



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**ETUDE HYDRO-AGRICOLE DU PERIMETRE DE GHRISS
A PARTIR DU BARRAGE D'OUISERT,
WILAYA DE MASCARA**

Présenté par :

DJOUDI AHLEM KENZA

Devant les membres du jury

| Nom et Prénoms | Grade | Qualité |
|-----------------------|--------------|----------------|
| HACHEMI Abdelkader | M.C.B | Président |
| BENKACI Ali Tarek | M.C.B | Examineur |
| MAZOUZI Sabra | M.A.A | Examineur |
| MEDDI Mohamed | Professeur | Promoteur |

Session Décembre 2020

Dédicaces

Avec l'aide de dieu tout puissant, on a pu

achever ce modeste travail que je dédie,

A mon père DINE et ma mère KHEIRA le

grand cœur sur la terre de m'avoir aidé avec

leurs conseils et leur soutien moral,

qui n'ont jamais cessé de m'encourager ;

en espérant que dieu leur donne la santé.

A mes chers frères : SABER et YUCEF ; qui ont été toujours à côté de moi ;

A toutes mes chères amies de l'EPST Tlemcen : Nesrin Amel ,Hadjer²,

Sabah ; et de l'ENSH : Selma, Bouchra, Meriem, Sichem.

A tous ceux qui j'ai oubliés involontairement ;

À tous ceux qui vont lire ce travail.

KENZA DJOUDI.

Remercîment

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Mes vifs remerciements à mes très chers parents, qui m'ont facilité les choses pour accomplir mes études.

Je remercie fortement mon promoteur : Mr. MEDDI Mohamed de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier aussi Mr. BAKHTIAR Djamel, Mr. BEKKOUSSA Belkacem et toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous les enseignants de l'ENSH qui ont contribué à ma formation.

Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

KENZA DJOUDI.

ملخص

يتمثل عملنا هذا في تقدير حجم شبكة السقي في محيط غريس قطاع 2 ولاية معسكرالذي يمتد على مساحة 365 هكتارا، تطرقنا لأهم المراحل في المشروع و هي: تحديد احتياجات المحاصيل من المياه و الكميات اللازمة توفيرها عن طريق الري خلال فترة الزراعة لضمان إمدادات كافية ومستمرة من المياه للنباتات، إضافة الى اسقاط أنظمة الري الأكثر كفاءة مثل السقي بالرش و بالتقطير.

Résumé

Notre travail consiste à dimensionner un réseau d'irrigation au niveau du périmètre GHRISS secteur 2 qui s'étend sur une superficie de 365 ha situé, dans la wilaya de Mascara. Nous avons abordé, la phase la plus importante d'un projet d'irrigation, il s'agit de la détermination des besoins en eau des cultures et les volumes d'eau à apporter par l'irrigation au cours de la période de la croissance pour assurer au plantes un approvisionnement hydrique adéquat et continu. Nous avons également, étudié le dimensionnement a la parcelle d'où on a projeté les systèmes d'irrigation les plus efficaces tels que l'aspersion le goutte à goutte.

Mots Clés : Irrigation, GHRISS, Besoins en eau des cultures, Aspersion, goutte à goutte.

Abstract

Our work consists of sizing an irrigation network at the GHRISS sector 2 perimeter that extends over an area of 365 ha located in the wilaya of Mascara. We have entered the most important phase of an irrigation project, it is the determination of the water needs of the crops and the volumes of water to be provided by irrigation during the growing period to ensure an adequate and continuous water supply for the plants. We also studied the sizing of the plot from which the most efficient irrigation systems such as drip spraying were projected.

