET₀ : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm /jour.
- W : Facteur de pondération tenant compte de l'effet de rayonnement a différente

température et altitude.

- R_n : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprime en mm/jour.
- $F(u)$: Fonction liée au vent.
- e_a : Tension de vapeur saturante a la température moyenne de l'air, en millibars.
- e_d : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence ($e_a - e_d$) consiste en facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes. Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel appelé CROPWAT, fondé sur la méthode de Mr Penman et Motheit, 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 informations mensuelles de la station météorologique, la méthode adoptée emploie les informations homogènes et fiables suivantes :

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

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

Tableau III.6 : Evapotranspiration de référence ET_0 calculée
à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0

Country	Algerie			Station	Ouargla			
Altitude	116	m.	Latitude	32.70	'N	Longitude	5.37	'E
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sunshine	Radiation	ET_0	
	°C	°C	%	m/s	hours	MJ/m ² /day	mm/day	
January	4.7	18.2	62	2.7	7.6	12.2	2.50	
February	6.4	20.8	52	3.2	7.9	14.9	3.71	
March	10.6	25.2	43	4.0	8.6	18.7	5.70	
April	14.4	29.3	36	4.5	9.4	22.4	7.75	
May	19.8	35.0	31	4.7	9.3	23.6	9.83	
June	27.5	40.0	27	4.8	10.2	25.3	11.82	
July	27.7	43.2	24	4.3	11.0	26.2	12.12	
August	27.3	42.8	26	3.8	10.5	24.4	10.83	
September	23.2	37.0	36	4.2	8.5	19.5	8.72	
October	17.3	31.3	48	3.4	8.2	16.2	5.66	
November	10.2	24.0	56	2.7	7.9	13.1	3.35	
December	6.0	19.4	62	2.7	6.9	10.8	2.48	
Average	16.3	30.5	42	3.8	8.8	18.9	7.04	

III.3.L'évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ETM):

L'évapotranspiration d'une culture, ET_c , se calcule en multipliant l'évapotranspiration de référence ET_0 par un coefficient cultural, K_c .

$$ETM = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots (8)$$

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.

III.4.Pluies efficaces (P_e) :

C'est la fraction des pluies totales réellement utilisée par la culture, elle dépend de la région concernée, de la nature de la pluie et du type de sol.

Plusieurs méthodes permettent de calculer ces pluies, mais ici nous retenons la méthode de pourcentage qui dit que :

$$\text{Pluies efficaces (en mm/mois)} = A \cdot \text{Pluies totales (mm/mois)} \dots\dots\dots (9)$$

Avec : A : coefficient de correction est généralement égal à 0,8

Tableau III.7 : Les précipitations efficaces.

Mois	Jan	Fév	Mars	avri	Mai	Juin	juil.	Aou	sept	Oct	nov	déc.
P _{eff} mm/mois	5.61	1.01	3.15	1.54	0.97	0.26	0.51	0.47	4.21	5.50	5.15	4.26

III.5.méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration :

Il n'est pas question ici de présenter en détail toutes les méthodes utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures. On distingue généralement deux types :

- 1) Les méthodes directes.
- 2) Les méthodes indirectes.

III.5.1.Méthodes directes :

- 1) L'évapotranspiration ou cuve lysimétrique
- 2) Le bac évaporant
- 3) L'évaporomètre piche

III.5.2.Méthodes indirectes :

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

- 1) Formule de Blaney et Criddle
- 2) Formule de Turc
- 3) Formule de Penman

III.6.Détermination des besoins en eau d'irrigation :

III.6.1 Définition :

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

III.6.1.1 Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures :

$$B = ETP - (P_{\text{eff}} + \text{RFU}) \dots\dots\dots (10)$$

D'où :

- **B** : besoin en eau d'irrigation (mm).
 - **E.T.P** : évapotranspiration (mm/jour).
 - **RFU** : réserve facilement utilisable.
 - **RFU = Y (Hcc – Hpf).Da.Z.**
 - **Y** : degré de tarissement.
 - **Da** : densité apparente.
 - **Z** : profondeur d'enracinement mm.
 - **Hcc** : humidité à la capacité au champ.
 - **Hpf** : humidité au point de flétrissement.
 - **Peff** : pluie efficace.
- ➔ L'irrigation est faite lorsque **B > 0** (bilan hydrique)

Tableau III .8 :Besoins en eau d'irrigation de l'olivier

Mois	K _c	ET ₀ (mm/jour)	ET ₀ (mm/mois)	ETM (mm/mois)	P _{eff} (mm/mois)	RFU (mm/mois)	B _{net} (mm/mois)
J	0.7	2.5	77.5	54.25	5.61	0.00	48.64
F	0.7	3.71	103.88	72.72	1.01	0.00	71.71
M	0.8	5.7	176.7	141.36	3.15	0.00	138.21
A	0.8	7.75	232.5	186.00	1.54	0.00	184.46
M	0.5	9.83	304.73	152.37	0.97	0	151.40
J	0.5	11.82	354.6	177.30	0.26	0	177.04
J	0.5	12.12	375.72	187.86	0.51	0.0	187.35
A	0.6	10.83	335.73	201.44	0.47	0.0	200.97
S	0.6	8.72	261.6	156.96	4.21	0.00	152.75
O	0.65	5.66	175.46	114.05	5.5	0.0	108.55
N	0.65	3.35	100.5	65.33	5.15	0	60.18
D	0.7	2.48	76.88	53.82	4.26	0.00	49.56

Tableau III .9 :Besoins en eau d'irrigation du pêcher

Mois	K _c	ET ₀ (mm/jour)	ET ₀ (mm/mois)	ETM (mm/mois)	P _{eff} (mm/mois)	RFU (mm/mois)	B _{net} (mm/mois)
J	0.75	2.5	77.5	58.13	5.61	0.00	52.52
F	0.8	3.71	103.88	83.10	1.01	0.00	82.09
M	0.8	5.7	176.7	141.36	3.15	0.00	138.21
A	0.5	7.75	232.5	116.25	1.54	0.00	114.71
M	0.5	9.83	304.73	152.37	0.97	0	151.40
J	0.6	11.82	354.6	212.76	0.26	0	212.50
J	0.6	12.12	375.72	225.43	0.51	0.0	224.92
A	0.65	10.83	335.73	218.22	0.47	0.0	217.75
S	0.65	8.72	261.6	170.04	4.21	0.00	165.83
O	0.7	5.66	175.46	122.82	5.5	0.0	117.32
N	0.7	3.35	100.5	70.35	5.15	0	65.20
D	0.75	2.48	76.88	57.66	4.26	0.00	53.40

Tableau III.10: Besoins en eau d'irrigation du grenadier

Mois	K _C	ET ₀ (mm/jour)	ET ₀ (mm/mois)	ETM) (mm/mois)	P _{eff} (mm/mois)	RFU (mm/mois)	B _{net} (mm/mois)
J	0.6	2.5	77.5	46.50	5.61	0.00	40.89
F	0.65	3.71	103.88	67.52	1.01	0.00	66.51
M	0.65	5.7	176.7	114.86	3.15	0.00	111.71
A	0.7	7.75	232.5	162.75	1.54	0.00	161.21
M	0.7	9.83	304.73	213.31	0.97	0	212.34
J	0.4	11.82	354.6	141.84	0.26	0	141.58
J	0.4	12.12	375.72	150.29	0.51	0.0	149.78
A	0.45	10.83	335.73	151.08	0.47	0.0	150.61
S	0.45	8.72	261.6	117.72	4.21	0.00	113.51
O	0.5	5.66	175.46	87.73	5.5	0.0	82.23
N	0.5	3.35	100.5	50.25	5.15	0	45.10
D	0.6	2.48	76.88	46.13	4.26	0.00	41.87

