

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 :**

**ETUDE DE PERIMETRE D'IRRIGATION A L'AVAL DE LA  
RETENUE COLLINAIRE DE GOURIGUEUR SUR L'OUED AID  
COMMUNE DE MESKIANA (W.OUM EL BOUAGHI) (109 ha)**

**PRESENTE PAR :**

**MOUDJARI NASREDDINE**

**Devant les membres du jury**

<b>Noms et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M <sup>r</sup> RASSOUL ABDELAZIZ	M.C.B	Président
M <sup>me</sup> AZIEZ WAHIBA	M.A.A	Examinatrice
M <sup>r</sup> YAHIAOUI SAMIR	M.A.B	Examinateur
M <sup>r</sup> KERID RACHID	M.A.A	Examinateur
M <sup>me</sup> MEDJDOUB SONIA	M.A.A	Promotrice

**Septembre-2015**

## **Dédicace**

*A celui qui attend mon retour à chaque coucher du soleil*

*A celle qui m'a comblée d'affection, d'amour et de tendresse, et qui a veillé à côté  
de mon berceau pour consoler mes cris de douleurs, et qui n'a jamais cessé de le  
faire*

*Ma mère*

*A celui qui fut le plus brave des hommes, m'ouvrant ses bras dans les sombres  
moments et m'aidant à aller de l'avant vers le meilleur, et qui m'a tant soutenu  
moralement et matériellement*

*Mon père*

*A mon très cher frère*

*A mes très chères sœurs.*

*A amis fidèles: Abd el mounaim, Belkhir, Sami, Ahmed, Fares, Esghir et Yahyia.*

*A mes frères et mes amis de l'ENSH et de l'EPST-ANNABA.*

*Enfin je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent*

## **REMERCIEMENT**

*Au terme de ce projet, fruit de mes années de labeur, je tiens à remercier sincèrement Dieu, de m'avoir octroyé les moyens et les personnes qui m'ont aidé dans mon élaboration.*

*On tient à remercier notre promotrice Mme. MEDJDOUB.S., de nous avoir assisté le long de la réalisation du travail, qu'elle trouve ici nos sincères gratitude et nos profondes reconnaissances pour tous les efforts qui a déployer dans ce sujet, ainsi que de sa compréhension et de sa patience.*

*Nous remerciant aussi Mme. AZIEZ.W., pour sa disponibilité, ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous remerciant les membres du jury : M. RASSOULA. de vouloir bien examiner ce travail et présidé la soutenance, Mme. AZIEZ.W., M. YAHIAOUI.S. et M. KERID.R. d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous remerciant également tout le personnel de DRE d'Oum El Bouaghi, de l'INSID d'Oum El Bouaghi pour son accueil.*

*Nous remerciant nous enseignants et tout le personnel de l'ENSH pour leurs contributions à ma formation d'ingénieur d'état en hydraulique.*

***Merci***

:

سهل «مسكيانة» الأخريرة هذه المنطقة المائية في هذه المنطقة  
لتزايد هذه الحيوية.

من خلال هذا المشروع قمنا بإجراء دراسة مفصلة لشبكة توزيع المياه للأراضي الفلاحية المتواجدة «عيد»  
«غريغر» ببلدية مسكيانة ولاية أم البواقي.

### **Résume:**

La plaine de MESKIANA à connu ces dernières années un essor agricole remarquable, mais cette zone possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, à cause de l'accroissement des besoins en eaux.

A travers ce projet nous avons fait une étude détaillée pour la projection d'un réseau d'adduction et de distribution de l'eau pour le périmètre d'irrigation sur oued AID et à partir de la retenue collinaire de GOURIGUEUR, commune de MESKIANA wilaya d'Oum El Bouaghi.

### **Abstract :**

Current hydrous resources of Meskiana plain are relatively limited. In recent years a high level of water demand was felt due to remarquable increase in water use for agriculture.

The aim of this research project is the projection of a water adduction and distribution network, for the irrigated perimeter of the valley of AID using the water resource coming from the mobilisation of water at the level of the dam of GOURIGUEUR.

## SOMMAIRE

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

### CHAPITRE I : Analyse des conditions naturelles et agricoles

I.1 Introduction.....	2
I.2 Localisation et présentation de la région d'étude.....	2
I.2.1 limites et accessibilité.....	3
I.2.2 Relief et Hydrographie .....	3
I.2.3 Géologie.....	3
I.2.4 L'Agriculture .....	5
I.3 Etude climatologique .....	5
I.3.1 Présentation des stations météorologique et pluviométrique .....	5
I.3.2 Température de l'air .....	6
I.3.3 Les précipitations (Pluviométrie) .....	7
I.3.4 Humidité relative de l'air .....	9
I.3.5 Le vent .....	9
I.3.5.1 Fréquence des directions des vents par saison .....	10
I.3.5.2 Fréquence des directions des vents annuels .....	10
I.3.5.3 Vitesse moyenne mensuelle du vent .....	11
I.3.6 Insolation .....	11
I.3.7 Evaporation .....	12
I.3.8 Les gelées .....	12
I.3.9 Le siroco .....	13
I.3.10 La Neige .....	13
I.3.11 La grêle .....	14
I.4 Indices agro-météorologiques .....	14
I.4.1 Indice d'aridité annuel de De Martonne (1926) .....	14
I.4.2 Indice d'aridité mensuel de De Martonne .....	15
I.4.3 Quotient pluviothermique d'Emberger (1955) .....	16
I.4.4 le diagramme ombrothermique de Gaussen .....	17
I.4.5 Comparaison des indices climatiques .....	18
I.5 Conclusion .....	19

### CHAPITRE II : Analyse des ressources en sols

II.1 Introduction .....	20
II.2 Le levé pédologique .....	20
II.3 Classification des sols de la zone d'étude .....	20
II.3.1 Les sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport alluvial modaux .....	21
II.3.2 Les sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements assez profond .....	21
II.3.2 Les sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements peu profond .....	21
II.4 Les contraintes édaphiques à la mise en valeur .....	27
II.4.1 Le taux du calcaire .....	27

II.4.2 La salure .....	27
II.4.3 Acidité .....	27
II.5 Etude des aptitudes culturales .....	27
II.5.1 Les cultures céréalières et fourragères .....	27
II.5.2 Les cultures maraichères .....	27
II.5.3 Les cultures arboricoles .....	27
II.5.4 Assolement-Rotation proposés .....	28
II.6 Capacité pour l'eau .....	30
II.6.2 La réserve utile en eau RU .....	30
II.6.1 La réserve facilement utilisable RFU .....	30
II.7 Conclusion .....	32

### **CHAPITRE III : Analyse des ressources en eau**

III.1 Introduction .....	33
III.2 Les eaux souterraines de la nappe de Meskiana .....	33
III.3 La retenue collinaire GOURIGUEUR .....	34
III.3.1 Situation géographique .....	34
III.3.2 Caractéristiques de la digue .....	35
III.3.3 L'évacuateur des crues .....	36
III.3.4 Prise d'eau et vidange de fond .....	36
III.4 Qualité de l'eau de La retenue collinaire .....	37
III.4.1 La salinité .....	37
III.4.2 L'alcalinité .....	38
III.4.3 Normes d'interprétation d'une analyse d'eau .....	40
III.5 Etude statistique des pluies annuelles .....	40
III.6 Choix de l'échantillon à analyser .....	41
III.7 Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique .....	41
III.8 Choix des lois de probabilités .....	43
III.8.1 Ajustement à la loi de Gauss (loi Normale) .....	43
III.8.2 Ajustement à la loi de Galton (loi log –Normale) .....	45
III.8.3 Le test d'adéquation khi-deux .....	47
III.9 Détermination de l'année de calcul .....	48
III.10 Conclusion .....	49

### **CHAPITRE IV : Choix des techniques d'arrosage**

IV.1 Introduction .....	50
IV.2 Irrigation gravitaire .....	50
IV.2.1 Irrigation par bassins de submersion .....	50
IV.2.2 Irrigation à la raie .....	51
IV.2.3 Irrigation par planches .....	52
IV.3 Irrigation par pluie artificielle .....	52
IV.3.1 Installations fixes ou semi-fixes .....	52
IV.3.2 Installations mobiles .....	53
IV.3.3 Irrigation par canons d'arrosage .....	54

IV.4 Irrigation Localisée .....	54
IV.5 Les avantages et les inconvénients des modes d'irrigations .....	56
IV.6 Efficacité d'un système d'irrigation .....	56
IV.6.1 Efficacité de l'irrigation à la parcelle .....	56
IV.6.2 Efficacité de l'application de l'eau (distribution) .....	57
IV.6.3 Efficacité d'adduction (transport) .....	57
IV.6.3 Efficacité de l'uniformité de la distribution .....	57
IV.6.4 Efficacité d'un système d'irrigation .....	58
IV.7 Critères et options pour des techniques d'irrigation appropriées .....	58
IV.7.1 Les contraintes naturelles .....	58
IV.7.2 Les contraintes agricoles .....	60
IV.7.3 Les contraintes techniques et économiques .....	60
IV.7.4 Les contraintes Sociales et institutionnelles .....	60
IV.8 Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage .....	61
IV.9 Conclusion .....	62

## **CHAPITRE V : Estimation des besoins en eau d'irrigation**

V.1 Introduction .....	63
V.2 Estimation de l'évapotranspiration .....	63
V.2.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	63
V.2.1.1 Méthode de Thornthwaite .....	64
V.2.1.2 Méthode de Blaney – Criddle généralisée .....	65
V.2.1.3 Méthode de Turc .....	65
V.2.1.4 Méthode de Penman- Monteith-FAO .....	66
V.2.1.5 Critique et choix .....	67
V.2.2 Estimation de l'évapotranspiration maximale (ETM) .....	68
V.3 Estimation de la pluie efficace .....	69
V.4 Calcul des besoins nets en eau d'irrigation .....	70
V.5 Calcul des besoins bruts en eau d'irrigation .....	71
V.6 Calcul des besoins en eau de lessivage .....	76
V.7 Comparaison entre les besoins du périmètre et la capacité de la retenue .....	77
V.8 Conclusion .....	78

## **CHAPITRE VI : Régime d'irrigation**

VI.1 Introduction .....	79
VI.2 Le mode de distribution d'eau d'irrigation .....	79
VI.2.1 Une distribution au tour d'arrosage .....	79
VI.2.1.1 Tour d'arrosage à module fixe .....	80
VI.2.1.2 Tour d'arrosage à module variable .....	80
VI.2.2 Une distribution à la demande .....	80
VI.3 Calcul de débits .....	81
VI.3.1 Débit fictif continue ( $Q_f$ ) .....	81
VI.3.2 Débit spécifique ( $q_s$ ) .....	82
VI.3.3 Débit caractéristique .....	82

VI.4 Calcul des doses de l'arrosage .....	83
VI.4.1 Détermination de la dose l'arrosage pratique ( $D_p$ ) .....	83
VI.4.2 Fréquence d'arrosage ( $N$ ) .....	83
VI.4.3 Dose réelle ( $D_r$ ) .....	84
VI.5 Conclusion .....	85

## **CHAPITRE VII : Étude de réseau d'adduction et de distribution**

VII.1 Introduction .....	86
VII.2 Présentation des variantes .....	86
VII.2.1 Variante N° 01 .....	86
VII.2.2 Variante N° 02 .....	86
VII.2.2 Choix de la variante .....	87
VII.3 Le plan de bornage .....	87
VII.4 Choix du tracé .....	88
VII.5 Débits aux bornes .....	88
VII.6 Choix du type et de diamètre de la borne .....	89
VII.7 Caractéristiques de la conduite principale (CP) et le réseau de distribution .....	90
VII.7.1 Choix du type de matériau .....	90
VII.7.1.1 La fonte ductile .....	90
VII.7.1.2 Le plastique .....	91
VII.7.2 Calcul des diamètres des canalisations .....	92
VII.7.3 Calcul de perte de charge dans les conduites .....	93
VII.7.4 Calcul de pression aux bornes et nœuds .....	95
VII.8 Conclusion .....	96

## **CHAPITRE VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion**

VIII.1 Introduction.....	97
VIII.2 Données générales .....	97
VIII.3 Composantes d'un système d'aspersion .....	98
VIII.3.1 La porte-rampe .....	98
VIII.3.2 La rampe .....	98
VIII.3.3 L'asperseur .....	98
VIII.4 L'implantation des asperseurs .....	99
VIII.5 La répartition des pressions dans le réseau (règle CHRISTIANSEN) .....	100
VIII.6 Caractéristiques de l'asperseur .....	100
VIII.6.1 Détermination du diamètre de la buse ( $D_b$ ) .....	100
VIII.6.2 Détermination du débit à la sortie de la buse ( $Q_a$ ) .....	101
VIII.6.3 Détermination de la pression à la sortie de la buse .....	101
VIII.6.4 Calcul de la portée du jet d'un asperseur .....	102
VIII.6.5 Estimation des écartements .....	102
VIII.7 Caractéristiques de mode d'irrigation .....	103
VIII.7.1 le temps nécessaire d'irrigation .....	103
VIII.7.2 Le nombre d'arrosage par mois (La fréquence d'irrigation) .....	103



VIII.7.3	Le nombre de jours d'arrosage par mois .....	103
VIII.7.4	Le nombre d'asperseurs .....	104
VIII.8	Caractéristiques de canalisation .....	104
VIII.8.1	Longueur des rampes .....	104
VIII.8.2	Le nombre d'asperseur par rampes .....	104
VIII.8.3	Le nombre de rampes .....	104
VIII.8.4	Débit de rampe .....	104
VIII.8.5	Calcul de la longueur fictive des rampes .....	104
VIII.8.6	Calcul de la longueur fictive de la porte rampe .....	105
VIII.8.7	La longueur réelle totale .....	105
VIII.8.8	Détermination du diamètre de la porte rampe .....	105
VIII.8.8.1	Estimation du diamètre par la vitesse minimale .....	105
VIII.8.8.2	Estimation du diamètre par la vitesse maximale .....	105
VIII.8.8.3	Estimation du diamètre par la perte de charge totale .....	105
VIII.8.8.4	Normalisation des diamètres obtenus par chaque méthode .....	106
VIII.8.9	Détermination du diamètre de la rampe .....	106
VIII.8.9.1	Estimation du diamètre de la rampe par la vitesse minimale .....	106
VIII.8.9.2	Estimation du diamètre de la rampe par la vitesse maximale .....	106
VIII.8.9.3	Estimation du diamètre de la rampe par la perte de charge totale .....	107
VIII.8.9.4	Vérification de la condition de CHRISTIANSEN .....	107
VIII.9	Résultats de dimensionnement .....	108
VIII.10	Conclusion .....	109

## **CHAPITRE IX : Étude technico-économique**

IX.1	Introduction .....	110
IX.2	Nettoyage et décapage du terrain .....	110
IX.2.1	Calcul de la surface de débroussaillage .....	110
IX.3	Construction de tranchée .....	111
IX.3.1	Calcul du volume de déblai .....	111
IX.3.2	Calcul du volume de remblai .....	112
IX.4	Les canalisations .....	113
IX.5	Ouvrages en ligne .....	113
IX.5.1	Traversée de route .....	113
IX.5.2	Traversées des oueds .....	113
IX.5.3	Regard de jonction .....	114
IX.5.4	L'implantation des bornes .....	114
IX.6	Équipement mécaniques et accessoires .....	115
IX.7	Plantation d'un réseau brise vent .....	115
IX.8	Devis quantitatif et estimatif .....	116
IX.9	Conclusion .....	118

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I : Analyse des conditions naturelles et agricoles

Figure I.1 : Localisation de la région d'étude .....	2
Figure I.2 : Lithologie du bassin versant de l'oued Meskiana .....	4
Figure I.3 : Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana (traverse le périmètre) .....	5
Figure I.4 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d'Oum El Boughi ...	6
Figure I.5 : Précipitation moyenne mensuelles .....	8
Figure I.6 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien .....	8
Figure I.7 : Distribution mensuelle de l'Humidité relative de l'air .....	9
Figure I.8 : rose des vents saisonnière de la zone d'étude .....	10
Figure I.9 : Distribution fréquentielle de la durée d'insolation totale .....	11
Figure I.10 : Répartition mensuelle de l'évaporation .....	12
Figure I.11 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.....	15
Figure I.12: Climagramme d'Emberger .....	17
Figure I.13: Diagramme de Gaussen pour la zone du projet .....	18
Figure I.14: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Algérie .....	18

### CHAPITRE II : Analyse des ressources en sols

Figure II.1: L'interface de logiciel du logiciel Soil Water Characteristics .....	31
---	----

### CHAPITRE III : Analyse des ressources en eau

Figure III.1 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards pour la nappe de Meskiana ( juillet 2002) .....	33
Figure III.2 : Photo satellitaire montre les ouvrages de base de la retenue collinaire GOURIGUEUR (source : Google earth, 20015) .....	35
Figure III.3 : Diagramme pour déterminer la qualité évaluée d'une eau d'irrigation à partir de son coefficient d'absorption du sodium (SAR) et de sa conductivité électrique (US salinity Laboratory Staff, 1953) .....	39
Figure III.4 : Ajustement graphique pour les pluies à une loi de Gauss .....	45
Figure III.5 : Ajustement graphique pour les pluies à une loi de Galton .....	46

### CHAPITRE IV : Choix des techniques d'arrosage

Figure IV.1 : Irrigation par bassins à flanc de coteau, les arbres fruitiers .....	51
Figure IV.2 : Irrigation à la raie avec utilisation de siphons .....	51
Figure IV.3 : Irrigation par planches (Alimentation des planches par siphons).....	52
Figure IV.4 : Irrigation par aspersion (Installations fixes ou semi-fixes) .....	53
Figure IV.5 : Irrigation par aspersion, Installations mobiles (Pivot) .....	54
Figure IV.6 : Irrigation par canon d'arrosage .....	54

Figure IV.7 : Micro-irrigation par goutteurs .....	55
Figure IV.8 : Micro-irrigation par micro-asperseurs .....	55

### **CHAPITRE V : Estimation des besoins en eau d'irrigation**

Figure I.1 : L'évapotranspiration mensuelle selon les méthodes utilisées .....	68
--	----

### **CHAPITRE VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion**

Figure VIII.1 : Composantes d'un système d'aspersion .....	97
Figure VIII.2 : Schéma de couverture intégrale présentant une rampe ou tertiaire et les différents composants .....	99
Figure VIII.3 : dispositif d'implantation en couverture intégrale .....	99

### **CHAPITRE IX : Étude technico-économique**

Figure IX.1 : Schéma d'une tranchée .....	111
Figure IX.2 : Coupe transversale de la traversée de route .....	113
Figure IX.3 : Coupe longitudinale de la traversée de route .....	113
Figure IX.4 : la traversé d'une rivière ou oued .....	114
Figure IX.5 : Schéma d'installation des bornes dans une conduite en béton .....	114
Figure IX.6 : photo d'une borne implantée dans une conduite en béton .....	114

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE I : Analyse des conditions naturelles et agricoles

Tableau I.1 : Caractéristiques des stations météorologique et pluviométrique .....	6
Tableau I.2 : Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude .....	6
Tableau I.3 : Les précipitations mensuelles enregistrées à la station de Meskiana .....	7
Tableau I.4 : Distribution mensuelle de l'humidité relative de l'air .....	9
Tableau I.5 : les directions des vents .....	10
Tableau I.6 : Fréquence moyenne interannuelle des vents par directions .....	10
Tableau I.7 : Vitesse moyenne mensuelle du vent .....	11
Tableau I.8 : Distribution fréquentielle de la durée d'insolation totale (1992-2006) .....	11
Tableau I.9 : Répartition mensuelle de l'évaporation .....	12
Tableau I.10 : Nombre de jour de gelée .....	13
Tableau I.11 : Nombre de jours moyen mensuel de siroco .....	13
Tableau I.12 : Le nombre moyen mensuel de jours avec de la neige .....	13
Tableau I.13 : Nombre moyen mensuel de jours de grêle .....	14
Tableau I.14 : Classification du climat selon Indice d'aridité de De Martonne .....	14
Tableau I.15 : Indices d'aridité mensuels (I) à la région d'étude .....	16
Tableau I.16 : les valeurs moyennes mensuelles des températures et des pluies .....	17

## CHAPITRE II : Analyse des ressources en sols

Tableau II.1 : Les profils des sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport alluvial modaux .....	22
Tableau II.2 : Les profils des sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements assez profond .....	24
Tableau II.3 : Les profils des sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements peu profond .....	26
Tableau II.4 : calendrier des principales cultures préconisées .....	28
Tableau II.5 : Assolement - rotation proposé.....	29
Tableau II.6 : Les pourcentages proposés aux différentes cultures .....	29
Tableau II.7 : Valeurs de la densité apparente, capacité de rétention .....	30
Tableau II.8 : Résultats des analyses données par logiciel du logiciel Soil Water Characteristics ...	31
Tableau II.9 : Les profondeurs d'enracinements des différentes cultures .....	32

## CHAPITRE III : Analyse des ressources en eau

Tableau III.1 : Caractéristique techniques de la retenue collinaire .....	34
Tableau III.2 : caractéristiques de la digue .....	36
Tableau III.3 : caractéristiques de l'évacuateur des crues .....	36
Tableau III.4 : Caractéristiques de l'eau d'irrigation .....	37
Tableau III.5 : Classification de la salinité des eaux selon la conductivité électrique .....	37
Tableau III.6 : Classification de L'alcalinité des eaux selon le SAR .....	37

Tableau III.7 : Norme d'interprétation d'une analyse d'eau pour l'irrigation.....	40
Tableau III.8 : Test de Mood pour la station de Meskiana .....	42
Tableau III.9 : Ajustement à une loi de Gauss .....	44
Tableau III.10 Les quantiles de période de retour 10, 20, 50, 100 et 1000 ans .....	44
Tableau III.11 : Ajustement à une loi de Galton .....	46
Tableau III.12 Les quantiles de période de retour 10, 20, 50, 100 et 1000 ans .....	46
Tableau III.13 Test de khi-deux pour les deux lois .....	48
Tableau III.14 Précipitation mensuelle de l'année de calcul .....	48

#### **CHAPITRE IV : Choix des techniques d'arrosage**

Tableau IV.1 : Les avantages et les inconvénients des différents modes d'irrigations .....	56
Tableau IV.2 : Gamme de l'efficacité des différents systèmes d'irrigation.....	58
Tableau IV.3 : Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage .....	61

#### **CHAPITRE V : Estimation des besoins en eau d'irrigation**

Tableau V.1 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite .....	64
Tableau V.2 : Valeurs de l'ETP estimées par la méthode de Blaney-Criddle généralisée .....	65
Tableau V.3 : Valeurs de l'ETP estimées par la méthode de Turc .....	65
Tableau V.4 : Valeurs de l'ETP estimées par la Méthode de Penman- Monteith-FAO .....	67
Tableau V.5 : L'évapotranspiration mensuelle selon les méthodes utilisées .....	68
Tableau V.6 : Coefficient cultural (Kc), en fonction du stade végétatif de la plante .....	69
Tableau V.7 : Les précipitations efficaces par les différentes méthodes .....	67
Tableau V.8 : Besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois) .....	72
Tableau V.9 : Tableau récapitulatif des besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois) .....	74
Tableau V.10 : Tableau récapitulatif des besoins bruts en eau d'irrigation (mm/mois) .....	75
Tableau V.11 : Besoins totaux annuels .....	77

#### **CHAPITRE VI : Régime d'irrigation**

Tableau VI.1 : Débit fictif continue pour chaque mois .....	81
Tableau VI.2 : Débit fictif continu pour chaque culture durant le mois de pointe .....	82
Tableau VI.3 : Débit caractéristique de chaque parcelle d'irrigation .....	83
Tableau VI.4 : Doses et fréquences d'arrosage .....	84

#### **CHAPITRE VII : Étude de réseau d'adduction et de distribution**

Tableau VII.1 : Débit caractéristique de chaque îlot (bornes) d'irrigation .....	89
Tableau VII.2 : Choix du diamètre de la borne .....	89
Tableau VII.3 : Les diamètres des bornes et des prises .....	90
Tableau VII.4 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en fonte ductile .....	91
Tableau VII.5 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PVC .....	91

Tableau VII.6 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEHD .....	91
Tableau VII.7 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEBD .....	92
Tableau VII.8 : Seuil des vitesses admissibles en fonction des diamètres dans les conduites gravitaires .....	92
Tableau VII.9 : Diamètres des canalisations et vitesses d'écoulement .....	93
Tableau VII.10 : Pertes de charge dans les canalisations .....	94
Tableau VII.11 : La pression aux bornes et nœuds en (m.c.e) .....	95

### **CHAPITRE VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion**

Tableau VIII.1 : Caractéristiques de la parcelle à irriguer .....	97
Tableau VIII.2 : récapitulatif des résultats de dimensionnement de réseau d'irrigation .....	108

### **CHAPITRE IX : Étude technico-économique**

Tableau IX.1 : Devis quantitatif et estimatif pour la réalisation du réseau d'adduction et de distribution .....	116
---	-----

## **LISTE DES PLANCHES**

Planche N° 1: Plan de situation du périmètre de MESKIANA W.OUM EL BOUAGHI.

Planche N° 2: Carte des sols du périmètre de MESKIANA W.OUM EL BOUAGHI.

Planche N° 3: Plan d'ensemble du périmètre de MESKIANA W.OUM EL BOUAGHI.

Planche N° 4: Profile en long de la conduite principale.

## INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation de la demande en eau nous oblige aujourd'hui à gérer cette ressource de manière intégrée et efficace, dans une perspective de long terme, et ainsi à trouver des solutions innovantes pour répondre à la demande.

Dans le domaine de l'irrigation la solution consiste à identifier les futurs projets en adoptant les techniques et les procédés d'arrosage qui utilisent d'une façon rationnelle et efficace les volumes d'eau réservés.

Lorsqu' on passe d'un système non irrigué à un système irrigué, il va devoir engager une étude non pas centrée sur la seule analyse technique des besoins en matériel, mais une étude approfondie de tous les paramètres y compris l'incidence économique pour mettre en place une installation simple, adaptée aux besoins et au coût le plus faible possible.

Pour le périmètre de MESKIANA, la méthodologie la plus simple même si n'est pas la plus précise ( en particulier en raison de difficulté d'obtenir des données locales de qualité et leurs fluctuation, telles que la consommation des plantes, les pluies, etc.) est celle qui sera développée dans la présente étude.

Le périmètre de MESKIANA se situe au Sud-est du chef-lieu de la wilaya d'OUM EL BOUAGHI sa superficie est de cent neuf hectares.

La topographie est quasi plane légèrement ondulée avec une pente d'exposition générale S-NO.

Les principales cultures pratiquées sont les fourragères et les céréales jusqu'à l'heure actuelle, le rendement et l'exploitation agricole de ce périmètre est très faible vu le manque d'eau.

La réalisation de la retenue collinaire GOURIGUEUR permet aux terres agricoles situées immédiatement à l'aval de la digue sur les rives de l'oued AID, de bénéficier des eaux présentes dans cette dernière.

Notre travail s'inscrit dans cette perspective, il s'agit de dimensionner un réseau d'adduction et de distribution permettant, l'approvisionnement du périmètre de MESKIANA.

Le réseau hydraulique est composé de conduites circulaires enterrées, où le transport de l'eau est assuré gravitairement.

Nous avons détaillé cette étude en 9 chapitres contenant tous les paramètres affectant le projet.



## **CHAPITRE I :**

### **Analyse des conditions naturelles et agricoles**

# CHAPITRE I : Analyse des conditions naturelles et agricoles

## I.1 Introduction

L'étude des paramètres hydrodynamiques nécessite un traitement détaillé des observations hydro-climatologiques. A cet effet, il s'avère nécessaire, dans ce chapitre, de quantifier et d'analyser les principaux paramètres climatiques de la zone d'étude, ainsi que les différentes caractéristiques physiques qui sont favorables à la mise en valeur en irrigation.

## I.2 Localisation et présentation de la région d'étude

La zone d'étude est située au lieudit « GOURIGUEUR » à environ 7.5 km au sud du chef lieu de commune de MESKIANA à environ 63 km à vol d'oiseau au Sud-est du chef-lieu de la wilaya d'Oum El Bouaghi, les terres à irriguer sont situées immédiatement à l'aval de la digue de la retenue collinaire sur les rives de oued AID.

La zone d'étude est comprise entre les coordonnées UTM suivantes :

$X_1 = 381724.472$  m      et       $X_2 = 380857.810$  m

$Y_1 = 3935631.074$  m      et       $Y_2 = 3939446.022$  m

Administrativement, la zone d'étude est rattachée à la commune de Meskiana, Daïra de Meskiana.

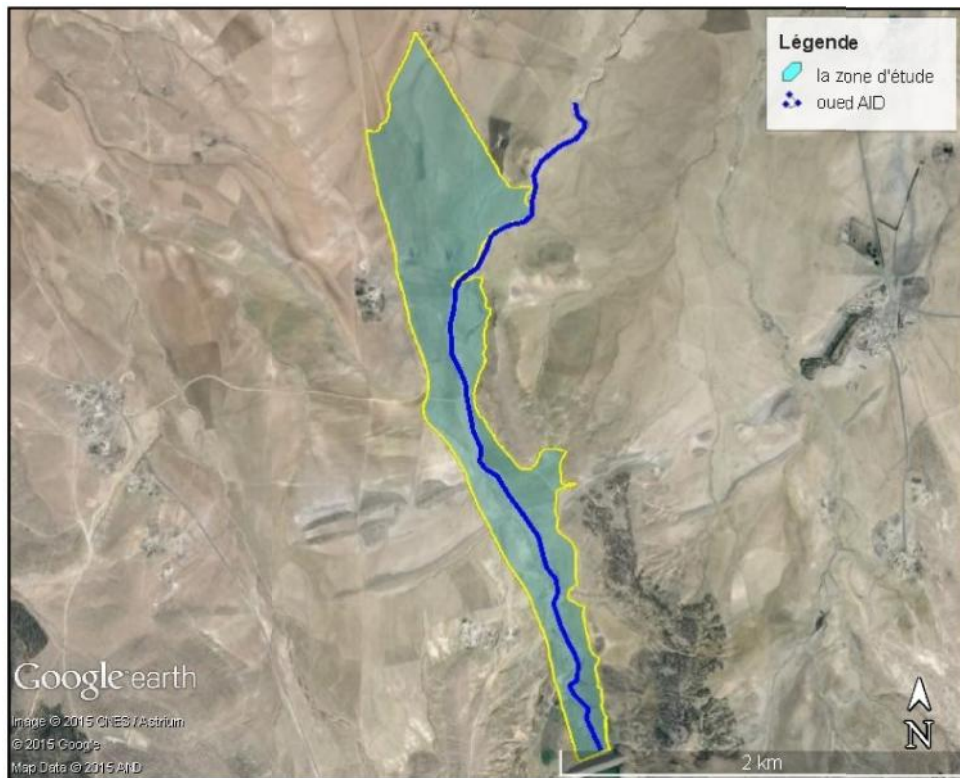


Figure I.1 : Localisation de la région d'étude

### I.2.1 limites et accessibilité

Les terres à irriguer sont situées à l'aval de la retenue collinaire, de part et d'autre de l'oued AID. L'aire d'étude présente la forme d'une bande d'orientation Sud-Nord de 3.9 Km de long et de 350 m de large

L'accès à l'aire d'irrigation est possible à partir du chef lieu de commune par une piste aménagée relie la retenue collinaire à MESKIANA en traversant la limite ouest de l'aire d'irrigation.

### I.2.2 Relief et Hydrographie

D'une manière générale le périmètre à irriguer est une plaine d'altitude moyenne de 920 m, variant de 947 m au Sud, à 870 m au Nord-ouest, La zone d'étude est entourée au Sud par Djebel GOURIGUEUR avec 1370 m d'altitude.

La zone d'étude présente une géomorphologie quasi plane légèrement ondulée avec une pente d'exposition générale S-NO. Les eaux de ruissellement convergent vers oued AID qui draine la zone, durant son parcours, il reçoit quelques affluents qui coulent dans la zone d'étude.

### I.2.3 Géologie

Le bassin de Meskiana se trouve dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises, selon les travaux géologiques (J.M. VILA, 1980) sur le bassin de Meskiana ont montré qu'il s'agit de terrains sédimentaires autochtones. Ces formations sont constituées de :

- Terrains anciens représentés par le Trias à faciès lagunaire, apparaissant en diapirs ;
- Très importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées de marnes et de calcaires ;
- Des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocène ;
- Divers recouvrements continentaux représentant le Mio-Plio-Quaternaire ;

Deux grands ensembles représentent la litho-stratigraphie du bassin de Meskiana :

- Le premier est constitué essentiellement par les formations crétacées et tertiaires qui affleurent dans les bordures ;
- Le second est formé, en général, par un recouvrement Mio-Plio-Quaternaire qui se dépose dans la plaine ;

La Figure I.2 illustré ces deux ensembles constituent une série stratigraphique complète :

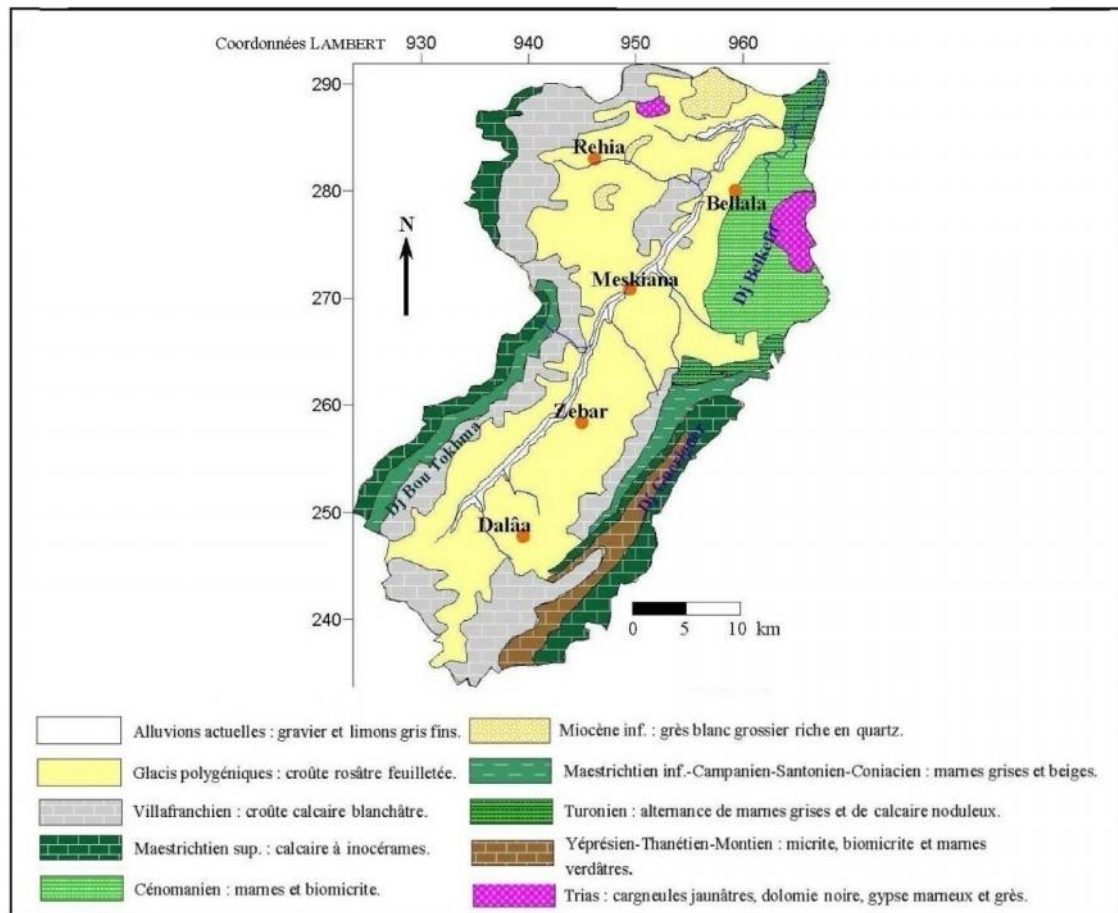


Figure I.2 - Lithologie du bassin versant de l'oued Meskiana (J.M. KOWALSKI, 2002).

La région d'étude est constituée dans son ensemble de formations quaternaires et crétacées. Le crétacé est représenté par :

-Turonien basal : est formé d'une série épaisse de marnes grises, des marnes calcaires en plaquettes, des marno-calcaires, des calcaires marneux brunâtres avec une épaisseur pouvant atteindre 270 m (Figure I.3). Dans les marnes calcaires et les calcaires marneux, de nombreuses empreintes d'inocérames ont été déterminées. Les marnes argileuses renferment de grosses globigérines.

-Turonien moyen et supérieur: sont représentés par des marnes beiges à grises, qui alternent avec des calcaires zoogénies noduleux.

Les formations du Quaternaire recouvrent toutes les formations l'exception du Sud de la plaine (où on peut observer une formation crétacé). Les sédiments quaternaires sont variés (croûtes calcaires massives, de limons fins, de sables fins, de graviers et d'alluvions argileuses qui se déposent des deux côtés de l'Oued). [Gouaidia L. (2008) ]

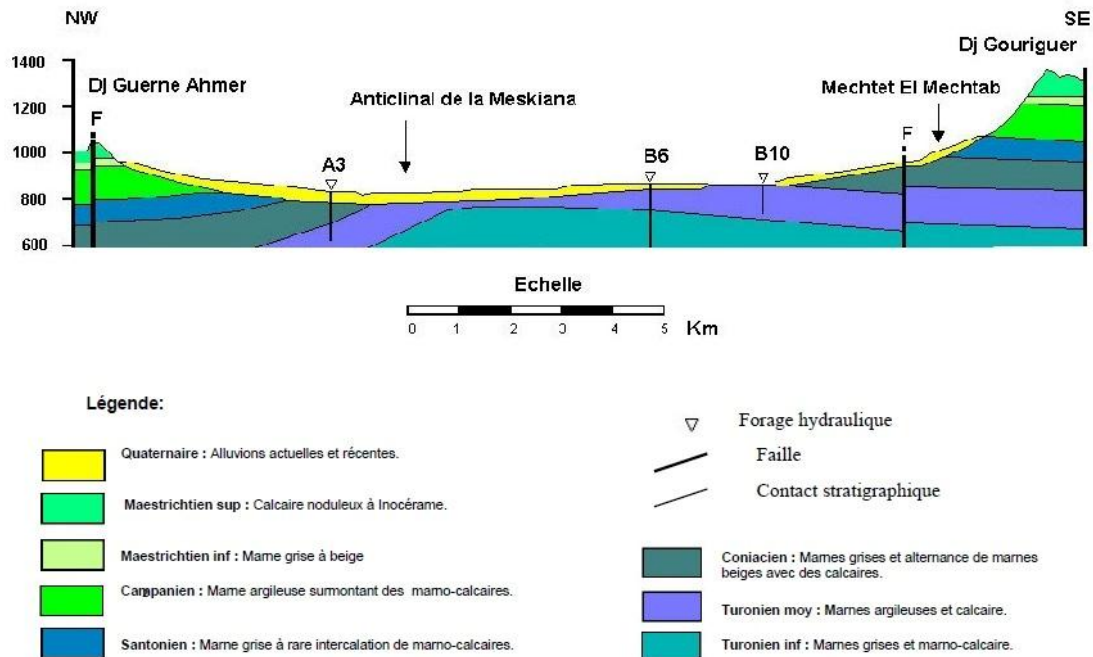


Figure I.3: Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana (traverse le périmètre).