Keywords: irrigation network, water needs, efficient irrigation systems, spraying, drip

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I :Présentation de la zone d'étude | 2 |
| I.1. INTRODUCTION | 3 |
| I.2. Situation géographique | 3 |
| I.3.Climatologie..... | 5 |
| I.3.1. Pluviométrie..... | 5 |
| I.3.2. Température de l'air..... | 6 |
| I.3.3. Humidité relative..... | 6 |
| I.3.4. Vitesse du vent | 6 |
| I.3.5. L'évaporation..... | 7 |
| I.3.6. Insolation..... | 7 |
| I.3.7. Calcul des indices Agro-météorologiques | 8 |
| I.4.Etude Socio-Economique..... | 10 |
| I.5. Géologie..... | 11 |
| I.5. CONCLUSION | 13 |
| CHAPITRE II :RESSOURCES EN SOL & EN EAU | 14 |
| II.1. INTRODUCTION | 15 |
| II.2. Ressource en sol | 15 |
| II.2. 1. Classes des sols..... | 15 |
| II.2.3. Caractéristiques hydrodynamiques | 17 |
| II.3. Ressources en eau | 17 |
| II.3.1. Eaux Souterraines | 17 |
| II.3.2. Eaux Superficielle..... | 18 |
| II.4. CONCLUSION..... | 22 |
| CHAPITRE III :ETUDE HYDROLOGIQUE..... | 23 |
| III.1. INTRODUCTION..... | 24 |
| III.2. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique | 24 |
| III.3. Etude de l'échantillon et choix du type de loi d'ajustement..... | 26 |
| III.3.1Ajustement des pluies annuelles..... | 26 |
| II.3.2. Test De Validite De L'ajustement A les lois Normale et Log-Normale..... | 29 |
| II.4. Determination De L'annee De Calcul | 29 |
| II.5. CONCLUSION..... | 29 |
| CHAPITRE IV:BESOINS EN EAU DES CULTURES | 30 |
| IV.1. INTRODUCTION..... | 31 |
| IV.2. Besoins en eau des cultures..... | 31 |
| IV.3. L'évapotranspiration potentielle de référence (ETo) | 31 |
| IV.3.2. Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM) | 32 |

| | |
|--|-----------|
| IV.3.3. Les Coefficients culturaux (Kc) | 32 |
| IV.4. Détermination de la pluie efficace | 33 |
| III.4.1. Assolements..... | 33 |
| IV.4.2. Besoins en eau d'irrigation..... | 34 |
| IV.4.3. Calcul des besoins brut..... | 34 |
| IV.5. Calcul des débits spécifiques | 45 |
| IV.6. Evaluation du débit caractéristique | 45 |
| IV.7. Estimation des volumes d'eau d'irrigation..... | 46 |
| IV.8. CONCLUSION | 47 |
| CHAPITRE V : TECHNIQUES D'IRRIGATION..... | 48 |
| V.1. INTRODUCTION | 49 |
| V.2. Les Techniques D'irrigation..... | 49 |
| V.2.1. Irrigation de surface..... | 49 |
| V.2.2. Irrigation par aspersion..... | 50 |
| V.2.3. Irrigation localisée (goutte à goutte)..... | 51 |
| V.3. Choix de la technique d'arrosage | 53 |
| V.4. CONCLUSION | 55 |
| CHAPITRE VI :DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION | 56 |
| VI.1. Introduction | 57 |
| VI.2. La méthodologie de dimensionnement | 57 |
| VI.3. Découpage du périmètre en ilots d'irrigation :..... | 57 |
| VI.4. CALCUL des débits des ilots :..... | 57 |
| VI.5. Choix du type de borne | 58 |
| VI.6. Choix du tracé : | 60 |
| VI.7. Dimensionnement des canalisations..... | 61 |
| VI.7.1. Vitesse admissible | 61 |
| VI.7.2. Calcul des diamètres | 61 |
| VI.7.3. Calcul des pertes de charge | 61 |
| VI.8. CONCLUSION..... | 65 |
| CHAPITRE VII :DIMENSIONNEMENT A LA PARCELLE | 66 |
| VII.1. INTRODUCTION | 67 |
| VII.2. LES PROCEDES D'IRRIGATION | 67 |
| VII.3. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU GOUTTE A GOUTTE | 67 |
| VII.3.1. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée | 68 |
| VII.3.1.2. Dose nette pratique | 68 |
| VII.3.1.3. Fréquence et intervalle des arrosages (Fr) | 69 |
| VII.3.1.4. Calcul de la dose (brute) | 69 |
| VII.3.1.5. Durée de fonctionnement par d'arrosage (h) | 69 |