Tableau III.11 : Besoins en eau d'irrigation d'amandier

Mois	K _C	ET ₀ (mm/jour)	ET ₀ (mm/mois)	ETM (mm/mois)	P _{eff} (mm/mois)	RFU (mm/mois)	B _{net} (mm/mois)
J	0.75	2.5	77.5	58.13	5.61	0.00	52.52
F	0.4	3.71	103.88	41.55	1.01	0.00	40.54
M	0.4	5.7	176.7	70.68	3.15	0.00	67.53
A	0.4	7.75	232.5	93.00	1.54	0.00	91.46
M	0.5	9.83	304.73	152.37	0.97	0	151.40
J	0.5	11.82	354.6	177.30	0.26	0	177.04
J	0.5	12.12	375.72	187.86	0.51	0.0	187.35
A	0.6	10.83	335.73	201.44	0.47	0.0	200.97
S	0.6	8.72	261.6	156.96	4.21	0.00	152.75
O	0.6	5.66	175.46	105.28	5.5	0.0	99.78
N	0.75	3.35	100.5	75.38	5.15	0	70.23
D	0.75	2.48	76.88	57.66	4.26	0.00	53.40

III.6.1.2. Besoins totaux nets en eau d'irrigation :

Les résultats de calcul des besoins en eau nets sont récapitulés le tableau suivant :

Tableau III .12 :Besoins en eau d'irrigation des cultures

Culture	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Olivier	48.64	71.71	138.21	184.46	151.4	177.04	187.35	200.97	152.75	108.55	60.18	49.56
Pêcher	52.52	82.09	138.21	114.71	151.40	212.50	224.92	217.75	165.83	117.32	65.20	53.40
Grenadier	40.89	66.51	111.71	161.21	212.34	141.58	149.78	150.61	113.51	82.23	45.10	41.87
Amandier	52.52	40.54	67.53	91.46	151.40	177.04	187.35	200.97	152.75	99.78	70.23	53.40
Besoins	194.57	260.85	455.66	551.84	666.54	708.16	749.4	770.3	584.84	407.88	240.71	198.23

III.7. 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, et qui seront évacués en dehors de la zone racinaire par un réseau de drainage.

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 20% des besoins bruts d'irrigation.

Le lessivage est envisagé lorsque:

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

On distingue deux types de lessivage:

- Lessivage capital (ou initial):

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

- Lessivage continue (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 utilisé dans notre projet.

- Calcul des doses de lessivage:

En utilisant la formule de RHOADS (Leaching Requirement)

$$I_w = \frac{B_{net}}{1 - LR} \quad I_w : \text{besoin végétation + lessivage} \quad B_{net} : \text{besoin en cultures avant lessivage}$$

$$LR = \frac{C_{e_{iw}}}{5C_{es} - C_{e_{iw}}}$$

Avec :

- LR : Leaching Requirement ou fraction lessivante
- $C_{e_{iw}}$: conductivité électrique de l'eau d'irrigation = 2.19 ds/cm.
- C_{es} : conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol

$$C_{es} = 2,55 \text{ ds/cm}$$

$$\Rightarrow LR = \frac{2.19}{(5 \times 2.55) - 2.19} = 0,21 \quad \Rightarrow LR = 0,21$$

$$I_w = \frac{B_{net}}{1 - LR} \quad I_w : \text{besoin végétation+lessivage}$$

Tableau III.13 : Besoin cultures +lessivage (mm)

Culture	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Olivier	61.57	90.77	174.95	233.49	191.65	224.10	237.15	254.39	193.35	137.41	76.18	62.73
Pêcher	66.48	103.91	174.95	145.20	191.65	268.99	284.71	275.63	209.91	148.51	82.53	67.59
Grenadier	51.76	84.19	141.41	204.06	268.78	179.22	189.59	190.65	143.68	104.09	45.10	41.87
Amandier	66.48	51.32	85.48	115.77	191.65	224.10	237.15	254.39	193.35	126.30	88.90	67.59
Total	246.29	330.19	576.79	698.52	843.73	896.41	948.60	975.06	740.29	516.31	292.71	239.78

III.8.Occupation du sol :

Tableau III.14 : Occupation du sol

Les Culture	Les surfaces (ha)
Olivier	25
Pêcher	25
Grenadier	25
Amandier	25

III.9. Calcul du débit caractéristique :

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_{car} = q_s \cdot S$$

- q_s : débit spécifique de mois de pointe (l/s/ha)
- S : la superficie totale à irriguer = 100 ha

le mois de pointe est juillet et les besoins de pointe de **pêcher** sont de **284.71 mm**

Donc :

$$q_s = \frac{B_{pointe} \cdot 10 \cdot 1000}{K \cdot N_h \cdot n_j \cdot 3600} \dots\dots\dots (11)$$

Avec :

- B_{pointe} : Besoins de pointe (mm/mois).
- q_s : Débit spécifique (l/s/ha).
- K : Coefficient d'efficacité globale du système d'irrigation ($k=0,90$).
- N_h : nombre des heures d'irrigation = 20 h.
- n_j : nombre de jours par mois = 30 jours.

➔ **Dans notre région d'étude :**

Pêcher :

- Le débit spécifique : $q_s = 1.46$ l/s/ha
- q spécifique = 1.46 l/s/ha.
- $Q_{car} = q_s \cdot S = 1.46 \cdot 100 = 146$ l/s
- $Q_{car} = 0.146$ m³/s

Alors notre débit de consommation journalier est : **Q jour = 12614.40 m³/j+**

Olivier :

- Le débit spécifique : $q_s = 1.31$ l/s/ha

Grenadier :

- Le débit spécifique : $q_s = 1.38$ l/s/ha

Amandier :

- Le débit spécifique : $q_s = 1.31 \text{ l/s/ha}$

Conclusion :

Pour déterminer les besoins en eau des cultures, il faut tenir compte du climat, culture, système agronomique et intensité culturale, milieu et exposition, sol, eau disponible dans le sol, fertilité du sol.

Introduction :

L'humidité du sol à l'état naturel est souvent insuffisante, et pour garantir un rendement optimum des cultures, on a recours à l'irrigation. Il existe plusieurs techniques ou modes d'irrigation. Dans ce chapitre, nous étudierons ces différentes techniques puis nous choisirons la celle qui correspond avec les caractéristiques de notre périmètre.

IV.1.CHOIX DES TECHNIQUES D'IRRIGATION :

Plusieurs facteurs entrent en considération pour le choix des techniques d'irrigation et en particulier :

- La pente du terrain à irriguer ;
- Le débit dont on dispose ;
- Nature du sol (perméabilité) ;
- Nature des cultures ;
- Facteurs économiques ;
- Rentabilité de l'opération.

IV.2.Différentes techniques d'arrosages :

Les techniques d'arrosages peuvent être rangées en trois classes :

- L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface
- L'irrigation par aspersion
- L'irrigation localisée ou micro irrigation

IV.2.1.Irrigation gravitaire :

L'irrigation gravitaire regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la distribution de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre par simple écoulement à la surface du sol.



Figure IV.1.Irrigation par rigole.

La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain, et aux propriétés hydriques du sol (ruissellement, infiltration, et capillarité)

En irrigation de surface, la distinction entre les différentes techniques est essentiellement fondée sur la méthode d'application de l'eau : ruissellement, submersion et infiltration (Tiercelin, 1998).