## I.2.4 L'Agriculture

La région d'étude appartient à un domaine sub-saharien, qui bénéficie d'un climat semi-aride à faibles précipitations et par conséquent le développement du couvert végétal est limité.

En effet, cette région appartient, agro-écologiquement, aux hautes plaines intérieures orientales céréalières, qui ont des microclimats généralement contraignants (hiver froid à très froid, été chaud à très chaud et sec). La pluviosité est généralement limitée et l'eau constitue l'élément clé du système de culture mis en place. Durant les années pluvieuses où l'eau d'irrigation est disponible, on rencontre les cultures maraîchères, les cultures fourragères et les céréales avec un assolement biennal (céréale/jachère), alors que durant les années de sécheresse, les cultures maraîchères et fourragères seront réduites et on se contente des céréales pour seulement équilibrer les revenus des agriculteurs. [Gouaidia L. (2008) ]

## I.3 Etude climatologique

Le climat en raison de ses composantes tels que la température, les précipitations, le vent et l'humidité relative de l'air, contrôle de nombreux phénomènes tel que l'évapotranspiration.

La température et l'humidité en sont les facteurs climatiques les plus importants. Elles influent directement ou indirectement sur le développement de la végétation.

### I.3.1 Présentation des stations météorologique et pluviométrique

La station météorologique d'Oum El Bouaghi située à environ de 60 Km du périmètre à irriguer.

La station pluviométrique de Meskiana a été retenue, car elle possède une série d'observations plus longue et contient peu de lacunes. Elle est située à 7.5 Km du périmètre.

**Tableau I.1 : Caractéristiques des stations météorologique et pluviométrique**

Station	Dénomination	Coordonnées		Altitude
Météorologique	Oum El Bouaghi	35°52' N	07°07' E	888 m
Pluviométrique	Meskiana	35°38' N	07°40' E	850 m

**I.3.2 Température de l’air**

La température est un élément fondamental du climat. Sa variation influe sur le degré d’évapotranspiration et par conséquent elle conditionne l’évaporation et le cycle végétatif des cultures. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

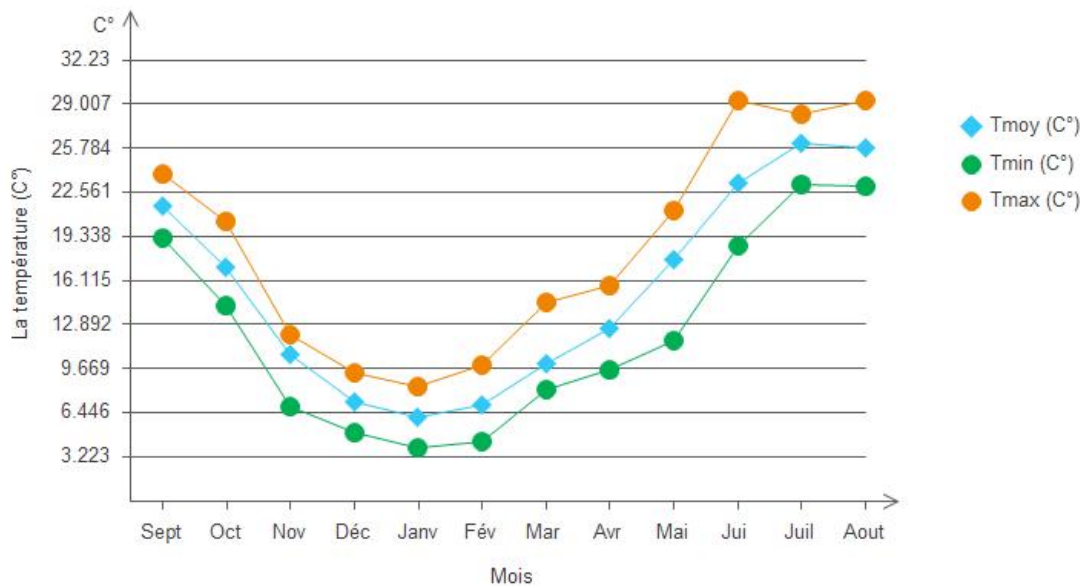
Pour l’estimation des températures, nous avons considéré les relevés des moyennes mensuelles des températures sur une période de 20 ans (1990-2009) à la station d’Oum El Bouaghi sont portés dans le tableau suivant :

**Tableau I.2 : Températures moyennes mensuelles de la zone d’étude**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Annuel
<b>Tmoy (C°)</b>	21.63	17.09	10.77	7.27	6.2	7.08	10.1	12.66	17.71	23.23	26.19	25.87	15.48
<b>Tmin (C°)</b>	19.3	14.3	6.9	5	3.9	4.4	8.2	9.6	11.8	18.7	23.2	23	12.36
<b>Tmax (C°)</b>	23.9	20.5	12.2	9.4	8.4	10	14.6	15.8	21.3	29.3	28.3	29.3	18.58

Source : Station météorologique d’Oum El Bouaghi (1990-2009)

Les températures moyennes, minimales et maximales sont reportées graphiquement comme suit :



**Figure I.4 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d’Oum El Bouaghi pour la période (1990-2009)**

Le régime de température est caractérisé par l'été sec et chaud et l'hiver relativement doux. La température moyenne annuelle est de 15.48°C.

En été, la température moyenne mensuelle varie de 23°C à 26°C, les maxima absolus étant entre 37°C et 43°C. Juillet est le mois le plus chaud.

En hiver, la température moyenne mensuelle varie de 7°C à 8°C, les maxima absolus étant entre 15°C et 27°C et minima absolus étant entre - 5°C et +1°C. Janvier est le mois le plus froid.

### I.3.3 Les précipitations (Pluviométrie)

Pour l'exploitation des données de pluie, nous sommes référés à la station de Meskiana, qui dispose d'un pluviomètre et d'un pluviographe.

Nous avons pris en considération un échantillon de données qui va de l'année 1980 jusqu'à 2005. Les précipitations mensuelles moyennes (mm) sont données dans le tableau suivant:

**Tableau I. 3 : Les précipitations mensuelles enregistrées à la station de Meskiana (1980-2005)**

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
80/81	49.80	14.00	16.80	26.50	14.20	22.20	15.30	41.70	33.60	49.40	6.70	4.50	294.70
81/82	42.70	44.20	43.80	15.60	18.40	35.60	22.40	36.20	59.21	14.80	4.80	26.70	364.41
82/83	7.00	33.20	46.30	12.80	42.20	48.60	22.70	17.60	13.60	17.90	7.80	28.30	298.00
83/84	11.40	32.70	4.30	32.90	13.70	41.40	41.30	19.00	21.00	6.80	0.00	15.40	239.90
84/85	23.70	21.20	16.80	43.00	25.70	15.90	64.50	15.40	57.40	22.20	15.90	6.00	327.70
85/86	66.55	12.60	16.75	36.40	10.50	19.00	60.90	2.50	26.80	13.20	36.50	23.00	324.70
86/87	15.83	25.40	36.60	16.70	10.20	17.40	42.60	19.20	33.30	34.20	13.70	5.00	270.13
87/88	14.44	22.60	30.20	27.50	12.70	2.00	23.80	27.60	56.10	41.40	11.50	36.50	306.34
88/89	18.00	13.50	23.90	25.40	43.30	10.40	34.70	26.30	19.00	45.30	8.70	101.30	369.80
89/90	38.60	7.80	31.60	18.70	43.00	19.50	40.60	50.80	48.35	17.10	13.20	115.60	444.85
90/91	37.50	29.40	60.10	34.50	32.40	31.30	44.30	25.00	54.90	14.40	8.50	35.60	407.90
91/92	58.90	52.40	39.60	14.20	20.30	24.90	22.30	25.60	71.70	23.20	13.40	24.50	391.00
92/93	44.08	28.40	61.05	48.40	5.30	27.90	19.40	14.50	22.36	13.80	7.10	2.30	250.51
93/94	16.05	26.20	9.90	19.50	44.20	20.90	9.40	13.30	31.70	50.60	14.50	6.70	262.95
94/95	82.00	36.80	7.40	5.70	88.00	23.50	52.40	30.20	12.70	15.80	7.60	3.50	365.60
95/96	94.90	33.70	28.00	8.20	10.50	60.90	39.30	30.50	13.83	27.60	7.50	15.50	370.43
96/97	56.00	5.00	42.60	22.90	27.60	4.00	27.80	50.70	12.06	12.00	0.00	19.40	280.06
97/98	32.10	40.50	26.70	13.50	51.50	2.00	15.70	9.90	18.51	36.30	13.00	13.30	273.01
98/99	42.10	51.70	36.30	27.90	23.70	11.70	31.80	15.40	80.00	22.00	5.00	13.60	361.20
99/00	20.30	48.70	39.50	23.20	20.00	14.80	6.10	12.00	50.96	36.50	10.00	8.50	290.56
00/01	41.20	32.70	13.50	13.90	22.80	16.00	5.50	11.10	31.60	28.00	6.00	46.70	269.00
2001/2002	35.84	6.00	56.00	6.80	12.30	16.00	33.50	26.00	11.44	5.00	15.00	85.00	308.88
2002/2003	32.60	77.90	59.30	36.50	53.50	25.50	31.00	64.50	83.70	30.90	16.20	36.80	548.40
2003/2004	48.80	35.40	80.77	122.50	12.50	13.40	41.80	13.70	20.80	4.50	6.30	13.50	413.97
2004/2005	46.54	18.30	4.24	31.80	32.10	15.00	35.50	55.50	23.90	21.00	9.50	46.60	339.98
<b>Moyenne</b>	<b>38.87</b>	<b>30.01</b>	<b>33.28</b>	<b>27.40</b>	<b>27.62</b>	<b>21.59</b>	<b>31.38</b>	<b>26.17</b>	<b>36.34</b>	<b>24.16</b>	<b>10.34</b>	<b>29.35</b>	<b>334.96</b>

Source : station pluviométrique de Meskiana (1980-2005)

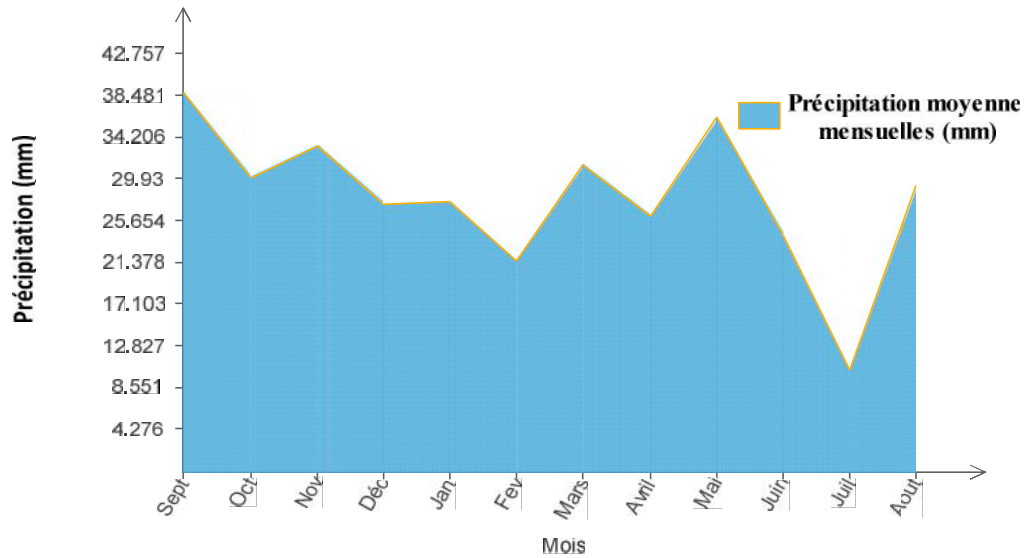


Figure I.5 : Précipitation moyenne mensuelles (1980-2005)

La pluviométrie n'est pas régulière, et varie suivant les mois et les années. D'après le tableau et le graphe on remarque la moyenne annuelle des précipitations est de 334.96 mm sur une série de 25ans (1980-2005). Ceci est vérifié en se référant à la carte des précipitations moyennes annuelles, établie par l'ANRH sur une période de 60 ans (Figure I.6).

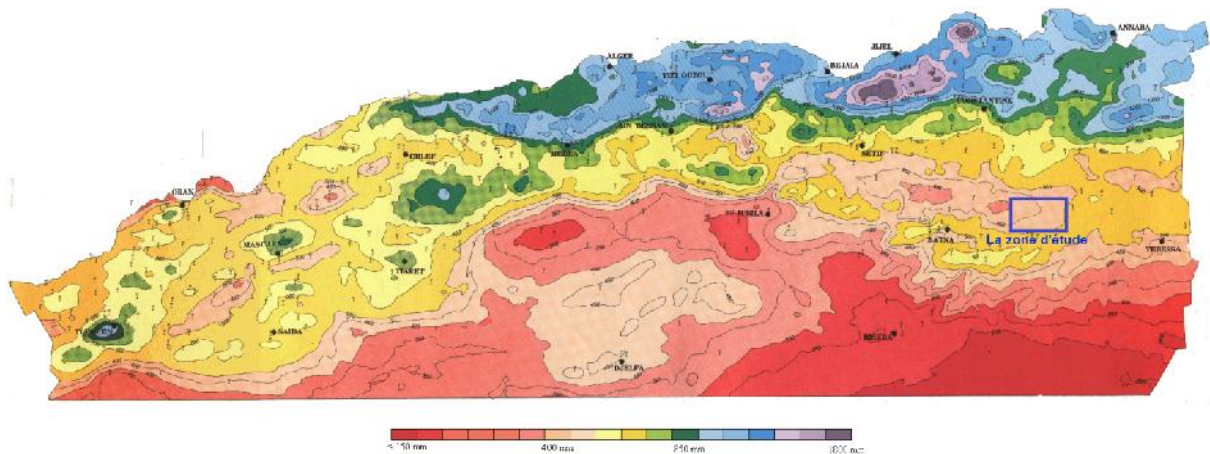


Figure I.6 : Carte des précipitations annuelles moyennes du Nord algérien (A.N.R.H., 1993)

La précipitation maximale est enregistrée aux mois de septembre et mai. La précipitation minimale est enregistrée aux mois de février et juillet. La saison automnale est la plus pluvieuse avec 102.16 mm suivie par la saison printanière avec une moyenne de 93.89 mm.

Une forte variabilité dans la répartition des précipitations tant par mois à l'intérieur de l'année que dans le plan pluriannuel, crée des difficultés pour l'agriculture dans la région envisagée. Pour cette raison, la création d'un périmètre d'irrigation y est d'actualité.



**I.3.4 Humidité relative de l'air**

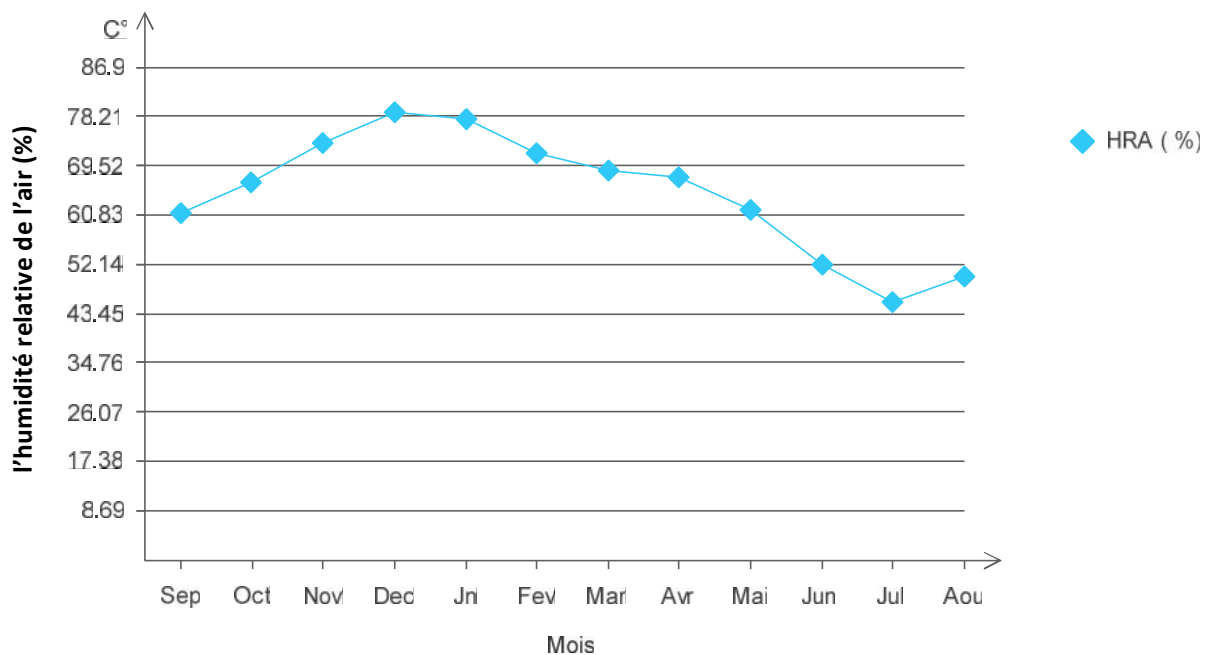
L'Humidité Relative, mesure la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, en comparaison avec la quantité maximum d'eau qu'il peut contenir à une température donnée.

L'humidité moyenne mensuelle et annuelle de l'air, selon les données de la station météo d'Oum El Bouaghi, figurée au tableau I.4.

**Tableau I. 4 : Distribution mensuelle de l'humidité relative de l'air**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jn	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Annuel
HR(%)	61.35	66.65	73.6	79	77.9	71.8	68.9	67.5	61.95	52.15	45.6	50.2	64.72

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1990-2009)



**Figure I.7 : Distribution mensuelle de l'Humidité relative de l'air (%)**

L'humidité relative moyenne annuel de l'air est de 67%. Le mois le plus sec est juillet dont l'humidité relative moyenne est de l'ordre de 45.6%, le mois le plus humide est décembre dont l'humidité relative moyenne est de l'ordre de 79%.

Dans la région envisagée, l'humidité relative moyenne mensuelle varie dans les limites de 45-53% au cours de la saison chaude et de 73-79% au cours de la saison froide. Ainsi, le climat y est tempéré humide de novembre à mars, très sec de juin à août et sec tempéré le reste de l'année.

**I.3.5 Le Vent**

Pour caractériser le régime de vent nous avons dépouillé les données de la station météorologique d'Oum El Bouaghi.

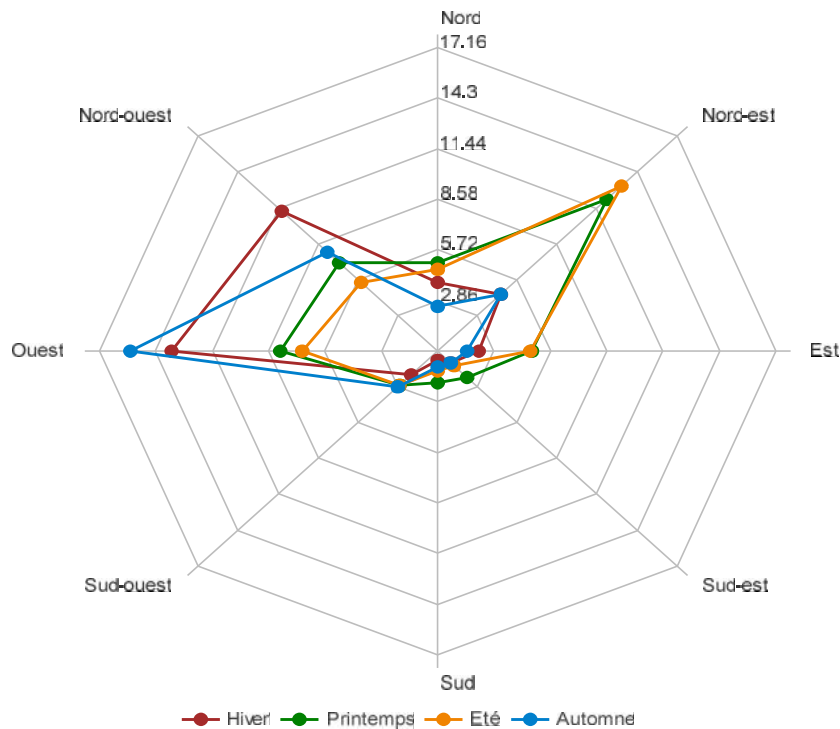
### I.3.5.1 Fréquence des directions des vents par saison

La fréquence des vents dominants par directions et par saison est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau I.5 : les directions des vents**

	Hiver	Printemps	Eté	Automne
<b>Nord</b>	3.9	5	4.6	2.5
<b>Nord-est</b>	4.5	12.1	13.2	4.5
<b>Est</b>	2.1	4.8	4.7	1.5
<b>Sud-est</b>	0.9	2.1	1.2	0.9
<b>Sud</b>	0.5	1.8	1.1	0.9
<b>Sud-ouest</b>	1.9	2.7	2.7	2.9
<b>Ouest</b>	13.5	8.0	6.9	15.6
<b>Nord-ouest</b>	11.2	7.1	5.5	7.9

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi



**Figure I.8 : rose des vents saisonnière de la zone d'étude**

### I.3.5.2 Fréquence des directions des vents annuels

La fréquence annuelle des vents dominants par directions est donnée dans le tableau suivant

**Tableau I.6 : Fréquence moyenne interannuelle des vents par directions**

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
<b>Fréquence %</b>	11.7	2.6	2.4	3.1	4.6	8.1	10.2	13.9

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1991-2006)

Les vents dominant au niveau de la zone d'étude sont de direction Nord Ouest.

**I.3.5.3 Vitesse moyenne mensuelle du vent**

La vitesse moyenne mensuelle du vent est donnée par le tableau suivant :

**Tableau I.7 : Vitesse moyenne mensuelle du vent**

Mois	Jn	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
Vitesse du vent (m/s)	1.35	1.53	1.61	1.87	1.71	1.94	2.05	1.98	2.04	1.93	2.21	2.38	1.9

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1992-2006)

La vitesse moyenne annuelle du vent est 1,9 m/s. La vitesse moyenne mensuelle minimale du vent est de 1,35 m/s (Janvier), celle moyenne mensuelle maximale atteint 2,38 m/s (Décembre).

**I.3.6 Insolation**

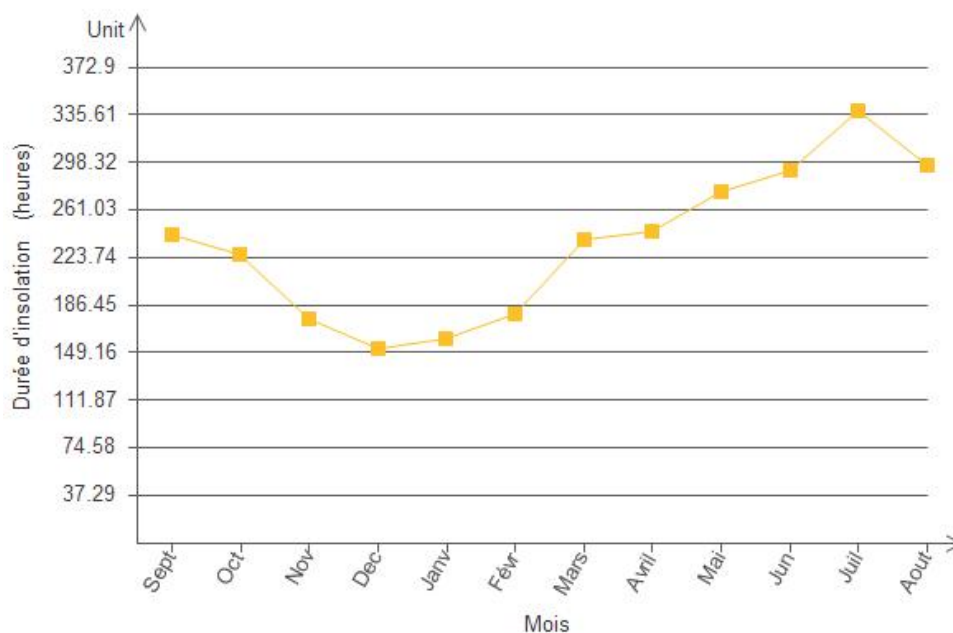
L'insolation est un paramètre climatique que l'on utilise pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle.

La durée moyenne mensuelle de l'insolation est celle calculée d'après les données de la station météorologique d'Oum el Bouaghi.

**Tableau I.8 : Distribution fréquentielle de la durée d'insolation totale (h) (1992-2006)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Jun	Juil	Aout	Annuel
Durée d'insolation (heures)	242.40	226.80	175.70	153.20	161.20	180.60	237.60	244.70	275.50	293.20	339.00	296.30	2826.20

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1991-2006)



**Figure I.9 : Distribution fréquentielle de la durée d'insolation totale (h) (1992-2006)**

La durée de l’insolation annuelle est de 2826.20 heures, la durée d’insolation est importante durant les mois de mai à aout et moins importante du mois de janvier et décembre.

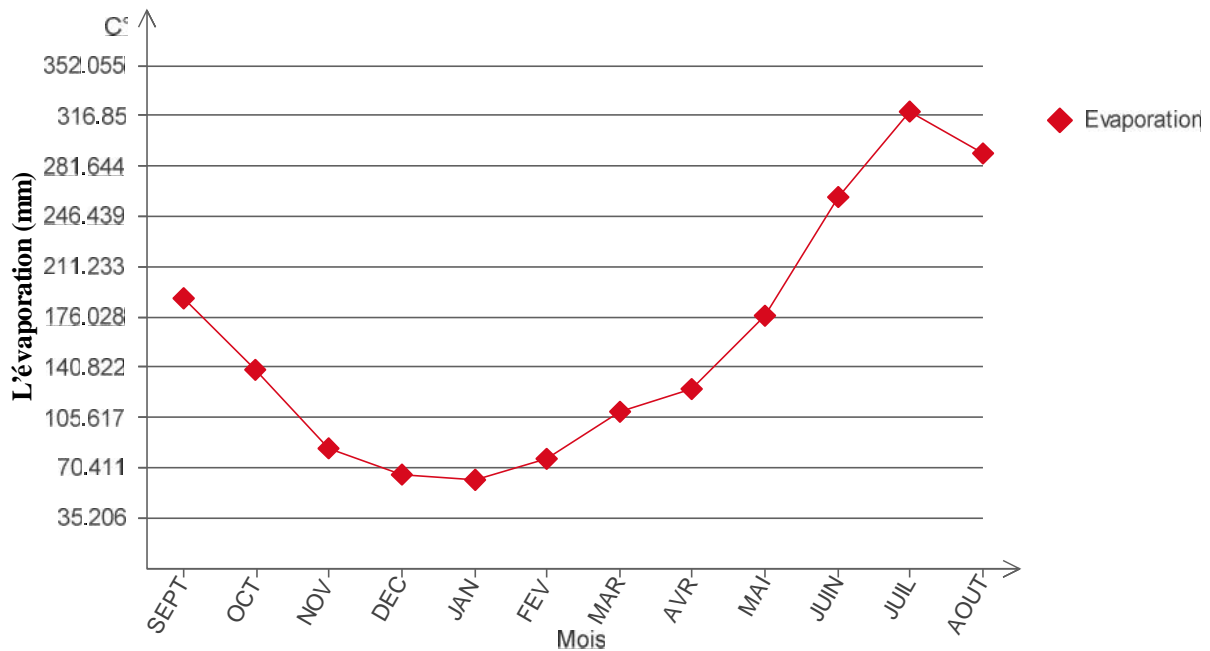
**I.3.7 Evaporation**

Les valeurs de l’évaporation moyenne mensuelle et annuelle des plans d’eau dans la région d’étude sont estimées à partir des données d’observation mesurées niveau de la station météorologique d’Oum El Bouaghi.

**Tableau I.9 : Répartition mensuelle de l’évaporation**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
<b>Evaporation (mm)</b>	188.95	139.75	84.20	65.55	62.05	77.45	109.95	126.20	177.30	259.85	320.05	290.95	1902.25

Source : Station météorologique d’Oum El Bouaghi (1990-2009)



**Figure I.10 : Répartition mensuelle de l’évaporation (mm)**

L’examen de ce tableau montre que l’évaporation est importante durant les mois de mai à septembre correspond à un volume évaporé de 65.03 % et faible du mois de novembre à mars où le volume évaporé est de 34.97 %.

Les valeurs moyennes minimales et maximales de la tension de vapeur d’eau se situent respectivement en mois de janvier (62.05 mm) et au mois de juillet (320.05 mm).

**I.3.8 Les gelées**

Les gelées sont, en général, dues à l’interaction de 2 phénomènes. Le passage d’une masse d’air froid (Température inférieure à 0° C), des pertes de chaleur excessive par rayonnement ou par évaporation.

En hiver c'est surtout le passage des masses d'air froid qui provoque les gelées noires. Au printemps et automne, les gelées dite « de rayonnement » ou gelées blanches, résultent surtout des pertes de chaleur par rayonnement et parfois par évaporation.

Le nombre moyen mensuel de jours avec les températures négatives (gelées) fourni par la station d'Oum El Bouaghi.

**Tableau I.10 : Nombre de jour de gelée**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Nombre de jours avec gèle	0	0	2.8	7.5	12.4	8.1	4.25	0.85	0.05	0	0	0	35.95

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1990-2009)

Dans la zone considérée, les gelées peuvent avoir lieu aux mois de janvier et de mars ce qui représente un risque pour les cultures agricoles surtout en période de semis.

Les gelées peuvent avoir lieu durant les mois de Novembre jusqu'au mois de Mai, dont le plus grand nombre est enregistré en Janvier avec 12.40 jours de gelée.

### I.3.9 Le siroco

Le siroco peut être observé dans n'importe quel mois de l'année. C'est le vent sec et chaud qui assèche le sol et fait augmenter l'évapotranspiration des plantes et de ce fait il constitue un danger pour les cultures agricoles.

Le nombre de jours moyen de siroco pris d'après les données de la station météorologique d'Oum El Bouaghi pour la période de 1990 – 2009, est indiqué dans le tableau suivant :

**Tableau I. 11 : Nombre de jours moyen mensuel de siroco**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Nombre de jours avec siroco	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.75	0.35	0.55	1.95

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1990-2009)

Le tableau I.11 montre une période bien déterminée de l'année, qui s'étale du mois d'Avril à Octobre avec un nombre de jours moyen annuelle de 1.95 jours.

### I.3.10 La Neige

Le nombre moyen mensuel de jours avec de la neige tombante, selon les données de la station météo d'Oum El Bouaghi pour une période de 20 ans (1990-2009), figure au tableau suivant :

**Tableau I.12 : Le nombre moyen mensuel de jours avec de la neige**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Annuel
Nombre de jours avec de la neige	0.00	0.00	0.20	1.20	1.80	1.8	0.65	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	5.95

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1990-2009)

La neige peut tomber en période novembre – avril. Le plus souvent elle est observée en février et janvier. Le nombre moyen de jours avec de la neige tombante est de 5.95 jours par an.

### I.3.11 La grêle

Le nombre moyen mensuel de jours où il y a de la grêle est donné dans le tableau suivant :

**Tableau I.13 : Nombre moyen mensuel de jours de grêle**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Nombre de jours de grêle	0.1	0.05	0.05	0	0	0.05	0	0.05	0.2	0.05	0.1	0.15	0.8

Source : Station météorologique d'Oum El Bouaghi (1990-2009)

Dans la zone étudiée le plus souvent il y a de la grêle au mois de mai. Le nombre moyen de jours où il y a de la grêle est de 0.8 jour par an.

### I.4 Indices agro-météorologiques

La caractérisation du climat d'une zone donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes permet de comparer les climats d'une région à l'autre. Ils prennent généralement en compte l'offre pluviométrique, la demande évaporative et les températures. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

#### I.4.1 Indice d'aridité annuel de De Martonne (1926)

Il nous permet de connaître le degré de sécheresse de la région. Il est fonction des températures et des précipitations, est calculé par la relation suivante :

$$I_A = \frac{P}{T+1} \quad (I.1) \text{ où}$$

I : indice d'aridité annuel

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Application :

P = 334.96 mm

T = 15.48 °C

Ce qui donne :

$$I_A = 1.1$$

Suivant les valeurs de (I), **De Martonne** a établi la classification suivante :

**Tableau I.14 : Classification du climat selon Indice d'aridité de De Martonne**

Valeur de ( $I_A$ )	Type de climat	Irrigation
5	Hyperaride	Indispensable
5-7.5	Désertique	
7.5-10	Steppique	
10-20	Semi-aride	Souvent indispensable
20-30	Tempère	Parfois utile
30	Humide	Utile

Selon la classification de Martonne ; notre climat est Semi-aride, ce qui rend l'irrigation nécessaire.

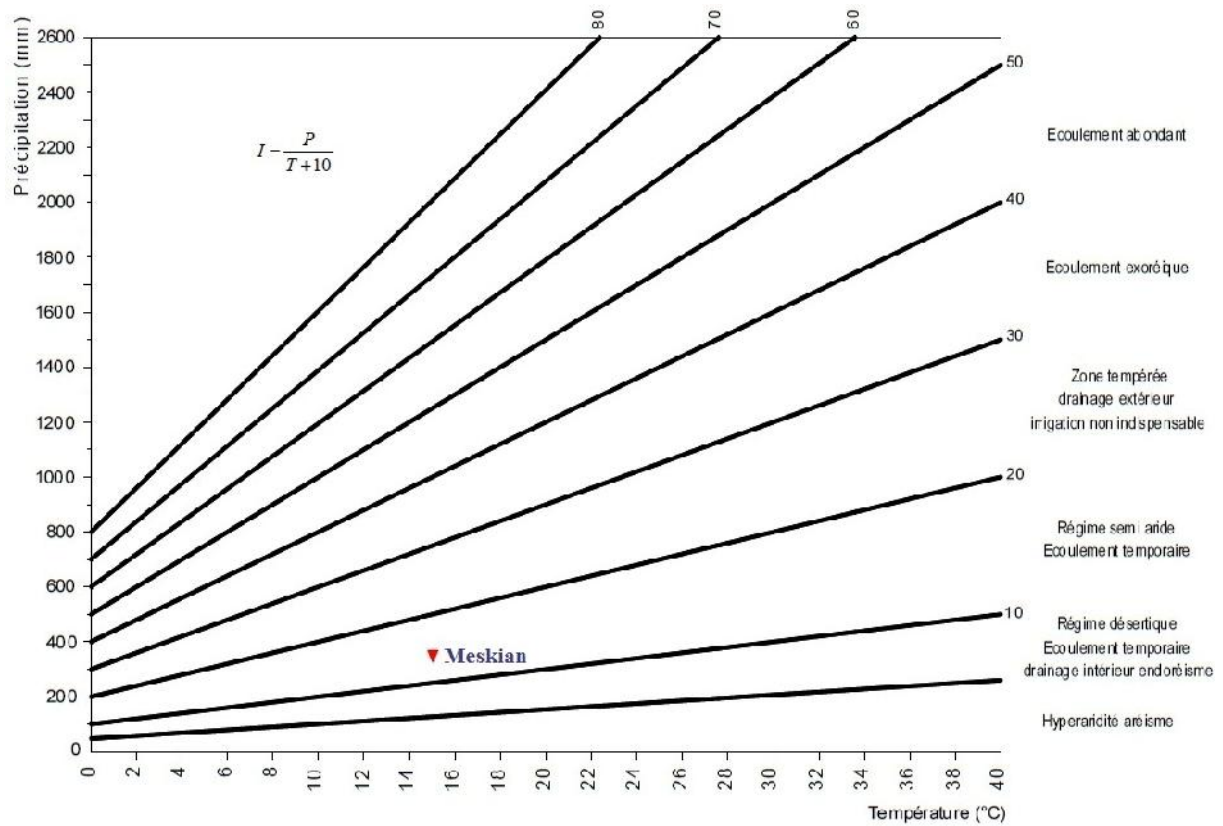


Figure I.11: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

#### I.4.2 Indice d'aridité mensuel de De Martonne

L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = \frac{1 P}{T+1} \quad (I.2) \text{ où}$$

I : indice d'aridité mensuel

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm

T : Température moyenne mensuelle en C°.

L'application de la formule (I.2) a permis de dresser le tableau suivant :

**Tableau I.15: Indices d'aridité mensuels (I) à la région d'étude.**

Mois	I	Type de climat
Septembre	14.75	Semi-aride
Octobre	13.29	Semi-aride
Novembre	19.23	Semi-aride
Décembre	19.04	Semi-aride
Janvier	20.46	Tempère
Février	15.17	Semi-aride
Mars	18.73	Semi-aride
Avril	13.86	Semi-aride
Mai	15.74	Semi-aride
Juin	8.72	Steppique
Juillet	3.43	Hyperaride
Août	9.82	Steppique

Selon la classification précédente par **De Martonne**, les mois de septembre, octobre, novembre, décembre, février, avril et mai présentent un climat semi-aride. Le mois de janvier a un climat tempéré. Les mois de juin, et août sont caractérisés par un climat steppique, alors que le mois de juillet devient hyperaride.

#### I.4.3 Quotient pluviométrique d'Emberger (1955)

Pour déterminer les climats de la zone méditerranéenne, **L. Emberger** a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique  $Q_2$ , qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minima et maxima, respectivement des mois le plus froid et le plus chaud. Il propose donc la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2}{M^2 - m^2} P \quad (\text{I.3}) \text{ où}$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : Maxima du mois le plus chaud (K°)

m : Minima du mois le plus froid (K°)

L'application numérique donne les résultats suivants :

P = 334.96 mm

M = 299.34 °K

m = 279.35 °K

Ce qui donne :

$$Q_2 = 57.91$$

Et on se référant au diagramme bioclimatique la valeur de  $Q_2$  situe notre zone permet de dire que le climat type semi-aride.