| | |
|---|-----------|
| VII.4. Le dimensionnement hydraulique..... | 70 |
| VII.5. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'IRRIGATION PAR ASPERSION | 73 |
| VII.6. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DES RAMPES | 76 |
| VII.6.1. Dimensionnement de la rampe..... | 76 |
| VII.6.3. Calcul de la pression en tête du réseau | 77 |
| VII.7. CONCLUSION..... | 78 |
| CHAPITRE VIII :EVALUATION DU COUT DU PROJET..... | 79 |
| VIII.1. INTRODUCTION | 80 |
| VIII.2.1 Facture des différents types de conduites du réseau de distribution..... | 80 |
| VIII.2.1. Calcul du volume de déblai et remblai | 81 |
| VIII.3 CONCLUSION | 82 |
| CONCLUSION GENERALE | 83 |
| Références | 84 |
| Annexe | 85 |
| ANNEXE I: Tableau : Précipitations moyennes mensuelles (1985-2015).(ANRH ORAN). | 86 |
| Diamètres des conduites PEHD (Groupe CHI ALI) | 87 |
| Caractéristiques de l'asperseur circulaire PERROT ZF 30 | 88 |

LISTE FIGURE

Chapitre I

Figure I.1. Situation géographique et carte pluviométrique du bassin de la plaine de Ghriss

FigureI.2. Abaque de de MARTONNE

Figure. I.3 : Diagramme bioclimatique d'Emberger

Figure I.4: Climogramme pluviométrique de Gausсен.

Figure I.5. Carte géologique et réseau hydrographique de la plaine de Ghriss

Chapitre II

Figure II.1. Vue aérienne du barrage de Ouizert

Figure II.2: Diagramme De Classification Des Eaux D'irrigation- Barrage Ouizert

Chapitre III

Figure III.1: Ajustement des pluies annuelles à la loi Normale

Figure III.1: Ajustement des pluies annuelles à la loi Racine Normale

CHAPITRE V

Figure V : schéma général d'une installation d'irrigation localisé

CHAPITRE VII

Figure VII.1 : dispositifs d'installation des gouteurs sur la rampe

CHAPITRE VIII

Figure VIII.1: Schéma simplifié pour place la conduite Principale

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

| | |
|--|----|
| Tableau I.1 : Station de référence..... | 6 |
| Tableau I.2 : Répartition mensuelle des pluies en mm (Période d'observation 2005-2015).... | 7 |
| Tableau I.3 : Répartitions des températures moyennes mensuelles en T (°C)..... | 7 |
| Tableau I.4: Distribution mensuelle de l'humidité de l'air H (%) | 8 |
| Tableau I.5 : Vitesse du vent (m/s)..... | 8 |
| Tableau I.6: Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne en mm/j | 9 |
| Tableau I.7: Insolation mensuelles en heure..... | 9 |
| Tableau I.8: Indice de De Martonne. | 10 |

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Tableau II. 1 : Les aptitudes culturales associées à chaque zone..... | 16 |
| Tableau II.2 : Propriétés hydrodynamiques des sols..... | 17 |
| Tableau II.2 : Les champs de captage..... | 18 |
| Tableau II.3 : Caractéristiques du barrage Ouizert..... | 19 |
| Tableau II.4 : les classes de la salinité..... | 19 |
| Tableau II.5 : les classes d'alcalinité..... | 20 |
| Tableau II.6 : Analyse physico-chimique du barrage Ouizert..... | 20 |

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Tableau III .1 : Station de référence..... | 24 |
| Tableau III.2: Le procédé de test d'homogénéité pour la station de Mascara..... | 25 |
| Tableau III.3: Ajustement à la loi Normale..... | 27 |
| Tableau III.4: Ajustement à la loi Log-Normale..... | 28 |
| Tableau III.6 : Résultats d'après le logiciel HYFRAN..... | 29 |
| Tableau III.7. Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul..... | 30 |