IV.2.1.1.L'irrigation par ruissellement :

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

IV.2. 1.2.l'arrosage par infiltration (à la raie) :

C'est une méthode qui consiste à faire distribué l'eau par des rigoles ou raies avec un débit relativement faible comparativement aux autres procédés. Dans cette méthode, une partie seulement du sol qui reçoit directement l'eau, le reste est humecté par infiltration latérale.

IV.2.1.3.L'arrosage par submersion :

Le principe consiste à donner au sol une couche d'eau plus au moins épaisse, qu'on laisse séjourner pendant le temps nécessaire pour qu'elle pénètre par infiltration à la profondeur utile permettant ainsi au sol de mettre en réserve l'eau indispensable au développement des cultures.

a.Avantages de l'irrigation par gravité :

- Coût d'investissement relativement faible
- Besoin en énergie faible ou nul
- Technique éprouvée
- Insensibilité au vent
- Bonne adaptation à l'épandage d'eaux usées
- Possibilités d'utiliser les eaux salées (en pratiquant le lessivage du sol)
- Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire

b.Inconvénients de l'irrigation par gravité :

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

IV.2.2.l'irrigation par aspersion :

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



Figure IV.2 .Irrigation par aspersion

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 élevé (prix d'achat du matériel très important)
- 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

IV.2.3.l'irrigation localisée (goutte à goutte) :

L'irrigation localisée apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux. Ce sont des systèmes très utilisés en maraichage, en arboriculture et en horticulture. Le plus connu de ces

principes est sans doute le «goutte à goutte », d'autres systèmes existent également tels que les tubes poreux alignés sur le sol ou mini-asperseurs. Ces derniers sont utilisés notamment en arboriculture (Mekki, 1988). L'eau est acheminée aux cultures au moyen de tuyaux munis de goutteurs et s'écoule par ceux-ci sous forme de gouttes avec un faible débit.



Figure IV.3.Schéma type d'un réseau d'irrigation en goutte à goutte

IV.2.3.1.Composition d'une installation goutte à goutte :

1.Point de fourniture d'eau :

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

2.L'unité de tête :

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

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

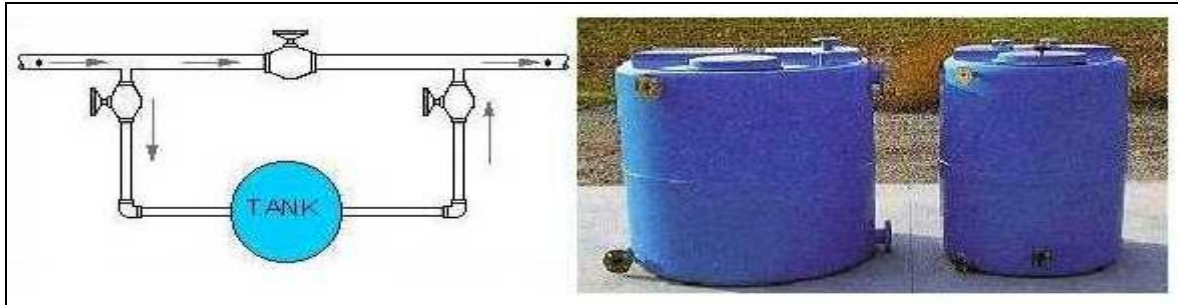


Figure IV.4. Dilueur d'engrais

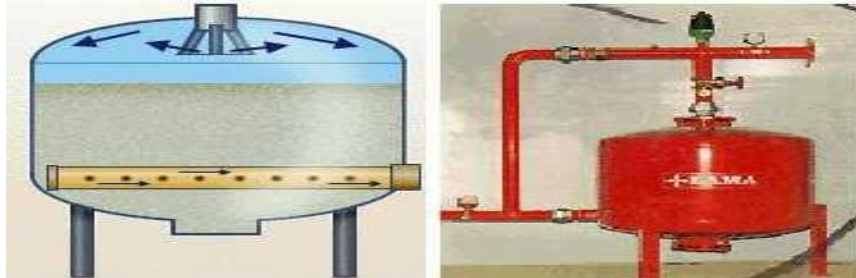


Figure IV.5. Filtre à gravier

3. Conduites et rampes :

a. La conduite principale :

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

b. Le porte-rampes :

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

c. Les rampes :

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

d. Les distributeurs :

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

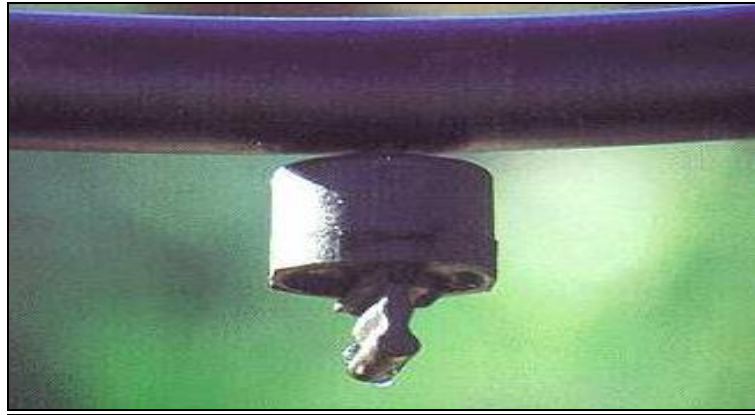


Figure IV.6.Goutteur

4. Différents types de distributeurs :

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

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

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

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

IV.2.3.2.Choix d'un distributeur dans l'irrigation en goutte à goutte :

a.La qualité de l'eau :

C'est un élément essentiel dont vont dépendre les risques de colmatage des distributeurs.

b.La nature du sol :

La nature du sol permet de choisir entre mini diffuseurs et goutteurs.

c.la nature des cultures :

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

a. Avantages de l'irrigation localisée :

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

b. Inconvénients de l'irrigation localisée :

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

IV.3. Evolution de l'efficacité des différentes techniques d'arrosage par rapport aux conditions du périmètre :

Le tableau IV.1. Présente les résultats de comparaison entre l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisé par rapport aux conditions du périmètre

Technique d'arrosage Efficacité par rapport	Aspersion	localisée	Observations
Pente moyenne de 3%.	++	++	++
Sol à texture moyenne fine à lourde.	++	++	++
Uniformité d'arrosage	++	++	++
Economie d'eau.	++	++	++
Sensibilité au vent.	-	++	++
Perte d'eau pendant l'arrosage.	+	++	++
Lessivage.	-	-	-
Eaux salées.	-	+	++
Grandes mains d'eau.	-	-	+
Possibilité d'automatisation.	+	++	++
Frais d'investissement	-	-	-
Total ++	04	07	08
Total +	02	01	01
Total -	05	03	02

- (+ +) : Bien adapté aux paramètres données.
- (+) : Adapté en améliorant quelques paramètres.
- (-) : Non adapté aux paramètres données.

Le système d'irrigation goutte à goutte est un système qui permet une très grande efficacité de l'irrigation. Des perforations dans des tuyaux longeant les lignes de culture distribuent l'eau aux plantes de manière localisée et à très faible débit, évitant ainsi un maximum de déperdition.

Très économe en eau et en main d'œuvre, il demande par contre une très grande technicité de ses utilisateurs. Les rendements peuvent être très élevés, mais l'investissement est très important.

Conclusion :

L'irrigation est grande consommatrice d'eau. Elle est nécessaire pour compenser les pertes des plantes et du sol.

Pour éviter d'utiliser trop d'eau, les quantités correctement calculées et nécessaires aux cultures doivent donc être soigneusement estimées.

Pour le cas de notre étude, nous sommes basés sur la techniques d'irrigation goutte à goutte qui sera utilisée dans notre périmètre.