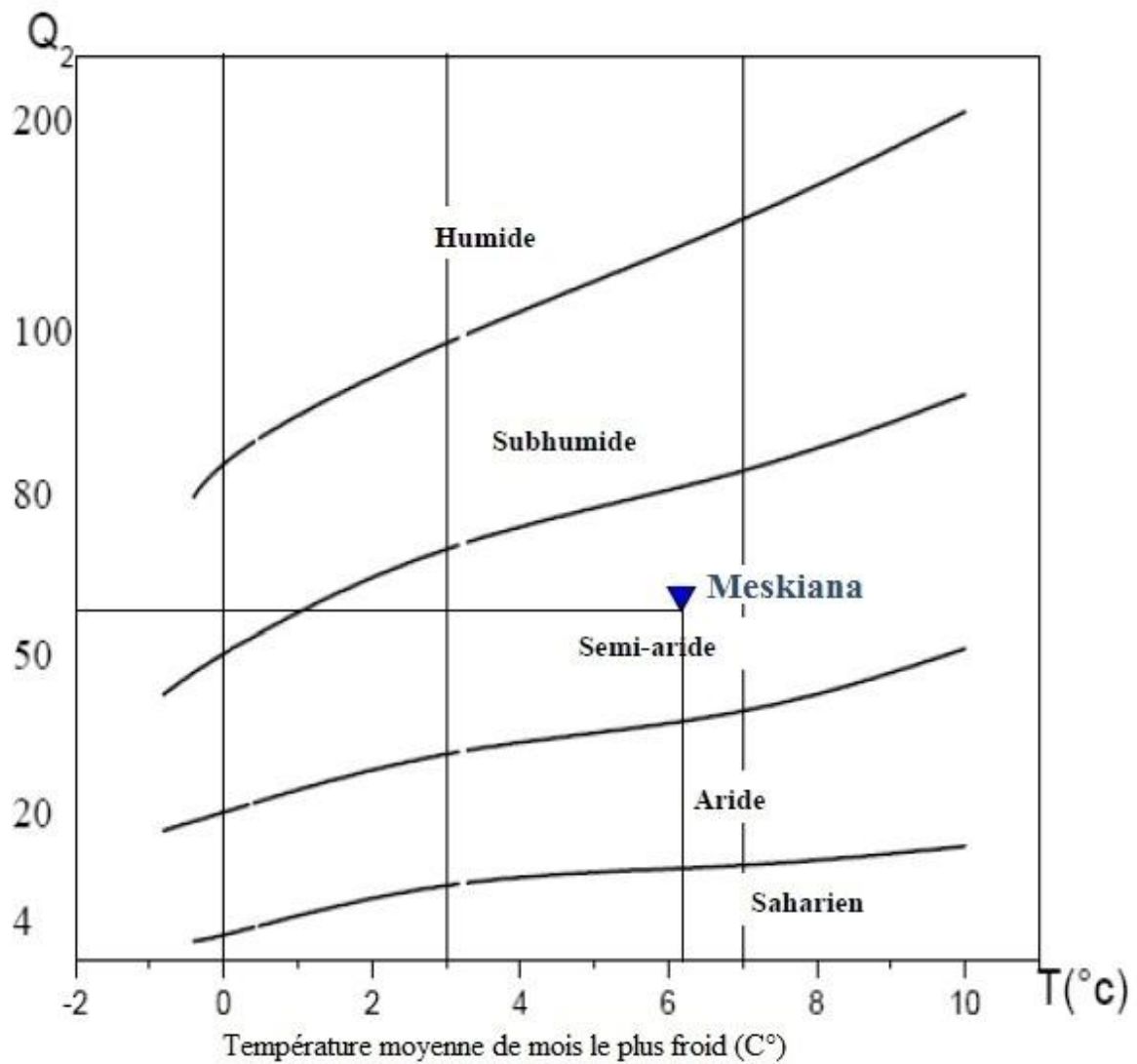


Figure I.12: Climagramme d'Emberger

**I.4.4 le diagramme ombrothermique de Gaussen**

Les données climatiques sont exploitables aussi par le climagramme de Gaussen ou on peut désigner les périodes où on a besoin d'irriguer ; la méthode consiste à représenter dans le même graphique les mois en abscisses et les précipitations et les températures moyennes tout en respectant l'échelle  $P=2T$ .

**Tableau I.16 : les valeurs moyennes mensuelles des températures et des pluies**

	Mois											
	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
<b>Pmoy(mm)</b>	38.87	30.01	33.28	27.40	27.62	21.59	31.38	26.17	36.34	24.16	10.34	29.35
<b>Tmoy(C°)</b>	21.63	17.09	10.77	7.27	6.2	7.08	10.1	12.66	17.71	23.23	26.19	25.87

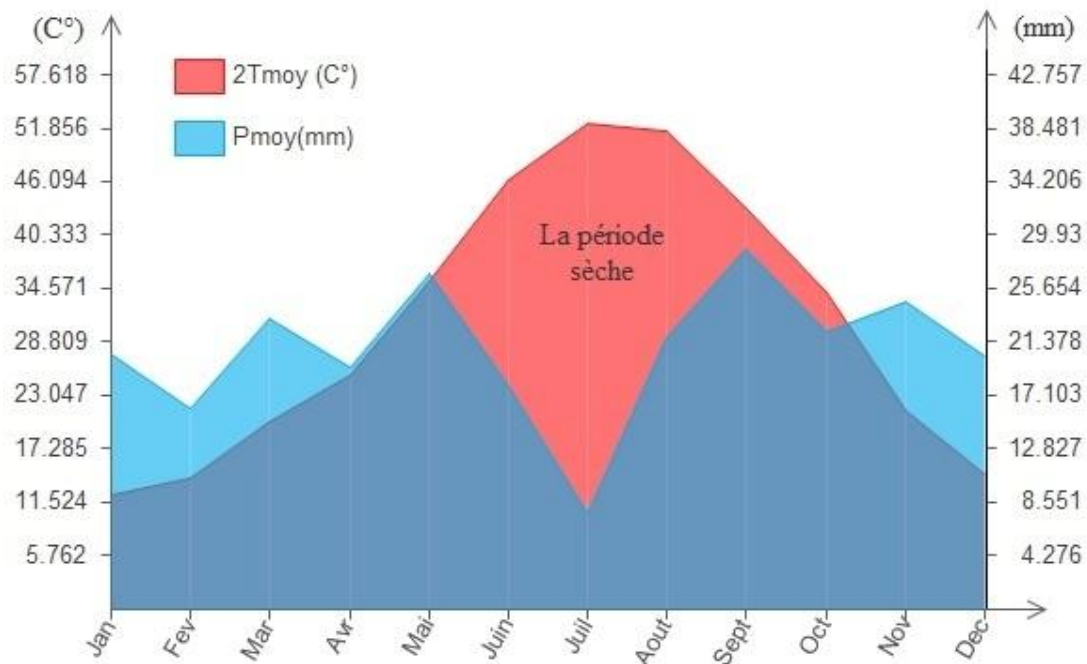


Figure I.13: Diagramme de Gaussen pour la zone du projet

Lorsque la courbe des températures dépasse celle des précipitations, il y'a sécheresse totale, cette période d'après le graphe.

Une période sèche qui dure 5 mois allant du mois de mai jusqu'au début de mois d'octobre, et une période humide qui dure 7 mois allant du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.

#### I.4.5 Comparaison des indices climatiques

Sachant que les éléments climatiques les plus importants pour caractériser un climat sont les précipitations, les températures et l'évaporation ; les méthodes combinant ces éléments sont plus intéressantes que celles qui incluent un seul élément. Toutes ces méthodes ont qualifié le climat de la région d'étude comme étant semi-aride, ce qui est en conformité avec la carte des étages bioclimatiques, établie par l'Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT, 2004) (Figure I.14).

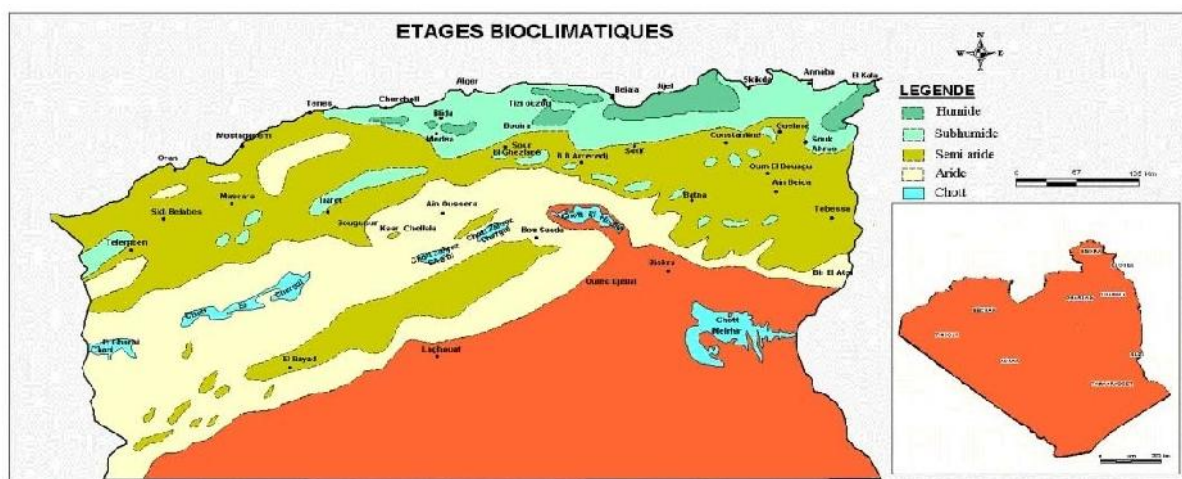


Figure I.14: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Algérie (ANAT,2004)

## **I.5 Conclusion**

Le périmètre, objet de la présente étude, possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs).

La période pluvieuse débutera à partir du mois d'octobre et se terminera au début de mois de mai. Le mois du juillet est le mois le plus sec.

La température moyenne annuelle qui y règne est de 15,48°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 35 ans (80/81 – 2004/2005), sont estimées à 335 mm.

L'irrigation représente donc un facteur décisif pour l'obtention de rendements acceptables des différentes cultures.

**CHAPITRE II :**  
**Analyse des ressources en sols**

## **CHAPITRE II : Analyse des ressources en sols**

### **II.1 Introduction**

La présente étude qui est celle des ressources en sols fait partie des études de base nécessaires pour l'élaboration d'un projet d'irrigation.

Elle a pour but de définir les sols destinés à l'irrigation, et permet aussi le bon choix des cultures les plus adaptées avec le sol et l'identification des contraintes éventuelles pour l'aménagement.

### **II.2 Le levé pédologique**

Il a été réalisé par le biais de profils creusés mécaniquement (tractopelle) et par l'observation des coupes naturelles et/ou artificielles existantes. La profondeur des profils creusés dépasse généralement 1.5 m avec une largeur de 1 m.

13 profils ont été creusés, sur une superficie de 120 ha soit une densité d'une observation pour 9.23 ha

Tous les profils creusés ont fait l'objet d'une description détaillée horizon par horizon. Cinq (05) profils représentatifs ont été échantillonnés pour analyses physico-chimiques. Les analyses ont porté sur :

- la granulométrie
- la matière organique
- le Calcaire total et actif
- le phosphore assimilable
- Les bases échangeables
- La Capacité d'Echange Cationique (C.E.C)
- Le pH
- La conductivité électrique (C.E).

### **II.3 Classification des sols de la zone d'étude**

Sur la base de l'étude pédologique, nous avons établi la carte des sols, décrire également d'implantation des profils. Au terme de ces travaux, trois (03) unités pédologiques homogènes ont été définies.

### **II.3.1 Les sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport alluvial modaux**

Ils occupent la partie haute située au Nord du périmètre d'étude et s'étale sur une superficie de 42.56 ha soit 35.24 % (39.07 % de la zone irrigable). Ils sont représentés par les profils : 1, 2, 3 et 4.

Ce sont des sols à profils calcaires peu profonds, l'horizon de surface présente une texture limoneuse à limono-argileux. Ils présentent un profil de couleur Brun à jaunâtre. Ils sont caractérisés par une bonne profondeur et un manque d'encroûtement dans le profil.

Leur pH est de 8 à 8.8 avec des valeurs basses pour la conductivité électrique (0.3 à 0.9 mmhos/cm). Exceptionnellement, la base du profil 04 affiche une CE de 2.5 mmhos/cm.

### **II.3.2 Les sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements assez profond**

Ils occupent la partie haute située au Sud du périmètre d'étude et s'étale sur une superficie de 66.38 ha soit 54.96 % (60.93 % de la zone irrigable). Ils sont représentés par les profils : 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15.

Ce sont des sols caractérisés par la présence d'un encroûtement calcaire en profondeur variant entre 90 et 140 cm. Leur charge en cailloux reste très forte dans les horizons intermédiaires.

Leur texture est généralement limoneuse à limono-argileuse avec des taux de calcaire qui peuvent dépasser 44% en profondeur au contact de la croûte calcaire.

Leur salinité est très faible et ne dépasse pas 0.3 mmhos/cm. Leur pH est basique avec des valeurs de 8.67 à 8.64.

### **II.3.2 Les sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements peu profond**

Ils occupent la partie centre Sud du périmètre d'étude entre les parcelles 8 au Nord et 1 au Sud. Ils s'étalent sur une superficie de 11.84 ha soit 9.8 % de la surface du périmètre. Ils sont représentés par les profils 7 et 8.

Ce sont des sols à profils calcaires peu profonds, l'horizon de surface présente une texture moyenne à grossière. Ils présentent un profil de couleur très claire à tendance blanchâtre de faible profondeur : l'encroûtement calcaire est observé à moins de 30 cm de profondeur. L'aspect de surface est caillouteux.

Vu leur faible profondeur, ils n'ont pas été échantillonnés. Ce type de sol est à exclure de l'aménagement hydro- agricole en raison de sa forte pente (supérieure à 20 %) et de sa salinité

**Tableau II.1 : Les profils des sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport alluvial modaux**

Description et Classification		Description des horizons	00 – 30 cm	30 – 75 cm	75 - 150 cm	
<b>Profil 04</b>	Localisation (UTM)	X= 380.980 Km	Etat	Frais, Brun claire	Frais, Brun	Frais, Brun
		Y= 3938.091 Km	Texture	Sablo Limono Argileux	Limono Argileux	Limono Argileux
		Z= 896 m	Structure	Friable	polyédrique moyenne	Polyédrique moyenne
	Pente	0-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	Forte
	Classe	Peu évolué	Les racines	très nombreuses	Très peu	Sans
	Sous classe : d'origine non climatique		Porosité	Bonne	faible	faible
	Groupe	D'apport alluvial	La matière organique	Peu	Très peu	Très peu
	Sous groupe	Modal	Activité biologique	Faible	Très faible	Très faible à nulle
	Etat actuel	Céréales	Transition	Nette régulière	Nette régulière	
Charge en cailloux	1 %	Autres remarques				
Drainage	Moyen à faible					
Description et Classification		Description des horizons	00 – 35 cm	35 – 70 cm	70 - 140 cm	
<b>Profil 03</b>	Localisation (UTM)	X= 381.118Km	Etat	Frais, Brun	Frais, Brun jaunâtre	Frais, Brun foncé jaunâtre
		Y= 3938.467Km	Texture	limoneuse	limoneuse	limoneuse
		Z= 888 m	Structure	polyédrique moyenne	grossière à massive	massive
	Pente	0-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	Forte
	Classe	Peu évolué	Les racines	très nombreuses	nombreuses	très peu
	Sous classe : d'origine non climatique		Porosité	Bonne	faible	faible
	Groupe	D'apport alluvial	La matière organique	bonne répartition	Peu	très Peu
	Sous groupe	Modal	Activité biologique	Moyenne	faible	Très faible à nulle
	Etat actuel	Céréales	Transition	Diffuse	Diffuse	à partir de 1.50 m apparaît une couche jaunâtre calcaire
Charge en cailloux	1 %	Autres remarques				
Drainage	Moyen à faible					

<b>Description et Classification</b>		<b>Description des horizons</b>	<b>00 – 35 cm</b>	<b>35 – 80 cm</b>	<b>80 - 150 cm</b>	
<b>Profil 02</b>	Localisation (UTM)	X= 380.804 Km	Etat	Frais, Brun jaunâtre	Frais, Brun	Frais, Brun foncé
		Y= 3938.641 Km	Texture	limoneuse	limono-argileuse	limoneuse
		Z= 924 m	Structure	polyédrique moyenne	grossière à massive	massive
	Pente	0-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	Forte
	Classe	Peu évolué	Les racines	très nombreuses (fines)	peu	très peu
	Sous classe : d'origine non climatique		Porosité	Bonne	faible	faible
	Groupe	D'apport alluvial	La matière organique	bonne répartition	Peu	Peu
	Sous groupe	Modal	Activité biologique	Moyenne	faible	Très faible à nulle
	Etat actuel	Céréales	Transition	graduelle	diffuse	
	Charge en cailloux	1 %	Autres remarques			
Drainage	Moyen à faible					
<b>Description et Classification</b>		<b>Description des horizons</b>	<b>00 – 30 cm</b>	<b>30 – 65 cm</b>	<b>65 - 140 cm</b>	
<b>Profil 01</b>	Localisation (UTM)	X= 381.029 Km	Etat	Frais, Brun	Frais, Brun jaunâtre	Frais, Brun
		Y= 3938.928 Km	Texture	limoneuse	limoneuse	limono-argileuse
		Z= 886 m	Structure	grumeleuse	polyédrique grossière	massive
	Pente	0-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	Forte
	Classe	Peu évolué	Les racines	très nombreuses	peu nombreuses	très peu
	Sous classe : d'origine non climatique		Porosité	Bonne	bonne	faible
	Groupe	D'apport alluvial	La matière organique	bonne répartition	Peu	Peu
	Sous groupe	Modal	Activité biologique	peu	faible	Très faible à nulle
	Etat actuel	Céréales	Transition	graduelle	diffuse	
	Charge en cailloux	1 %	Autres remarques			
Drainage	Moyen à faible	compact				

Source : INSID, Date : 2-4 / 04 / 2008



**Tableau II.2 : Les profils des sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements assez profond**

Description et Classification			Description des horizons	00 - 20 cm	20 – 40 cm	40 – 80 cm
Profil 09	Localisation (UTM)	X=381.716 km	Etat	Frais, brun	Frais, brun beige clair	Croûte calcaire consolidée.
		Y=3935.718 km	Texture	Sablo-limoneux	Sablo-limoneux	
		Z= 946 m	Structure	Poreux, très friable	Peu différenciée	
	Pente	2-3%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	
	Classe de sol	Calcimagnésique	Les racines	Fines abondantes	Sans racines	
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne	Moyen	
	Groupe	Brun calcaire	La matière organique	Très peu	Très peu	
	Sous groupe	A encroûtement	Activité biologique	Faible	Très faible	
	Etat actuel	Jachère	Transition	Diffuse	Diffuse	
Charge en cailloux	5%	Autres remarques		Quelques graviers arrondis blanchâtres		
Drainage	Bon à moyen					
Description et Classification			Description des horizons	00 – 40 cm	40 – 120 cm	
Profil 10	Localisation (UTM)	X= 381.793 km	Etat	Brun jaunâtre, sec	Brun très pâle, sec	Croûte calcaire consolidée
		Y= 3935.958 km	Texture	Limoneuse	Limoneuse	
		Z= 941 m	Structure	Polyédrique fine	Polyédrique moyenne	
	Pente	2-3%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Très nombreuses (fines)	Peu nombreuses	
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne	Forte	
	Groupe	Brun calcaire	La matière organique	Bonne répartition	Très peu	
	Sous groupe	A encroûtement	Activité biologique	Faible	Très faible	
	Etat actuel	Labouré	Transition	Graduelle	Graduelle	
Charge en cailloux	5 %	Autres remarques		Charge en cailloux très forte (40-50 %)		
Drainage	Moyen					
Description et Classification			Description des horizons	00 – 25 cm	25 – 60 cm	60 – 90 cm
Profil 11	Localisation (UTM)	X= 381.687km	Etat	Frais, Brun jaunâtre	Frais, Brun très pâle	Frais, Brun très pâle
		Y= 3936.342km	Texture	Limoneuse	Limoneuse	Limoneuse
		Z= 930 m	Structure	Polyédrique moyenne	Massive	Massive
	Pente	1-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	Forte
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Très nombreuses (fines)	Peu nombreuses	Peu nombreuses
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne fine à moyenne	Forte	Faible
	Groupe	Brun calcaire	La matière organique	Bonne répartition	Très peu	Apparition en bas de l'horizon d'une croûte calcaire
	Sous groupe	A encroûtement	Activité biologique	Faible	Très faible	
	Etat actuel	Labouré	Transition	Diffuse	Graduelle	
Charge en cailloux	2 %	Autres remarques		Charge en cailloux très forte (10-15 %)		
Drainage	Bon à moyen					

Description et Classification			Description des horizons	00 – 30 cm	30 – 90 cm	90 cm
Profil 12	Localisation (UTM)	X= 381.639 Km	Etat	Sec, Brun jaunâtre	Sec, Brun très pâle	Croûte calcaire consolidée
		Y= 3936.640 Km	Texture	Limoneuse	Limoneuse	
		Z= 963 m	Structure	Polyédrique moyenne	Polyédrique moyenne	
	Pente	1-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Très nombreuses (fines)	Peu nombreuses	
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne fine à moyenne	Forte	
	Groupe	Brun calcaire	La matière organique	Bonne répartition	Peu	
	Sous groupe	A encroûtement	Activité biologique	Moyenne	Faible	
	Etat actuel	Céréales	Transition	Graduelle	Graduelle	
	Charge en cailloux	2 %	Autres remarques			
Drainage	Moyen à faible					
Description et Classification			Description des horizons	00 – 30 cm	30 – 55 cm	50 - 140 cm
Profil 13	Localisation (UTM)	X= 381.649 Km	Etat	Sec, Brun Jaunâtre claire	Frais, Brun Jaunâtre	Croûte calcaire consolidée
		Y= 3936.169 Km	Texture	Sablo-argilo limoneux	Argilo Limoneux	
		Z= 933 m	Structure	Polyédrique moyenne	Polyédrique moyenne	
	Pente	1-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Peu nombreuses (fines)	Sans racines	
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne à moyenne	Forte	
	Groupe	Brun calcaire	La matière organique	Très peu	Peu	
	Sous groupe	A encroûtement	Activité biologique	Faible	Très faible	
	Etat actuel	Labouré	Transition	Graduelle	Diffuse	
	Charge en cailloux	2 %	Autres remarques			
Drainage	Bon à moyen					
Description et Classification			Description des horizons	00 – 40 cm	40 – 80 cm	80 - 120 cm
Profil 06	Localisation (UTM)	X= 381.254 Km	Etat	Frais, Brun claire	Frais, Brun claire	Frais, Brun
		Y= 3936.943 Km	Texture	Sablo-argilo limoneux	Sablo-argilo	Limono Argileux
		Z= 926 m	Structure	Friable, poreux	Massive	Polyédrique moyenne
	Pente	1-2%	Effervescence à l'HCL	Forte	Forte	Forte
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Peu	Très peu	Sans
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne	Bonne	Moyenne
	Groupe	Brun calcaire	La matière organique	Peu	Peu	Peu
	Sous groupe	A encroûtement	Activité biologique	Faible	Très faible à nulle	Très faible à nulle
	Etat actuel	Labouré blanchâtre	Transition	Nette régulière	Nette régulière	Cohérent, Assez compact
	Charge en cailloux	2 %	Autres remarques			
Drainage	Bon à moyen					

**Tableau II.3 : Les profils des sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à encroûtements peu profond**

Description et Classification		Description des horizons		00 – 25 cm	25 – 65 cm
<b>Profil 08</b>	Localisation (UTM)	X= 381.649Km	Etat	Frais, brun jaunâtre	Tuf caillouteux
		Y= 3936.169 Km	Texture	Limono Sableux	
		Z= 973 m	Structure	Friable, poreux	
	Pente	10-15 %	Effervescence à l'HCL	Forte	
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Très peu	
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne	
	Groupe	Modal	La matière organique	Très peu	
	Sous groupe	A encroutement peu profond	Activité biologique	Très faible	
	Etat actuel	cereale non reussie	Transition	Diffuse	
	Charge en cailloux	10 %	Autres remarques	Graviers abondants (10%)	
Drainage	Bon à moyen				
Description et Classification		Description des horizons		00 – 30 cm	30 – 60 cm
<b>Profil 07</b>	Localisation (UTM)	X= 381.391 Km	Etat	Sec, brun très clair	Encroûtement calcaire
		Y= 3936.729 Km	Texture	Sablo limoneux	
		Z= 935 m	Structure	Poreux, très friable	
	Pente	10-15 %	Effervescence à l'HCL	Forte	
	Classe	Calcimagnésique	Les racines	Peu	
	Sous classe	Carbonaté	Porosité	Bonne	
	Groupe	Modal	La matière organique	Peu	
	Sous groupe	A encroutement peu profond	Activité biologique	Faible	
	Etat actuel	Armoise	Transition	Nette régulière	
	Charge en cailloux	5 %	Autres remarques	Quelques graviers anguleux	
Drainage	Bon à moyen				

Source : INSID, Date : 2-4 / 04 / 2008

## **II.4 Les contraintes édaphiques à la mise en valeur**

L'étude pédologique a mis en évidence certains paramètres édaphiques du sol qui agissent sur la croissance des végétaux. Il s'agit principalement du taux de calcaire, de la texture, de la salure et de l'acidité (pH).

### **II.4.1 Le taux du calcaire**

Les fiches analytiques ont montré les sols du périmètre renferment un taux élevé de calcaire élevé. Ce qui constitue une contrainte majeure pour les cultures arboricoles. La gamme des cultures maraichères se trouve également réduite. Les cultures céréalières et fourragères supportent mieux les terres calcaires. L'aptitude des sols à l'irrigation dépendra alors de la profondeur et de sa concentration en calcaires.

### **II.4.2 La salure**

Les sols du périmètre sont localement atteints par la salure où on a enregistré en bas de certains profils des valeurs supérieures à 2 mmhos/cm. Ce qui représente une alerte et une mise en garde afin de prendre au sérieux ce paramètre et de surveiller son évolution sous irrigation.

### **II.4.3 Acidité**

L'acidité d'un sol, caractérisée par son pH. Les valeurs du pH des profils analysés virent en totalité vers l'alcalinité (pH dépassant souvent la barre de 8) ce qui décline l'aptitude des sols à l'irrigation.

## **II.5 Etude des aptitudes culturales**

En se basant sur la prospection pédologique, les profils pédologiques, les analyses physico-chimiques, on propose des aptitudes culturales des différentes unités pédologiques

### **II.5.1 Les cultures céréalières et fourragères**

Actuellement ce sont les principales spéculations pratiquées. Les conditions du milieu sont relativement favorables pour les cultures céréalières et fourragères ; une seule aptitude est définie :

C11: Aptitude bonne pour toutes les cultures céréalières et fourragères, et moyenne pour la luzerne.

### **II.5.2 Les cultures maraichères**


M15 : Aptitude bonne pour artichaut, oignon, navet, choux, épinard et laitue et moyenne pour : tomate, ail, aubergine, pastèque, melon, piment, poivron, haricot, concombre et pois.

### **II.5.3 Les cultures arboricoles**

B21 : Aptitude bonne pour abricotier sur franc, olivier, et figuier

Il serait difficile, d'entreprendre les cultures de nouvelle variété, notamment certains arbres fruitiers ainsi que certaines cultures industrielles.

Tableau II.4 : calendrier des principales cultures préconisées

Culture	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Bersim												
Maïs												
Avoine - Orge												
Blé dur												
Sorgho												
Piment												
Petit pois, sec												
Carotte												
Oignon, vert												
Oignon, sec												
Pomme de terre												
Ail												
Navet tardif												
Chou cabus												
Melon												
Laitue												
Haricot, vert												
	 Période de semis-plantation jusqu'au début de période de récolte											

#### II.5.4 Assolement-Rotation proposés

On appelle assolement la répartition des cultures dans l'espace, par opposition à la rotation qui est la succession des cultures sur une même sole pendant un nombre d'année correspondant au type d'assolement adopté. [Boulifa I. (2011)]

Pour l'établissement des différents assolements-rotation nous avons tenue compte de plusieurs facteurs :

- Le type de sol ;
- L'équilibre du sol en éléments minéraux et en matière organique ;
- La période de végétation ;
- Le procédé cultural ;
- Superficie des parcelles pour un meilleur rendement économique ;

Tableau II.5 : Assolement - rotation proposé

Les parcelles	Sole I		Sole II	
12	Sorgho	Navet	Haricot vert	Ail
4a	Piment	Petit pois	Navet	Piment
5b	Oignon, sec	Chou	Carotte	Chou
8	Oignon, vert	Melon	Melon	Laitue
5a	Petit pois	Laitue	Chou	Pomme de terre
4b	Pomme de terre	Laitue	Laitue	Petit pois
3	Ail	Haricot	Pomme de terre	Laitue
14	Laitue	Petit pois	Ail	Haricot
9	Chou	Pomme de terre	Petit pois	Laitue
1	Melon	Laitue	Oignon, vert	Melon
7	Carotte	Chou	Oignon, sec	Chou
2	Navet	Piment	Piment	Petit pois
5c	Haricot vert	Ail	Sorgho	Navet
15	Maïs	Bersim	Blé dur	
10	Bersim	Maïs	Orge	
6	Avoine		Avoine	
11	Orge		Bersim	Maïs
13	Blé dur		Mais grain	Bersim

Tableau II.6 : Les pourcentages proposés aux différentes cultures

N° de la parcelle	N° de la parcelle projeté	culture	Superficie (ha)	Pourcentage %
4	4a	Piment	6.26	5.75
	4b	Pomme de terre	7.00	6.43
5	5a	Petit pois	4.41	4.05
	5b	Oignon sec	4.00	3.67
	5c	Haricot vert	4.00	3.67
8	8	Oignon vert	3.63	3.33
1	1	Melon	5.19	4.76
2	2	Navet	2.17	1.99
3	3	Ail	4.93	4.53
6	6	Avoine	4.60	4.22
12	12	Sorgho	6.55	6.01
15	15	Maïs	6.01	5.52
13	13	Blé	19.13	17.56
10	10	Bersim	10.51	9.65
9	9	Chou	1.84	1.69
7	7	Carotte	2.00	1.84
14	14	Laitue	2.04	1.87
11	11	Orge	14.67	13.47
<b>Totale</b>			<b>108.94</b>	<b>100.00</b>

## II.6 Capacité pour l'eau

L'objectif de déterminer la quantité d'eau contenue dans le sol à un moment précis est un concept d'ordre stratégique pour comprendre et piloter l'irrigation. Également, elle nous permet d'établir un bilan hydrique pour la détermination des besoins en eau des cultures.

### II.6.2 La réserve utile en eau RU

C'est La quantité d'eau du sol retenue entre la capacité de rétention et le point de flétrissement permanent constitue la quantité d'eau disponible pour les plantes, notée RU. On l'exprime en millimètre d'eau par centimètre du sol. [Clément R.(1990)]

En l'absence de mesures de la capacité de rétention et du point de flétrissement, on peut également estimer la RU soit à partir des analyses de sol, soit à partir de données moyennes acceptées.

### II.6.1 La réserve facilement utilisable RFU

Sur le plan physiologique, la plante commence à souffrir de la sécheresse, et à fermer ses organes de transpiration, les stomates, avant que ne soit atteint le point de flétrissement permanent. C'est pourquoi dans la réserve utile, on a défini une réserve facilement utilisable, notée RFU, dans laquelle la plante pompe l'eau du sol sans restriction. C'est dans cette limite que la plupart des plantes cultivées ont une activité physiologique maximale. [Clément R.(1990)]

On admit que les deux tiers de la réserve utile en eau sont facilement utilisables par les plantes et que le mécanisme de défense de celles-ci contre la sécheresse n'intervient qu'à partir de cette limite c'est-à-dire lorsque les deux tiers sont épuisés, **RFU = 2/3 RU**, selon, (Clément et Galand, 1979) :

$$R = 3000.P.d_a(H_C - H_P) \quad (I.1) \text{ où}$$

$d_a$  : Densité apparente du sol ( $\text{g.cm}^{-3}$ )

$P$  : Profondeur d'enracinement (m)

$H_C$  : Humidité pondérale à la capacité de la rétention (%)

$H_P$  : Humidité pondérale au point de flétrissement (%)

**Tableau II. 7 : Valeurs de la densité apparente, capacité de rétention et point de flétrissement**

$H_C$	$H_P$	$d_a$
25 - 35 %	15 - 20 %	1.35 $\text{g.cm}^{-3}$

Source : I.N.S.I.D - Oum El Bouaghi

Pour vérifier les valeurs fournies par I.N.S.I.D (Tableau II.7), On a effectué un calcul sur la base du logiciel «Soil Water Characteristics. SAXTON et al. 2006 » dont la fiabilité universelle, qui, nous a fait ressortir les résultats de la densité apparente et la réserve utile après avoir incérer les données de la granulométrie et chimiques.

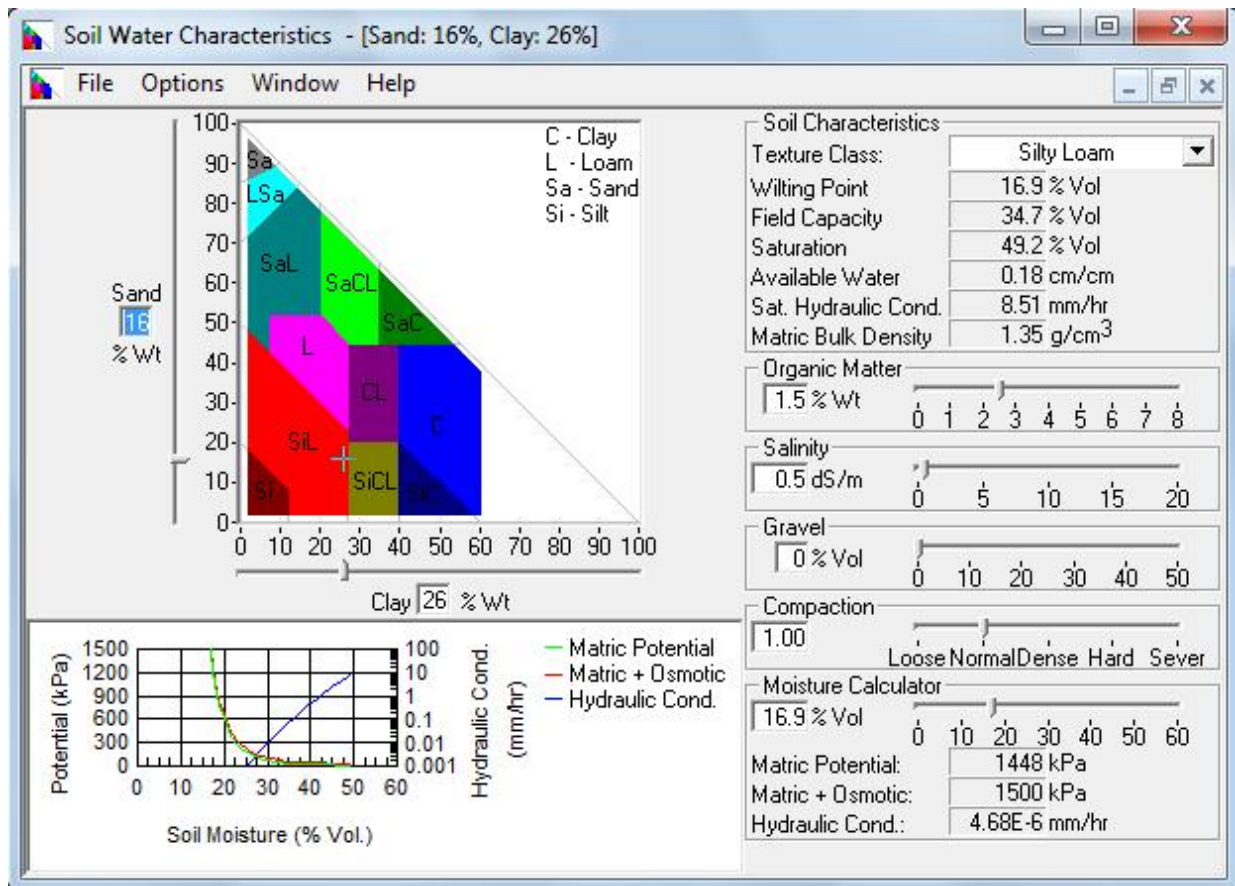


Figure II.1: L’interface de logiciel du logiciel Soil Water Characteristics.

Tableau II.8 : Résultats des analyses données par logiciel du logiciel Soil Water Characteristics

Profil	$H_c$	$H_p$	$d_u$
P1	34.7	16.9	1,32
P2	34.2	17.5	1.36
P4	35	20.7	1.39
P9	29.2	15.3	1,43
P6	34.6	20.6	1,38
<b>Moyenne</b>	<b>33.54</b>	<b>18.2</b>	<b>1.376</b>

En appliquant la formule (II.1), nous obtenons :

$$R = 6 . 2 \times P \quad (I.2)$$



Tableau II.9 : Les profondeurs d'enracinements des différentes cultures (m)

Culture	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Bersim	0.25									0.05	0.10	0.15
Maïs				0.10	0.20	0.30	0.40	0.50				
Avoine	0.6	0.8	1.00						0,3	0.4	0.5	0.6
Blé dur- Orge	0.40	0.50	0.60	0.60	0.70	0.70					0.30	0.30
Sorgho					0.20	0.40	0.50	0.60				
Piment						0.40	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	
Petit pois, sec	0.70	0.80	1.00	1.20	1.20						0.50	0.70
Carotte									0.10	0.20	0.25	0.30
Oignon, vert									0.30	0.40	0.50	0.60
Oignon, sec	0.30	0.30	0.40	0.50	0.60	0.60						
Pomme de terre			0.10	0.25	0.35	0.40						
Ail					0.10	0.20	0.30	0.35				
Navet tardif									0.10	0.20	0.25	0.30
Chou cabus									0.20	0.25	0.30	0.40
Melon				0.05	0.07	0.10	0.20					
Laitue								0.10	0.20	0.25		
Haricot, vert				0.10	0.20	0.30						

## II.7 Conclusion

L'analyse de la qualité des sols de la zone d'étude montre que les sols inventoriés sont regroupés en deux classes principales, sol peu évolué et sol calcimagnésique, avec la présence d'une croûte ou encroûtement.

Les contraintes édaphiques recensées sont principalement le taux de calcaire élevé et la texture fine et à un degré moindre la salure.

L'aptitude des sols reste bonne pour les cultures céréalières et fourragères ainsi que les cultures maraichères mais moyenne pour les cultures arboricoles à cause des contraintes évoquées ci-dessus.

L'installation de brises vent, apporter des amendements organique, fertilisation minérale et le labour profond sont les principaux travaux préconisés.

## **CHAPITRE III :**

### **Analyse des ressources en eau**

## CHAPITRE III : Analyse des ressources en eau

### III.1 Introduction

Sachant que l'irrigation doit suppléer aux insuffisances des précipitations lors des périodes de développement des plantes cultivées, il est important de savoir où on pourra s'approvisionner en eau pour irriguer et la connaissance de l'origine de l'eau devra également fournir des éléments de valeur concernant sa qualité pour l'irrigation.

### III.2 Les eaux souterraines de la nappe de Meskiana

La plaine de Meskiana a connu ces dernières années un essor agricole remarquable, en particulier dans le secteur de l'agriculture. Elle possède actuellement des ressources hydriques souterraines relativement limitées, ceci étant dû à l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

La cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards de la campagne du mois de juillet 2002, qui englobe le maximum de puits, a fait apparaître trois classes de cette qualité. Bonne, Admissible et Médiocre. [Gouaidia L. (2008) ]

La région d'étude repose sur une zone par de classe Médiocre qui se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. [Gouaidia L. (2008) ]

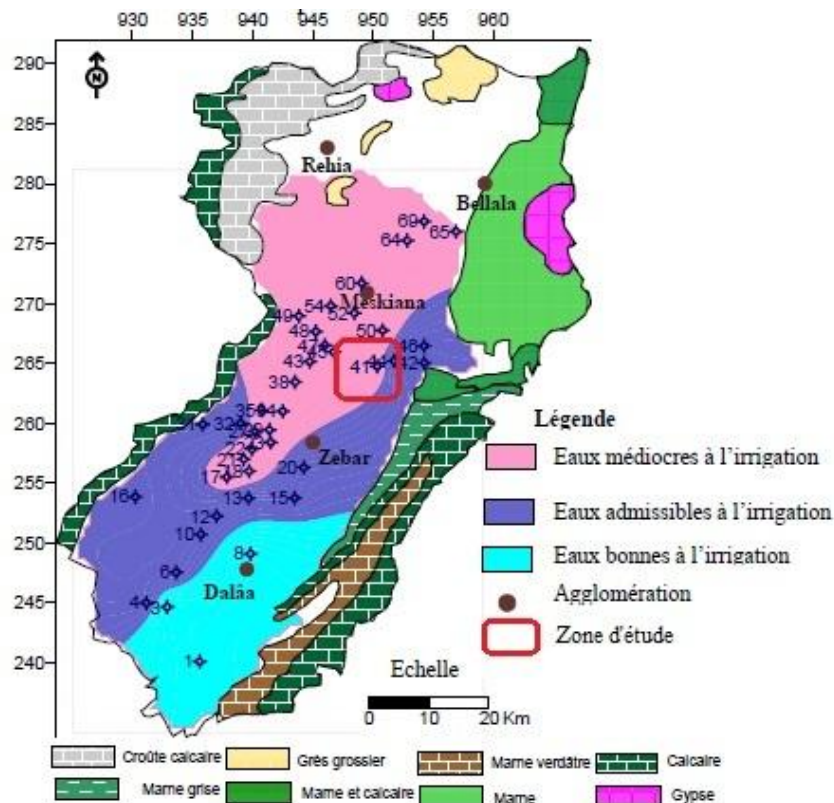


Figure III.1 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de Meskiana (juillet 2002).

Donc l'implantation d'une retenue collinaire c'était nécessaire pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation.

### III.3 La retenue collinaire GOURIGUEUR

Cette retenue d'une capacité de stockage de 500000 m<sup>3</sup> destiné a l'irrigation, et évitera à l'avenir les inondations de la ville de Meskiana.

#### III.3.1 Situation géographique

La retenue collinaire est située à 9 Km au sud du chef lieu de commune MESKIANA, dans une zone appelée communément GOURIGUEUR.

Il collecte les eaux d'un bassin versant de 9,15 km<sup>2</sup> et constitue un plan d'eau d'une superficie d'environ 100 000 m<sup>2</sup>, pour un volume de 500 000 m<sup>3</sup>.

Les coordonnées LAMBERT sont les suivantes :

X=952.900 Km

Y=626.514 Km

Z=954 m NGA.

**Tableau III.1 : Caractéristique techniques de la retenue collinaire**

Caractéristiques	Valeurs (unités)
Niveau crête	960.40 m
Niveau normale retenue	957.50 m
Niveau mort	953.38 m
Niveau prise	946.20 m
Volume totale	0.49 Hm <sup>3</sup>
Volume utile	0.35 Hm <sup>3</sup>
Volume régularisable	0.45 Hm <sup>3</sup>
Capacité maximum de vidange	0.67 m <sup>3</sup> /s
Débit minimum de prise	0.12 m <sup>3</sup> /s

Source: DRE d'OUM EL BOUAGHI



**Figure III.2 : Photo satellitaire montre les ouvrages de base de la retenue collinaire GOURIGUEUR (source : Google earth, 2015)**

### III.3.2 Caractéristiques de la digue

La digue en terre se compose des éléments suivants :

- Clet d'étanchéité.
- Fondation sur la surface décapée.
- Prisme aval pour le drainage et la stabilité des pieds.
- Massif de la digue en terre homogène d'argile imperméable.
- Revêtements sur la digue.

Le niveau de la crête a été déterminée compte-tenu d'une revanche absolue de 3m au dessus du seuil de l'évacuateur de crue du tassement de la digue et du sol de la fondation cette crête est à la cote : 960.4 m NGA.

**Tableau III.2 : caractéristiques de la digue**

Caractéristiques	Valeurs (unités)
Hauteur maximale	18 m
Revanche absolue	3 m
Cote de la crête	960.4 mNGA
Longueur de la crête	330 m
Largeur de la crête	7 m
pente du talus amont	1 :3
pente du talus aval	1 :2.5
Volume de la digue (Vt)	145909.45 m <sup>3</sup>

Source: DRE d'OUM EL BOUAGHI

### III.3.3 L'évacuateur des crues

La destination de cet ouvrage est de laisser les crues librement lorsque la retenue est pleine jusqu' au niveau normale, la réalisation de l'évacuateur de crue a été examiné sur la base des considérations suivantes : [Boulifa I. (2011)]

- Les résultats obtenus dans l'étude hydrologique, (l'étude du laminage de crue).
- L'existence d'un site favorable pour un évacuateur sur la rive gauche.
- Le délai de garantie des ouvrages importants.
- L'effet du laminage selon les analyses des crues traversant la retenue collinaire.

Sur la base des résultats de l'étude hydrologique de la fréquence de charge des crues exercées sur l'évacuateur ,on peut caractériser la part du débit et du volume maximale de crue de 100 ans et de 1000 ans.par ailleurs, le débit et le volume maximale de crue de 100 ans indiquent les dimensions nécessaires de l'ouvrage ,les caractéristiques de l'évacuateur des crues sont comme suit :

**Tableau III.3 : caractéristiques de l'évacuateur des crues**

Caractéristiques	Valeurs (unités) (constitution)
Type d'évacuateur	évacuateur de crue en béton armé.
Parties constituantes	déversoir frontal, coursier, bassin d'amortissement
Largueur du seuil	14 m
Lame d'eau	1,38 m

Source: DRE d'OUM EL BOUAGHI

### III.3.4 Prise d'eau et vidange de fond

Pour la retenue collinaire sur oued AID, la fonction prise d'eau et de vidange est assurée par le même ouvrage ainsi la conduite est constitué par des tuyaux en acier, dont le diamètre est déterminé sur la base des besoins en eau maximum.

Cet ouvrage a été réalisé avant la construction de la digue afin d'assurer l'évacuation des écoulements et des pluies directes.

La prise d'eau et vidange sont place sous la digue ayant une capacité d'évacuation maximale de 0,12 m<sup>3</sup>/s.

### III.4 Qualité de l'eau de La retenue collinaire

La qualité chimique de l'eau est en fonction des sels que l'eau contient en solution et donc de leur nature et de leur quantité totale.

Pour l'eau d'irrigation, on tiendra compte de la salinité et l'alcalinité.

**Tableau III.4 : Caractéristiques de l'eau d'irrigation**

Eléments	Valeurs	
Ca <sup>2+</sup>	281 mg.l <sup>-1</sup>	14.04 méq.l <sup>-1</sup>
Mg <sup>2+</sup>	174 mg.l <sup>-1</sup>	14.47 méq.l <sup>-1</sup>
Na <sup>+</sup>	425 mg.l <sup>-1</sup>	18.48 méq.l <sup>-1</sup>
K <sup>+</sup>	5.90 mg.l <sup>-1</sup>	00.15 méq.l <sup>-1</sup>
HCO <sub>3</sub>	146 mg.l <sup>-1</sup>	02.40 méq.l <sup>-1</sup>
Conductivité électrique CE à 25 C°	1.01 mmhos.cm <sup>-1</sup>	
pH	7.6	
SAR	4.89	

Source: ANRH (Date de prélèvement : 08/06/2011)

#### III.4.1 La salinité

Le principal caractère de l'eau d'irrigation est sa salinité qui exprime la quantité de sels dissous.

Les principaux responsables de cette salinité sont les sels de calcium (Ca<sup>2+</sup>), de magnésium (Mg<sup>2+</sup>), de sodium (Na<sup>+</sup>), les chlorures (Cl<sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut occasionner des brûlures racinaires.

Divers modes de représentation de la composition chimique de l'eau ont été utilisés. Le plus ancien est celui qui consiste à mesurer le résidu sec ou les matières dissoutes totales, exprimé en g.l<sup>-1</sup>, souvent accompagné du bilan hydrique des eaux (ou analyse totale).

Mais ce mode a été remplacé par une représentation plus globale et plus pratique concernant les eaux d'irrigation, c'est la mesure de la conductivité électrique exprimée en dS.m<sup>-1</sup> ou en mmho.cm<sup>-1</sup> à 25 °C. [Clément R.(1990)]

À partir de ce mode d'expression l'US Salinity Laboratory (1953) a établi un classement des eaux d'irrigation en cinq classes de salinité qui se présentent ainsi :

**Tableau III.5 : Classification de la salinité des eaux selon la conductivité électrique**

Classe	Conductivité électrique CE	Qualité des eaux
C1	0 à 0.25 mmho.cm <sup>-1</sup>	eau faiblement salée
C2	0.25 à 0.75 mmho.cm <sup>-1</sup>	eau moyennement salée
C3	0.75 à 2.25 mmho.cm <sup>-1</sup>	eau moyennement à fortement salée
C4	2.25 à 4.00 mmho.cm <sup>-1</sup>	eau fortement salée
C5	4.00 à 6.00 mmho.cm <sup>-1</sup>	eau très fortement salée

L'eau de la retenue GOURIGUEUR prévue pour l'irrigation du périmètre étudié a une conductivité électrique moyenne CE = 1,01mmhos/cm (**Classe C3**).

**C3 (0,75 à 2,25 dS•m-1) eau moyennement à fortement salée** sera seulement utilisée sur des sols de bonne à moyenne perméabilité. Des lessivages réguliers sont souvent nécessaires pour prévenir une salinisation des sols. Des contrôles de salinité des sols seront effectués régulièrement et des cultures moyennement à fortement tolérantes à la salinité seront sélectionnées.

Quand on utilise des eaux salées pour irriguer, il est déconseillé de réduire les doses, dans le but de diminuer la quantité de sels apportée dans le sol. Il en résulte une concentration des substances nocives dans la zoné des racines des plantes.

Par contre la meilleure technique consiste à forcer la dose d'eau afin d'entraîner les sels hors de portée des racines. Un drain peut permettre leur évacuation, si le drainage naturel est insuffisant. [Clément R.(1990)]

### III.4.2 L'alcalinité

L'alcalinité de l'eau exprime le danger d'alcalinisation d'un sol, en fonction de la nature et de la quantité des cations contenus dans l'eau et dont le résultat est de conférer au sol de mauvaises propriétés physiques, en plus de la toxicité due à l'excès des ions sodium. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour n'en nommer que quelques-unes.

Le danger d'alcalinisation est évalué à partir du rapport entre les concentrations de sodium, de calcium et de magnésium, rapport obtenu à partir de l'équation de Gapon (1933) proposée par l'US Salinity Laboratory (1953) sous l'appellation sodium-adsorption ratio (SAR) que l'on peut traduire par le rapport de sodium adsorbé et qui décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation. [Clément R.(1990)]

$$S = \frac{N^{+}}{\sqrt{\frac{C^{2+} + M^{2+}}{2}}} \quad (\text{III.1})$$

Les cations sont exprimés en milliéquivalents par litre (még/l), en appliquant la formule (III.1)

$$S = \frac{18.48}{\sqrt{\frac{14.04 + 14.47}{2}}} = 4.89$$

Les recherches à partir du SAR ont abouti à la classification des eaux d'irrigation en quatre classes d'alcalinité :

**Tableau III.6 : Classification de l'alcalinité des eaux selon le SAR**

Classe	SAR	L'alcalinité
S1	0 à 10	eau faible en sodium
S2	10 à 18	eau moyenne en sodium
S3	18 à 26	eau riche en sodium
S4	supérieur à 26	eau très riche en sodium



L'échantillon de l'eau étudié à un rapport de SAR = 4.89 appartient a la classe S1.

**La classe S1 (0 < SAR < 10) eau faible en sodium**, elle peut être utilisée sur presque tous les sols avec un faible danger d'accumulation de quantité nocive de sodium échangeable ; très peu de danger d'alcalinisation.

On réfère au diagramme de classification des eaux d'irrigation (ANNEXE 3.), on peut affirmer que notre eau est caractérisée par une salinité élevée avec un degré d'alcalinité faible (C3- S1).

Pour obtenir une classification des eaux d'irrigation-salinité et SAR - on peut se référer au diagramme de la figure III.3 proposé par l'US Salinity Laboratory.

Une eau de conductivité de 1,01 mmhos.cm<sup>-1</sup>, avec 18,48 meq.l<sup>-1</sup> de Na<sup>+</sup> et 28,51 meq.l<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> a un SAR de 4,89 (calculé avec le nomogramme) et est classée en C3-S1, c'est-à-dire avec une moyenne à forte salinité et une faible alcalinité.

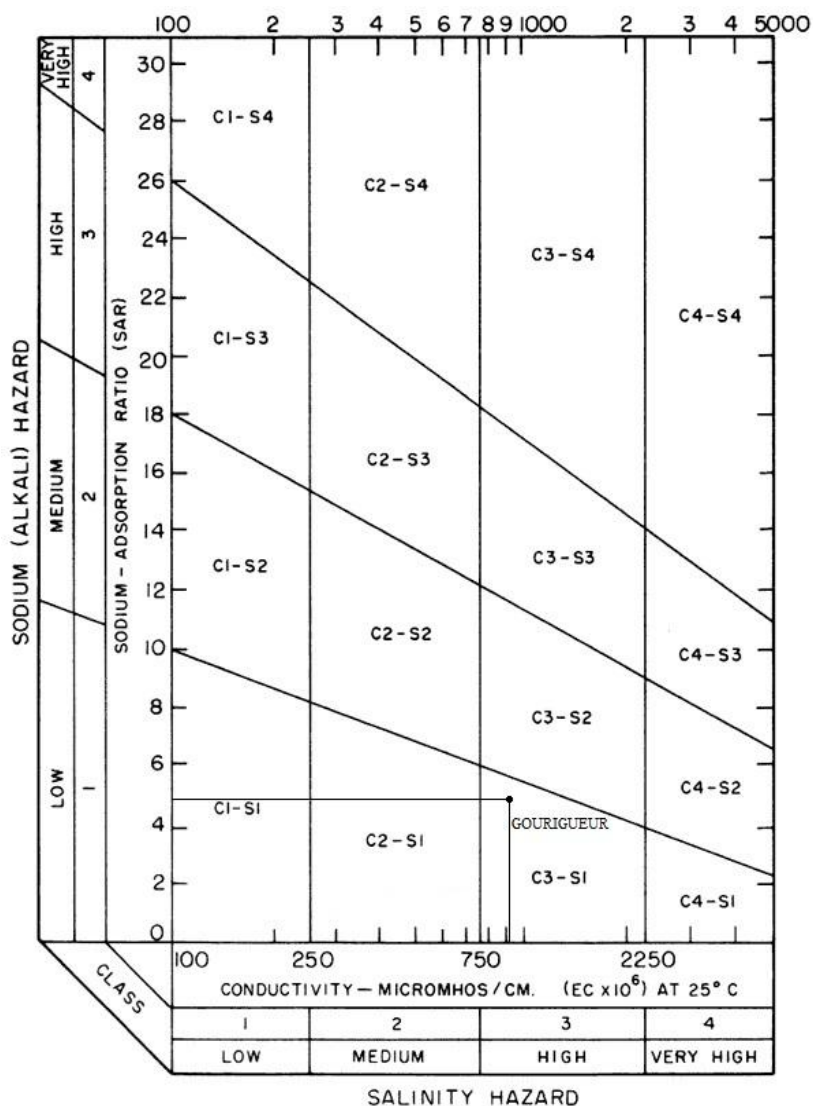


Figure III.3 : Diagramme pour déterminer la qualité évaluée d'une eau d'irrigation à partir de son coefficient d'adsorption du sodium (SAR) et de sa conductivité électrique (US salinity Laboratory Staff, 1953)

### III.4.3 Normes d'interprétation d'une analyse d'eau

Le tableau III.6 résume les valeurs acceptables pour différents éléments trouvés dans l'eau d'irrigation. Ce sont des valeurs souhaitables lorsque l'eau est utilisée d'une manière continue. Les seuils pourraient être plus élevés lorsque l'eau est utilisée seulement en période de sécheresse. En revanche, des échantillonnages de sol, devraient, dans ce cas, se faire plus fréquemment afin d'éviter l'accumulation d'éléments non désirables dans le sol.

**Tableau III.7 : Norme d'interprétation d'une analyse d'eau pour l'irrigation**

Paramètres	Concentration maximale
Aluminium ( $Al^{3+}$ )	0 à 5 $mg.l^{-1}$
Bicarbonate ( $HCO_3^-$ )	30 à 50 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 150)
Bore (B)	0,2 à 0,5 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 0,8)
Calcium ( $Ca^{2+}$ )	40 à 120 $mg.l^{-1}$
Chlore ( $Cl^-$ )	0-100 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 140)
Cuivre ( $Cu^{2+}$ )	0,08-0,15 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 0,2)
Fluor (F)	0 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 1)
Fer ( $Fe^{3+}$ )	1 à 2 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 5)
Magnésium ( $Mg^{2+}$ )	6 à 25 $mg.l^{-1}$
Manganèse ( $Mn^{2+}$ )	0,2 à 0,7 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 2)
Molybdène (Mo)	0,02 à 0,05 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 0,07)
pH	5 à 7
Potassium ( $K^+$ )	0,5 à 5 $mg.l^{-1}$
SAR	inférieure à 9
Sodium ( $Na^+$ )	0 à 30 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 50)
Sulfate ( $SO_4^{2-}$ )	24 à 240 $mg.l^{-1}$
Résidu sec	70 à 700 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 875)
Zinc ( $Zn^{2+}$ )	0,1 à 0,2 $mg.l^{-1}$ (pas supérieur à 2,0)
Salinité ( $dS.m^{-1}$ )	inférieure à 1,0-1,5

### III.5 Etude statistique des pluies annuelles

L'optimisation de la gestion des ressources en eau, quelles que soient les performances des algorithmes de calcul, n'a de sens que par référence à un état donné de l'information hydrologique : il faut donc extraire le maximum de l'information contenue dans les échantillons de mesures disponibles effectuées sur le terrain. S'appuyant sur des bases physiques simples et éprouvées, l'analyse statistique des données observées se révèle alors utile et pratique.

### III.6 Choix de l'échantillon à analyser

Nous disposons d'un échantillon de pluies annuelles d'une durée d'observations de 25 ans (1980-2005). De la station de Meskiana qui a été prise comme station de référence, les caractéristiques de cette dernière sont résumées dans le Tableau I.1 (cf. chapitre 1).

### III.7 Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

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

- Soit un échantillon  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  ; déterminons sa médiane. La médiane  $M$  est le nombre qui sépare la série (ordonnée en valeurs croissantes) en deux groupes de même effectif. C'est un paramètre de position de la série.
- Pour les valeurs inférieures à la médiane sont codés comme "0". ceux qui sont supérieurs, sont codés comme "1". Les valeurs égales à la médiane ne sont pas utilisées dans l'analyse.
- Soit "  $N$  " la taille de l'échantillon,  $N_S$  Le nombre totale de séries de "1" ou "0" et  $T_S$  la taille de la plus grande série de "1" ou "0" .
- $N_S$  suit approximativement une loi normale et  $T_S$  suit approximativement une loi binomiale.

Ceci a permis d'établir que pour un niveau de signification (le risque)  $= 5\%$ , les conditions du test sont les suivantes :

$$N_S > 0,5 \left( N + 1 - \mu_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N + 1} \right) \quad (II .2) \text{ où}$$

$\mu_{1-\frac{\alpha}{2}}$  Le variable réduite gaussienne de risque  $= 5\%$ ,  $\mu_{0.9} = 1.96$  ;

$$T_S < 3,3 l_{\alpha} (N + 1) \quad (II .3)$$

Le tableau suivant détaille le résultat du Test d'homogénéité pour la station de Meskiana.

Tableau III.8 : Test de Mood pour la station de Meskiana

Année	Précipitation	"0" ou "1"
1980/1981	294.70	0
1981/1982	364.41	1
1982/1983	298.00	0
1983/1984	239.90	0
1984/1985	327.70	1
1985/1986	324.70	-
1986/1987	270.13	0
1987/1988	306.34	0
1988/1989	369.80	1
1989/1990	444.85	1
1990/1991	407.90	1
1991/1992	391.00	1
1992/1993	250.51	0
1993/1994	262.95	0
1994/1995	365.60	1
1995/1996	370.43	1
1996/1997	280.06	0
1997/1998	273.01	0
1998/1999	361.20	1
1999/2000	290.56	0
2000/2001	269.00	0
2001/2002	308.88	0
2002/2003	548.40	1
2003/2004	413.97	1
2004/2005	339.98	1
<b>La Médiane</b>	<b>324.7</b>	
<b>N=25</b>	<b>Ns=12</b>	<b>Ts= 4</b>

$$0,5 (25 + 1 - 1,96\sqrt{25 + 1}) = 8 < N_s$$

$$3,3 k_{\alpha} (25 + 1) = 4,67 > T_s$$

La condition de **Mood** est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle de la station de **MESKIANA** est homogène.

### III.8 Choix des lois de probabilités

Les précipitations sont mesurées ponctuellement mais c'est un phénomène organisé dans l'espace et qui présente une certaine cohérence et homogénéité, compte tenu de l'effet du relief, alors que ce n'est pas le cas de débits à l'exutoire de bassins versants.

Il existe en hydrologie un arsenal fort important de loi de probabilité. Deux fonctions de répartition fournissent une excellente approximation de la distribution empirique des pluies qui garantit le meilleur ajustement possible:

- Loi de Gauss (loi Normale).
- Loi de Galton (loi log –Normale).

#### III.8.1 Ajustement à la loi de Gauss (loi Normale)

C'est la loi normale la mieux connue et la plus étudiée des lois de probabilités usuelles. Est caractérisée uniquement par la moyenne et l'écart-type. Sa fonction de densité de probabilité est :

$$F(P) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^P e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (II . 4)$$

$$u = \frac{P - \bar{P}}{\sigma} \quad (II . 5)$$

$u$  : La variable réduite de Gauss.

L'ajustement des pluies annuelles par cette loi repose sur le procédé ci-dessous :

- On calcul les caractéristiques empiriques de la série, la moyenne  $\bar{P}$  et l'écart-type  $\sigma$ .
- Trier les valeurs dans l'ordre croissant et attribuer un rang à chaque valeur.
- Calcul de la fréquence empirique de (Hazen, équation (III.6)). pour chaque rang ( $r$ ).

$$F(P_r) = \frac{r-0.5}{n} \quad (II . 6)$$

- Calcul de la variable réduite «  $u$  » du Gauss (équation (III.5)).
- Représentation graphique des couples  $(F_r, P_r)$  de la série sur un papier gaussien.
- Ajustement d'une relation linéaire selon l'équation de Henry,  $P_{\%} = \bar{P} + \sigma \cdot u_{\%}$  (II .7).
- On Calcul les quantiles et les intervalles de confiance de différents périodes de retour.

Les résultats sont présentés dans les tableaux et la figure ci-dessous :

Tableau III.9 : Ajustement à une loi de Gauss

P	n	P décroissant	F (Hazen)	u
294.70	1	239.90	0.02	-1.34
364.41	2	250.51	0.06	-1.19
298.00	3	262.95	0.10	-1.02
239.90	4	269.00	0.14	-0.93
327.70	5	270.13	0.18	-0.91
324.70	6	273.01	0.22	-0.87
270.13	7	280.06	0.26	-0.77
306.34	8	290.56	0.30	-0.63
369.80	9	294.70	0.34	-0.57
444.85	10	298.00	0.38	-0.52
407.90	11	306.34	0.42	-0.40
391.00	12	308.88	0.46	-0.37
250.51	13	324.70	0.50	-0.14
262.95	14	327.70	0.54	-0.10
365.60	15	339.98	0.58	0.07
370.43	16	361.20	0.62	0.37
280.06	17	364.41	0.66	0.42
273.01	18	365.60	0.70	0.43
361.20	19	369.80	0.74	0.49
290.56	20	370.43	0.78	0.50
269.00	21	391.00	0.82	0.79
308.88	22	407.90	0.86	1.03
548.40	23	413.97	0.90	1.11
413.97	24	444.85	0.94	1.55
339.98	25	548.40	0.98	3.01
<b>Moyenne :</b>		<b>334.96</b>	<b>Ecart-type :</b>	
			<b>70.91</b>	

Tableau III.10 Les quantiles de période de retour 10, 20, 50, 100 et 1000 ans

T	Fréquence (AND)	PT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10	0.900	426	19.3	388 - 464
20	0.950	452	22.0	408 - 495
50	0.980	481	25.4	431 - 530
100	0.990	500	27.7	446 - 554
1000	0.999	554	34.7	486 - 622

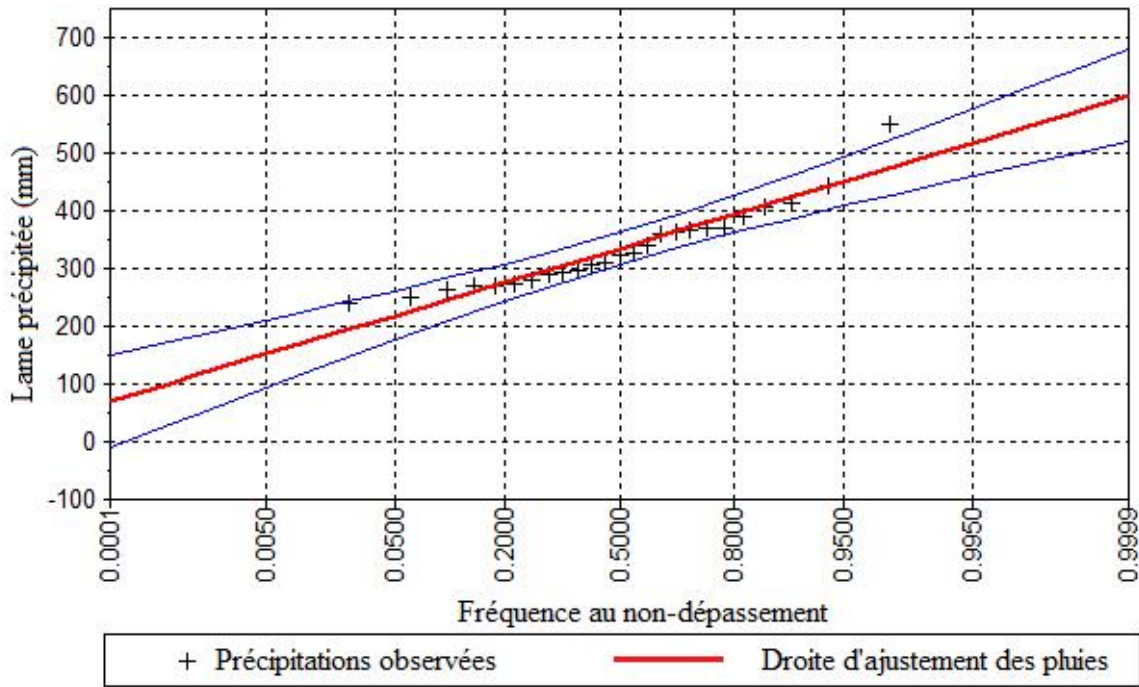


Figure III.4 : Ajustement graphique pour les pluies à une loi de Gauss

**III.8.2 Ajustement à la loi de Galton (loi log – Normale)**

Un modèle fréquentiel très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique de Galton. La fonction de répartition de la loi de Galton  $F(x)$  s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (I.4)$$

$u$  La variable réduite de Gauss  $u = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_y}$  où

$$Y_i = \log(P_i) \quad (I.8)$$

L'ajustement des pluies annuelles par cette loi repose sur le procédé ci-dessous :

- On calcul les caractéristiques empiriques de la série, la moyenne  $\bar{Y}$  et l'écart-type  $\sigma_y$ .
- Trier les valeurs dans l'ordre croissant et attribuer un rang à chaque valeur.
- Calcul de la fréquence empirique de (Hazen, équation (III.6)).
- Calcul de la variable réduite «  $u$  » du Gauss (équation (III.5)).
- Représentation graphique des couples  $(F_i, P_i)$  de la série sur un papier log-normal.
- Ajustement d'une relation linéaire selon l'équation de Galton  $P_{\%} = 10^{\overline{\log(p)} + \sigma_y \log(g(u))}$  (I.9)
- On Calcul les quantiles et les intervalles de confiance de différents périodes de retour.

Les résultats sont présentés dans les tableaux et la figure ci-dessous :

Tableau III.11 : Ajustement à une loi de Galton

Log (P)	n	Log (P)	f	u
2.47	1	2.38	0.02	-1.58
2.56	2	2.40	0.06	-1.36
2.47	3	2.42	0.10	-1.12
2.38	4	2.43	0.14	-1.00
2.52	5	2.43	0.18	-0.98
2.51	6	2.44	0.22	-0.93
2.43	7	2.45	0.26	-0.80
2.49	8	2.46	0.30	-0.62
2.57	9	2.47	0.34	-0.54
2.65	10	2.47	0.38	-0.49
2.61	11	2.49	0.42	-0.35
2.59	12	2.49	0.46	-0.31
2.40	13	2.51	0.50	-0.06
2.42	14	2.52	0.54	-0.01
2.56	15	2.53	0.58	0.17
2.57	16	2.56	0.62	0.48
2.45	17	2.56	0.66	0.52
2.44	18	2.56	0.70	0.54
2.56	19	2.57	0.74	0.60
2.46	20	2.57	0.78	0.60
2.43	21	2.59	0.82	0.88
2.49	22	2.61	0.86	1.09
2.74	23	2.62	0.90	1.16
2.62	24	2.65	0.94	1.52
2.53	25	2.74	0.98	2.58
<b>Moyenne :</b>		<b>2.52</b>	<b>Ecart-type :</b>	
			<b>0.086</b>	

Tableau III.12 Les quantiles de période de retour 10, 20, 50, 100 et 1000 ans

T	Fréquence (AND)	PT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10.0	0.9000	424	23.0	379 - 469
20.0	0.9500	456	28.2	400 - 511
50.0	0.9800	494	35.2	425 - 563
100.0	0.9900	522	40.6	442 - 601
1000.0	0.9990	608	59.1	492 - 723



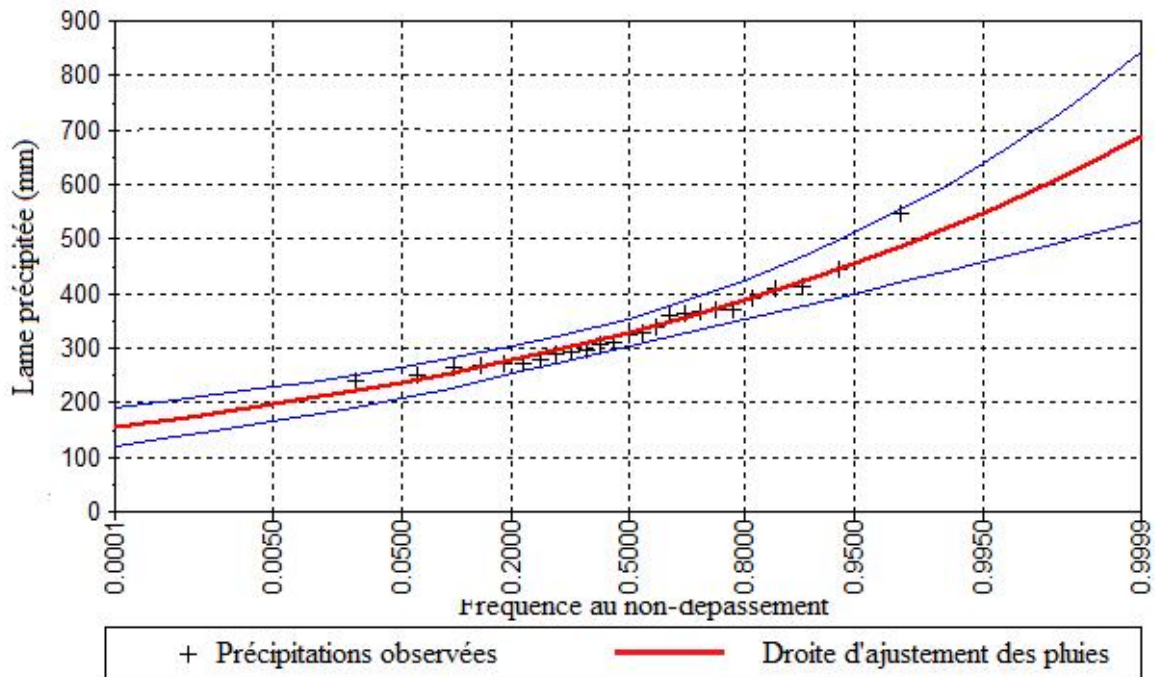


Figure III.5 : Ajustement graphique pour les pluies à une loi de Galton sur un papier normal

### III.8.3 Le test d'adéquation khi-deux

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

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

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

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \quad (II . 10)$$

Cette variable  $\chi^2$  suit une loi de probabilité dite loi du  $\chi^2$ , à  $\nu$  degrés de liberté avec :

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

K = Nombre de classes ;

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

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

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

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

**Tableau III.13 Test de khi-deux pour les deux lois**

La loi	Normale	log –Normale
$\chi^2$ calculé	5.52	1.04
Degré de liberté $\alpha$	4	4
$\chi^2$ théorique ( $\alpha = 0.01$ )	13.3	13.13
$\chi^2$ théorique ( $\alpha = 0.05$ )	9.49	9.49
Pour une erreur $\alpha = 0.01$	La loi est adéquate	La loi est adéquate
Pour une erreur $\alpha = 0.05$	La loi est adéquate	La loi est adéquate

### III.9 Détermination de l'année de calcul

Les deux lois de Gauss et log normal sont très proche mais la série s'ajuste mieux à la loi de log normal, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région.

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

$$P_8^S \% = P_{m \ .i} \times \frac{P_8 \%}{P_5 \%} \quad (II .11)$$

Avec :

$P_8^S \%$  : Précipitation mensuelle de l'année de calcul ;

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

$P_8 \%$  : La précipitation théorique annuelle de fréquence 80% ;

$P_5 \%$  : La précipitation théorique annuelle de fréquence 50% ;

On déduire les valeurs de  $P_8 \%$  e  $P_5 \%$  selon l'équation de Galton (III.9) :

$$P_8 \% = 278 \text{ m}$$

$$P_5 \% = 328 \text{ m}$$

Donc :

**Tableau III.14 Précipitation mensuelle de l'année de calcul**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
$P_{m \ .i}$	38.87	30.01	33.28	27.40	27.62	21.59	31.38	26.17	36.34	24.16	10.34	29.35
$P_8^S \%$	32.94	25.44	28.21	23.22	23.41	18.30	26.60	22.18	30.80	20.48	8.76	24.88

### III.10 Conclusion

A partir de ce chapitre, nous avons défini les ressources en eau disponibles dans la région d'étude, dont la seule source utilisable en termes de qualité et de quantité c'est la retenue collinaire GOURIGUEUR.

Les résultats de l'analyse chimique ont montré que l'eau d'irrigation est moyennement à fortement salée, et faible en sodium, ( $CE = 1,01 \text{ mmhos.cm}^{-1}$  ;  $SAR = 4,89$ ).

Des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 d.Sm<sup>-1</sup> avec un SAR au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sol doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols.

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

**CHAPITRE IV :**  
**Choix des techniques d'arrosage**

## **CHAPITRE IV : Choix des techniques d'arrosage**

### **IV.1 Introduction**

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau. On appelle un mode d'irrigation la manière avec laquelle l'eau arrive de la source jusqu'à la culture, pour chaque mode on peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation.

Dans ce chapitre nous nous contenterons de donner une définition des différents modes et techniques d'irrigation, ainsi les critères de choix d'une technique convenable pour les différents contraintes qui caractérisent la zone d'étude.