Introduction :

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

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

V.1. Données générales :

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

V.2. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :

V.2.1. Influence du taux de couverture du sol :

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

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

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

- KELLER et KARMELI (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0.85} \dots\dots\dots(1)$$

- La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s) \dots\dots\dots(2)$$

- La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s \dots\dots\dots(3)$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égal à 60%

donc :

$K_r = 0.71$ selon Keller et Karmeli

$K_r = 0.80$ selon Freeman et Garzoli

$K_r = 0.70$ selon Decroix (CTGREF)

On prendra un coefficient $K_r = 0.70$

V.2.1.A.Culture : Olivier

- Espacement entre arbres : 4 m
- Espacements entre rangs : 4 m
- Besoins de pointe 254.39mm

Caractéristique du goutteur :

- Débit nominal : 4l/h
- Pression nominal : 10 m.c.e
- Espacement des goutteurs : 1 m
- Le nombre de goutteurs par arbre : 2

$$B_{net} = 254.39 * 0.70 = 178.07 \text{ mm/mois} = 5.74 \text{ mm/j}$$

$$B_{net} = 5.74 \text{ mm/j}$$

$$B_{brut} = B_{net} / E = 5.74 / 0.9 = 6.38 \text{ mm/j}$$

1.Dose nette pratique :

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

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

$$D_p = (HCC - HPF) Y.Z.P \% \dots\dots\dots (4)$$

Tel que :

- HCC : humidité à la capacité au champ.
- Z : profondeur d'enracinement.
- Y : degré d'extraction de l'eau du sol (1/3).
- P % : Pourcentage du sol humidifié.

D'après la texture du sol, on a : un sol sableux-limonos.

On a les caractéristiques hydriques pour une telle texture sont:

$$HCC - HPF = 0.08 \text{ (Annexe n°3)}$$

$$Y = 1/3$$

$$Z = 1200 \text{ mm (Annexe n°1)}$$

En prend : P = 20 % (Annexe n°4)

$$AN : D_{nette} = (0.08) \times 0,33 \times 1200 \times 0,2 = 6.4 \text{ mm.}$$

$$D_{nette} = 6.4 \text{ mm}$$

2. La dose d'irrigation brute

Le besoin d'irrigation brut, **Brut** : est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation nécessaire en pratique (y compris les pertes et les besoins de lessivage mais à l'exclusion de la contribution des autres ressources).

$$D_{brut} = \frac{D_p}{E} \dots\dots\dots (5)$$

Avec :

$$E : \text{efficacité de l'arrosage } E=0.9$$

donc :

$$D_{brut} = \frac{6.4}{0.9} = 7.11 \text{ mm}$$

3.Fréquence des arrosages

La valeur de la fréquence d'arrosage sera :

$$Fr = \frac{Dose p}{B_{net}} = \frac{6.4}{5.74} = 1.11 \text{ jours}$$

Donc on prend un intervalle de **1 jour**.

4.la durée d'arrosage

$$\theta = \frac{D_b * S_a * S_r}{n * qg} = \frac{6.38 * 1 * 4}{4 * 2} = 3.19 \text{ heures/jours}$$

Avec :

- Sa : L'espacement des distributeurs sur le même arbre.
- Sr : L'écartement entre les rampes ;
- qg: Débit du distributeur en l/h.
- n : nbre de goutteurs sur même arbre

V.2.1.B .Culture: Grenadier

- Espacement entre arbres : 4 m
- Espacements entre rangs : 4 m
- Besoins de pointe 268.78 mm
- Caractéristique du goutteur :
- Débit nominal : 4l/h

- Pression nominal : 10 m.c.e
- Espacement des goutteurs : 1 m
- Le nombre de goutteurs par arbre : 2

1. Besoins nets en eau journaliers max :

$$B_{\max} = 268.780 \text{ mm/mois.}$$

$$B_{\text{net}} = B_{\max} * K_r$$

- La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égal à 60% (pour les arbres adultes)
donc : $K_r = 0.70$

$$B_{\text{net}} = 268.78 * 0.70 = 188.15 \text{ mm/mois}$$

Donc les besoins journaliers net correspond a $B_{\text{netJ}} = 6.27 \text{ mm / jour.}$

$$b_{\text{brut}} = \frac{b_{\text{net.r}}}{E} = D_{\text{brut}} = \frac{6.27}{0.9} = 6.97 \text{ mm/j}$$

2. Fréquence des arrosages :

La valeur de la fréquence d'arrosage sera :

$$F_r = \frac{\text{Dose p}}{B_{\text{nj}}} = \frac{6.4}{6.97} = 1 \text{ jours}$$

Donc on prend un intervalle de **1 jour**.

3. la durée d'arrosage :

$$\theta = \frac{D_b * S_a * S_r}{n * q_g} = \frac{6.97 * 1 * 4}{4 * 2} = 3.49 \text{ heures/jour}$$

Avec :

Sa : L'espacement des distributeurs sur le même arbre.

Sr : L'écartement entre les rampes ;

qg: Débit du distributeur en l/h.

n : nbre de goutteurs sur même arbre

V.2.1.C. Culture: pêcher

- Espacement entre arbres : 4 m
- Espacements entre rangs : 4 m
- Besoins de pointe 284.71 mm

Caractéristique du goutteur :

- Débit nominal : 4l/h

- Pression nominal : 10 m.c.e
- Espacement des goutteurs : 1 m
- Le nombre de goutteurs par arbre : 2

1. Besoins nets en eau journaliers max :

$$B_{\max} = 284.71 \text{ mm/mois.}$$

$$B_{\text{net}} = B_{\max} * K_r$$

La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égal à 60% (pour les arbres adultes)
donc : $K_r = 0.70$

$$B_{\text{net}} = 284.71 * 0.70 = 199.30 \text{ mm/mois}$$

Donc les besoins journaliers net correspond a $B_{\text{net}} = 6.64 \text{ mm / jour.}$

$$b_{\text{brut}} = \frac{b_{\text{net}} * r}{E} = D_{\text{brut}} = \frac{6.64}{0.9} = 7.38 \text{ mm/j}$$

2. Fréquence des arrosages :

La valeur de la fréquence d'arrosage sera :

$$Fr = \frac{\text{Dose p}}{B_{\text{nj}}} = \frac{6.4}{6.64} = 1 \text{ jour}$$

3. la durée d'arrosage :

$$\theta = \frac{D_b * S_a * S_r}{n * q_g} = \frac{7.38 * 1 * 4}{4 * 2} = 3.69 \text{ heures/j}$$

Avec :

- S_a : L'espacement des distributeurs sur le même arbre ;
- S_r : L'écartement entre les rampes ;
- q_g : Débit du distributeur en l/h.
- n : nbre de goutteurs sur même arbre

V.2.1.D. Culture Amandier :

$$B_{\text{brut}} = B_{\text{net}} / E = 5.74 / 0.9 = 6.38 \text{ mm/j}$$

$$D_{\text{brut}} = \frac{6.4}{0.9} = 7.11 \text{ mm,}$$

$$Fr = \frac{\text{Dose p}}{B_{\text{net}}} = \frac{6.4}{5.74} = 1.11 \text{ jours}$$

$$\theta = \frac{D_b * S_a * S_r}{n * q_g} = \frac{6.38 * 1 * 4}{4 * 2} = 3.19 \text{ heures/jours}$$

V.2.2. Dimensionnement des canalisations du réseau :

Pour une meilleure gestion du système et une bonne économie on va partager chaque parcelle en 4 postes de dimensions 6.25 ha ($L=250\text{m}$, $l=250\text{m}$)