### **IV.2 Irrigation gravitaire**

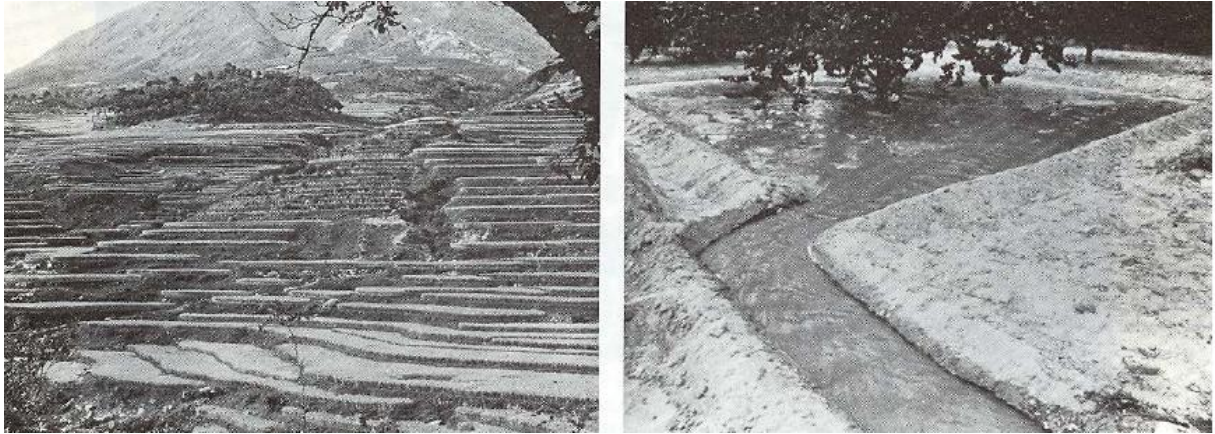
L'irrigation gravitaire encore appelée irrigation de surface consiste à prélever l'eau en un point haut et à la laisser s'écouler par gravité. On distingue de nombreuses techniques d'apporter l'eau. Nous n'en distinguerons que trois types :

#### **IV.2.1 Irrigation par bassins de submersion**

Dans l'irrigation par bassins de submersion, ceux-ci sont constitués de cuvettes en terre, à fond plat, entourées de diguettes de faible hauteur. Ces diguettes sont conçues pour empêcher le passage de l'eau dans les champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, Cette méthode est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers

Le temps de remplissage du bassin doit être suffisamment faible par rapport à la durée totale de l'infiltration de la dose pour obtenir une bonne uniformité de l'irrigation. La surface à donner à chaque bassin est donc fonction du débit disponible et de la perméabilité du terrain : elle peut varier de 7 m<sup>2</sup> par L/s pour des sols sableux à 70 m<sup>2</sup> par L /s pour des sols argileux. Des expérimentations in situ doivent être réalisées pour chaque périmètre afin de déterminer les valeurs optimales à retenir.

Dans cette méthode, les canaux d'arrivée d'eau sont très nombreux, et les pertes par infiltration sont importantes dans les canaux, La consommation d'eau est donc forcément forte et le rendement total de l'irrigation ne peut être bon.



**Figure IV.1 : Irrigation par bassins à flanc de coteau (à droite), les arbres fruitiers (à gauche)**

#### **IV.2.2 Irrigation à la raie**

L'irrigation à la raie consiste à aménager des sillons ou petites rigoles de terre dans le sens de la pente du terrain pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur des billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée.

La forme des sillons est généralement de forme trapézoïdale ou triangulaire. La section étant constante sur toute la longueur du sillon, le périmètre mouillé décroît d'amont en aval, ce qui entraîne des pertes par percolation à l'amont des rigoles.

L'écartement des sillons sera choisi en fonction de la nature du sol et des cultures pratiquées. L'humidification par infiltration latérale de toute la zone racinaire implique un espacement maximal d'autant plus faible que le sol sera très perméable.

La longueur à donner aux sillons est en relation avec les paramètres de l'irrigation (débits admis en tête de raie et la durée de l'irrigation).



**Figure IV.2 : Irrigation à la raie avec utilisation de siphons**

### IV.2.3 Irrigation par planches

L'irrigation par planches aussi appelées calants est surtout réservée aux cultures céréalières ou fourragères. L'irrigation à la planche, s'effectue par le ruissellement d'une lame d'eau sur une planche (terrain en pente parfaitement nivelé) délimitée par deux diguettes longitudinales ou levées, l'eau est déversée à la partie supérieure de la planche constituant le petit côté d'un rectangle. Le ruissellement en nappe uniforme implique un nivellement assurant une pente transversale nulle (écart toléré : 2 à 3 cm).

La largeur des planches varie de 5 à 30 m. Ce sont les conditions topographiques qui interviennent en premier lieu pour fixer cette largeur : on recherche, en effet, une pente transversale nulle, à la précision près des engins de nivellement (2 à 3 cm). Par ailleurs, afin d'éviter des percolations, on limite à 8 à 10 cm la dénivelée entre deux planches adjacentes. Cela fixe un maximum aux largeurs adoptées pour les planches lorsque la pente transversale n'est pas nulle.

La longueur L à donner aux planches est en relation avec la pente de ces dernières et le débit utilisé.



Figure IV.3 : Irrigation par planches (Alimentation des planches par siphons)

### IV.3 Irrigation par pluie artificielle

Le mode de l'irrigation par aspersion est conçu sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs sous la forme d'une pluie artificielle.

Ce mode d'irrigation a vu se développer différents types de matériel d'aspersion à commencer par les couvertures totales puis intégrales, les rampes pivotantes et frontales, enfin les enrouleurs avec canon asperseur.

On distingue deux grands types de systèmes d'irrigation par aspersion :

#### IV.3.1 Installations fixes ou semi-fixes

Les réseaux fixes sont composés de canalisations posées sur le sol en début de saison d'irrigation (ou jusqu'à la fin de la culture selon les cas), suivant une maille définie par les caractéristiques de l'asperseur qui est utilisé. Ils conviennent aux 1 cultures en ligne, mais ils gênent en règle générale la circulation des engins de traitement. On distingue :

- **la couverture intégrale** : pour laquelle la totalité des canalisations et des asperseurs est mise en place sur la parcelle. Des vannes permettent de compartimenter l'arrosage qui peut de ce fait être automatisé. C'est un système onéreux principalement employé pour l'arboriculture, les pépinières ou moins fréquemment le maraîchage ;
- **la couverture totale** ou comme dans le système précédent toutes les canalisations sont mises en place avant la saison et après le semis, mais où, contrairement à la couverture intégrale et par souci d'économie d'équipement seul un asperseur est mis en place sur la rampe. Ainsi une ligne d'asperseurs regroupés en une unité élémentaire sera déplacée de position en position pour arroser la parcelle.



Figure IV.4 : Irrigation par aspersion (Installations fixes ou semi-fixes)

### IV.3.2 Installations mobiles

Les rampes d'arrosage sont de deux types, il y a la rampe pivotante et la rampe frontale.

La rampe pivotante est un appareil d'irrigation automatique, généralement fixe, arrosant un cercle ou une portion de cercle en rotation autour d'un point central d'amenée d'eau, l'amenée d'eau se faisant par une conduite enterrée.

La rampe est une conduite aérienne, incluse dans une poutre, sur laquelle sont répartis les organes d'arrosage (asperseurs ou buses d'arrosage). Ces poutres sont articulées entre elles et soutenues par des tours montées sur pneus et équipées de moteurs identiques. Le rayon d'action de ces appareils est variable suivant les parcelles à irriguer, allant d'une centaine de mètres à 600-800 mètres (la surface arrosée moyenne est d'environ une centaine d'hectares).

La hauteur sous travée est de 2,9 ou 3,6 m. Dans les régions ventées, l'aspersion à une telle hauteur peut constituer un réel inconvénient. C'est la raison pour laquelle certains remplacent les asperseurs par des cannes télescopiques ou non, descendant jusqu'à 1,50 m du sol

Le système par rampe pivotante est un système d'irrigation automatique et fiable pour un investissement qui varie suivant le nombre d'hectares irrigués (les rampes les plus longues coûtant moins à d'hectare que les rampes courtes).





Figure IV.5 : Irrigation par aspersion, Installations mobiles (Pivot)

### IV.3.3 Irrigation par canons d'arrosage

L'enrouleur est constitué d'un asperseur ou d'un canon installé sur un traîneau à roues ou à patins fixé au bout d'un tube flexible enroulé sur une bobine. La bobine et le moteur hydraulique qui permet son réenroulement, ainsi que les matériels de contrôle du fonctionnement de l'ensemble, sont supportés par un chariot équipé de roues et monté dans la plupart des cas sur une tourelle. Le centre de la bobine est raccordé au réseau d'irrigation par un tuyau souple et une vanne appelée hydrant.

C'est un matériel d'une grande souplesse d'utilisation (arrosage de cultures différentes) qui s'adapte à tous les types de terrain et de relief et où les contraintes de main-d'œuvre sont acceptables.



Figure IV.6 : Irrigation par canon d'arrosage

### IV.4 Irrigation Localisée

Le principe l'irrigation localisée ou micro-irrigation est d'apporter au plus près de la plante l'eau ruissellement observées sur tous les autres systèmes d'irrigation. On arrive ainsi à n'apporter que 80 à 60 % au mieux de l'ETP. La micro-irrigation recouvre un grand nombre de systèmes qui ne peuvent se distinguer que par le débit délivré par les microémetteurs. Ces débits varient de 1 à 2 litres par heure pour les plus faibles appelés goutteurs jusqu'au débit des plus petits asperseurs utilisés en aspersion classique. On peut distinguer :

- des microémetteurs ou goutteurs dont les débits se situent en 1 l/h et 4 à 6 l/h ;
- des micro-jets dont la surface arrosée est de quelques mètres carrés et les débits de l'ordre de 10 à 60 l/h ;
- des micro-asperseurs dont le débit peut varier entre 500 et 600 l/h.

Tous ces émetteurs sont utilisés avec des pressions dites basses variant de 0,5 à bars.

Dans ces systèmes, l'eau est canalisée dans des tuyaux en plastique et distribuée à partir d'orifices de conception plus ou moins sophistiquée, appelés microémetteurs ou goutteurs ou de petites dérivations alimentent des micro-asperseurs ou micro-jets.

En micro-irrigation, la fréquence des arrosages est très supérieure à celles des autres méthodes, ce qui maintient une forte humidité du sol, proche de la capacité de rétention, favorable à la croissance des cultures.



**Figure IV.7 : Micro-irrigation par goutteurs**



**Figure IV.8 : Micro-irrigation par micro-asperseurs**

#### IV.5 Les avantages et les inconvénients des modes d'irrigations

On désigne par efficacité ou par efficacité d'un système le rapport entre les quantités d'eau effectivement utilisées et les quantités dérivées en tête de l'aménagement.

**Tableau IV.1 : Les avantages et les inconvénients des différents modes d'irrigations.**

<b>Irrigation gravitaire</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'investissement relativement faible.</li> <li>- Besoins en énergie faibles ou nuls.</li> <li>- Insensibilité au vent.</li> <li>- Matériel d'irrigation assez simple.</li> <li>- possibilité de lessivage sans risques d'érosion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertes importantes d'eau.</li> <li>- Temps d'irrigation important.</li> <li>- Inadaptation aux sols très filtrants.</li> <li>- Nécessité de nivellement et son entretien.</li> <li>- difficulté d'accès au terrain.</li> </ul>
<b>Irrigation par pluie artificielle</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de nivellement préalable.</li> <li>- Bonne adaptation à tous les types de sol.</li> <li>- Nécessite moins de mains d'œuvres.</li> <li>- Contrôle précis des doses appliquées.</li> <li>- Possibilité d'automatisation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'investissement élevé.</li> <li>- Dépense énergétique élevée.</li> <li>- Sensibilité au vent.</li> <li>- Exige une bonne qualité d'eau.</li> <li>- Main d'œuvre (installation mobile).</li> </ul>
<b>Irrigation localisée</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excellent rendement des cultures.</li> <li>- Excellent efficacité d'arrosage à la parcelle.</li> <li>- Très faible besoin de main d'œuvre.</li> <li>- Possibilité d'automatisation.</li> <li>- Favorable du point de Phytosanitaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite une maintenance rigoureuse.</li> <li>- Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation.</li> <li>- Coût très élevé du matériel.</li> <li>- Exige une bonne qualité d'eau.</li> <li>- Apte seulement pour les cultures par rangée.</li> </ul>

#### IV.6 Efficacité d'un système d'irrigation

On désigne par efficacité ou par efficacité d'un système le rapport entre les quantités d'eau effectivement utilisées et les quantités dérivées en tête de l'aménagement.

Cette notion s'apparente donc à un rendement. Elle doit être clairement explicitée en précisant, d'une part, le niveau considéré du système et, d'autre part, la durée de la période sur laquelle porte l'appréciation.

##### IV.6.1 Efficacité de l'irrigation à la parcelle

L'efficacité de l'irrigation à la parcelle représente le rapport entre les volumes d'eau effectivement utilisés par les plantes (évapotranspiration) et les volumes livrés en tête de parcelle.

Cette efficacité sera fonction de la technique d'irrigation utilisée, de son adéquation aux conditions du milieu naturel, de la technicité de l'irrigant.

### IV.6.2 Efficacité de l'application de l'eau (distribution)

L'efficacité de l'application de l'eau représente le rapport entre les volumes d'eau disponibles pour une utilisation par la culture et les volumes d'eau livrés aux champs d'irrigation. Il est important, ici, de préciser la période sur laquelle porte l'estimation.

$$E_d = 100 \cdot \frac{w_d}{w_s} \quad (I1.1)$$

$w_d$  : L'eau disponible pour une utilisation par la culture;

$w_c$  : L'eau livrée à champ.

L'efficacité de l'application de l'eau donne une idée générale de la façon dont un système d'irrigation effectue sa tâche principale d'obtenir de l'eau pour les racines des plantes.

### IV.6.3 Efficacité d'adduction (transport)

C'est le pourcentage de l'eau de source qui atteint le champ.

$$E_t = 100 \cdot \frac{w_c}{w_s} \quad (I1.2)$$

$w_c$  : L'eau délivrée à champ ;

$w_s$  : L'eau transportée de la source.

L'efficacité d'adduction est d'une grande importance lors que à irrigation de surface (canaux et fossés ouverts), pour l'irrigation suppression (conduits fermés) l'efficacité de transport devrait être près de 100 %.

### IV.6.3 Efficacité de l'uniformité de la distribution

C'est le pourcentage de la façon dont l'eau est uniformément appliqué sur la surface à arroser,

$$U_d = 100 \cdot \frac{l_q}{l_i} \quad (I1.3)$$

$l_q$  : Hauteur d'eau moyenne infiltrée sur le quart le moins arrosé de la placette de mesure ;

$l_i$  : Hauteur d'eau moyenne infiltrée sur l'ensemble de la placette.

En irrigation par aspersion, il est plus fréquent d'utiliser le coefficient d'uniformité introduit par Christiansen (1942) :

$$U_d = 100 \left( 1 - \frac{S}{M} \right) \quad (I1.4)$$

Où SD est l'écart type et M la moyenne des hauteurs d'eau mesurées à l'aide de pluviomètres disposés au centre des mailles d'un réseau quadrillant la parcelle ou l'élément de parcelle étudiée.

*En irrigation de surface*, de la conception du réseau et des variables qui caractérisent une irrigation (débit de la raie, temps d'irrigation, pente, rugosité, caractéristiques physiques du sol, forme de l'élément d'irrigation, longueur de l'élément d'irrigation).

*En irrigation par aspersion*, de la pression de service, de la variation de cette pression durant l'irrigation, de l'espacement entre les asperseurs, de la nature des buses, des caractéristiques de l'asperseur et de la vitesse du vent.

*En irrigation localisée*, de la pression au niveau des distributeurs ainsi que sa variation, des caractéristiques des distributeurs et leur sensibilité à la variation de la pression et à l'obstruction.

#### IV.6.4 Efficience d'un système d'irrigation

L'efficience globale d'un système d'irrigation résulte des rendements en cascade qui affectent le transport, la distribution et l'uniformité. La formule communément employée pour l'estimation de l'efficacité d'un réseau d'irrigation, est donnée l'expression suivant

$$E_i = E_d \cdot E_t \cdot U_d \quad (11.5)$$

Avec :

$E_i$ : Efficience d'irrigation en (%) ;

$E_t$ : Efficience de transport en (%) ;

$E_d$ : Efficacité de distribution en (%) ;

$U_d$ : Efficacité de l'uniformité de la distribution.

L'évaluation exacte des pertes est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent. Les ordres de grandeurs suivants peuvent être proposés

**Tableau IV.2 : Gamme de l'efficacité des différents systèmes d'irrigation.**

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

Source : Valeurs indiquées dans divers articles de la FAO.

#### IV.7 Critères et options pour des techniques d'irrigation appropriées

L'adaptation des différentes techniques d'irrigation, à savoir l'irrigation de surface, par aspersion ou micro-irrigation, dépend principalement des contraintes suivantes:

##### IV.7.1 Les contraintes naturelles

Les conditions naturelles telles que le type de sol, la pente, le climat, la qualité de l'eau et sa disponibilité, ont l'impact suivant sur le choix d'une technique d'irrigation :

*Type de sol*

Les sols sableux sont caractérisés par une faible capacité de rétention et un taux d'infiltration élevé. C'est pourquoi, en sols sableux, la dose d'arrosage est faible mais les arrosages sont moins espacés, surtout quand ces sols ne sont pas profonds. Dans ces conditions, l'irrigation par aspersion ou au goutte à goutte est plus appropriée que l'irrigation de surface. Avec du limon ou de l'argile les trois méthodes sont utilisables, mais l'irrigation de surface est la plus courante. Les sols argileux à faible taux d'infiltration offrent des conditions idéales à l'irrigation de surface.

Quand le sol est hétérogène à l'intérieur d'un périmètre d'irrigation, l'irrigation par aspersion ou au goutte à goutte assure une meilleure uniformité de distribution que l'irrigation de surface.

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

*La pente*

L'irrigation par aspersion ou au goutte à goutte est préférable sur des terrains à forte pente ou à pente irrégulière. En effet, chacune des deux méthodes requiert peu ou pratiquement pas de travaux de nivellement. L'exception à cette règle est le cas des rizières aménagées en terrasses sur des terrains à fortes pentes.

L'irrigation de surface ne s'adapte pas facilement aux terrains à pente irrégulière, car la préparation des bassins, sillons ou planches requiert des travaux de nivellement considérables.

Notre périmètre a une pente qui ne dépasse pas les 2 % en général, donc cette dernière ne présente aucune contrainte particulière.

*Le climat*

Les vents forts peuvent déformer les trajectoires des filets liquides en irrigation par aspersion. Dans des régions à vents forts dominants, l'irrigation à la goutte à goutte ou de surface est préférable. En irrigation d'appoint, les méthodes par aspersion et au goutte à goutte sont plus appropriées que l'irrigation de surface, puisqu'elles ont la flexibilité de s'adapter à la demande variable en eau au niveau de la ferme.

notre zone d'étude est caractérisée par des vitesses faibles d'une part et moyenne d'autre part ( 1.9 m/s au moyen ), et est caractérisée par un évaporation élevé durant l'été, ce qui provoque une perte d'eau importante.

*La disponibilité de l'eau*

L'efficacité d'un réseau d'irrigation (**Tableau IV.2**) par aspersion ou au goutte à goutte est généralement supérieure à celle d'un réseau d'irrigation de surface; par conséquent ces deux méthodes sont préférables à l'irrigation de surface au cas où les ressources en eau sont limitées. Par ailleurs, il est bon de rappeler que l'efficacité d'irrigation dépend aussi bien des compétences de l'agriculteur que de la méthode utilisée.

*La qualité de l'eau*

Avec une eau chargée de sédiments, il est plus convenable d'utiliser la technique d'irrigation de surface que les autres techniques par aspersion ou au goutte à goutte. En effet, les sédiments peuvent provoquer l'obstruction des asperseurs ou des goutteurs. Dans le cas d'une eau saline, l'irrigation au goutte à goutte est particulièrement appropriée. En effet, comme l'eau est fournie aux pieds des plantations, la salinité du sol ne sera pas sérieusement affectée par l'irrigation à l'eau saline.

**IV.7.2 Les contraintes agricoles**

Le choix du système d'irrigation pour se conformer à la nature des plantes cultivées à irriguer. Les cultures en lignes et l'espacement de ces lignes, La valeur financière et la hauteur des cultures sont facteurs à prendre en considération lors du choix de la technique d'irrigation.

Les types des cultures envisagées dans notre périmètre de MESKIANA sont constitués de cultures fourragère, céréale, maraîchage, pour des raisons d'économie d'eau essentiellement on retient l'irrigation par aspersion pour les cultures fourragères et maraîchages.

**IV.7.3 Les contraintes techniques et économiques**

Le niveau de technicité requis pour l'installation et le fonctionnement d'une méthode d'irrigation affecte sa sélection dans un cas déterminé. En général, les techniques des méthodes d'irrigation par aspersion et au goutte à goutte sont plus complexes que celles de l'irrigation de surface.

Les équipements des réseaux d'irrigation de surface, et spécialement pour les projets d'irrigation à petite échelle, sont plus simples et plus faciles à entretenir, à moins que le pompage des eaux soit requis.

**IV.7.4 Les contraintes Sociales et institutionnelles**

Le choix d'une méthode d'irrigation dépend des traditions des irrigations dans la région ou dans le pays. L'introduction d'une nouvelle méthode d'irrigation peut amener des difficultés inattendues. Généralement, les agriculteurs sont réticents à adopter les nouvelles techniques d'irrigation. La gestion des équipements sera aléatoire, et les frais seront trop élevés comparés aux bénéfices.

Les besoins en main- d'œuvre pour l'aménagement, le fonctionnement et l'entretien des projets d'irrigation de surface sont toujours supérieurs à ceux des projets d'irrigation par aspersion ou au goutte à goutte. L'irrigation de surface nécessite des travaux de préparation de terrain assez soignés, un entretien régulier et une bonne conduite des irrigations pour assurer le bon fonctionnement du réseau. En aspersion ou au goutte à goutte, les travaux de préparation du terrain sont très minimes, et les besoins en main-d'œuvre pour le fonctionnement et l'entretien des réseaux sont moins importants que pour l'irrigation de surface.

#### IV.8 Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage

Une analyse multicritères du choix des techniques d'arrosage basée sur les différents contraintes , résume le choix adéquat pour le zone considérée .

**Tableau IV.3 : Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage.**

Contraintes	Irrigation de surface	Irrigation par Aspersion	Irrigation localisé
<b>Climat</b>			
Semi-aride	1	2	2
Evaporation	1	2	2
Vent (1.9 m/s)	3	2	3
<b>L'alimentation en eau</b>			
Salinité « moyenne »	2	1	1
Ressource « retenu »	3	3	3
<b>Sol et terrain</b>			
Perméabilité (moy)	2	3	2
Texture (limoneuse)	2	2	3
Salinité	1	1	1
Erosion (moy)	1	2	2
Pente (2%)	3	3	3
<b>Agriculture</b>			
Maraîchage	2	2	3
Fourragère et céréales	1	3	0
<b>Economique</b>			
Economie d'eau	0	2	3
Coût de construction	2	1	1
Coût d'exploitation	1	2	2
<b>Social et institutionnel</b>			
Facile à gérer	2	2	2
Personnels qualifié	3	2	2
Potentiel de l'automatisation	0	3	3
Temps d'irrigation	2	3	1
<b>Adaptation (%)</b>	<b>54.39</b>	<b>70.18</b>	<b>66.67</b>

- 0: Déconseillé ;
- 1: Adapté avec réserve;
- 2 : Adapté ;
- 3 : Très Adapté.



**IV.9 Conclusion**

En se basant sur ce qui précède, et en fonction des caractéristiques climatiques, agropédologiques et sociales de la zone d'étude, on peut choisir la technique d'irrigation par aspersion qui présente beaucoup d'avantage par rapport à les autres techniques d'irrigation.

Pour les cultures de l'assolement on opte l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisé, on propose que l'efficience globale de cette technique d'irrigation est 85 %.

## **CHAPITRE V :**

### **Estimation des besoins en eau d'irrigation**

## CHAPITRE V : Estimation des besoins en eau d'irrigation

### V.1 Introduction

L'évaluation du potentiel d'irrigation, sur la base de ressources du sol et de l'eau, ne peut se faire en évaluant simultanément les besoins en eau d'irrigation.

Les besoins nets en eau d'irrigation est la quantité d'eau nécessaire à la croissance des cultures. Elle est exprimée en millimètres par mois et par hectare ou en ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mois}^{-1}$ ), ils dépendent de la répartition et du cycle végétatif des cultures, le climat et la capacité de stockage de l'eau dans le sol.

Dans ce chapitre, nous allons analyser tous ces paramètres de la manière la mieux adaptée à la zone d'étude, afin de mieux estimer les besoins nets en eau d'irrigation.

### V.2 Estimation de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le transfert d'un vapeur d'eau à partir d'une couverture végétal, La quantité d'eau perdue, la surface est la somme de l'évaporation physique du sol et de transpiration végétale.

On appelle ainsi évapotranspiration la quantité totale d'eau consommée par l'ensemble couvert végétal-sol qui ne pourra être satisfaisante que si l'offre du sol le permet.

Le phénomène d'évapotranspiration exprime donc une demande climatique ou « pouvoir » évaporant de l'air représentée par un passage dans l'atmosphère de l'eau de la phase liquide à la phase gazeuse et reliée de façon étroite aux éléments du climat : température, humidité de l'air, vent, rayonnement ...

#### V.2.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Il s'agit d'une valeur d'évapotranspiration maximale de référence pouvant représenter la demande climatique. On la définit comme étant la quantité d'eau transpirée par unité de temps par une végétation courte et verdoyante, recouvrant complètement le sol, de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau. Donc l'ETP ne dépend que des conditions météorologiques observées.

Pour cela, il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de référence, les plus utilisées, sont : [Messahel M. (2013-2014)]

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

En ce qui concerne les méthodes empiriques, il existe des formules de calcul dont les principales sont:

- Thornthwaite (1944).
- Blaney – Criddle généralisée (1950).
- Turc (1962).
- Penman- Monteith-FAO (1998).

L'utilisation de ces modèles nécessite la connaissance de certaines données climatiques telles que, les températures maximales et minimales de l'air, les humidités relatives maximale et minimale, la radiation solaire globale et la vitesse du vent.

### V.2.1.1 Méthode de Thornthwaite

L'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1944 une expression pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$E = 16. \left( \frac{10.T}{I} \right)^a . K \quad (V. 1)$$

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

T : La moyenne interannuelle des températures du mois (°C).

I : L'indice thermique annuel  $I = \sum_{m=1}^{12} i(m)$ .

i : L'indice thermique mensuel  $i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.5}$ .

a : Exposant en fonction de l'indice thermique annuel  $a = 0.016.I + 0.5$  (Serra L. 1954).

K : Un coefficient de correction liée à la latitude et du mois considérés (**Annexe V.1**).

Les résultats de l'application de cette formule sur la plaine de Meskiana sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau V.1 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
<b>T(C°)</b>	21.63	17.09	10.77	7.27	6.2	7.08	10.1	12.66	17.71	23.23	26.19	25.87	
<b>i</b>	9.18	6.43	3.20	1.76	1.38	1.69	2.90	4.08	6.79	10.23	12.27	12.04	71.959
<b>a</b>	1.65												
<b>K</b>	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	
<b>ETP</b>	101.45	64.75	26.78	13.67	10.88	13.24	28.85	44.74	85.66	135.19	167.51	153.55	846.267

### V.2.1.2 Méthode de Blaney – Criddle généralisée

C'est une méthode simple, basée sur la température de l'air, Elle ne fait intervenir directement qu'un seul facteur météorologique: la température.

Cette formule ne convient que pour les pays arides et semi-arides. L'évapotranspiration de référence en mm/jour ou période considérée est donnée par :

$$E = P \times (0,457 \times T + 8,13) \quad (V.2)$$

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

T : La moyenne interannuelle des températures du mois (°C).

P: Pourcentage d'éclairement mensuel, fonction de la latitude (**Annexe V.2**).

Les résultats de l'application de cette formule sur la plaine de Meskiana sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau V.2 : Valeurs de l'ETP estimées par la méthode de Blaney – Criddle généralisée.**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
T(°C)	21.63	17.09	10.77	7.27	6.2	7.08	10.1	12.66	17.71	23.23	26.19	25.87
P	8.36	7.88	6.99	6.89	7.08	6.90	8.35	8.82	9.73	9.74	9.90	9.35
ETP	151.09	126.06	91.51	79.08	77.73	78.53	106.72	123.04	158.45	183.25	199.78	187.35

### V.2.1.3 Méthode de Turc

Suite à ses expériences faites sur des cuves lysimétriques à Versailles, Rothamsted et Groningen, L. Turc a publié une gamme de formules permettant le calcul de l'ETP. En 1962, il ajouta à sa formule de calcul de l'ETR, le bilan radiatif et introduisit l'humidité relative. En gardant la simplicité et la disponibilité des données météorologiques, la formule de Turc s'écrit ainsi :

Si  $h_r \geq 50\%$

$$E = 0.013 \times j \times (I_g + 50) \frac{T}{T + 15} \quad (V.3)$$

Si  $h_r < 50\%$

$$E = 0.013 \times j \times (I_g + 50) \times \left(1 + \frac{50 - h_r}{h_r}\right) \times \frac{T}{T + 15} \quad (V.3)$$

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

T : La moyenne interannuelle des températures du mois (°C).

$h_r$  : L'humidité relative moyenne de l'air sur la période (%).

$I_g$  : La radiation solaire globale ( $\text{cal.cm}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ )

$$I_a = I_g (0.18 + 0.62 h/H)$$

$I_a$  : La radiation maximale théorique tirée des abaques (**Annexe V.3**)

$H$  : La durée astronomique du jour, définie à partir des abaques (**Annexe V.4**).

$h$  : La durée d'insolation effective mesurée par l'héliographe (**cf. Chapitre 01, Tableau I.8**).

Les résultats de l'application de cette formule sur la plaine de Meskiana sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau V.3 : Valeurs de l'ETP estimées par la méthode de Turc.**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
hr(%)	61.35	66.65	73.60	79.00	77.90	71.80	68.90	67.50	61.95	52.15	45.60	50.20
T(°C)	21.63	17.09	10.77	7.27	6.20	7.08	10.10	12.66	17.71	23.23	26.19	25.87
H (heurs)	372.78	348.90	305.80	299.25	312.13	307.45	371.23	394.10	439.20	440.53	446.75	420.65
h (heurs)	242.40	226.80	175.70	153.20	161.20	180.60	237.60	244.70	275.50	293.20	339.00	296.30
Iga	745.60	591.40	452.30	387.53	428.53	552.85	714.05	855.03	947.23	980.33	957.00	873.58
Ig	434.80	344.80	242.54	192.76	214.35	300.86	411.88	483.06	538.89	580.99	622.49	538.75
ETP	111.65	82.00	47.68	30.91	30.15	43.88	72.48	95.15	124.35	149.53	188.95	145.34

#### V.2.1.4 Méthode de Penman- Monteith-FAO

En 1948, Penman et Monteith ont combiné le bilan énergétique avec la méthode de transfert de masse et dérivé une équation pour calculer l'évaporation d'une surface libre d'eau à partir des enregistrements climatologiques de l'ensoleillement, la température, l'humidité et la vitesse du vent.

En 1998, la FAO a recommandé l'adoption de la méthode de combinaison de Penman-Monteith comme une évapotranspiration de référence notée ( $E_0$ ) et élaboré les procédures de calcul des différents paramètres. En définissant la culture de référence comme étant une culture hypothétique avec une hauteur supposée de 0,12 m ayant une résistance de surface de  $70 \text{ s m}^{-1}$  et un albédo de 0,23, La formule de Penman- Monteith-FAO, se présentant comme suite :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (V.4)$$

$ET_0$  : L'évapotranspiration de référence mensuelle (mm).

$T$  : La moyenne interannuelle des températures du mois (°C).

$R_n$  : La radiation nette à la surface des cultures ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ j}^{-1}$ ).

$G$  : Le flux de chaleur du sol ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ j}^{-1}$ )

$e_s$  : La pression saturante de vapeur d'eau (KPa).

$e_d$  : La pression actuelle de vapeur d'eau (KPa).

$\Delta$  : La pente de la courbe de la pression de vapeur.

$\gamma$  : La constante psychométrique (KPa °C<sup>-1</sup>).

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide de logiciel d'aide au pilotage d'irrigation CROPWAT8, fondé sur la méthode de Penman- Monteith-FAO, Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les informations mensuelles de la station météorologique (la température, l'humidité, la vitesse du vent et l'insolation).

Les résultats de l'application de cette formule sur la plaine de Meskiana sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau V.4 : Valeurs de l'ETP estimées par la Méthode de Penman- Monteith-FAO.**

Mois	Temp.Moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray MJ/m <sup>2</sup> /jour	ETo mm
<b>Janvier</b>	6.2	78	1.7	5.2	9.2	31.27
<b>Février</b>	7.1	72	1.9	6.5	12.6	41.93
<b>Mars</b>	10.1	69	2	7.7	16.9	71.35
<b>Avril</b>	12.7	68	2	8.2	20.2	91.37
<b>Mai</b>	17.7	62	2	8.9	22.8	127.6
<b>Juin</b>	23.2	52	1.9	9.8	24.5	160.1
<b>Juillet</b>	26.2	46	2.2	10.9	25.9	196.46
<b>Août</b>	25.9	50	2.4	9.9	23.1	183
<b>Septembre</b>	21.6	61	1.4	7.8	17.9	113.04
<b>Octobre</b>	17.1	67	1.5	7.6	14.6	81.58
<b>Novembre</b>	10.8	74	1.6	5.7	10.1	44.58
<b>Décembre</b>	7.3	79	1.9	5.1	8.5	31.39
<b>Totale</b>						1173.66

### V.2.1.5 Critique et choix

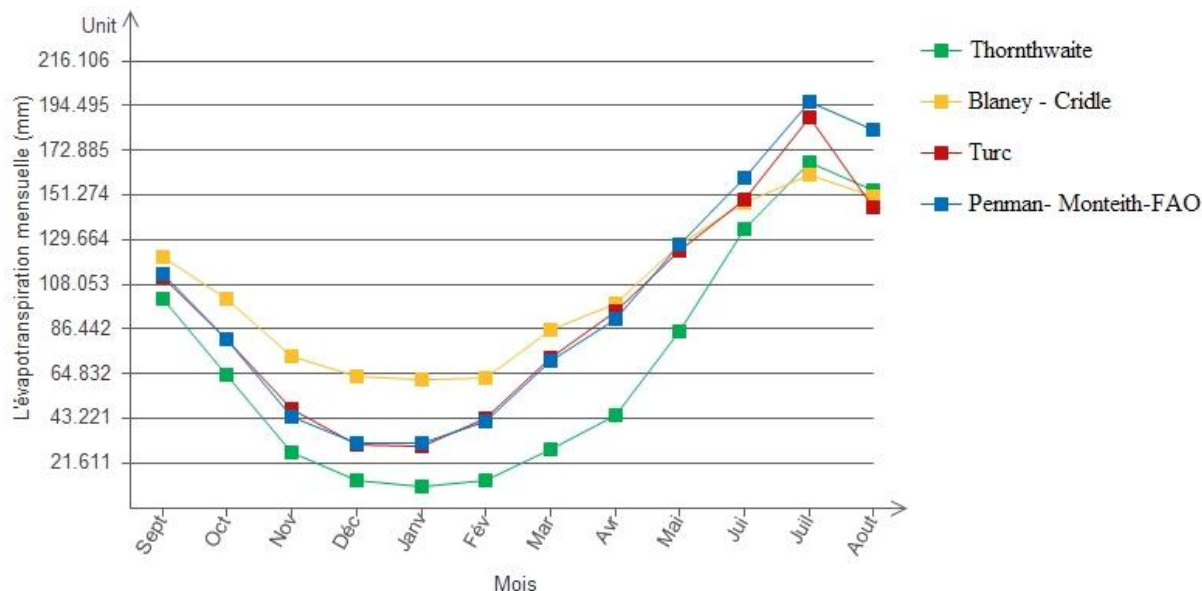
Nous observons des résultats hétérogènes selon les méthodes utilisées (**Figure V.1**). Les deux premières méthodes sont des méthodes d'estimation de l'évapotranspiration (Thornthwaite et Blaney – Criddle) ne font intervenir directement qu'un seul facteur météorologique: la température. Or il est certain que les besoins en eau des cultures peuvent varier fortement pour des régions ayant une température de l'air similaire.

D'une façon générale e quelque soit la zone considérée, les formules qui donnent les meilleurs résultats sont celles qui font intervenir la radiation (Turc, Penman- Monteith-FAO). Ces deux dernières méthodes ont des résultats très proches.

Nous entraîne donc à choisir l'évapotranspiration calculée par la formule de Penman-Monteith-FAO, qui se base sur le bilan énergétique.

**Tableau V.5 : L'évapotranspiration mensuelle selon les méthodes utilisées**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
<b>Thornthwaite</b>	101.45	64.75	26.78	13.67	10.88	13.24	28.85	44.74	85.66	135.19	167.51	153.55
<b>Blaney – cridle</b>	121.78	101.61	73.76	63.74	62.65	63.29	86.02	99.17	127.71	147.70	161.03	151.01
<b>Turc</b>	111.65	82.00	47.68	30.91	30.15	43.88	72.48	95.15	124.35	149.53	188.95	145.34
<b>Penman-M-FAO</b>	113.04	81.58	44.58	31.39	31.27	41.93	71.35	91.37	127.6	160.1	196.46	183



**Figure I.1 : L'évapotranspiration mensuelle selon les méthodes utilisées**

### V.2.2 Estimation de l'évapotranspiration maximale (ETM)

Pendant une période déterminée (jour, mois, cycle végétatif...), chaque parcelle va perdre, par transpiration et évaporation directe, une certaine quantité d'eau appelée évapotranspiration réelle, notée **ETR**. Celle-ci pourra être inférieure ou égale à l'ETP, rarement supérieure, selon la culture en place.

L'évaporation réelle dépend :

- De la culture considérée et de la densité de végétation ;
- Du stade phénologique de cette culture ;
- Du contenu en eau du sol ;
- Des conditions météorologiques observées.

En l'absence de facteurs limitants, quand l'apport d'eau satisfait complètement les besoins de la plante et que le sol est largement pourvu en eau, c'est-à-dire dans les limites proches de la capacité de rétention, la régulation stomatique est minimale et l'évapotranspiration réelle est maximale. On la note **ETM**. Les racines absorbent toute l'eau dont la plante a besoin dans les limites de la réserve facilement utilisable (RFU). C'est dans cette situation d'ETM que la plante produit le maximum de matière sèche donc un rendement maximum.

L'évaporation maximale dépend aussi :

- De la culture considérée ;
- Du stade phénologique de cette culture ;
- Des conditions météorologiques observées.



Les expériences ont montré que pour chaque période végétative il existe une relation entre l'ETM de cette culture et l'ETP du lieu. En effet l'ETP ne dépend que des conditions climatiques alors que l'ETM, pour une culture donnée, dépend essentiellement de l'état de croissance de la culture. Autrement dit, par culture et par stade de croissance, on peut écrire :

$$E' = K \cdot E \quad (V.5)$$

Kc représente le coefficient cultural pour une culture, à un stade donné dans le cycle végétatif et pour une formule définie de l'ETP.

Le coefficient Kc est inférieur à l'unité. Mais nous verrons que pour quelques cultures à certains stades Kc est supérieur à 1 c'est-à-dire que  $ETM > ETP$ . Cela tient au fait que l'indice foliaire est élevé.

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

**Tableau V.6 : Coefficient cultural (Kc) de chaque culture, en fonction du stade végétatif de la plante.**

Culture	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Bersim	1,01									0,65	0,95	1,00
Maïs				0,50	1,15	1,15	0,60	0,60				
Avoine	1,10	1,20	1,00						0,60	0,90	1,00	1,10
Blé dur- Orge	1,00	1,05	1,15	1,15	0,20	0,20					0,70	0,85
Sorgho					0,80	1,00	1,15	0,75				
Piment						1,05	1,05	1,35	1,45	1,00	0,85	
Petit pois, sec	1,20	1,20	1,40	1,40	2,15							0,95
Carotte									0,80	1,00	1,10	0,75
Oignon, vert									0,70	1,10	0,90	0,85
Oignon, sec	0,70	0,90	1,00	1,10	0,90	0,85						
Pomme de terre			0,75	1,10	1,20	0,75						
Ail					1,00	1,05	0,90	0,85				
Navet tardif									0,80	1,00	1,10	0,75
Chou cabus									0,75	1,05	1,05	0,90
Melon				0,70	0,75	1,05	0,90					
Laitue								0,80	1,00	0,90		
Haricot, vert				0,75	0,95	0,70						

Source : Bulletin « irrigation et drainage », (Bulletin F.A.O, N° 24).

Il peut donc évaluer les besoins maximums des plantes avec la relation (V.5).

### V.3 Estimation de la pluie efficace

La pluie efficace c'est la partie des précipitations qui contribue à satisfaire les besoins en eau de la culture et/ou le besoin net d'eau d'irrigation.

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

Par conséquent, en l'absence de telles données, nous utiliseront couramment des méthodes expérimentales, dont les principales sont:

- La méthode proposée par la FAO :

$$P_e = \alpha \cdot P \quad (V.6)$$

$P_e$  : La précipitation efficace en (mm/mois) ;

$P$  : La précipitation (mm/mois), On prend la précipitation de probabilité de dépassement 80% ( $P_8$  %) (cf. Chapitre 03);

$\alpha$  : Coefficient pour les zones aride et semi-aride  $0.7 < \alpha < 0.95$ .

- La méthode de Tixeront-Berkaloff :

$$P_e = P - \left( \frac{P^3}{3E} \right) \quad (V.7)$$

$E$  : L'évapotranspiration potentielle ( $ET_0$ ).

- La méthode de Clément et Galand :

Si  $P < 20 \text{ m}$   $P_e = P$

Si  $P \geq 20 \text{ m}$   $P_e = P - 0.15(P - 20)$  (V.8)

- La méthode du département américain de l'agriculture (USDA) :

Si  $P < 250 \text{ m}$   $P_e = P \left( 1 - \frac{0.2 \times P}{1} \right)$  (V.9.a)

Si  $P \geq 250 \text{ m}$   $P_e = 125 + 0.1 \times P$  (V.9.b)

Le Tableau V.7 montrer les résultats obtenus par les différentes méthodes.

**Tableau V.7 : Les précipitations efficaces par les différentes méthodes dans la zone d'étude**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b><math>P_8</math> %</b>	23.41	18.30	26.60	22.18	30.80	20.48	8.76	24.88	32.94	25.44	28.21	23.22
<b><math>P - F</math></b>	20.60	16.10	23.41	19.52	27.10	18.02	7.71	21.89	28.99	22.39	24.82	20.43
<b><math>P - T</math></b>	19.04	17.14	25.37	21.74	30.20	20.37	8.75	24.73	32.01	24.62	24.44	18.98
<b><math>P - c \text{ ém}</math></b>	22.90	18.30	25.61	21.85	29.18	20.41	8.76	24.15	31.00	24.62	26.98	22.74
<b><math>P - U</math></b>	22.53	17.76	25.47	21.39	29.28	19.81	8.64	23.89	31.20	24.40	26.94	22.36

Nous choisissons la méthode proposée et recommandée par l'USDA, adaptée pour notre projet.

#### V.4 Calcul des besoins nets en eau d'irrigation

Lorsqu'on établit les besoins périodiques en eau d'irrigation pour une culture ou un plan de culture donnés, il faut tenir compte de façon préférentielle de trois variables ( $ETP$ ,  $P_{eff}$  et  $RFU$ ). La relation qui existe entre les besoins nets  $B_{net}$  et ces variables peut être exprimée comme suit:

$$B_n = E' - P_e - R \quad (V.10)$$

Toutes les variables sont déjà définies, les valeurs négatives de  $B_n$  pour une période traduisent des excédents, tandis que des valeurs positives indiquent des déficits.

On suppose que les périodes soient indépendantes, donc l'excès d'eau d'une période n'influe pas sur la prochaine période.

Les résultats de calcul des besoins nets en eau d'irrigation des cultures sont détaillés dans le Tableau (**Tableau V.8**).

### V.5 Calcul des besoins bruts en eau d'irrigation

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

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

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

$$B_b = \frac{B_n}{E_i} \quad (V.11)$$

$B_b$  : Besoin brut des cultures (mm) ;

$B_n$  : Besoin des cultures (mm) ;

$E_i$  : L'efficacité globale du système d'irrigation, on prend  $E_i = 0.85$  (cf. Chapitre IV).

Les résultats de calcul des besoins en eau de chaque culture figurent dans un tableau récapitulatif (**Tableau V.9**).

**Tableau V.8 : Besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois)**

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Peff (mm)</b>	22.53	17.76	25.47	21.39	29.28	19.81	8.64	23.89	31.2	24.4	26.94	22.36
<b>ETP (mm)</b>	31.27	41.93	71.35	91.37	127.6	160.1	196.46	183	113.04	81.58	44.58	31.39
<b>Bersim</b>	<b>ETM (mm)</b>	31.58								53.03	42.35	31.39
	<b>RFU (mm)</b>	15.53								3.11	6.21	9.32
	<b>Bnet (mm)</b>	-6.48								25.52	9.20	-0.29
<b>Maïs</b>	<b>ETM (mm)</b>				45.69	146.74	184.12	117.88	109.80			
	<b>RFU (mm)</b>				6.21	12.43	18.64	24.85	31.06			
	<b>Bnet (mm)</b>				18.08	105.03	145.67	84.39	54.85			
<b>Avoine</b>	<b>ETM (mm)</b>	34.40	50.32	71.35						67.82	73.42	44.58
	<b>RFU (mm)</b>	3.73	4.97	6.21						1.86	2.49	3.11
	<b>Bnet (mm)</b>	8.14	27.59	39.67						34.76	46.54	14.53
<b>Blé dur- Orge</b>	<b>ETM (mm)</b>	31.27	44.03	82.05	105.08	25.52	32.02					31.21
	<b>RFU (mm)</b>	24.85	31.06	37.28	37.28	43.49	43.49					18.64
	<b>Bnet (mm)</b>	-16.11	-4.80	19.31	46.41	-47.25	-31.28					-14.37
<b>Sorgho</b>	<b>ETM (mm)</b>					102.08	160.10	225.93	137.25			
	<b>RFU (mm)</b>					12.43	24.85	31.06	37.28			
	<b>Bnet (mm)</b>					60.37	115.44	186.23	76.08			
<b>Piment</b>	<b>ETM (mm)</b>						168.11	206.28	247.05	163.91	81.58	37.89
	<b>RFU (mm)</b>						24.85	37.28	43.49	49.70	55.91	62.13
	<b>Bnet (mm)</b>						123.44	160.37	179.67	83.01	1.27	-51.17
<b>Petit pois. sec</b>	<b>ETM (mm)</b>	37.52	50.32	99.89	127.92	274.34						29.82
	<b>RFU (mm)</b>	43.49	49.70	62.13	74.55	74.55						43.49
	<b>Bnet (mm)</b>	-28.49	-17.15	12.29	31.98	170.51						-36.03
<b>Carotte</b>	<b>ETM (mm)</b>									90.43	81.58	49.04
	<b>RFU (mm)</b>									6.21	12.43	15.53
	<b>Bnet (mm)</b>									53.02	44.75	6.57

Suite de Tableau V.8

<b>Oignon. vert</b>	<b>ETM (mm)</b>									79.13	89.74	40.12	26.68
	<b>RFU (mm)</b>									18.64	24.85	31.06	37.28
	<b>Bnet (mm)</b>									29.29	40.49	-17.88	-32.95
<b>Oignon. sec</b>	<b>ETM (mm)</b>	21.89	37.74	71.35	100.51	114.84	136.09						
	<b>RFU (mm)</b>	18.64	18.64	24.85	31.06	37.28	37.28						
	<b>Bnet (mm)</b>	-19.28	1.34	21.03	48.05	48.28	79.00						
<b>Pomme de terre</b>	<b>ETM (mm)</b>			53.51	100.51	153.12	120.08						
	<b>RFU (mm)</b>			6.21	15.53	21.74	24.85						
	<b>Bnet (mm)</b>			21.83	63.59	102.10	75.41						
<b>Ail</b>	<b>ETM (mm)</b>					127.60	168.11	176.81	155.55				
	<b>RFU (mm)</b>					6.21	12.43	18.64	21.74				
	<b>Bnet (mm)</b>					92.11	135.87	149.54	109.92				
<b>Navet tardif</b>	<b>ETM (mm)</b>									90.43	81.58	49.04	23.54
	<b>RFU (mm)</b>									6.21	12.43	15.53	18.64
	<b>Bnet (mm)</b>									59.23	57.18	22.10	1.18
<b>Chou cabus</b>	<b>ETM (mm)</b>									84.78	85.66	46.81	28.25
	<b>RFU (mm)</b>									12.43	15.53	18.64	24.85
	<b>Bnet (mm)</b>									41.15	45.73	1.23	-18.96
<b>Melon</b>	<b>ETM (mm)</b>				63.96	95.70	168.11	176.81					
	<b>RFU (mm)</b>				3.11	4.35	6.21	12.43					
	<b>Bnet (mm)</b>				39.46	62.07	142.08	155.75					
<b>Laitue</b>	<b>ETM (mm)</b>								146.40	113.04	73.42		
	<b>RFU (mm)</b>								6.21	12.43	15.53		
	<b>Bnet (mm)</b>								116.30	69.41	33.49		
<b>Haricot. vert</b>	<b>ETM (mm)</b>				68.53	121.22	112.07						
	<b>RFU (mm)</b>				6.21	12.43	18.64						
	<b>Bnet (mm)</b>				40.92	79.51	73.62						

**Tableau V.9 : Tableau récapitulatif des besoins nets en eau d'irrigation (mm/mois)**

<b>Culture</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Total</b>
<b>Bersim</b>	0.00									25.52	9.20	0.00	34.72
<b>Maïs</b>				18.08	105.03	145.67	84.39	54.85					408.02
<b>Avoine</b>	8.14	27.59	39.67						34.76	46.54	14.53	0.00	171.22
<b>Blé dur- Orge</b>	0.00	0.00	19.31	46.41	0.00	0.00					0.00	0.00	65.72
<b>Sorgho</b>					60.37	115.44	186.23	76.08					438.12
<b>Piment</b>						123.44	160.37	179.67	83.01	1.27	0.00		547.75
<b>Petit pois, sec</b>	0.00	0.00	12.29	31.98	170.51							0.00	214.78
<b>Carotte</b>									53.02	44.75	6.57	0.00	104.34
<b>Oignon, vert</b>									29.29	40.49	0.00	0.00	69.78
<b>Oignon, sec</b>	0.00	1.34	21.03	48.05	48.28	79.00							197.70
<b>Pomme de terre</b>			21.83	63.59	102.10	75.41							262.92
<b>Ail</b>					92.11	135.87	149.54	109.92					487.43
<b>Navet tardif</b>									59.23	57.18	22.10	1.18	139.69
<b>Chou cabus</b>									41.15	45.73	1.23	0.00	88.11
<b>Melon</b>				39.46	62.07	142.08	155.75						399.36
<b>Laitue</b>								116.30	69.41	33.49			219.20
<b>Haricot, vert</b>				40.92	79.51	73.62							194.06
<b>Total</b>	8.14	28.92	114.13	288.49	719.99	<b>890.54</b>	736.26	536.81	369.88	294.96	53.63	1.18	4042.93

**Tableau V.10 : Tableau récapitulatif des besoins bruts en eau d'irrigation (mm/mois)**

Culture	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
<b>Bersim</b>										30.02	10.82		408.46
<b>Maïs</b>				21.27	123.57	171.37	99.28	64.53					4800.18
<b>Avoine</b>	9.58	32.45	46.67						40.89	54.75	17.10		2014.39
<b>Blé dur- Orge</b>			22.71	54.60									773.12
<b>Sorgho</b>					71.03	135.81	219.09	89.51					5154.39
<b>Piment</b>						145.23	188.67	211.38	97.65	1.49			6444.17
<b>Petit pois, sec</b>			14.46	37.62	200.60								2526.78
<b>Carotte</b>									62.38	52.65	7.73		1227.53
<b>Oignon, vert</b>									34.46	47.63			820.91
<b>Oignon, sec</b>		1.58	24.74	56.53	56.80	92.94							2325.93
<b>Pomme de terre</b>			25.68	74.81	120.11	88.72							3093.23
<b>Ail</b>					108.36	159.85	175.92	129.31					5734.45
<b>Navet tardif</b>									69.68	67.27	26.00	1.39	1643.44
<b>Chou cabus</b>									48.42	53.80	1.45		1036.62
<b>Melon</b>				46.43	73.02	167.16	183.23						4698.41
<b>Laitue</b>								136.82	81.66	39.40			2578.85
<b>Haricot, vert</b>				48.15	93.55	86.61							2283.07
<b>Total</b>	9.58	34.03	134.27	339.40	847.05	<b>1047.69</b>	866.19	631.55	435.15	347.01	63.09	1.39	47563.94

## V.6 Calcul des besoins en eau de lessivage

On remarque que la salinisation du sol n'est pas très élevée (0.3 à 2.5 mmhos.cm<sup>-1</sup>), mais en peut avoir une salinisation secondaire induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées.

Pour éliminer les sels accumulés dans le profil radiculaire, on doit fournir aux sols un apport d'eau supplémentaire a fin de maintenir une humidité convenable assurant un entraînement des sels au- de là des racines.

Le besoin de lessivage minimum ou la fraction de lessivage nécessaire pour contrôler les sels dans la tolérance de la culture pour un rendement acceptable, sera calculée par l'équation (V.12) (Rhoades 1974).

$$L_r = \frac{E_w}{5 C_e - C_w} \quad (V.12)$$

Où :

$L_r$  : La fraction de lessivage minimum (%) ;

$E_w$  : Conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation en mmhos.cm<sup>-1</sup>,  $CE_w = 1.01$  mmhos.cm<sup>-1</sup> (cf. Chapitre 03) ;

$C_e$  : Salinité du sol moyenne tolérée par la culture qui provoque une chute de rendement de 10% (mmhos.cm<sup>-1</sup>).

Le tableau dans **Annexe V.5** donne les valeurs de  $C_e$  pour différents taux de rendement de chaque culture de l'assolement, on prend la valeur moyenne  $C_e = 3.52$  mmhos.cm<sup>-1</sup>.

$$L_r = \frac{1.01}{5 \times 3.52 - 1.01} = 0.06$$

La fraction de lessivage minimum est 6% des besoins en eau d'irrigation, pour ne pas sur dimensionner le réseau d'irrigation surtout que les besoins du mois de pointe sont importants, la dose de lessivage sera apportée en dehors des mois de pointe de préférence après une période pluvieuse pour profiter de la saturation complète du sol favorisant par suite la dissolution des sels et leur percolation.

Outre, le lessivage en période de pointe n'est pas efficace étant donné que l'évaporation pendant cette période est très importante et la quantité de l'eau est médiocre.



### V.7 Comparaison entre les besoins du périmètre et la capacité de la retenue

La surface totale du périmètre étudié est 109 ha et les exploitations proposées sont des cultures maraîchage, céréalières et fourragères. la capacité totale de la retenue est de 0,49 Hm<sup>3</sup> et le volume régularisé est de 0.35Hm<sup>3</sup>

Sur la base de toutes ces données et les besoins totaux des cultures calculées, on a géré l'exploitation agricole du périmètre de telle manière à satisfaire les besoins sans risque de l'abaissement brusque du niveau de la retenue.

Les résultats sont résumés au tableau suivant :

**Tableau V.10 : Besoins totaux annuels**

Culture	Surface (ha)	Bnet (mm)	Bnet (m <sup>3</sup> /ha)	Bnet (m <sup>3</sup> )
Bersim	10.51	34.72	347.19	3648.96
Maïs	6.01	408.02	4080.16	24521.73
Avoine	4.6	171.22	1712.23	7876.27
Blé dur- Orge	33.8	65.72	657.16	22211.87
Sorgho	6.55	438.12	4381.23	28697.06
Piment	6.26	547.75	5477.54	34289.41
Petit pois. Sec	4.41	214.78	2147.76	9471.63
Carotte	2	104.34	1043.40	2086.80
Oignon. Vert	3.63	69.78	697.77	2532.91
Oignon. Sec	4	197.70	1977.04	7908.17
Pomme de terre	7	262.92	2629.25	18404.74
Ail	4.93	487.43	4874.28	24030.22
Navet tardif	2.17	139.69	1396.93	3031.33
Chou cabus	1.84	88.11	881.13	1621.27
Melon	5.19	399.36	3993.65	20727.03
Laitue	2.04	219.20	2192.02	4471.72
Haricot. Vert	4	194.06	1940.61	7762.45
<b>Besoins nets d'irrigation (m<sup>3</sup>)</b>				223293.58
<b>Besoins nets de lessivage (m<sup>3</sup>)</b>				13397.61
<b>Besoins nets totaux (m<sup>3</sup>)</b>				236691.19
<b>Besoins bruts totaux (m<sup>3</sup>)</b>				278460.23
<b>Besoins bruts totaux (Hm<sup>3</sup>)</b>				0.28

### **V.8 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, et en basant sur la méthode de Penman- Monteith-FAO pour estimer l'évaporation potentielle (ETP) et la méthode du département américain de l'agriculture (USDA) pour le calcul de la pluie efficace, nous avons pu estimer les besoins nets en eau d'irrigation pour les cultures de notre périmètre.

On remarque que le mois de pointe est le mois de juin, les besoins nets totaux annuel sont de 278460.23 m<sup>3</sup>.

Donc à partir de ces résultats nous pouvons conclure que la capacité de production de la retenue suffit à l'alimentation de notre périmètre.

**CHAPITRE VI :**  
**Régime d'irrigation**

## CHAPITRE VI : Régime d'irrigation

### VI.1 Introduction

Après avoir déterminé les quantités d'eau nécessaires pour compenser les déficits des cultures d'assolement, il est fondamental que l'on ait un programme d'apport de l'eau. Autrement dit, une planification nous permet d'estimer la dose d'eau que l'on appliquera à chaque arrosage et sa fréquence.

Le programme d'irrigation varie avec la culture, le sol, le climat, la nature du produit récolté et le degré d'aménagement.

Pour programmer la distribution de l'eau au niveau des parcelles il faut connaître les débits à dériver au niveau des ouvrages de captage, les débits à fournir à la parcelle pour satisfaire les besoins sans pour autant que l'utilisateur soit débordé.

A partir de ces données, nous saurons si les ressources hydriques disponibles sont suffisantes pour satisfaire les besoins, nous pourrions également dimensionner les ouvrages de conduction de façon à répondre dans des conditions optimales aux besoins des cultures.

### VI.2 Le mode de distribution d'eau d'irrigation

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

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

#### VI.2.1 Une distribution au tour d'arrosage

Dans le cas d'une distribution au tour d'arrosage aussi appelée distribution par rotation ou au tour d'eau, le débit nécessaire est délivré successivement aux diverses parcelles (irrigation gravitaire), postes (aspersion) ou lots (irrigation localisée), de sorte à couvrir les besoins à intervalles réguliers. Dans le cas de d'irrigation par aspersion ou en irrigation localisée, le débit délivré par le réseau d'amenée est distribué successivement à des postes ou lots, dont la surface et le nombre dépendent du débit moyen des équipements de distribution et de la surface du périmètre irrigué.

Ce mode de distribution implique le respect d'un calendrier d'arrosage précisément défini, dont l'établissement repose sur le volume, la fréquence et la durée des apports, avec pour inconvénient un certain manque de souplesse, l'arrosage ne peut être programmé librement mais doit être effectué au moment prévu, quels que soient les besoins de la plante et l'humidité du sol. [Clément R., Galand A., Meylan J. (1990)]

### VI.2.1.1 Tour d'arrosage à module fixe

Dans le tour d'arrosage à module fixe, chaque irrigant disposera du module (débit) fixé à l'avance pendant une certaine durée et selon une périodicité déterminée.

Le tour d'arrosage à module fixe est d'un principe extrêmement simple, mais présente deux inconvénients :

- nécessité d'un réglage des débits dérivés par chaque tertiaire au cours du tour d'arrosage, d'où un travail important pour les aiguadiers chargés de la conduite et du contrôle de la distribution de l'eau d'irrigation ;
- rigidité des conditions de l'arrosage, mal adaptée à la diversité des besoins d'une polyculture comportant des plantes à profondeurs d'enracinement très variables.

### VI.2.1.2 Tour d'arrosage à module variable

Ce mode de répartition de l'eau est utilisé lorsque le périmètre à irriguer est divisé en quartiers, un bit fixe ou module étant assigné chaque quartier en fonction du débit spécifique et de la superficie du quartier. L'écoulement vers chaque quartier est continu et constant, les exploitations individuelles reçoivent la totalité du débit par rotation à heure fixe et pendant un intervalle de temps pré-établi. L'horaire et la quantité d'eau dépendent de la superficie de l'exploitation et de l'assolement.

La gestion d'un tel système requiert une programmation stricte mais elle est grandement facilitée dès lors que la rotation est effectuée au niveau des tertiaires. Dans ce cas, l'écoulement dans la branche principale et dans les secondaires et tertiaires est continu mais l'eau est livrée aux exploitants par rotation dans les tertiaires.

Ce mode d'opération est très souple et ne fait appel qu'à un minimum de programmation de la part des exploitants .pour ce que système puisse fonctionner, il est indispensable que le réseau soit conçu de manière a ce que les quartiers soient indépendants les un des autres. D'autre part, la capacité des tertiaires est toujours supérieure à ce qu'elle serait dans le cas d'une rotation classique. [ Clément R., Galand A., Meylan J. (1990)]

### VI.2.2 Une distribution à la demande

Cette méthode de distribution permet à l'irrigant d'arroser au moment où il le juge opportun. Le réseau devrait donc en principe permettre d'arroser simultanément l'ensemble du périmètre. Toutefois, si le nombre de prises N du réseau est suffisamment élevé, la probabilité de les voir toutes fonctionner en même temps est extrêmement faible, si bien que le dimensionnement peut se baser sur un débit inférieur au débit maximal théoriquement nécessaire. [ Clément R., Galand A., Meylan J. (1990)]

Ce système est bien adapté aux périmètres constitués de petites exploitations avec des spéculations et des sols fortement hétérogènes où l'irrigation par rotation serait impraticable.

Dans le cadre de notre projet, on adopte une distribution d'eau d'irrigation à la demande, caractérisée par une souplesse en laissant l'irrigant d'utiliser selon sa convenance sa prise d'irrigation.

### VI.3 Calcul de débits

#### VI.3.1 Débit fictif continue ( $Q_f$ )

Le débit fictif continu représente le débit qui fourni d'une façon ininterrompu 24 heures sur 24, permettrait satisfaire les besoins en eau des cultures durant une période donnée pour la surface unitaire. Il est exprimé en l/s/ha.

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

$$Q_{f,i} = \frac{1000 \cdot B_n}{3600 \cdot n_j \cdot n_h \cdot E_i} \quad (V . 1)$$

Où

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

$B_n$  : Besoin net au mois i en (m<sup>3</sup>/ha) ;

$n_j$  : Nombre de jours du mois i ;

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

$E_i$  : L'efficience globale du système d'irrigation, on prend  $E_i = 0.85$  (cf. Chapitre IV).

Le tableau suivant donne les valeurs de  $Q_{f,i}$  pour l'assolement proposé.

**Tableau VI.1 : Débit fictif continue pour chaque mois.**

Mois	$B_n$ (mm/ha)	$B_n$ (m3/ha)	$n_j$	$Q_{f,i}$ (l/s/ha)
Janvier	8.14	81.39	31	0.036
Février	28.92	289.25	28	0.141
Mars	114.13	1141.26	31	0.501
Avril	288.49	2884.93	30	1.309
Mai	719.99	7199.89	31	3.163
Juin	890.54	8905.37	30	<b>4.042</b>
Juillet	736.26	7362.62	31	3.234
Août	536.81	5368.14	31	2.358
Septembre	369.88	3698.77	30	1.679
Octobre	294.96	2949.63	31	1.296
Novembre	53.63	536.27	30	0.243
Décembre	1.18	11.83	31	0.005

### VI.3.2 Débit spécifique ( $q_s$ )

Le débit spécifique ou débit fictif continu maximal représente le débit qui devra être véhiculé par le système d'irrigation pour satisfaire les besoins en eau des cultures durant le mois de pointe

$$q_s = \max(Q_{f,i}) \quad (V . 2)$$

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

D'après le tableau  $q_s = 4.042$  l/s/ha donc on prend la valeur de débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe (Juin).

**Tableau VI.2 : Débit fictif continu pour chaque culture durant le mois de pointe (Juin).**

Culture	$B_n$ (mm/ha)	$B_n$ (m3/ha)	$Q_f$ (l/s/ha)
Bersim	0.00	0.00	0.000
Maïs	145.67	1456.67	<b>0.661</b>
Avoine	0.00	0.00	0.000
Blé dur- Orge	0.00	0.00	0.000
Sorgho	115.44	1154.39	0.524
Piment	123.44	1234.44	0.560
Petit pois, sec	0.00	0.00	0.000
Carotte	0.00	0.00	0.000
Oignon, vert	0.00	0.00	0.000
Oignon, sec	79.00	789.99	0.359
Pomme de terre	75.41	754.14	0.342
Ail	135.87	1358.70	0.617
Navet tardif	0.00	0.00	0.000
Chou cabus	0.00	0.00	0.000
Melon	142.08	1420.82	0.645
Laitue	0.00	0.00	0.000
Haricot, vert	73.62	736.22	0.334

Donc le débit spécifique pris en considération pour notre périmètre est  $q_s = 0.6$  l/s/ha.

### VI.3.3 Débit caractéristique

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

$$q_c = S_i \cdot q_s \quad (V . 3)$$

Avec :

$q_c$  : Débit caractéristique (l/s) ;

$q_s$ : Débit effectif (l/s/ha) ;

$S_i$ : Surface de la parcelle i (ha).

Les résultats du calcul du débit de chaque parcelle d'irrigation sont présentés dans le tableau VI.3.

**Tableau VI.3 : Débit caractéristique de chaque parcelle d'irrigation.**

N° de la parcelle	$S_i$ (ha)	$q_c$ (l/s)
1	5.19	3.43
2	2.17	1.43
3	4.93	3.26
4	13.26	8.77
5	12.41	8.21
6	4.60	3.04
7	2.00	1.32
8	3.63	2.40
9	1.84	1.22
10	10.51	6.95
11	14.67	9.70
12	6.55	4.33
13	19.13	12.64
14	2.04	1.35
15	6.01	3.98
<b>Totale</b>	<b>108.94</b>	<b>72.01</b>

## VI.4 Calcul des doses de l'arrosage

### VI.4.1 Détermination de la dose l'arrosage pratique ( $D_p$ )

La dose l'arrosage pratique représente la quantité d'eau qu'il faut apporter à chaque irrigation pour remplir le réservoir sol jusqu'au sa capacité au champ .Elle représente la réserve facilement utilisable par la plante (RFU), (cf. Chapitre 02).

### VI.4.2 Fréquence d'arrosage ( $N$ )

Le besoin mensuel  $B_b$  étant connu pour chaque type de culture, le nombre de fois qu'il faut apporter la dose d'arrosage pour satisfaire ce besoin mensuel est appelé fréquence d'arrosage.

$$N = \frac{B_b}{D_p} \quad (V . 4)$$

Où

$N$  : La fréquence d'arrosage ;

$B_b$  : Le besoin brut d'irrigation (mm) ;

$D_p$  : La dose l'arrosage pratique (mm).

Si  $N$  n'est pas un entier naturel, il sera arrondi au nombre entier immédiatement supérieur à  $N$



### VI.4.3 Dose réelle ( $D_r$ )

C'est la dose qu'il faut réellement apporter et celle-ci est toujours inférieure ou égale à la dose pratique.

$$D_r = \frac{B_b}{N} \quad (V.5)$$

Où

$D_r$  : La dose d'arrosage réelle (mm) ;

$B_b$  : Le besoin brut d'irrigation (mm) ;

$N$  : La fréquence d'arrosage (On retiendra la partie entière de  $N$ ).

Les paramètres de l'irrigation pour chaque culture proposée sont calculés suivant les formules dans le tableau suivant.

**Tableau VI.4 : Doses et fréquences d'arrosage.**

Culture	Mois	$B_b$ (m )	$D_p$ (m )	N	N (entier)	$D_r$ (m )	$D_r(m^3/h)$
<b>Bersim</b>	Octobre	30.02	3.11	9.67	10	3.00	30.02
	Novembre	10.82	6.21	1.74	2	5.41	54.11
<b>Maïs</b>	Avril	21.27	6.21	3.42	4	5.32	53.18
	Mai	123.57	12.43	9.94	10	12.36	123.57
	Juin	171.37	18.64	9.19	10	17.14	171.37
	Juillet	99.28	24.85	3.99	4	24.82	248.19
	Août	64.53	31.06	2.08	3	21.51	215.08
<b>Avoine</b>	Janvier	9.58	3.73	2.57	3	3.19	31.92
	Février	32.45	4.97	6.53	7	4.64	46.36
	Mars	46.67	6.21	7.51	8	5.83	58.33
	Septembre	40.89	1.86	21.94	22	1.86	18.59
	Octobre	54.75	2.49	22.03	23	2.38	23.80
	Novembre	17.10	3.11	5.50	6	2.85	28.50
<b>Blé dur- Orge</b>	Mars	22.71	37.28	0.61	1	22.71	227.13
	Avril	54.60	37.28	1.46	2	27.30	273.00
<b>Sorgho</b>	Mai	71.03	12.43	5.72	6	11.84	118.38
	Juin	135.81	24.85	5.47	6	22.64	226.35
	Juillet	219.09	31.06	7.05	8	27.39	273.86
	Août	89.51	37.28	2.40	3	29.84	298.37
<b>Piment</b>	Juin	145.23	24.85	5.84	6	24.20	242.05
	Juillet	188.67	37.28	5.06	6	31.44	314.44
	Août	211.38	43.49	4.86	5	42.28	422.76
	Septembre	97.65	49.70	1.96	2	48.83	488.27
	Octobre	1.49	55.91	0.03	1	1.49	14.89
<b>Petit pois, sec</b>	Mars	14.46	62.13	0.23	1	14.46	144.62
	Avril	37.62	74.55	0.50	1	37.62	376.18
	Mai	200.60	74.55	2.69	3	66.87	668.66

Culture	Mois	$B_b$ (m )	$D_p$ (m )	N	N (entier)	$D_r$ (m )	$D_r(m^3/h)$
<b>Carotte</b>	Septembre	62.38	6.21	10.04	11	5.67	56.71
	Octobre	52.65	12.43	4.24	5	10.53	105.30
	Novembre	7.73	15.53	0.50	1	7.73	77.25
<b>Oignon, vert</b>	Septembre	34.46	18.64	1.85	2	17.23	172.29
	Octobre	47.63	24.85	1.92	2	23.82	238.16
<b>Oignon, sec</b>	Février	1.58	18.64	0.08	1	1.58	15.75
	Mars	24.74	24.85	1.00	1	24.74	247.40
	Avril	56.53	31.06	1.82	2	28.27	282.67
	Mai	56.80	37.28	1.52	2	28.40	284.02
	Juin	92.94	37.28	2.49	3	30.98	309.80
<b>Pomme de terre</b>	Mars	25.68	6.21	4.13	5	5.14	51.36
	Avril	74.81	15.53	4.82	5	14.96	149.61
	Mai	120.11	21.74	5.52	6	20.02	200.19
	Juin	88.72	24.85	3.57	4	22.18	221.81
<b>Ail</b>	Mai	108.36	6.21	17.44	18	6.02	60.20
	Juin	159.85	12.43	12.86	13	12.30	122.96
	Juillet	175.92	18.64	9.44	10	17.59	175.92
	Août	129.31	21.74	5.95	6	21.55	215.52
<b>Navet tardif</b>	Septembre	69.68	6.21	11.22	12	5.81	58.07
	Octobre	67.27	12.43	5.41	6	11.21	112.12
	Novembre	26.00	15.53	1.67	2	13.00	129.99
	Décembre	1.39	18.64	0.07	1	1.39	13.91
<b>Chou cabus</b>	Septembre	48.42	12.43	3.90	4	12.10	121.04
	Octobre	53.80	15.53	3.46	4	13.45	134.49
	Novembre	1.45	18.64	0.08	1	1.45	14.48
<b>Melon</b>	Avril	46.43	3.11	14.95	15	3.10	30.95
	Mai	73.02	4.35	16.79	17	4.30	42.96
	Juin	167.16	6.21	26.91	27	6.19	61.91
	Juillet	183.23	12.43	14.75	15	12.22	122.16
<b>Laitue</b>	Août	136.82	6.21	22.02	23	5.95	59.49
	Septembre	81.66	12.43	6.57	7	11.67	116.66
	Octobre	39.40	15.53	2.54	3	13.13	131.33
<b>Haricot, vert</b>	Avril	48.15	6.21	7.75	8	6.02	60.18
	Mai	93.55	12.43	7.53	8	11.69	116.93
	Juin	86.61	18.64	4.65	5	17.32	173.23

### VI.5 Conclusion

L'étude faite au niveau de ce chapitre nous a permis de calculer débit spécifique ( $q_s = 0.661$  l/s/ha), Ce débit permet de déterminer les débits à la parcelle et à l'entête de l'entité d'étude. Que nous les utilisons pour le dimensionnement de réseau d'adduction et de distribution.

Ainsi, dans le cadre de cette étude, on adopte une distribution d'eau d'irrigation à la demande.

**CHAPITRE VII :**  
**Étude de réseau d'adduction et de distribution**

## CHAPITRE VII : Étude de réseau d'adduction et de distribution

### VII.1 Introduction

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

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

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

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

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

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

### VII.2 Présentation des variantes

#### VII.2.1 Variante N° 01

C'est la variante la plus classique, qui consiste à faire l'adduction par conduites circulaires (écoulement forcé) enterrées de la retenue collinaire gravitairement vers notre périmètre d'irrigation, Cette variante permet l'irrigation avec la pression indispensable pour le fonctionnement des asperseurs.

Nombre des traversés de la conduite :

Traversées d'Oued : 02

Traversées de piste : 01

#### VII.2.2 Variante N° 02

Une station de pompage qui sera implantée à l'aval de la digue pour alimenter un réservoir surélevé.

Puis gravitairement le réservoir assure l'alimentation de tout le périmètre par une conduite parallèle au périmètre.

Nombre des traversés de la conduite :

Traversées d'Oued : 02

Traversées de piste : 01

### VII.2.2 Choix de la variante

Après l'analyse des deux variantes proposées, nous constatons que la variante N°02 est adaptable et assure une bonne pression (asperseur à grande portée), donc elle diminue le nombre d'asperseurs ou de distributeurs portés par la rampe, donc moins coût d'installation mais coûteuse du point de vue fonctionnement surtout pour une distribution à la demande.

La variante N° 01 permet l'irrigation des terres à l'aval immédiat de la retenue par des raccordements directs sur la conduite principale et c'est la moins coûteuse et assure aussi une pression acceptable (asperseur à moyenne portée), donc on choisit la variante N° 01.

### VII.3 Le plan de bornage

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

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

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

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

Pour les grandes propriétés :

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

#### VII.4 Choix du tracé

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

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

#### VII.5 Débits aux bornes

Le but est de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation doit véhiculer pour répondre à la demande en eau des cultures. Le débit spécifique a été évalué précédemment (chapitre 6):

$$q_s = 0.661 \text{ (l. s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}\text{)}$$

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

$$Q_b = q_s \cdot S \quad \text{(VII. 1)}$$

Avec :

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

$q_s$  : Débit spécifique (l/s/ha) ;

$S$  : Superficie de l'ilot (ha).

Les résultats du calcul du débit de chaque îlot (bornes) d'irrigation sont présentés dans le tableau VII.1

**Tableau VII.1 : Débit caractéristique de chaque îlot (bornes) d'irrigation.**

N° de l'îlot (bornes) d'irrigation	N° de la parcelle	la superficie de la parcelle	débit de la prise l/s	débit brut de la borne (l/s)
1	1	5.19	3.43	3.43
2	2	2.17	1.43	4.69
	3	4.93	3.26	
3	4a	6.26	4.14	8.76
	4b	7.00	4.63	
4	5a	4.41	2.92	8.20
	5b	4.00	2.64	
	5c	4.00	2.64	
5	6	4.60	3.04	4.36
	7	2.00	1.32	
6	8	3.63	2.40	9.35
	10	10.51	6.95	
7	11	14.67	9.70	9.70
8	12	6.55	4.33	5.55
	9	1.84	1.22	
9	13	19.13	12.64	12.64
10	15	6.01	3.97	5.32
	14	2.04	1.35	
<b>Total</b>		108.94	72.01	72.01

### VII.6 Choix du type et de diamètre de la borne

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

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

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

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

**Tableau VII.2 : Choix du diamètre de la borne.**

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

Les diamètres des bornes et des prises sont présentés dans le tableau VII.3.

Tableau VII.3 : Les diamètres des bornes et des prises.

N° de l'ilot d'irrigation	débit de la prise l/s	débit brut de la borne (l/s)	Diamètre des prises (mm)	Diamètre de la borne (mm)
1	3.43	3.43	65	65
2	1.43	4.69	65	65
	3.26		65	
3	4.14	8.76	65	100
	4.63		65	
4	2.92	8.20	65	100
	2.64		65	
	2.64		65	
5	3.04	4.36	65	65
	1.32		65	
6	2.40	9.35	65	100
	6.95		65	
7	9.70	9.70	100	100
8	4.33	5.55	65	65
	1.22		65	
9	12.64	12.64	65	100
10	3.97	5.32	65	65
	1.35		65	
<b>Total</b>	72.01	72.01		

## VII.7 Caractéristiques de la conduite principale (CP) et le réseau de distribution

### VII.7.1 Choix du type de matériau

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

#### VII.7.1.1 La fonte ductile

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

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

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



**Tableau VII.4 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en fonte ductile.**

<b>Diamètres (DN) (mm)</b>	80-100-125-150-200-250-300-350-400-450-500-600-700-800-900-1000
<b>Longueur (m)</b>	0.5 - 6
<b>PN (bars)</b>	10-16-25
<b>Branchements</b>	Soudure ou raccords
<b>Durée de vie estimée (ans)</b>	100

### VII.7.1.2 Le plastique

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

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

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

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

**Tableau VII.5 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PVC**

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

Source : GROUPE CHIALI

**Tableau VII.6 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEHD**

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

Source : GROUPE CHIALI

**Tableau VII.7 : Les caractéristiques de la gamme de produits des tubes en PEBD**

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

Source : GROUPE CHIALI

Dans notre étude, nous utiliserons les conduites en **PEHD**, et la **fonte** pour au niveau des traversées d'Oued.