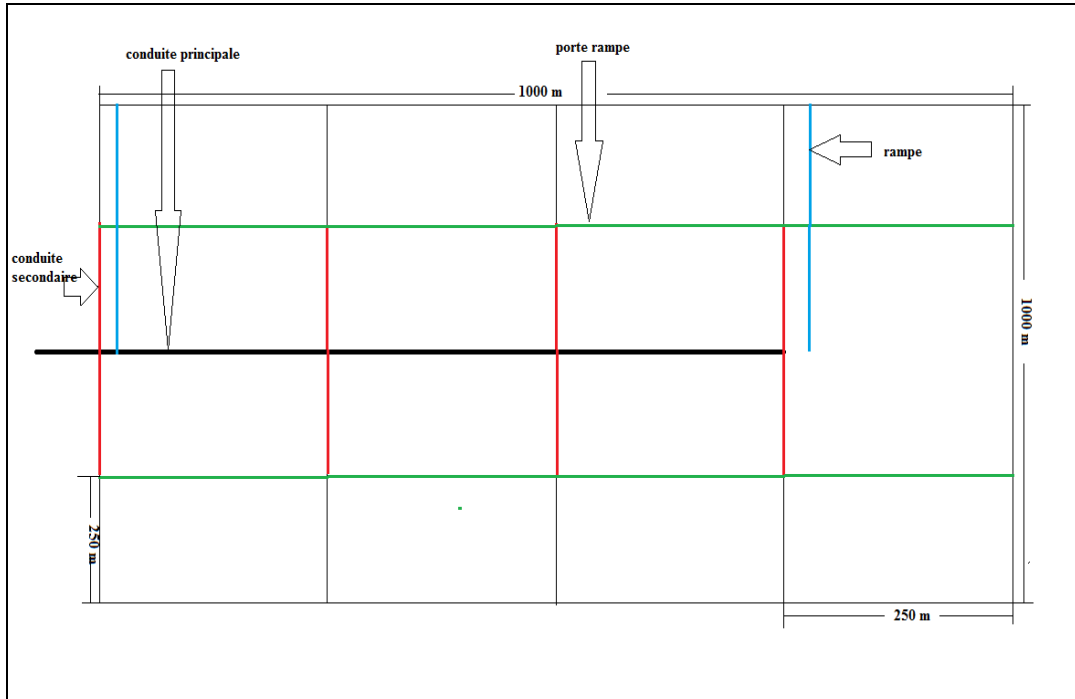


Figure V.1. Schéma de la répartition du périmètre

Donc on a :

- **Surface de poste :**

$$S_p = 250 / 4 = 6.25 \text{ ha}$$

- **Nombre de rampes par poste :**

$$N_r = L_{pr} / E_r = 62.5 = 63 \text{ rampes}$$

- **Nombre d'arbres par rampe :**

$$N_a = 250 / 4 = 63 \text{ arbres}$$

- **Nombre des goutteurs par rampe :**

$$N_g = N_a * 2 = 126 \text{ goutteurs}$$

- **Débit de la rampe :**

$$Q_r = q_g * N_g = 4 * 126 = 504 \text{ l/h}$$

- **Débit de la porte rampe :**

$$Q_{pr} = Q_r * N_r * 2 = 504 * 63 * 2 = 63504 \text{ l/h}$$

Car tous les parcelles a des mêmes dimensions donc le calcul hydraulique c'est le même pour tous les parcelles.

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

Le diamètre de rampes ainsi que des portes rampes est calculé d'après les formules suivantes :

$$\varnothing_{r(cal)} = \left[\frac{P.d.c(r) * 2.75}{0.478 * Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{\frac{1}{4.75}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\varnothing_{pr(cal)} = \left[\frac{P.d.c(pr) * 2.75}{0.478 * Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{\frac{1}{4.75}} \dots\dots\dots (7)$$

Avec :

- Pdc(r) : la perte de charge dans la rampe
- Q(r) : le débit de la rampe en l/h
- L(r) : la longueur de la rampe en m
- Ør (cal) : le diamètre de rampes
- Øpr (cal) : le diamètre de porte rampe

V.2.2.1. Conditions hydrauliques de base

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

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

La variation maximale de la pression

q = K H^x avec x=0.5 (caractéristique du goutteur)

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

Telle que : q(g) : débit nominal du goutteur

H(n) pression nominal

$$0.1 = 0.5 \frac{\Delta H(max.)}{10} \dots\dots\dots (8)$$

ΔH(max)=1/0.5 = 2mce.

Les pertes de charge singulière

Pcs=10% de ΔH=0.1.2=0.2m

Pcs=0.2m

Les pertes de charge lineaire

Pcl=ΔH-(pcs)=2-0.2=1.8m

Pcl=1.8m

Répartition des pertes de charge

Les pertes de charge linéaire de la rampe=2/3.Pcl=1.8.2/3=1.2m

Les pertes de charge du porte rampe=1/3.Pcl=1.8.1/3=0.6m

1.Le diamètre de la rampe :

On applique la relation suivante

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r) * 2.75}{0.478 * Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \dots\dots\dots (9)$$

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{1.2 * 2.75}{0.478 * 504^{1.75} 250} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

=21.07 mm

Donc : $\varnothing r(nor)$ =20mm

2.La perte de charge de la rampe :

$$J = \left(\frac{8}{2.75} \cdot 10^{-4} \cdot D^{-4.75} \cdot Q^{1.75} \right) \cdot L$$

Telle que :

- J : Perte de charge totale (m)
- D : Diamètre de la rampe (m)
- Q : Débit de la rampe (m³/s)
- L : Longueur de la rampe. (m)

$$J = \left(\frac{8}{2.75} \cdot 10^{-4} \cdot (25/1000)^{-4.75} \cdot 0.00014^{1.75} \right) \cdot 250$$

= 0.53m

Donc : ΔHcal=0.53 m

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

culture	Surface ha	Lr(m)	Ng	Qr (l/h)	hr(m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	hcal(m)
Olivier	6.25	250	126	504	1.2	21.07	20	0.53

1-le diamètre de la porte rampe :

On applique la relation suivante

$$\Phi_{pr(cal)} = \left[\frac{P.d.c(pr) * 2.75}{0.478 * Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \dots\dots\dots (10)$$

$$\Phi_{pr(cal)} = \left[\frac{0.6 * 2.75}{0.478 * 63504^{1.75} 250} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

$$=144.88\text{mm}$$

Donc : $\Phi_{pr(nor)} = 160 \text{ mm}$

2-La perte de charge de la porte rampe :

$$J = \left(\frac{8}{2.75} \cdot 10^{-4} \cdot (160/1000)^{-4.75} \cdot 0.01764^{1.75} \right) \cdot 250$$

$$=0.37\text{m}$$

Donc : $\Delta H_{cal}=0.37 \text{ m}$

Tableau V.2:Caractéristique de la conduite de la porte rampe

culture	Surface ha	Lpr(m)	Ng	Qpr (l/h)	hpr(m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	hcal(m)
Olivier	6.25	250	126	63504	0.6	144.88	160	0.37

V.2.2.2.Calcul le diamètre de la conduite secondaire :

1. Le débit :

$$Q_{cs1} = Q_{pr}=63504 \text{ l/h}$$

2. Le diamètre :

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1.25 m/s tel que :

$$D_{cal} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{cs1}}{\pi V}} \dots\dots\dots (11)$$

avec : Q : débit de la conduite d'approche. (m³/s)

V : vitesse d'écoulement (m/s).

$$D_{cal} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0176}{\pi 1.25}} =133.89 \text{ mm}$$

Dn=160 mm

3.La perte de charge :

$$J = \left(\frac{8}{2.75} \cdot 10^{-4} \cdot (160/1000)^{-4.75} \cdot 0.0176^{1.75}\right) \cdot 250$$

$$= 0.37 \text{ m}$$

Donc : $\Delta H_{cal} = 0.37 \text{ m}$

Tableau V.3: Caractéristique de la conduite secondaire

culture	Surface ha	L(m)	Q (l/h)	V supposée (m/s)	Dcal (mm)	Dn (mm)	hcal (m)
Olivier	6.25	250	63504	1.25	133.89	160	0.37

V.3. Calcul des dimensions du bassin :

$$V_B = Q \cdot N_{pr} \cdot T \dots\dots\dots (12)$$

donc :

Q: débit d'une porte rampe.

N_{pr} : nbre de porte rampe N_{pr}=4.

T: on a T=4h

$$\text{Donc : } V_b = 63504 \cdot 4 \cdot 4 = 1016064 \text{ l}$$

$$V = 1016.064 \text{ m}^3$$

Donc : dimension du bassin en m (L=17.25, l=17.25, h=3.5)

V.4. Dimensionnement de la conduite principale :

on va irriguer deux parcelles d'une surface 50 ha au même temps par un bassin de 1016.06 m³ qui alimente à partir d'un forage du débit de 40 l/s pendant 10 h.

il existe quatre paramètres qui interviennent pour le dimensionnement de la conduite principale :

-Le débit Q.

-La perte de charge.

-La vitesse V.

-Le diamètre D.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \dots\dots\dots (13)$$

Avec : Q : débit de la conduite considérée

$$Q_p = Q_{sec} \cdot 4 = 63504 \cdot 4 = 254016 \text{ l/h}$$

$$Q_p = 254016 \text{ l/h} = 254.016 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 254.016}{3.14 \times 1.25 \times 3600}} \times 1000 = 268.16 \text{ mm.}$$

En prend D = 315mm. (Diamètre commercial).

Vérification de la vitesse :

$$V = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (14)$$

- S : surface de la conduite en m².
- Q : le débit dans la conduite en m³/s.

A, N

$$V = \frac{254.016 \times 4}{3.14 \times 0.315^2 \times 3600} = 0.91 \text{ m/s} \in (0.8-1.2) \text{ .acceptable.}$$

V.5.Vérification avec Epanet :

1-Des vitesses :

Tableau V.4 : Vérification des vitesses

État des Arcs du Réseau					
	Longueur	Diamètre	Débit	Vitesse	Pert .Charge Unit.
ID Arc	m	mm	M3H	m/s	m/km
Tuyau 1	250	315	190.62	0.68	1.33
Tuyau 2	250	315	190.62	0.57	0.62
Tuyau 3	250	315	190.62	0.51	0.17
Tuyau 4	350	315	190.62	0.91	2.3

2-Des pressions :

Tableau V.5 : Vérification des pressions

État des Nœuds du Réseau				
	Altitude	Demande Base	Charge	Pression
ID Nœud	m	M3H	m	m
Nœud 1	111.5	254.01	121.77	10.27
Nœud 2	111	254.01	121.44	10.44
Nœud 3	110.8	254.01	121.28	10.48
Nœud 4	110.5	254.01	121.24	10.74
Réservoir 5	120	Sans Valeur	122	2

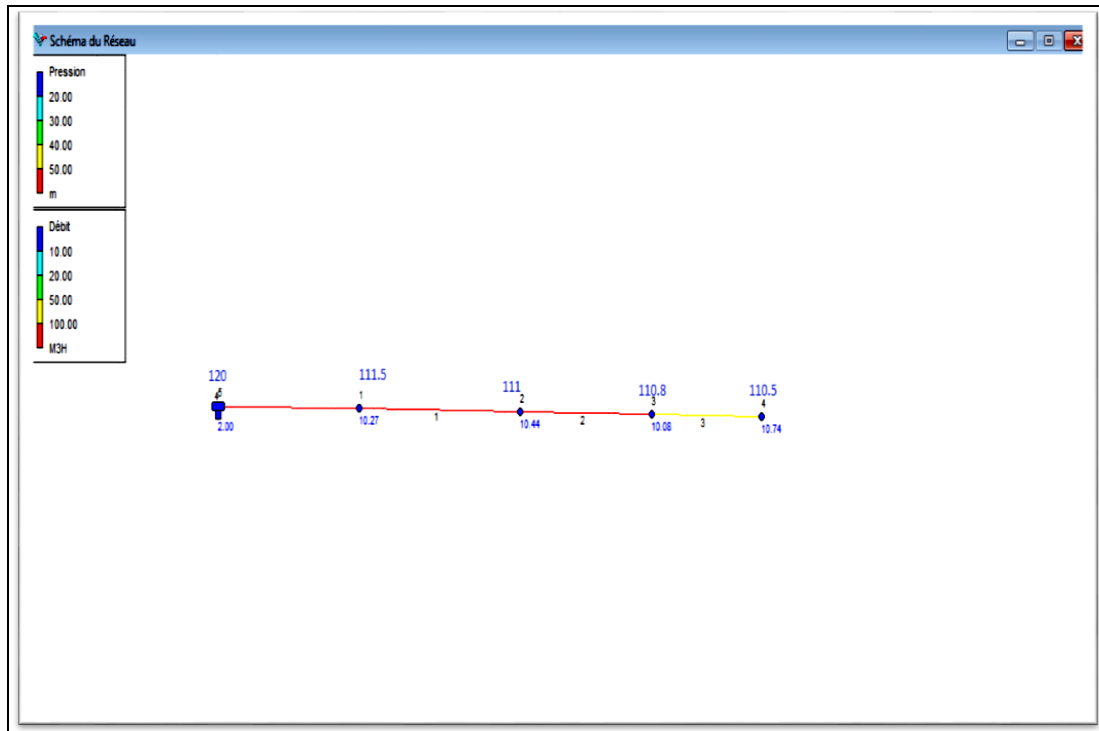


Figure.V.2.Schéma de la conduite principale(Epanet)

V.6.Choix de la pompe :

Le choix de la pompe est déterminé par deux paramètres essentiels

- la hauteur manométrique totale HMT exprimée en m ;
- le débit de la pompe Q pompe.

$$HMT = ht + Hg \dots\dots\dots (15)$$

Avec :

ht : perte de charge totale en m.

Hg : hauteur de dénivellation en m.

$$ht = hs + hl$$

$$hs = 10\% hl.$$

$$ht = 1.1hl$$

$$hl = \frac{0.001052 * L * Q^2}{D^{4.772}} \dots\dots\dots (16)$$

Avec :

L : longueur de la conduite.

D : diamètre de la conduite .avec $D=\sqrt[4]{Q}$

Q : le débit dans la conduite.