### VII.7.2 Calcul des diamètres des canalisations

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

$$D_c = \sqrt{\frac{4Q_{di}}{\pi \cdot V_{i_i}}} \quad (\text{VII. 2})$$

Où :

$D_c$  : Diamètre calculé (théorique) de tronçon considéré en (m) ;

$Q_{di}$  : Débit véhiculé par le tronçon considéré en (m<sup>3</sup>/s) ;

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

La fixation d'un seuil minimum de vitesse admissible dans les conduites, ne correspond pas véritablement à un impératif technique et n'a pour objectif, que l'introduction d'un seuil raisonnable de diamètre maximum envisagé, pour transiter un débit donné. Ceci nous permettra d'accélérer le calcul d'optimisation.

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

**Tableau VII.8 : Seuil des vitesses admissibles en fonction des diamètres dans les conduites gravitaires.**

<b>Diamètre (mm)</b>	100	125	150	200	250	300	350	400	500
<b>Vitesse minimum (m/s)</b>	0.20	0.25	0.25	0.35	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50
<b>Vitesse maximum (m/s)</b>	1.80	1.85	1.95	2.00					

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

Après avoir déterminé le diamètre calculé on choisit un diamètre normalisé ou commercialisé (qui diffère généralement de celui calculé) :  $D_n$   $D_c$

On calcul les vitesses obtenus par la normalisation des diamètres. Les résultats du calcul des diamètres de chaque tronçon sont présentés dans le tableau VII.9.

**Tableau VII.9 : Diamètres des canalisations et vitesses d'écoulement.**

Tronçon	L (m)	Q (l/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>cal</sub> (m)	D <sub>cal</sub> (mm)	D <sub>nor</sub> (mm)	V <sub>cal</sub> (m/s)
N1-B1	97.00	3.43	0.00343	0.06	57.97	63	1.101
N2-B2	66.00	4.69	0.00469	0.07	67.80	75	1.062
N3-B3	100.00	8.76	0.00876	0.09	92.65	110	0.922
N4-B4	84.00	8.20	0.00820	0.09	89.63	110	0.863
N5-B5	84.00	4.36	0.00436	0.07	65.37	75	0.987
N6-B6	157.60	9.35	0.00935	0.10	95.68	110	0.984
N6-B7	126.00	9.70	0.00970	0.10	97.45	110	1.020
N7-B8	80.00	5.55	0.00555	0.07	73.70	75	1.255
N7-B9	200.00	12.64	0.01264	0.11	111.29	125	1.030
N7-B10	580.25	5.32	0.00532	0.07	72.19	75	1.204
N6-N7	100.00	23.51	0.02351	0.15	151.75	160	1.169
N5-N6	315.70	42.56	0.04256	0.20	204.15	250	0.867
N4-N5	374.20	46.92	0.04692	0.21	214.36	250	0.956
N3-N4	720.60	55.12	0.05512	0.23	232.35	250	1.123
N2-N3	1037.70	63.89	0.06389	0.25	250.14	315	0.820
N1-N2	360.00	68.58	0.06858	0.26	259.17	315	0.880
R-N1	6.00	72.01	0.07201	0.27	265.57	315	0.924

### VII.7.3 Calcul de perte de charge dans les conduites

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

$$j = \frac{Q^M}{D^N} L \quad (\text{VII. 3})$$

Avec :

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

$Q$  : Débit de la conduite en (m<sup>3</sup>/s) ;

$D$  : Diamètre de la conduite en (m) ;

$L, M$  e  $N$  : Constantes dépendantes de la rugosité absolue des canalisations.

Pour le PEHD  $L = 0.916$  ;  $M = 1,78$  e  $N = 4.78$  .

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

$$j = 1.0 \frac{Q^{1.7}}{D^{4.7}} \quad (\text{VII.4})$$

$$H = j \times L \quad (\text{VII.5})$$

Où :

**H** : Perte de charge totale en m ;

**j** : Perte de charge unitaire en m/m ;

**L** : Longueur de la conduite.

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

**Tableau VII.10 : Pertes de charge dans les canalisations.**

Tronçon	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	j (m/Km)	H (m)
N1-B1	97	0.003431	0.063	22.6671	2.199
N2-B2	66	0.004693	0.075	17.2065	1.136
N3-B3	100	0.008765	0.110	8.3853	0.839
N4-B4	84	0.008203	0.110	7.4525	0.626
N5-B5	84	0.004363	0.075	15.1092	1.269
N6-B6	158	0.009347	0.110	9.4013	1.482
N6-B7	126	0.009697	0.110	10.0377	1.265
N7-B8	80	0.005546	0.075	23.1606	1.853
N7-B9	200	0.012645	0.125	8.7392	1.748
N7-B10	580	0.005321	0.075	21.5164	12.485
N6-N7	100	0.023512	0.160	8.1000	0.810
N5-N6	316	0.042555	0.250	2.7585	0.871
N4-N5	374	0.046918	0.250	3.2818	1.228
N3-N4	721	0.055121	0.250	4.3720	3.150
N2-N3	1038	0.063886	0.315	1.8836	1.955
N1-N2	360	0.068579	0.315	2.1369	0.769
R-N1	6	0.072009	0.315	2.3309	0.014

#### VII.7.4 Calcul de pression aux bornes et nœuds

La pression au point X est donnée par la relation (VII. 6) :

$$P = H - H - Z \quad (\text{VII. 6})$$

**H** : La charge totale ;

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

**Z** : L'altitude de point X.

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

**Tableau VII.11 : La pression aux bornes et nœuds en (m.c.e).**

Borne ou nœud	Altitude (m)	Charge (m)	Pression (m.c.e)
R	953.38	955.38	2.00
N1	946.00	955.366	9.37
N2	943.25	954.597	11.35
N3	923.18	952.642	29.46
N4	903.81	949.492	45.68
N5	898.19	948.264	50.07
N6	895.50	947.393	51.89
N7	892.81	946.583	53.77
B1	944.05	953.167	9.12
B2	940.50	953.461	12.96
B3	920.42	951.804	31.38
B4	903.78	948.866	45.09
B5	899.56	946.994	47.43
B6	894.62	945.911	51.29
B7	892.36	946.128	53.77
B8	892.82	944.730	51.91
B9	888.28	944.835	56.55
B10	881.25	934.098	52.85

Pour les parcelles 1 et 2, l'irrigation par aspersion est déconseillée à cause de basses pressions, une irrigation localisée (micro-asperseurs) est recommandée dans ce cas.

### **VII.8 Conclusion**

A partir de ce chapitre on a proposé une variante plus classique pour projeter notre réseau d'adduction et de distribution, cette variante consiste en la projection d'une conduite maîtresse enterrée, de différents diamètres (315 à 75 mm) avec un débit maximal estimé à 72.01 l/s d'une longueur totale de 3494.45 m, le matériau proposé est le PEHD à 10 bars.

10 bornes d'irrigation et robinets vannes sous regards sont proposés au niveau des ilots.

Le calcul de perte de charge dans les conduites est fait par la formule de Calmon et Lechapt pour une conduite en PEHD, ainsi, on a déterminé les pressions au niveau de chaque borne et nœud.

## **CHAPITRE VIII :**

### **Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion**

# CHAPITRE VIII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion

## VIII.1 Introduction

Le présent chapitre concerne le dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion, dont les principales caractéristiques ont été définies précédemment.

Pour ce projet, nous avons choisi d'étudier la parcelle n°7 cultivée en carotte, les mêmes procédures pour le dimensionnement d'autre parcelle en changeant ce qui doit être changé.

## VIII.2 Données générales

L'objectif recherché en irrigation par aspersion est d'apporter sur l'ensemble de la parcelle une dose d'irrigation aussi homogène que possible.

Le système le plus largement utilisé et le moins coûteux pour irriguer les parcelles de petites et moyennes dimensions est le système d'aspersion à rampes mobiles avec une pression de fonctionnement basse à moyenne (2 - 3.5 bar).

Le réseau d'irrigation sera installé sur l'ilot N°5 alimentée par la borne N°5 et dont la pression calculée est de l'ordre de 4.7 bar, ce qui est largement suffisant. La surface de l'exploitation est de 2.00 hectares.

Les paramètres de calcul utilisés dans ce chapitre sont des résultats des calculs à travers les chapitres précédents. En ce qui concerne notre cas (parcelle N°7), les paramètres de calcul utilisés sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau VIII.1 : Caractéristiques de la parcelle à irriguer.**

<b>Paramètres de sol et de terrain</b>	
Superficie	2.00 ha
Longueur équivalent	152 m
Largeur	132 m
Perméabilité du sol (vitesse d'infiltration)	5.53 mm/h
RFU	6.21 mm
<b>Paramètres de système</b>	
Débit caractéristique	1.32 l/s
Pression de service	4.74 bar
Temps de travail	20 heures/jours -25j/mois
<b>Paramètres de la culture (Carotte)</b>	
Besoins bruts	62.38 mm/ha
La fréquence d'arrosage	11
La dose d'arrosage	6.21 mm/h

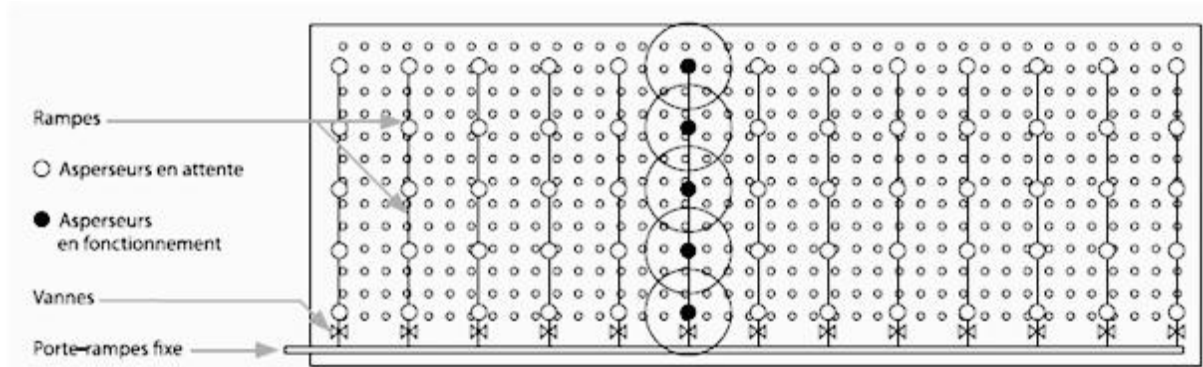


**Remarque :**

- La perméabilité utilisée est celle obtenu par le logiciel «Soil Water Characteristics. SAXTON et al. 2006 » pour l'analyse des données du profile 04 plus proche de la parcelle.
- Temps de travail c'est le temps de fonctionnement conseillé pour ce système d'irrigation.

**VIII.3 Composantes d'un système d'aspersion**

Sommairement, les différents éléments d'un système d'aspersion sont la porte rampes, la rampe, l'asperseur et des accessoires de contrôle (vannes).



**Figure VIII.1 : Composantes d'un système d'aspersion (source : groupe CHIALI)**

**VIII.3.1 La porte-rampe**

La porte-rampe est la canalisation qui relie le point d'alimentation en eau de la parcelle, aux rampes disposées sur celle-ci. Afin de faciliter leur manipulation, les porte-rampes sont constitués d'éléments de tubes rigides a raccords rapides, ils sont disponibles en différents matériaux et diamètres.

**VIII.3.2 La rampe**

Sont constitués d'éléments de tubes à raccords rapides, ou de tuyaux souples. Les éléments de tube ont une longueur de 3, 6 ou 9 m et sont, en général en polyéthylène de haute densité (PEHD) de 50 à 63 mm de diamètre.

**VIII.3.3 L'asperseur**

L'asperseur est caractérisé par le diamètre de sa buse, qui définit, pour une pression déterminée, le débit de l'asperseur, la portée du jet la répartition de l'eau (pluviométrie) le long du jet.

Il existe des asperseurs équipés d'une seule buse (mono bus) et des asperseurs munis de deux buses (double buses) de diamètres différents, ce qui améliore l'homogénéité de la répartition pluviométrique sur la surface arrosée.

L'asperseur peut être monté directement sur la rampe par l'intermédiaire d'une allonge (canne) rigide de 0.5 à 2 m que l'on emboîte dans un té à clapet fixe sur une plaque stabilisatrice. Ou l'asperseur peut être raccordé par un tuyau souple et fixé sur un support déplaçable.

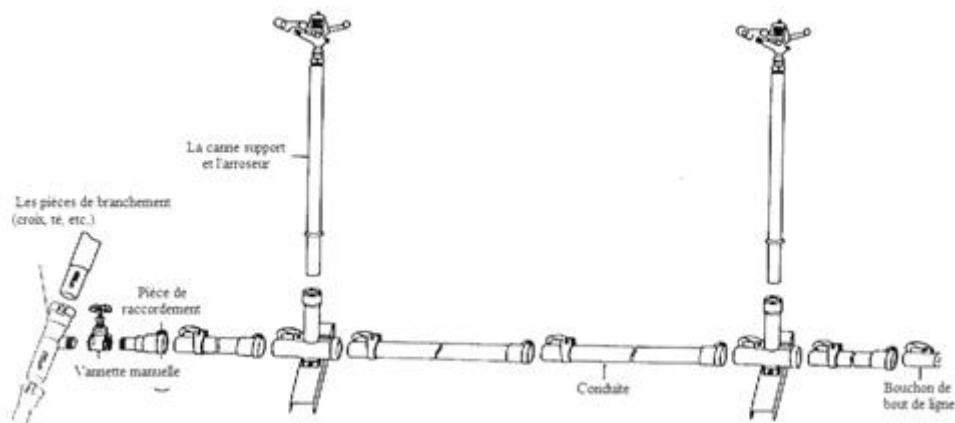


Figure VIII.2 : Schéma de couverture intégrale présentant une rampe ou tertiaire et les différents composants (source : Irrifrance)

#### VIII.4 L'implantation des asperseurs

Pour obtenir une répartition de l'eau homogène, on doit disposer les asperseurs de manière à avoir un recouvrement des jets. Les asperseurs sont usuellement disposés en carré, en rectangle ou en triangle, dont les dimensions les plus courantes sont : 12m×12m, 18m×18m, 18m×21m 18m×24m, 21m×21m.

La première dimension de chaque couple est celle de l'espacement ( $e$  en m) des asperseurs sur la rampe, La seconde celle de l'écartement ( $I$  en m) entre deux rampes contigües.

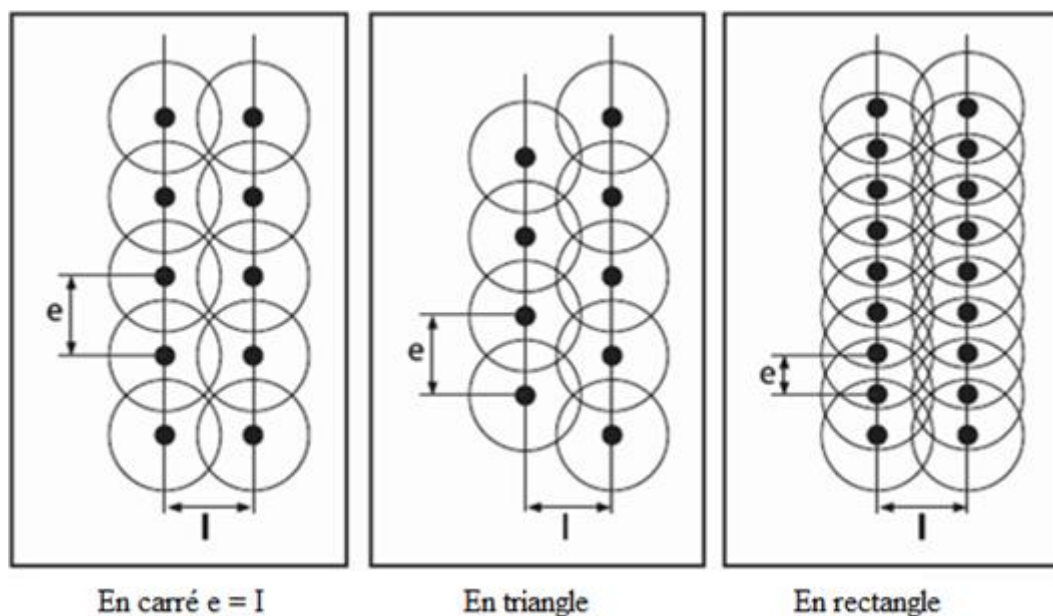


Figure VIII.3 : dispositif d'implantation en couverture intégrale

Le choix et l'implantation des asperseurs définissent l'uniformité de répartition de l'eau, cette uniformité dépend aussi de l'effet de vent, qui augmente l'hétérogénéité de la répartition de l'eau en irrigation par aspersion.

Des effets sont sensibles dès que la vitesse du vent atteint 10 km/h. L'irrigation devient pratiquement impossible lorsque la vitesse atteint 30 km/h. On atténuera l'effet de vent en adoptant un dispositif le plus serré possible, en triangle de préférence. Le triangle 18m×18m est préconisé.

D'autre part, si la profondeur de sol exploité par les racines est faible (20 à 30 cm pour certaines cultures maraichères par exemple), on choisira un dispositif serré (de faible dimension) et équipé d'asperseurs à deux buses.

Au contraire pour des cultures à enracinement profond, telles que le maïs ou le soja, on pourra choisir un dispositif plus lâche et des asperseurs à une seule buse, à condition de ne pas être exposé à des vents forts.

### VIII.5 La répartition des pressions dans le réseau (règle CHRISTIANSEN)

La répartition de l'eau sur le sol reste satisfaisante lorsque les différences de pressions entre les arroseurs pris deux à deux, n'est pas supérieure à 20% de la pression normale.

Condition de CHRISTIANSEN :

la différence de pression d'alimentation entre l'asperseur le plus favorable et l'asperseur le moins favorable ne doit pas dépasser 0,94 bar (9.4 m) ( $4.47 \text{ bar} \times 0,20$ ).

### VIII.6 Caractéristiques de l'asperseur

Dans ce paragraphe on va déterminer les caractéristiques hydrauliques et géométriques de l'asperseur, à la base de cette étude on peut choisir le type de l'asperseur disponible chez le constructeur et convenable à notre cas.

Les constructeurs donnent les caractéristiques débit-pression sous forme de bulletins techniques indiquant pour chaque buse décrite, la pression, le débit, la portée de jet, et le coefficient de singularité de la buse.

#### VIII.6.1 Détermination du diamètre de la buse ( $D_b$ )

Pour dimensionner la buse il faut qu'il satisfasse la condition de la perméabilité du sol telle que la vitesse de l'eau de l'asperseur doit être inférieure ou égale à la vitesse d'infiltration.

$$P = \frac{1,5D}{1,04} \leq k \quad (V \quad .1)$$

Où :

$P$  : La vitesse de l'eau de l'asperseur (mm/h) ;

$k$  : La perméabilité du sol (mm/h) ;

$D$  : Le diamètre de la buse (mm).

On suppose que  $P = k$

$$k = \frac{1,5D}{1,04}$$

$$D_b = \frac{1,04k}{1,5} = \frac{1,04 \times 9,6}{1,5} = 3,83 \text{ m}$$

Le diamètre normalisé  $D_b = 3.2 \text{ m}$

### VIII.6.2 Détermination du débit à la sortie de la buse ( $Q_a$ )

$Q_a$  Correspondant à un débit d'un orifice, on peut le calculer à l'aide de l'équation d'un orifice de section  $S_b$ , et d'une charge  $H = 47.4 \text{ m}$  (4.73 bar).

$$Q_a = m S_b \sqrt{2gH} \quad (V.2)$$

Où :

$g$  : La accélération de la pesanteur  $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$  ;

$m$  : Coefficient de débit  $m = 0.95$ .

On calcul la section de la buse :

$$S_b = \frac{\pi D_b^2}{4} = \frac{\pi (3.2 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 8.04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Par l'application de l'équation (VIII.2), on calcul le débit a travers une buse :

$$Q_a = 0.95 \times 8.04 \cdot 10^{-6} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 47.4} = 2.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_a = 4.8.1^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

### VIII.6.3 Détermination de la pression à la sortie de la buse

La pression au sorite de la buse peut être déterminée à partir de la formule VIII.3.

$$P = \alpha \frac{8\rho}{\pi^2 D^4} q^2 \quad (V.3)$$

Où :

$P$  : La pression a la sortie de la buse en (Pa) ;

$q$  : Débit à la sortie de la buse ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$D$  : Diamètre de la buse en(m) ;

$\rho$  : La masse volumique de l'eau ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) ;

$\alpha$  : Le coefficient de singularité de la buse  $\alpha = 1.09$ .

En introduisant les unités utiles,  $P$  en (bar),  $q$  en ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $D$  en (mm),  $\rho = 10^3 \text{ Kg. m}^{-3}$

$$P = 625 \frac{q^2}{D^4} \alpha \quad (V.4)$$

Par l'application de l'équation (VIII.4), on calcule la pression au sortie de la buse :

$$P = 625 \frac{0.84^2}{3.2^4} 1.09 = 4.5 \text{ b}$$

#### VIII.6.4 Calcul de la portée du jet d'un asperseur

La portée d'un jet d'arroseur est le paramètre le plus important pour guider le choix d'un arroseur en fonction des surfaces à arroser. elle peut être calculée par la formule suivante :

$$L = 3D_{b(m)}^{0.5} H_{(m)}^{0.2} \quad (V \ .5)$$

Où :

$L$  : La portée d'un jet d'arroseur en (m) ;

$H$  : La pression à la sortie de la buse en (m.c.e) ;

$D$  : Diamètre de la buse en (mm).

Par l'application de l'équation (VIII.5), on calcule la portée d'un jet d'arroseur :

$$L = 3 \times 3.2^{0.5} \times 45.8^{0.2} = 1.9 \text{ m}$$

#### VIII.6.5 Estimation des écartements

Il est choisi en premier lieu en fonction de la portée des asperseurs, Ces asperseurs ont une sensibilité au vent très marquée (petites buses, fortes pressions). Pour limiter le risque de voir sous la première travée des zones entières mal arrosées, on choisit généralement d'y maintenir un écartement faible, donc d'apporter un excès d'eau. Toutefois, les surfaces concernées restent extrêmement faibles.

On fonction de la vitesse du vent et de la portée des asperseurs ( $L$ ), on peut estimer l'espacement des asperseurs sur la rampe ( $E_a$ ), et l'écartement entre deux rampes contigües  $E_L$

$$v \quad f \quad \begin{cases} E_L = 1,3L \\ E_a = 0,8L \end{cases}$$

$$v \quad f \quad \begin{cases} E_L = 1,02L \\ E_a = 0,5L \end{cases}$$

Pour un vent faible (1.9 m/s = 6.84 Km/h) :  $E_L = 18,15 \text{ m}$        $E_a = 11,168 \text{ m}$

On normalise les espacements de telle sorte que l'espacement soit multiple de 6, donc :

$$E_L = 1 \text{ m} \quad E_a = 1 \text{ m}$$

La pluviométrie  $P$  ne doit pas excéder le taux d'infiltration du sol ( $k=5.53 \text{ mm/h}$ ), la pluviométrie  $P$  est donnée par la formule (V .6)

$$P = \frac{1000 \cdot Q_a}{S_{éc}} \quad (V . 6)$$

Où :

$P$  : La pluviométrie en (mm/h) ;

$Q_a$  : Débit d'un asperseur en (m<sup>3</sup>/h) ;

$S_{éc}$  : La surface recouverte par un asperseur (m<sup>2</sup>).

$$P = \frac{100 \times 0.84}{18 \times 12} = \mathbf{3.8 \text{ m /h}}$$

$$P = 6,8 \text{ m /h} < 5,53 \text{ m /h}$$

Donc la condition est vérifiée.

### VIII.7 Caractéristiques de mode d'irrigation

Dans ce paragraphe on va définir la répartition spatiale et temporelle des asperseurs dans la parcelle.

#### VIII.7.1 le temps nécessaire d'irrigation

C'est le temps nécessaire pour obtenir la dose réelle dans le sol, ce temps c'est le rapport entre la dose réelle et la pluviométrie artificielle.

$$t_a = \frac{D_r}{P} \quad (V . 7)$$

Avec :

$t_a$  : Le temps nécessaire d'irrigation en (h) ;

$D_r$  : La dose réelle en (mm) ;

$P$  : La pluviométrie en (mm/h).

$$t_a = \frac{6.21}{3,89} = \mathbf{1.3t}$$

#### VIII.7.2 Le nombre d'arrosage par mois (La fréquence d'irrigation)

C'est le nombre de fois ou il faut irriguer par mois pour maintenir l'humidité du sol dans les limites acceptables compte tenue de l'ETP. (cf. Chapitre 06)

Pour la carotte au mois de septembre  $N=11$ .

#### VIII.7.3 Le nombre de jours d'arrosage par mois

$$n_{j_i} = \frac{25}{11} = \mathbf{2j_i}$$

### VIII.7.4 Le nombre d'asperseurs

La pluviométrie envisagée étant de 3,89 mm/h, avec des asperseurs à une buse de 3.2 mm disposés en 18 x 12 m, le nombre d'asperseur nécessaire pour l'ensemble de la parcelle sera :

$$n_a = \frac{S_t}{S_a} = \frac{2}{1.1} = 93 \text{ asperseurs}$$

Dans ce cas chaque asperseur va fonctionner 1h 36 min par jours et chaque 2 jours pendant le mois, le temps de fonctionnement maximale d'un asperseur est 20 heures, si on utilise chaque asperseur 4 fois (4 pose) et en irrigue durant tout le mois on est besoin seulement

$$n_a = \frac{93}{4 \times 2} = 11.625 \approx 12 \text{ a}$$

### VIII.8 Caractéristiques de canalisation

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

#### VIII.8.1 Longueur des rampes

$$L_{rc} = \frac{l_c \cdot d \cdot t_c}{2} - 2E_a = \frac{132 - 24}{2} = 54 \text{ m}$$

#### VIII.8.2 Le nombre d'asperseur par rampes

$$n_{a/rc} = \frac{L_{rc}}{E_a} + 1$$

$$n_{a/rc} = 6 \text{ a}$$

#### VIII.8.3 Le nombre de rampes

$$n_{rc} = \frac{n_a}{n_{a/rc}} = \frac{12}{6} = 2 \text{ rc p}$$

#### VIII.8.4 Débit de rampe

$$Q_{rc} = Q_a \cdot n_{a/rc} = 0,84 \times 6 = 5,04 \text{ m}^3/h$$

#### VIII.8.5 Calcule de la longueur fictive des rampes

Longueur fictive est la longueur pour que la conduite assure un débit en route

$$L_f = \frac{E_a(n_{a/rc} + 1)(2n_{a/rc} + 1)}{6n_{a/rc}}$$

$$L_f = \frac{12 \times 7 \times 13}{36} = 27.33 \text{ m}$$

**VIII.8.6 Calcul de la longueur fictive de la porte rampe**

$$L_f = (L_p - E_l) + (L_f - 0,5E_a)$$

$L_p$  : Longueur de porte rampe ;

$$L_{f \text{ t}_i} = (152 - 18) + (30,33 - 6) = \mathbf{1 \text{ , } 3 \text{ m}}$$

**VIII.8.7 La longueur réelle totale**

$$L_{r\acute{e}e \text{ t}_i} = (L_p - E_l) + (L_{r\acute{e}c} - 0,5E_a) = \mathbf{1 \text{ m}}$$

**VIII.8.8 Détermination du diamètre de la porte rampe****VIII.8.8.1 Estimation du diamètre par la vitesse minimale**

$$D = \left( \frac{4Q_p}{\pi v_m} \right)^{0,5}$$

$v_m = 1,25 \text{ m/s}$  ;

$$Q_p = Q_a \times n_a \times n_{r\acute{e}c} = 0,0028 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \left( \frac{4 \times 0,0028}{\pi \times 1,25} \right)^{0,5} = \mathbf{5 \text{ , } 4 \text{ m}}$$

**VIII.8.8.2 Estimation du diamètre par la vitesse maximale**

$$D = \left( \frac{4Q_p}{\pi v_m} \right)^{0,5}$$

$v_m = 1,8 \text{ m/s}$  ;

$$D = \left( \frac{4 \times 0,0028}{\pi \times 1,8} \right)^{0,5} = \mathbf{4 \text{ , } 5 \text{ m}}$$

**VIII.8.8.3 Estimation du diamètre par la perte de charge totale**

En appliquant la formule de perte de charge de SCOBAY (VIII. 8) :

$$j = a D^{-N} Q^M \quad (\text{VIII. 8})$$

Avec :

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

$Q$  : Débit de la conduite en (m<sup>3</sup>/s) ;

$D$  : Diamètre de la conduite en (m) ;

$a, M \text{ e } N$  : Constantes dépendantes de la rugosité absolue des canalisations.

Pour le PEHD :  $a = 10,294 \text{ n}^2$  avec  $n = 0,011$  ,  $M = 2$  ,  $N = 5,333$  .



La perte de charge unitaire se calcule aussi par la formule suivante :

$$j = \frac{H}{L_f \cdot t_i} \quad (\text{VIII. 9})$$

Avec :

$H$  : Dénivelé (m), on prend la valeur plus défavorable  $H = 3 \text{ m}$  ;

$L_f \cdot t_i$  : La longueur fictive totale de la porte rampe (m) ;

$$j = \frac{3}{158,33} = 0,019 \text{ m/m}$$

D'après la formule (VIII. 7) on calcule le diamètre de la rampe

$$D = \sqrt[5.3]{\frac{1,24 \cdot 10^{-3} \cdot (0,0028)^2}{0,019}} = \mathbf{6,1 \text{ m}}$$

#### VIII.8.8.4 Normalisation des diamètres obtenus par chaque méthode

$$1) D = 53,4 \text{ m} \quad D_n = 63 \text{ m}$$

$$j = 0,0247 \text{ m} \quad H = j \cdot L = 0,0247 \times 158,33 = 3,9112 \text{ m} < 9,4 \text{ m}$$

$$2) D = 44,5 \quad D_n = 50 \text{ m}$$

$$j = 0,0847 \text{ m} \quad H = j \cdot L = 0,0847 \times 158,33 = 13,41 \text{ m} > 9,4 \text{ m}$$

$$3) D = 66,12 \quad D_n = 75 \text{ m}$$

On prend  $D_p = 7 \text{ m}$  la perte de charge est minimale.

#### VIII.8.9 Détermination du diamètre de la rampe

##### VIII.8.9.1 Estimation du diamètre de la rampe par la vitesse minimale

$$D = \left( \frac{4Q_{rc}}{\pi v_m} \right)^{0,5}$$

$$D = \left( \frac{4 \times 0,0014}{\pi \times 1,25} \right)^{0,5} = \mathbf{3,7 \text{ m}}$$

##### VIII.8.9.2 Estimation du diamètre de la rampe par la vitesse maximale

$$D = \left( \frac{4Q_{rc}}{\pi v_m} \right)^{0,5}$$

$$v_m = 1,8 \text{ m/s} ;$$

$$D = \left( \frac{4 \times 0,0014}{\pi \times 1,8} \right)^{0,5} = \mathbf{3,4 \text{ m}}$$

## VIII.8.9.3 Estimation du diamètre de la rampe par la perte de charge totale

$$j = \frac{H_t - H_p}{L_f} = \frac{3}{30,33} = 0,099 \text{ m/m}$$

$$j = \frac{aQ_{rc}^b}{D^c}$$

D'où

$a = 10,294 n^2$  avec  $n = 0,011$  ;  $b = 2$  ;  $c = 5,333$  ;

$$D = \sqrt[5,33]{\frac{1,24 \cdot 10^{-3} \cdot (0,0014)^2}{0,099}} = 73,35 \text{ m}$$

Diamètre normalisé :  $D_n = 4 \text{ m}$

$$j = 0,065 \text{ m} \quad H = j \cdot L_f = 0,065 \times 30,33 = 1,98 \text{ m} > 6m$$

## VIII.8.9.4 Vérification de la condition de CHRISTIANSEN

Pour une rampe en PEBD de DN= 40 mm de longueur fictive  $L_f = 30,33 \text{ m}$  et un véhicule un débit de  $Q_{rc} = 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$ , la perte de charge totale est

$$H = j \cdot L_f = \frac{1,24 \cdot 10^{-3} Q^2 L_f}{D^{5,3}}$$

$$H = \frac{1,24 \cdot 10^{-3} \times 0,0014^2 \times 30,33}{0,04^{5,3}} = 2,08 \text{ m}$$

la différence de pression d'alimentation entre l'asperseur le plus favorable et l'asperseur le moins favorable ne doit pas dépasser 0,94 bar (9.4 m) (4.47 bar  $\times$  0,20).donc la condition est vérifiée.

## VIII.9 Résultats de dimensionnement

Les résultats de dimensionnement de réseau d'irrigation obtenus sont récapitulés dans le tableau VIII.2

**Tableau VIII.2 : Récapitulatif des résultats de dimensionnement de réseau d'irrigation**

<b>Caractéristiques de la parcelle</b>	
Superficie	2.00 ha
Longueur équivalent	152 m
Largeur	132 m
Perméabilité du sol (vitesse d'infiltration)	5.53 mm/h
RFU	6.21 mm
Débit caractéristique	1.32 l/s
Pression de service	4.74 bar
Besoins bruts	62.38 mm/ha
<b>Caractéristiques de la culture (Carotte)</b>	
Besoins bruts	62.38 mm/ha
La fréquence d'arrosage	11
La dose d'arrosage	6.21 mm/h
<b>Caractéristiques de l'asperseur</b>	
Diamètre de la buse $D_b$	3.2 mm
Débit de l'asperseur $Q_a$	0,84 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
La pression à la sortie de la buse	4.58 bar
La portée du jet d'un asperseur	13.96
L'implantation des asperseurs $E_L \times E_a$	18m×12m
La pluviométrie	3.89 mm.h <sup>-1</sup>
<b>Caractéristiques de mode d'irrigation</b>	
Temps de travail	20 heures/jours -25j/mois
Le temps nécessaire d'irrigation	1h 36 min
La fréquence d'irrigation	11
Le nombre de jours d'arrosage par mois	2 jours
Le nombre de pose par jour	4
Le nombre d'asperseurs	12
<b>Caractéristiques de canalisation</b>	
Longueur des rampes	54 m
Le nombre d'asperseur par rampes	6
Le nombre de rampes	2
Débit de rampe	5.04 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
Le diamètre de la rampe	40 mm
La perte de charge dans la rampe	2.08 m
Longueur de porte rampe	152 m
Diamètre de la porte rampe	75 mm

**VIII.10 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé le dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion, pour une culture maraichère (carotte).

En irrigation gravitaire, les cultures maraichères consommeraient des volumes d'eau importants, de plus les rendements sont généralement faibles. Avec l'irrigation par aspersion, non seulement nous avons une efficacité de l'eau d'irrigation, mais aussi des rendements des cultures très élevés, ce qui permettra d'intensifier les cultures dans cette région semi-aride.

**CHAPITRE IX :**  
**Étude technico-économique**

## CHAPITRE IX : Étude technico-économique

### IX.1 Introduction

L'objet du présent chapitre est de décrire les travaux à exécuter, ces travaux sont les opérations concourantes à la construction, la réparation ou l'entretien, de nature hydraulique ou génie civil, pour la réalisation du réseau d'adduction et de distribution qu'on a choisit.

Ainsi, de quantifier les volumes ces travaux et les différents matériaux et appareillage pour assurer le bon fonctionnement du réseau.

En outre, à travers ce chapitre nous allons créer un devis descriptif et estimatif détaillé qui permet d'analyser les éléments composant le coût et donc nous orienter vers la faisabilité économique du projet.

### IX.2 Nettoyage et décapage du terrain

Débroussaillage et nettoyage du terrain, avec des moyens mécaniques. Comprend les travaux nécessaires pour retirer des zones prévues: petites plantes, mauvaises herbes, buissons, bois morts, décombres, déchets et tout autre matériau existant, jusqu'à une épaisseur au moins égale à l'épaisseur de la couche de terre végétale, en considérant comme minimum 25 cm. Comprend transport des machines, retrait des matériaux excavés et charge sur le camion, ne comprend pas le transport à la décharge autorisée.

On mesurera, en projection horizontale, la surface réellement exécutée selon les spécifications du Projet, sans inclure les incréments par excès d'excavation non autorisés.

#### IX.2.1 Calcul de la surface de débroussaillage

Nous calculons la surface de débroussaillage par la formule suivante :

$$S_{deb} = L \times B$$

Avec :

$S_{deb}$  : La surface de débroussaillage en (m<sup>2</sup>) ;

$L$  : La longueur de la canalisation en (m);

$B$  : La largeur en (m) ;

$$B = B_{t1} + B_{né} + B_{t2} + B_e$$

Où :

$B_{t1}$  : La largeur du tranché en (m);

$B_{t2}$  : La largeur la tuyauterie à installer (avant la pose) en (m) ;

$B_e$  : Largeur pour le déplacement des engins pendant les travaux.

Pour le débroussaillage le long de la conduite principale on prend  $B_{engins} = 4\text{m}$ , et 3 m pour le réseau de distribution.

La largeur du tranché va être défini dans le calcul du volume de déblai, on prend 0.5m pour la largeur la tuyauterie à installer.

### IX.3 Construction de tranchée

Les tranchées doivent être excavées selon les exigences des calculs, ainsi l'alignement, la pente, la largeur et la profondeur doivent être respectés.

Sur la plupart des chantiers de construction, il sera souhaitable de garder à proximité de l'excavation, la tuyauterie à installer et les matériaux de remblayage pour réduire au minimum les problèmes de logistique et réduire les coûts des tâches de surveillance.

Le croquis ci-dessous montre la signification et la position des éléments tel que la largeur et la profondeur de la tranchée, la base, le lit, le remblai primaire, le remblai secondaire, le remblai final etc., utilisés dans cette spécification.