Tableau V.6 : Résultats du calcul

N° forage	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	hl(m)	hs(m)	ht(m)	Hg(m)	HMT(m)
F1	0.20	211	0.040	0.77	0.077	0.847	180.47	181.32

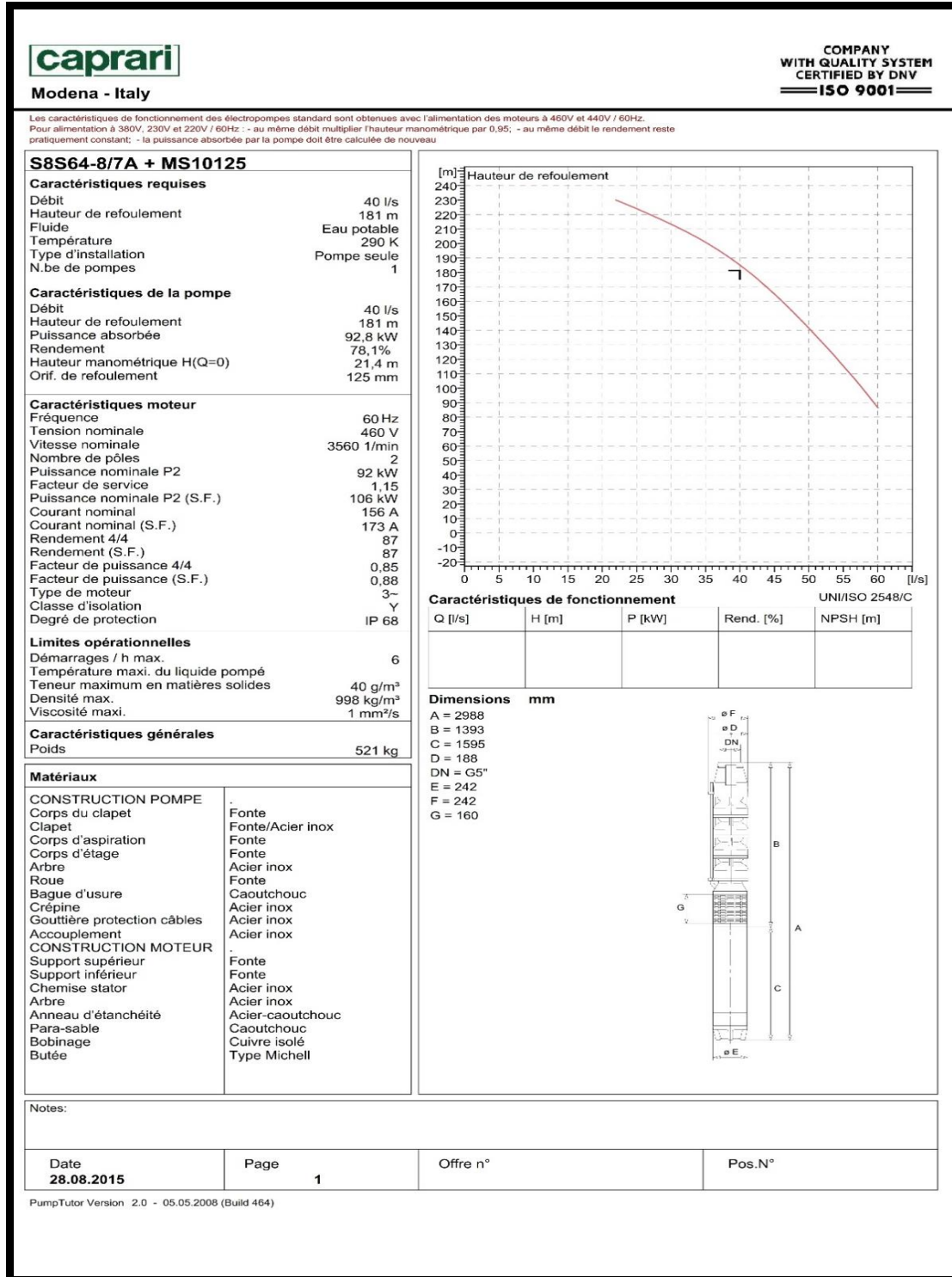


Figure V.3 : Courbe caractéristique de la pompe

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons procédé au dimensionnement des différentes parties du réseau localisé, à savoir :le goutteur,la rampe,le porte -rampe,la conduite secondaire ,le bassin et la conduite principale.Et ce,en tenant compte de la choix de la pompe.

Introduction :

Dans notre projet l'aspect économique doit être pris en considération, pour cette raison nous devons faire une estimation des frais.

VI.1. Devis de réseau d'irrigation localisée :

Les globaux des pièces sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau VI .1: Factures proformat des pièces du réseau d'irrigation localisée

Pièces	Unité de mesure	Quantité	Prix (DA)	Montant (DA)
Tube Ø315 PEHD	m/l	1100 m	6881,37	7569507
Tube Ø160 PEHD	m/l	4000m	1786,51	7146040
Tube Ø25PEBD	m/l	252000	30,64	7721280
Filtre	un	4	14508	58032
Vanne Ø160	un	8	15000	120000
2 pompes S8S64-8/7A	un	2	288376.20	576752.40
Goutteur réglable	un	127008	6,13	778559.04
Bassins d'irrigation	DA/m ³	1042	350	364700
Fertilité	un	1	23731,2	23731.2
Totale				24 358 601.64

VI.2. Dépenses des travaux :

Le prix de terrassement est égal à :

- Pour le déblai : $F_{deb} = V_{deb} * k_{deb}$ (1)
- k_{deb} : prix de 1 m³ de déblai = 300 DA.
- V_{deb} : volume total de déblai.
- Pour le remblai : $F_{rem} = V_{rem} * K_{rem}$ (2)
- K_{rem} : prix de 1 m³ de remblai = 100 DA.
- V_{rem} : volume total de remblai.

• Calcul du volume de déblai et remblai :

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

$$B = D + (2 \times 0,3) \dots\dots\dots (3)$$

D : diamètre de la conduite (m)

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

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

$$\text{Déblai} = L.H.B \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Remblai} = \text{déblai} - \left(\pi \frac{D^2}{4}\right).L \dots\dots\dots (5)$$

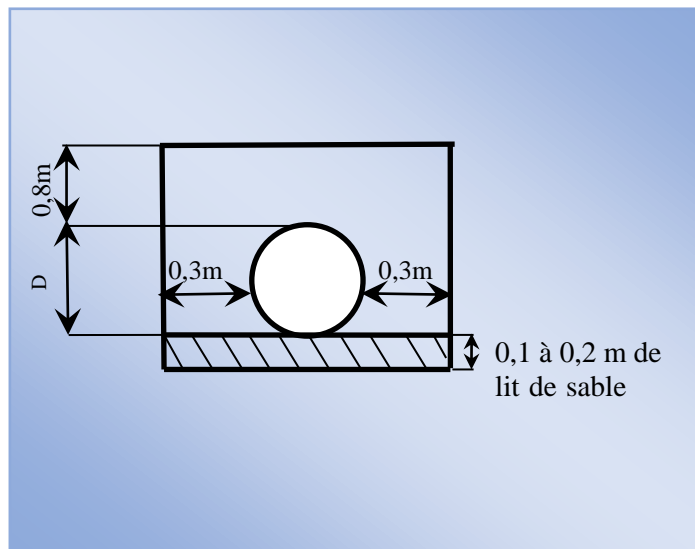


Fig VI.1.Schéma d'une tranchée

Tableau VI.2 :Calcul du terrassement

Paramètres	Ø (mm)	B (m)	H (m)	L (m)	Déblai (m³)	Remblai (m³)
Conduite Principale	315	0.915	1.115	1050	1071.24	989.41

VI.3.Calcul les prix de déblai et remblai :

Donc pour :

- Déblai :

$$F_{deb} = 1071.24 \times 300 = 321\,372 \text{ DA}$$

- Remblai :

$$Frem = 989.41 \times 100 = 98\ 941 \text{ DA}$$

-Les autres frais 20 000 DA

- le total de terrassement est de 430 313 DA

➔ Le totale de projet est de : **24 798 914.64** DA

Remarque

On a pris les prix des conduites en se basant sur les prix actuellement pratiqués au marché (STM Chiali .Voir annexe (5))

Conclusion :

D'après le coût de la projection des réseaux qu'on a obtenu, on remarque que l'estimation du projet du réseau d'irrigation du périmètre de Khechm-errih est raisonnable.

CONCLUSION GENERALE

L'irrigation revêt une importance capitale pour le développement de l'agriculture dans les zones sahariennes. L'extension et l'intensification des cultures dans cette zone fait croître sans cesse la demande en eau, malgré les prix de mobilisation de la ressource souvent très coûteuse.

Les ressources hydriques de la zone d'Ouargla y compris la région de **Khechm Errih** sont représentées essentiellement par les eaux souterraines contenues dans la nappe du Complexe Terminal qui alimente en eau toutes les oasis à travers les forages, les nouveaux périmètres agricoles et les nouvelles villes de la zone.

La région de **Khechm Errih** est caractérisée par un climat saharien avec une précipitation moyenne annuelle de **40.78mm** et une température moyenne annuelle de **23.2 °C**.

L'étude hydrologique nous a permis de fixer la valeur de $P_{80\%}$ ayant servi au dimensionnement du réseau d'irrigation goutte à goutte dans notre périmètre.

La détermination de l'évapotranspiration par la méthode de **Penman** nous a conduit au calcul des besoins en eau d'irrigation par cultures.

Et l'analyse de l'eau d'irrigation indique que l'eau utilisée à une eau à forte salinité avec un risque d'alcalinité faible.

Suivant les facteurs qui caractérisent la région, nous avons choisi les cultures adaptées avec les données climatiques. L'aptitude aux cultures arboricoles est limitée par le climat, surtout si elles ne sont pas cultivées sous palmiers, mais certaines espèces émergent notamment les rustiques telles que : Pêcher, amandier, grenadier et olivier.

Nous avons opté pour le système d'irrigation goutte à goutte. C'est un système qui permet une très grande efficacité de l'irrigation, très économique en eau et en main d'œuvre, il demande par contre une très grande technicité de la part de ses utilisateurs. Les rendements peuvent être très élevés, mais l'investissement est très important.

Bibliographies

Bulletin N°30 FAO : Calcul des besoins en eau des cultures 1983

Veschambre D.et Vaysse P : Mémento goutte à goutte, guide pratique de la micro-irrigation par goutteurs et diffuseurs. Edition C.T.I.F.L, INRA 1980

VERMEIREN. L. JOMLING G.A L'irrigation localisée : calcul, mise en place exploitation 1983.

Poirée .Ch : Les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages, Paris. 1983.

ANNEXES

ANNEXE 1

Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses culture

Cultures	z (m)
Tomates	1 - 1,2
Cultures maraichères	0,3 - 0,6
Agrumes	1 - 1,2
Arbres fruitiers à feuilles caduques	1 - 2
Vigne	1 - 3

ANNEXE 2

Coefficient cultural Kc de chaque culture

VALEURS DU COEFFICIENT CULTURAL Kc POUR LES CULTURES PERENNES

Tableau n° 5

CULTURES PERENNES	MOIS (Hemisphere Nord)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Agrumes	0.64	0.66	0.88	0.70	0.71	0.72	0.72	0.78	0.88	0.67	0.66	0.65
Arbres fruitiers à feuilles caduques.....	0.17	0.25	0.40	0.65	0.68	0.95	0.90	0.80	0.56	0.30	0.20	0.15
Arbres fruitiers avec couchers	0.65	0.75	0.85	0.95	1.10	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.80	0.60
Avocats	0.25	0.40	0.60	0.70	0.77	0.82	0.77	0.79	0.62	0.52	0.42	0.32
Luzerne	0.60	0.75	0.85	1.00	1.10	1.15	1.10	1.05	1.00	0.30	0.80	0.65
Prairies	0.50	0.60	0.75	0.85	0.90	0.92	0.92	0.90	0.88	0.80	0.65	0.55
Noyers	0.10	0.15	0.20	0.45	0.70	0.95	1.00	0.85	0.65	0.65	0.30	0.15
Vigne	0.20	0.25	0.30	0.50	0.70	0.80	0.80	0.75	0.65	0.50	0.35	0.20

ANNEXE 3

Caractéristiques hydriques de quelques sols

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

ANNEXE 4

Guide d'estimation du pourcentage du sol humidifiée (P)

GUIDE D'ESTIMATION DE P

(p = pourcentage de sol humidifié pour divers débits de distributeurs et divers espacements entre rampes et entre distributeurs dans le cas d'une seule rampe rectiligne, équipée de distributeurs uniformément espacés délivrant une dose de 40 mm par arrosage sur l'ensemble de la surface)

Ecartement entre rampes S _i en m	Débit des distributeurs														
	moins de 1,5 l/h			2 l/h			4 l/h			8 l/h			Plus de 12 l/h		
	Espacement recommandé des distributeurs sur la rampe, Sd en m en sol de texture grossière (G), moyenne (M), fine (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0
Pourcentage en sol humidifié p %															
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

ANNEXE 5

TUBE PEBD Et TUBE PEHD

Référence	Désignation	Diamètre en MM	Epaisseur en MM	Prix HT le M/L	Prix TTC le M/L
12 001 0161	Tube PEBD PN 2.5	16	1,20	17,12	20,03
12 001 0201	Tube PEBD PN 2.5	20	1,30	22,98	26,89
12 002 0161	Tube PEBD PN 04	16	1,40	19,07	22,31
12 002 0201	Tube PEBD PN 04	20	1,50	25,79	30,17
12 002 0251	Tube PEBD PN 04	25	1,90	39,80	30,64
12 002 0321	Tube PEBD PN 04	32	2,40	64,48	75,44
12 002 0401	Tube PEBD PN 04	40	3,00	100,91	118,06
12 002 0501	Tube PEBD PN 04	50	3,70	154,19	180,40
12 002 0631	Tube PEBD PN 04	63	4,70	243,88	285,34
12 002 0751	Tube PEBD PN 04	75	5,60	344,78	403,39
12 002 0901	Tube PEBD PN 04	90	6,90	496,16	580,51
12 002 1101	Tube PEBD PN 04	110	8,10	728,80	852,70

Désignation	Px Unitaire HT	Px Unitaire TTC
Goutteur Réglable de 0 à 40 L / H	5,24	6,13
Goutteur Réglable de 0 à 80 L / H	5,58	6,53

Tube PEHD

Référence	Désignation	Diamètre en MM	Epaisseur en MM	Qualité Produit	Pression Service	Prix TTC le M/L
11 002 0201	Tube PEHD	20	2.0	PE80	6 Bars	40,58
11 002 0251	Tube PEHD	25	2.0	PE80	6 Bars	51,77
11 002 0321	Tube PEHD	32	2.0	PE80	6 Bars	67,52
11 002 0401	Tube PEHD	40	2.0	PE80	6 Bars	87,46
11 002 0501	Tube PEHD	50	2.4	PE80	6 Bars	129,44
11 002 0631	Tube PEHD	63	3.0	PE80	6 Bars	202,90
11 002 0751	Tube PEHD	75	3.6	PE80	6 Bars	286,86
11 006 0901	Tube PEHD	90	3.5	PE100	6 Bars	331,27
11 006 1101	Tube PEHD	110	4.2	PE100	6 Bars	478,81
11 006 1251	Tube PEHD	125	4.8	PE100	6 Bars	622,39
11 006 1601	Tube PEHD	160	6.2	PE100	6 Bars	1786.5
11 006 2001	Tube PEHD	200	7.7	PE100	6 Bars	1 586,10
11 006 2501	Tube PEHD	250	9.6	PE100	6 Bars	2 476,19
11 006 3151	Tube PEHD	315	12.1	PE100	6 Bars	6 881.37
11 006 4001	Tube PEHD	400	15.3	PE100	6 Bars	6 290,86
11 006 5001	Tube PEHD	500	19.1	PE100	6 Bars	9 358,71
11 006 6301	Tube PEHD	630	33.10	PE100	6 Bars	14 852,57