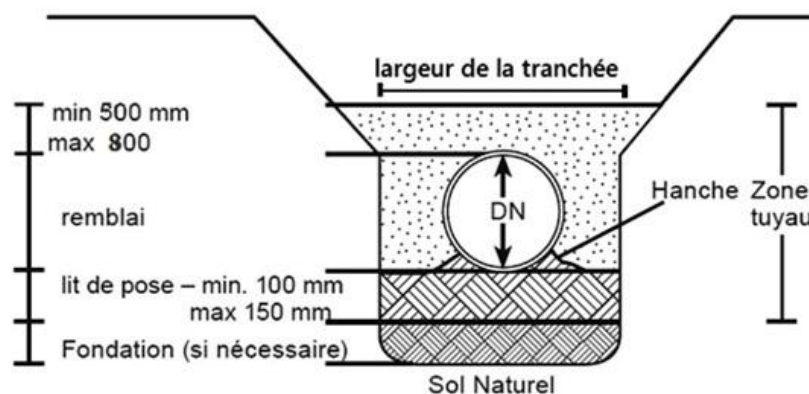


Figure IX.1 : Schéma d'une tranchée.

#### IX.3.1 Calcul du volume de déblai

Nous calculons le volume de déblai par la formule suivante :

$$V_{deb} = B_{t_{né}} \times H_{t_{né}} \times L$$

Où :

$V_{deb}$  : Le volume de déblai en ( $\text{m}^3$ ) ;

$B_{t_{né}}$  : La largeur du tranché en (m);

$H_{t_{né}}$  : La profondeur de la tranchée en (m);

$L$  : La longueur de la tranche (la conduite) en (m).

La largeur d'ouverture de tranchée est obtenue par la formule :

$$B_{t_{né}} = D + (0.5 \sim 1.2)$$

Avec :

$D$  : Diamètre de la conduite (m).

La profondeur de la tranchée est obtenue par la formule :

$$H_{t_{né}} = D + e + h$$

Avec :

$D$  : Diamètre de la conduite en (m) ;

$e$  : La hauteur de lit de pose en (m) (0.1- 0.2) ;

$h$  : La hauteur du remblai au-dessus de la conduite en (m) (0.5-0.8).

### IX.3.2 Calcul du volume de remblai

Le volume de remblai se calcul par la formule suivante :

$$V_{r\epsilon} = V_{déb} - (V_{li\ a\ s} + V_c)$$

Avec :

$V_{r\epsilon}$  : Le volume de déblai en (m<sup>3</sup>) ;

$V_{li\ a\ s}$  : Le volume de lit de sable en (m<sup>3</sup>) ;

$V_c$  : Le volume occupé par la conduite en (m<sup>3</sup>).

Le volume occupé par la conduite est obtenu par la formule :

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Où :

$D$  : Diamètre de la conduite en (m) ;

$L$  : La longueur de la conduite en (m).

Le volume de lit de sable est obtenu par la formule :

$$V_{li\ a\ s} = B_{t_{né}} \times e \times L$$

Avec :

$e$  : La hauteur de lit de pose en (m) (en prend 0.1m) ;

$L$  : La longueur de la tranche (la conduite) en (m).



## IX.4 Les canalisations

Fourniture et montage des tubes en polyéthylène PEHD (PE80) de couleur noire avec des bandes bleues, de 63 à 315 mm de diamètre extérieur, PN=10 bar, et des tubes en font ductiles pour les Traversées de route et des oueds. Les longueurs et les prix des canalisations sont donnés dans le devis quantitatif et estimatif.

## IX.5 Ouvrages en ligne

### IX.5.1 Traversée de route

La conduite doit être enchâssée dans du béton débordant au-delà de chaque bord de la surface finie de la route ou comme requis selon les conditions spéciales sur site.

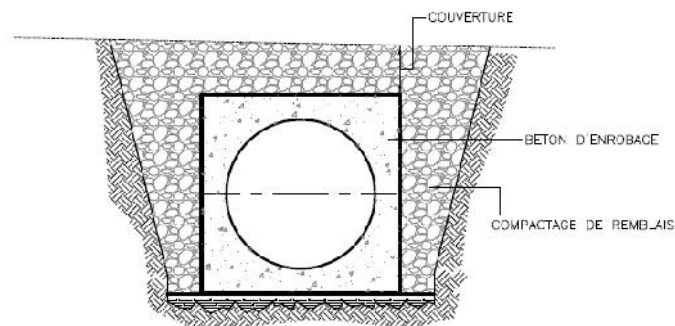


Figure IX.2 : Coupe transversale de la traversée de route

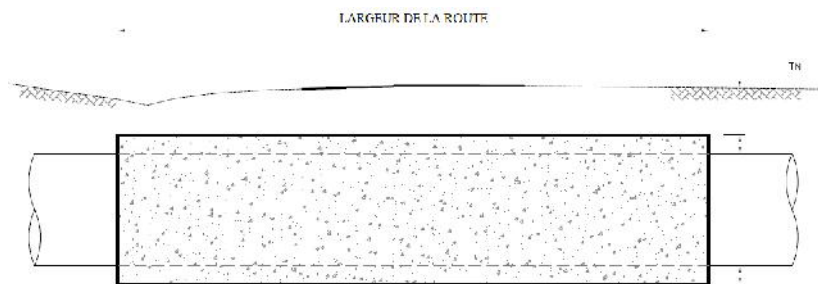


Figure IX.3 : Coupe longitudinale de la traversée de route

### IX.5.2 Traversées des oueds

La conduite doit être enchâssée dans du béton s'étendant de (2-10 m) de part et d'autre des rives ou comme indiqué dans les conditions spéciales sur site. On utilise des conduites en font pour les traversées des oueds.

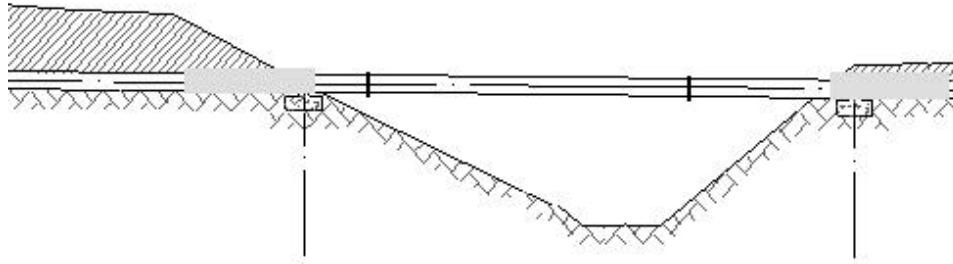


Figure IX.4 : la traversé d'une rivière ou oued

### IX.5.3 Regard de jonction

Un regard est un ouvrage maçonné rond ou rectangulaire qui se situe au-dessus d'une canalisation et dont le but est de permettre la visite et l'entretien d'une conduite souterraine.

#### Clauses techniques

Formation de regard enterré, de dimensions intérieures 97x87x120 cm, construite en maçonnerie de brique perforée en terre cuite, de 1/2 pied d'épaisseur,

#### Phases d'exécution

Implantation du regard. Suppression des terres lâches du fond de l'excavation. Coulage et compactage du béton pour la réalisation du dallage. Réalisation de l'ouvrage en maçonnerie avec des briques, préalablement humidifiées, placées avec du mortier. Enduit et repassage avec du mortier, en arrondissant les angles, du fond et des parois intérieures du regard. Réalisation de trous pour le passage des tubes. Connexion. Mise en place du couvercle. Suppression des restes, nettoyage final et retrait des décombres. Charge des décombres dans le camion ou la benne. [CYPE Ingenieros, S.A. (2015)]

### IX.5.4 L'implantation des bornes

La partie enterrée des bornes doit être entourée par une couche de béton jusqu'à 40-50 cm au niveau du sol pour protéger la borne, en propose l'implantation des bornes dans des conduites en béton DN 1200 mm, comme indique la figure suivante.

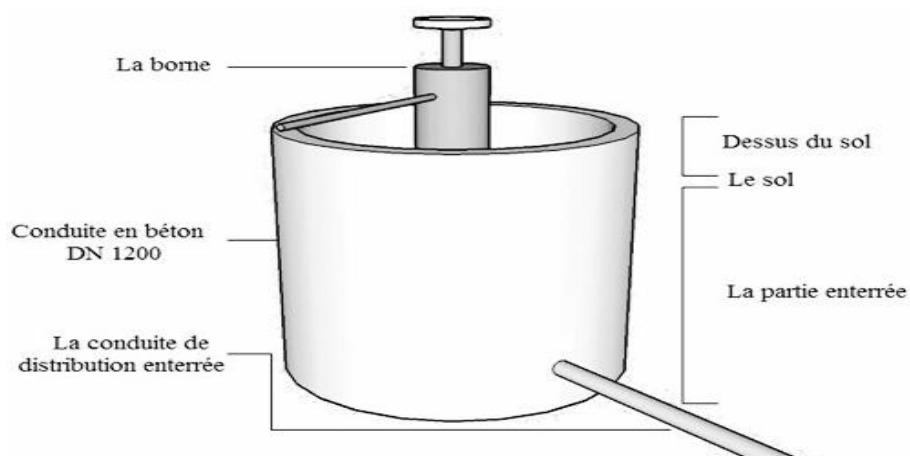


Figure IX.5 : Schéma d'installation des bornes dans une conduite en béton DN 1200.



Figure IX.6 : photo d'une borne implantée dans une conduite en béton.

### IX.6 Équipement mécaniques et accessoires

En plus des conduites, un certain nombre de pièces spéciales complètent l'équipement. Dans notre projet nous avons besoin de :

- Raccords en Té ;
- Cônes de réduction ;
- Croix avec réduction ;
- Joints de démontage ;
- Raccords (fonte ductile-PEHD) ;
- Les vannes ;
- Les ventouses : Le choix est fait directement en fonction du diamètre de la conduite ;
- Les bornes hydrantes.

### IX.7 Plantation d'un réseau brise vent

Un brise-vent efficace contribue à diminuer les problèmes d'érosion par le vent et permet d'obtenir de meilleurs rendements.

Les brise-vent naturels ont des avantages incontestés en agriculture. Une bonne localisation du brise-vent sur la ferme et un choix judicieux d'arbres par rapport aux cultures avoisinantes assureront une efficacité maximale de ce rideau végétal.

Notre variante consiste à implanter un réseau de brise vent (cyprés, pins, Casuarina) avec un intervalle de deux mètres dans un trou de 60x60x60 cm.

### IX.8 Devis quantitatif et estimatif

Les prix unitaires sont obtenus du générateur de prix de la construction. Algérie. CYPE Ingénierons, S.A. étant donné qu'il permet d'obtenir des coûts de construction ajustés au marché. De plus, il facilite l'élaboration d'une documentation de qualité (complète, consistante et avec une information technique liée à chaque unité d'ouvrage).

La main d'œuvre, les rendements de la main d'œuvre, le rechargement et le déchargement, et le transport ne sont pas inclus dans le calcul du coût.

**Tableau IX.1 : Devis quantitatif et estimatif pour la réalisation du réseau d'adduction et de distribution.**

Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire DA	Prix total
<i>A. Travaux de terrassement</i>				
Débroussaillage et nettoyage du terrain, jusqu'à une profondeur minimale de 25 cm, avec des moyens mécaniques, retrait des matériaux excavés et charge sur le camion, ne comprend pas le transport à la décharge autorisée.	20321.40	m <sup>2</sup>	74.00	1503783.60
Excavation de tranchées en terrain normal, 1 m de largeur allant jusqu'à 1,2 m de profondeur maximale, avec moyens mécaniques, retrait des matériaux excavés et charge sur le camion.	5234.46	m <sup>3</sup>	955.00	4998909.30
Remblai de tranchées avec sable 0/5 mm avec moyens mécaniques, jusqu'à une profondeur minimale de 15 cm et compactage au 90% du Proctor Modifié avec moyens mécaniques.	785.17	m <sup>3</sup>	2252.80	1768828.72
Remblai de tranchées avec terre de l'excavation avec moyens mécaniques, et compactage au 90% du Proctor Modifié avec moyens mécaniques.	4260.61	m <sup>3</sup>	522.85	2227661.40
Sous total (A) :				10499183.02
<i>B. Conduites</i>				
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 63 mm, 4,7 mm, PN=10 bars.	97.00	m	563.83	54691.51
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 75 mm, 5,6 mm, PN=10 bars.	810.25	m	800.69	648759.0725
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 110 mm, e=8,1 mm, PN=10 bars.	467.60	m	1701.99	795850.524
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 125 mm, e=9,2 mm, PN=10 bars.	200.00	m	2101.28	420256
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 160 mm, e=11,8 mm, PN=10 bars.	100.00	m	3439.61	343961
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 250 mm, e=18,4 mm, PN=10 bars.	1381.50	m	8371.62	11565393.03
Tube en polyéthylène PE 80 de couleur noire avec des bandes bleues, DN 315 mm, e=23,2 mm, PN=10 bars.	1387.70	m	9293.14	12896090.38
Tube en fonte ductile pour union par emboîture et bout uni, avec joint élastomère standard, DN 250 mm.	24.00	m	7451.46	178835.04
Tube en fonte ductile pour union par emboîture et bout uni, avec joint élastomère standard, DN 300 mm.	20.00	m	9707.85	194157
Sous total (B) :				27097993.55
<i>C. Equipement mécaniques et accessoires</i>				
Té avec réduction dans la dérivation, en PEHD, PN 10 bars				
DN 315/110	2.00	U	970	1940
DN 250/110	4.00	U	970	3880
DN 160/125	1.00	U	850	850
DN 110/75	1.00	U	850	850

Té avec réduction à une extrémité et dans la dérivation, en PEHD, PN 10 bars				
DN 315/250/110	1.00	U	1200	1200
DN 250/160/110	1.00	U	1200	1200
Réduction, en PEHD, PN 10 bars DN				0
DN 110/63	1.00	U	1200	1200
DN 110/75	3.00	U	1200	3600
DN 160/110	1.00	U	1200	1200
Joint Gibault auto buté pour tube PEHD/Fonte ductile				
DN 315	2.00	U	4000	8000
DN 250	2.00	U	4000	8000
Vanne à opercule à obturateur stationnaire avec indicateur de position et manette métallique, PN 10 bar.				
Robinet vanne, PN 10 bars, DN 2 1/2"	1.00	U	11178.00	11178
Robinet vanne, PN 10 bars, DN 3"	4.00	U	13412.00	53648
Robinet vanne, PN 10 bars, DN 4"	4.00	U	16340.00	65360
Robinet vanne, PN 10 bars, DN 5"	1.00	U	22140.00	22140
Robinet vanne, PN 10 bars, DN 12"	1.00	U	978317.00	978317
Borne d'irrigation, avec accessoires de raccordement, DN 65 à 1 prise	1.00	U	85280	85280
Borne d'irrigation, avec accessoires de raccordement, DN 65 à 2 prises	4.00	U	93950	375800
Borne d'irrigation, avec accessoires de raccordement, DN 100 à 2 prises	5.00	U	115380	576900
Sous total (C) :				2200543
<i>D. Ouvrages en ligne</i>				
Béton non armé coulage avec moyens manuels, pour la réalisation des traversées des oueds et de route	12.25	m <sup>3</sup>	24000	294000
Regard en ouvrage de maçonnerie, de dimensions intérieures 97x87x120 cm, avec couvercle préfabriqué de béton armé, pour hébergement de la vanne.	12.00	U	19710	236520
Collecteur enterré, constitué de tube de béton armé l'implantation des bornes, DN 1200, longueur 2.5 m	10.00	U	2035.96	20359.6
Sous total (D) :				550879.6
<i>E. Plantation d'un réseau brise vent</i>				
un réseau de brise vent (cyprès, pins, Casuarina) avec un intervalle de deux mètres dans un trou de 60x60x60 cm.	1777.00	U	375.00	666375.00
Sous total (E) :				666375.00
Montant total HT:				41014974.18

**IX.9 Conclusion**

D'après le coût de la projection du réseau d'adduction et de distribution, on remarque que l'estimation financière du réseau est relativement importante.

Les prix utilisés dans cette étude restent des prix référentiels, le bon choix des offres selon les dispositions du code des marchés publics joue un rôle important dans contrôle du coût du projet.

L'estimation de l'investissement consiste à transformer en coût l'annuité à payer pour l'installation d'irrigation et à la comparer au rendement annuel moyen supplémentaire donné par la culture. Il faudra dans ces conditions que le rendement annuel soit supérieur à l'annuité pour que l'irrigation soit considérée comme payante.

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de la présente mémoire de fin d'étude, est dimensionner le périmètre d'irrigation de plaine de MESKIANA à l'aval de la retenue collinaire GOURIGUEUR dans le but d'assurer une répartition de l'eau de façon uniforme et économique, facteur le plus essentiel dans une telle étude.

La zone d'étude présente une géomorphologie quasi plane légèrement ondulée avec une pente d'exposition générale S-NO. Le réseau hydrographique est constitué d'un oued principal (oued AID) et ces affluents.

L'analyse climatologique montre que la région possède un climat semi-aride, avec une pluviométrie insuffisante pour l'obtention de rendements acceptables des différentes cultures.

L'aptitude des sols reste bonne pour les cultures céréalières et fourragères ainsi que les cultures maraichères mais moyenne pour les cultures arboricoles. L'installation de brises vent, apporter des amendements organique, fertilisation minérale et le labour profond sont les principaux travaux préconisés pour améliorer les propriétés de sol.

En basant sur la méthode de Penman-Monteith-FAO pour estimer l'évaporation potentielle (ETP) et la méthode du département américain de l'agriculture (USDA) pour le calcul de la pluie efficace, nous avons pu estimer les besoins en eau d'irrigation pour les cultures de périmètre à irriguer.

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

Un réseau hydraulique classique est proposé, composé de conduites circulaires enterrées de diamètres entre 315 et 160 mm pour la conduite principale et de 63 à 125 mm pour le réseau de distribution. Le matériau de canalisation est le PEHD de PN 10 bars.

Le passage d'un système non irrigué à un système irrigué soulève également une série de questions auxquelles l'étude technico-économique doit répondre.

## Références bibliographiques

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

**Ayers R.S., Westcot D.W. (1994).** *Water quality for agriculture* (FAO irrigation and drainage paper N°29). Rome : FAO ;

**Belaid N. (2010).** *Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques.* Thèse en cotutelle en vue de l'obtention du doctorat, École Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Tunisie ;

**Ben Mebarek M.C. (2011).** *Contribution a' l'étude de l'aménagement Hydro-agricole du périmètre de teleghma wilaya de Mila.* Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida ;

**Benkaci A.T. (2013-2014).** *Travaux dirigés : Calcule des Paramètres de l'irrigation par asperseur,* Document non publié, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida ;

**Bennis S. (2007).** *Hydraulique et hydrologie* (2<sup>e</sup> édition). Québec : Les Presses de l'Université du Québec ;

**Blaney H.F., Criddle W. D. (1952).** *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.* Washington, D.C : U.S. Soil Conservation Service ;

**Boulifa I. (2011).** *Etude du périmètre d'irrigation de F'kirina à l'aval de la retenue collinaire d'Oulmène wilaya d'Oum El Bouaghi.* Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida ;

**Brouwer C., Heibloem M. (1986).** *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs* (Training manual N° 3). Rome : FAO ;

**Claude L. (1975).** *Annales de géographie : L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques.* (t. 84, n°464). Paris : Armand colin ;

**Clément M., Paul A., Jean-Claude C. (2007).** *Bases techniques de l'irrigation par aspersion.* Paris : Lavoisier ;

**Clément R., Galand A., Meylan J. (1990).** *Systèmes d'irrigation.* Paris : Techniques de l'Ingénieur;

**CYPE Ingenieros, S.A. (2015).** *Générateur de prix de la construction, Algérie.* En ligne <http://www.algerie.prix-construction.info> ;

**Daniel H., Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997).** *Small-scale irrigation for arid zones Principles and options.* Rome : FAO ;

**Dastane N. G. (1978).** *Effective rainfall in irrigated agriculture.* Rome : FAO ;



**FAO Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Etats-Unis. Bureau of reclamation. (1990).** *Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation* (Bulletin pédologique de la FAO, 42). Rome : FAO ;

**Gouaidia L. (2008).** *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien.* Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences de la terre, Université BADJI MOKHTAR-Annaba ;

**Kadi K., Chergui M., Malkia N., Hamli S., Boukeria S., Yahia A. (2014).** *Estimation des besoins en eau de la culture de l'ail par différentes formules* (European Scientific Journal September 2014 edition vol.10, No.27). En ligne <http://eujournal.org> ;

**L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2015).** *Le Calendrier cultural.* En ligne <http://www.fao.org/agriculture/seed/cropcalendar/welcome.do> ;

**Labye Y., Olson M. A., Galand A., Tsiourtis N. (1996).** *Conception et optimisation des réseaux d'irrigation* (FAO irrigation et drainage N° 44). Rome : FAO ;

**Leonvil S. M. (1953).** *Premier Cours National Post-Gradue Sur L'Irrigation, Le Drainage et la Gestion des Ressources Hydriques. Relation Sol-Plante-Eau.* Port-au-Prince, Haïti : IICA Haïti ;

**Léopold R., Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts (France). (2003).** *Guide pratique irrigation.* Versailles : Editions Quae ;

**Marc S., André M., André M. (2007).** *Ingénierie des eaux et du sol : processus et aménagements.* Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes ;

**Mermoud A. (2007).** *Cours : Aménagement et équipement de territoire, notion fondamentale de l'irrigation,* école polytechnique fédérale de Lausanne ;

**Messahel M. (1992).** *Guide de mémoire de fin d'étude pour les élèves ingénieur en génie rural (irrigation).* Document non publié, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida ;

**Messahel M. (2013-2014).** *Syllabus de cours : irrigation et drainage.* Document non publié, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida ;

**Pierre-Emile V.L. (2003).** *Mémento de l'irrigation* (Collection : Manuels Techniques). Bruxelles, Belgique : Ingénieurs Assistance Internationale - Ingénieurs sans Frontières ;

**Vermeiren L (1983).** *L'irrigation localisée: calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement* (Volume 36 de Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage). Rome : FAO ;

## **Annexes**

## Annexe II : Analyse Physico-chimique profils pédologique

<b>FICHE ANALYTIQUE Profil : P01</b>			
N° horizon	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Profondeur (cm)	00 - 30	30 - 65	65 - 140
<b>GRANULOMETRIE</b>			
Argiles (%)	17	25	36
Limons ( % )	67	57	50
Sables ( % )	16	18	14
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>			
Matière organique %	1.496	1.393	1.342
Carbone %	8.7	8.1	7.8
Azote %	0.95	0.9	0.75
Carbone/ Azote			
<b>RESERVES MINERALES</b>			
CaCO <sub>3</sub> total (%)	26.6	27.74	26.4
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	15.8	15.4	14.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)			
K <sub>2</sub> O total (%)			
Gypse total (%)			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)			
<b>BASE ECHANGEABLES</b>			
Ca <sup>++</sup> (méq/100g)	55.6	35.39	47.32
Mg <sup>++</sup> (méq/100g)	5.6	5	7.05
K <sup>+</sup> (méq/100g)	1.2	0.46	0.57
Na <sup>+</sup> (méq/100g)	0	0.08	1.32
T(NH <sub>4</sub> ) (méq/100g)	52.18	47.59	49.75
Na/T (%)			
<b>SOLUTION DU SOL</b>			
pH	8.5	8.6	8.4
C.E en (mmho/cm)	0.3	0.4	0.9

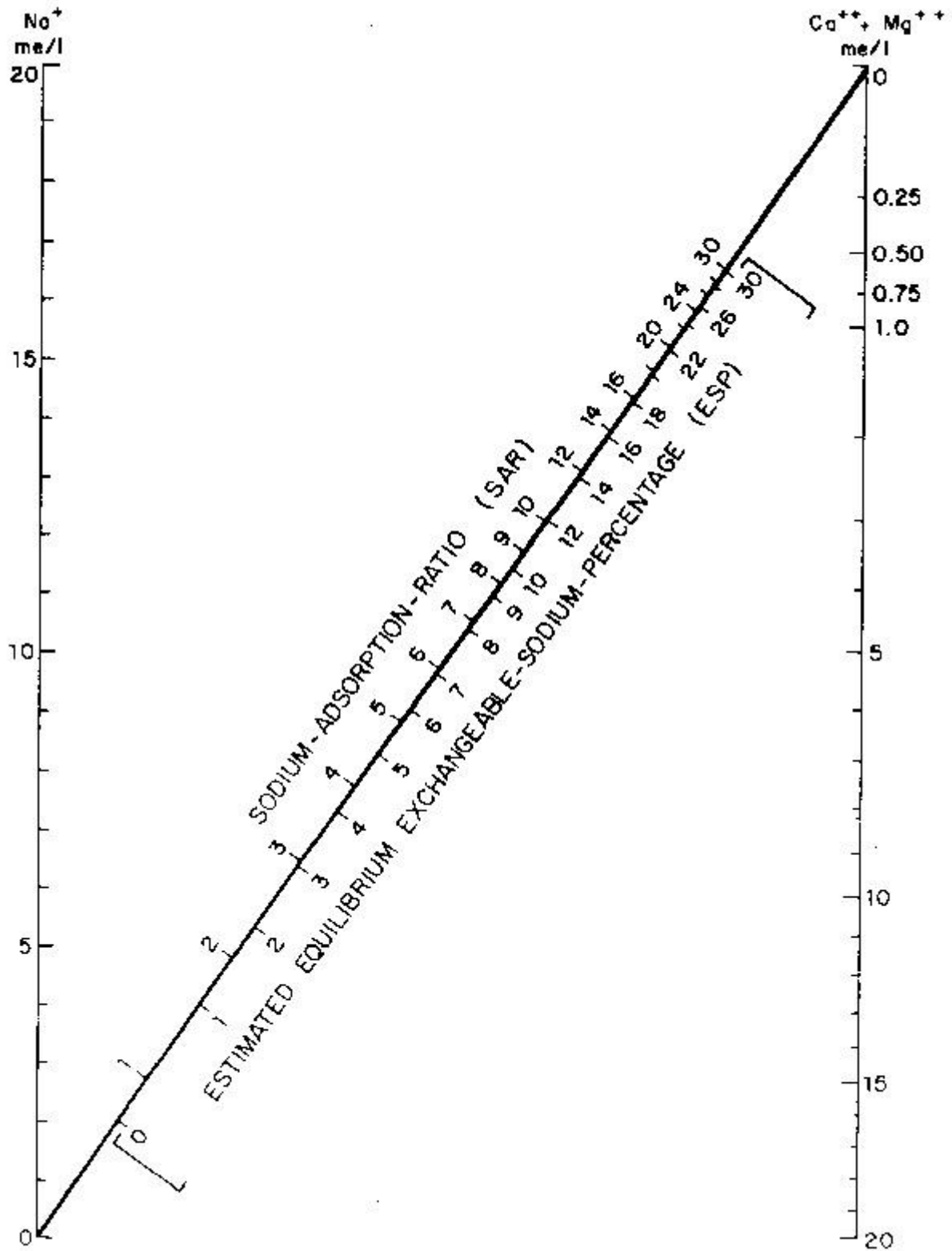
<b>FICHE ANALYTIQUE Profil : P02</b>			
N° horizon	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Profondeur (cm)	00 - 35	35 - 80	80 - 150
<b>GRANULOMETRIE</b>			
Argiles (%)	19	32	30
Limons ( % )	57	52	48
Sables ( % )	24	16	22
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>			
Matière organique %	1.754	1.307	1.342
Carbone %	10.2	7.6	7.8
Azote %	1.08	0.86	0.85
Carbone/ Azote			
<b>RESERVES MINERALES</b>			
CaCO <sub>3</sub> total (%)	34.2	33.44	23.56
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	14.2	14.8	14.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)			
K <sub>2</sub> O total (%)			
Gypse total (%)			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)			
<b>BASE ECHANGEABLES</b>			
Ca <sup>++</sup> (méq/100g)	40.93	42.87	49.51
Mg <sup>++</sup> (méq/100g)	4.32	5.56	6.87
K <sup>+</sup> (méq/100g)	12.18	9.43	12.17
Na <sup>+</sup> (méq/100g)	0	0.12	0.86
T(NH <sub>4</sub> ) (méq/100g)	36.22	45.55	41.76
Na/T (%)			
<b>SOLUTION DU SOL</b>			
pH	8.7	8.8	8.6
C.E en (mmho/cm)	0.4	0.4	0.8

<b>FICHE ANALYTIQUE Profil : P04</b>			
N° horizon	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Profondeur (cm)	00 - 20	30 - 75	75- 150
<b>GRANULOMETRIE</b>			
Argiles (%)	35	29	35
Limons ( % )	37	35	40
Sables ( % )	29	36	25
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>			
Matière organique %	0.60	0.36	0.40
Carbone %	0.35	0.21	0.23
Azote %			
Carbone/ Azote			
<b>RESERVES MINERALES</b>			
CaCO <sub>3</sub> total (%)	24.75	20.25	24.38
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	13.10	13.76	13.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	36.64	32.06	27.48
K <sub>2</sub> O total (%)			
Gypse total (%)			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)			
<b>BASE ECHANGEABLES</b>			
Ca <sup>++</sup> (méq/100g)	4.08	4.30	4.82
Mg <sup>++</sup> (méq/100g)	2.23	2.45	2.97
K <sup>+</sup> (méq/100g)	5.26	2.56	2.69
Na <sup>+</sup> (méq/100g)	4.18	4.29	4.82
T(NH <sub>4</sub> ) (méq/100g)	15.90	13.76	15.46
Na/T (%)			
<b>SOLUTION DU SOL</b>			
pH	7.98	8.01	7.98
C.E en (mmho/cm)	2.50	2.67	2.51

<b>FICHE ANALYTIQUE Profil : P09</b>			
N° horizon	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Profondeur (cm)	00 – 20	20 - 40	
<b>GRANULOMETRIE</b>			
Argiles (%)	18	28	
Limons ( % )	38	35	
Sables ( % )	44	37	
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>			
Matière organique %	1.12	0.81	
Carbone %	0.65	0.47	
Azote %			
Carbone/ Azote			
<b>RESERVES MINERALES</b>			
CaCO <sub>3</sub> total (%)	16.88	26.25	
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	6.70	15.77	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	59.54	36.64	
K <sub>2</sub> O total (%)			
Gypse total (%)			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)			
<b>BASE ECHANGEABLES</b>			
Ca <sup>++</sup> (méq/100g)	1.97	3.87	
Mg <sup>++</sup> (méq/100g)	0.12	2.35	
K <sup>+</sup> (méq/100g)	4.56	3.46	
Na <sup>+</sup> (méq/100g)	2.58	4.31	
T(NH <sub>4</sub> ) (méq/100g)	9.37	13.81	
Na/T (%)			
<b>SOLUTION DU SOL</b>			
pH	8.67	8.64	
C.E en (mmho/cm)	0.25	0.31	

<b>FICHE ANALYTIQUE Profil : P06</b>			
N° horizon	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Profondeur (cm)	00 - 40	40 - 80	80 - 150
<b>GRANULOMETRIE</b>			
Argiles (%)	29	27	38
Limons ( % )	37	35	41
Sables ( % )	34	38	21
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>			
Matière organique %	0.81	0.60	0.43
Carbone %	0.47	0.35	0.25
Azote %			
Carbone/ Azote			
<b>RESERVES MINERALES</b>			
CaCO <sub>3</sub> total (%)	23.63	27.00	46.88
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	8.93	14.58	18.30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	36.64	29.77	32.06
K <sub>2</sub> O total (%)			
Gypse total (%)			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)			
<b>BASE ECHANGEABLES</b>			
Ca <sup>++</sup> (méq/100g)	3.32	3.99	5.67
Mg <sup>++</sup> (méq/100g)	1.47	2.14	3.54
K <sup>+</sup> (méq/100g)	3.46	2.56	2.56
Na <sup>+</sup> (méq/100g)	5.68	4.00	5.53
T(NH <sub>4</sub> ) (méq/100g)	14.08	12.84	17.73
Na/T (%)	3.32	3.99	5.67
<b>SOLUTION DU SOL</b>			
pH	8.66	8.43	8.30
C.E en (mmho/cm)	0.64	2.37	2.50

**Annexe III : Nomogramme pour déterminer la valeur du SAR de l'eau d'irrigation et pour estimer la valeur correspondante de l'ESP d'un sol à l'équilibre avec sa solution (US salinity Laboratory Staff, 1953)**





**Annexe V.1 : Coefficient de correction (K) pour les valeurs de Thornthwaite, en fonction de la latitude et du mois considérés.**

<b>Lat.N</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
<b>0</b>	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
<b>5</b>	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
<b>10</b>	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
<b>15</b>	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
<b>20</b>	0.95	0.90	1.03	1.03	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
<b>25</b>	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
<b>26</b>	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
<b>27</b>	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90	0.90
<b>28</b>	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
<b>29</b>	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
<b>30</b>	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
<b>31</b>	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
<b>32</b>	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
<b>33</b>	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86
<b>34</b>	0.88	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
<b>35</b>	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
<b>36</b>	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84
<b>37</b>	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
<b>38</b>	0.85	0.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
<b>39</b>	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
<b>40</b>	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
<b>41</b>	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.80
<b>42</b>	0.82	0.83	1.03	1.13	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79
<b>43</b>	0.81	0.82	1.02	3.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	0.95	0.81	0.77
<b>44</b>	0.81	0.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.32	1.20	1.04	0.95	0.80	0.76
<b>45</b>	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
<b>46</b>	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74
<b>47</b>	0.77	0.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	0.93	0.78	0.73
<b>48</b>	0.76	0.80	1.02	1.14	1.33	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.71	0.12
<b>49</b>	0.75	0.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	0.93	0.76	0.71
<b>50</b>	0.74	0.78	1.03	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
<b>Lat.S</b>												
<b>5</b>	1.06	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
<b>10</b>	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
<b>15</b>	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
<b>30</b>	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	1.99	1.00	1.08	1.09	1.15
<b>25</b>	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
<b>30</b>	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
<b>35</b>	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
<b>40</b>	1.21	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
<b>42</b>	1.28	1.07	1.07	0.92	0.85	0.76	0.82	0.92	1.00	1.16	1.22	1.31
<b>44</b>	1.30	1.08	1.07	0.92	0.83	0.74	0.81	0.91	0.99	1.17	1.23	1.33
<b>46</b>	1.32	1.10	1.07	0.91	0.82	0.72	0.79	0.90	0.99	1.17	1.2S	1.35
<b>48</b>	1.34	1.11	1.08	0.90	0.80	0.70	0.76	0.89	0.99	1.10	1.27	1.37
<b>50</b>	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

**Annexe V.2 : Pourcentage d'éclairage (P) mensuel pour différents latitudes.**

Latitude in °												
North	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.57	6.98	5.04	4.22
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.99	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.52
35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.76	9.77	9.93	9.37	8.36	7.87	6.97	6.86
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40	7.42
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.26	7.75	7.88
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.85	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
South												
10	8.86	7.87	8.53	8.09	8.18	7.86	8.14	8.27	8.17	8.62	8.53	8.88
20	9.24	8.09	8.57	7.94	7.85	7.43	7.76	8.03	8.13	8.76	8.87	9.33
30	9.70	8.33	8.62	7.73	7.45	6.96	7.31	7.76	8.07	8.97	9.24	9.85
40	10.27	8.63	8.67	7.49	6.97	6.37	6.76	7.41	8.02	9.21	9.71	10.49

**Annexe V.3 : Valeurs mensuelles de la radiation globale (Iga) pour différents latitudes Nord.**

Latitude Nord	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
janvier	858	759	642	508	364	222	87.5	5	0
février	888	821	732	624	495	360	215	82	2.9
mars	890	873	834	764	673	562	432	289	146
avril	862	894	902	880	833	764	676	577	508
mai	816	885	930	950	944	920	880	860	889
juin	790	873	934	972	985	983	970	992	0.42
juillet	804	879	930	955	958	938	908	905	945
août	833	880	902	891	858	800	728	651	610
septembre	875	872	843	788	710	607	487	341	213
octobre	880	830	755	658	536	404	262	119	17.5
novembre	860	767	656	528	390	246	111	17	0
décembre	842	735	610	469	323	180	55.5	0	0

**Annexe V.4 : Durée mensuelle du jour «H» en heures par mois (c'est-à-dire nombre d'heures où le soleil est au-dessus de l'horizon chaque-mois).**

*Latitude nord*

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°
Janvier	375	372	369	366	363	360	357	354	351	348	344	340
Février	342	341	339	337	335	333	331	330	328	327	325	323
Mars	375	375	375	374	374	374	374	374	373	373	373	373
Avril	363	364	366	367	369	370	371	373	374	376	378	379
Mai	375	378	381	384	387	390	393	396	399	402	406	410
Juin	363	366	369	373	377	381	384	388	392	396	400	408
Juillet	375	378	381	384	387	391	394	398	402	406	410	413
Août	375	377	379	381	383	386	388	390	392	394	397	399
Septembre	363	363	364	364	365	365	366	366	367	367	368	368
Octobre	375	374	373	372	370	369	368	367	366	364	363	361
Novembre	363	361	359	357	354	351	348	345	342	339	336	333
Décembre	375	372	369	365	361	357	354	350	342	342	338	334

	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°
Janvier	332	328	324	320	316	311	306	301	294	287	280	273
Février	319	316	313	311	309	307	304	301	298	295	292	288
Mars	372	372	372	372	372	371	371	371	370	370	370	369
Avril	384	385	387	389	391	395	395	398	401	404	407	410
Mai	421	421	425	429	433	441	441	446	452	458	465	472
Juin	317	417	422	427	432	443	443	449	457	465	473	481
Juillet	421	425	355	434	439	449	449	455	462	469	476	484
Août	404	407	320	413	416	422	422	425	429	434	439	444
Septembre	369	370	317	371	372	373	373	374	375	376	377	378
Octobre	359	357	429	354	352	348	348	346	344	342	340	337
Novembre	327	324	410	316	312	304	304	300	295	290	284	278
Décembre	326	322	371	312	307	297	297	291	283	276	269	261

*Latitude sud*

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°
Janvier	375	378	381	385	389	392	395	399	403	406	410	413	417	421	425
Février	342	343	345	346	348	350	352	354	356	358	360	362	364	366	368
Mars	375	375	376	376	377	377	378	378	379	379	379	379	380	380	380
Avril	363	362	361	359	358	357	355	353	352	351	349	348	347	346	342
Mai	375	373	371	368	365	362	359	356	353	350	347	344	340	336	333
Juin	363	359	355	351	348	345	341	337	334	331	327	323	319	315	312
Juillet	375	372	369	366	363	360	357	354	351	347	343	339	335	331	327
Août	375	374	372	370	368	366	364	362	360	358	356	354	352	349	346
Septembre	363	363	362	362	362	362	361	361	361	360	360	360	359	358	358
Octobre	375	376	377	378	379	381	381	383	385	387	388	390	392	394	396
Novembre	363	365	368	371	374	377	380	383	386	389	392	395	398	401	405
Décembre	375	378	382	386	390	394	397	400	404	408	412	416	421	426	431