Chapitre IV

| | |
|---|----|
| Tableau IV.1 : Calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de CROPWAT 8.0..... | 32 |
| Tableau IV.2 : calcul des pluies efficaces pour chaque mois en mm..... | 33 |
| Tableau IV.3 : Assolement proposé pour le périmètre | 33 |
| Tableau IV.4 : besoins en eau d'irrigation du blé..... | 35 |
| Tableau IV.5 : besoins en eau d'irrigation de l'orge vert..... | 36 |
| Tableau IV.6 : besoins en eau d'irrigation de l'orge en grain..... | 36 |
| Tableau IV.7 : besoins en eau d'irrigation de l'Ail / Oignon vert..... | 37 |
| Tableau IV.8 : besoins en eau d'irrigation du Pomme de terre..... | 37 |
| Tableau IV.9 : besoins en eau d'irrigation du Tomate..... | 38 |
| Tableau IV.10 : besoins en eau d'irrigation d'Haricot vert..... | 38 |
| Tableau IV.11 : besoins en eau d'irrigation du Carotte..... | 39 |
| Tableau IV.12 : besoins en eau d'irrigation du Concombre..... | 39 |
| Tableau IV.13 : besoins en eau d'irrigation du Courgette..... | 40 |
| Tableau IV.14 : besoins en eau d'irrigation du Chou..... | 40 |
| Tableau IV.15 : besoins en eau d'irrigation du Petit Pois..... | 41 |
| Tableau IV.16 : besoins en eau d'irrigation du Vigne..... | 41 |
| Tableau IV.17 : besoins en eau d'irrigation du Pêche..... | 42 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau IV.18 : besoins en eau d'irrigation du Olivier..... | 42 |
| Tableau IV.19 : Récapitulatif des besoins(assolement I) | 43 |
| Tableau IV.20 : Récapitulatif des besoins(assolement II)..... | 44 |
| Tableau IV.21 : volume d'eau d'irrigation..... | 46 |
| Chapitre V | |
| Tableau V.1 : Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage..... | 54 |
| Chapitre VI | |
| Tableau VI.1 : Choix du diamètre de la borne..... | 58 |
| Tableau VI.2 : Les débits au niveau de chaque ilot..... | 59 |
| Tableau VI.3 : Les paramètres de perte de charge..... | 61 |
| Tableau VI.4 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution | 62 |
| Chapitre VII | |
| Tableau VII.1 : récapitulatif des calculs hydrauliques..... | 72 |
| Tableau VII.2 : Résultat de calcul pratique d'aspersion..... | 76 |
| Chapitre VIII | |
| Tableau VIII.1 : Facture des différents types de conduites du réseau de distribution..... | 79 |
| Tableau VIII.2 : calcul de terrassement..... | 81 |
| Tableau VIII.3 : Coût des travaux de terrassement..... | 82 |

LISTE DES PLANCHES

- **Planche 01** : plan de situation.
 - **Planche 02** : profil en long de la conduite principale.
 - **Planche 03** : réseau de distribution.
 - **Planches 04** : réseau d'irrigation goutte à goutte.
 - **Planche 05** : réseau d'irrigation par aspersion.
-

INTRODUCTION GENERALE

Face aux contraintes naturelles, et vu la demande accrue en produits alimentaires du fait de la démographie et de l'élévation du niveau de vie. L'agriculture en Algérie reste un secteur clé de développement économique et social, qui s'explique par l'importance des aménagements hydro- agricoles et de leurs exploitations et de gestion, puisque l'agriculture en sec n'offre que des rendements faibles et très aléatoires.

Le recours à l'irrigation est dans la plupart des cas nécessaire pour garantir le maintien d'un niveau de production suffisant dans de nombreuses régions du monde, et pour rentabiliser l'investissement consenti afin de se prémunir contre les aléas climatiques et sécuriser la production.

L'approche présentée dans le présent mémoire a été établie pour l'étude d'aménagement hydro-agricole du périmètre de GHRISS à partir du barrage d'OUIZERT, wilaya de Mascara.

Notre mémoire sera donc divisée en deux parties distinctes : la première partie, sera consacrée à :

- Détailler la zone d'étude, en particulier la composante climatique, dont la connaissance est indispensable pour définir l'action de ses éléments sur l'environnement et sur les plantes.
- Apprécier les potentialités du sol à travers la détermination de ses caractéristiques physico-chimiques et son aptitude à recevoir les cultures. Evaluer la qualité des eaux, et enfin choisir les cultures à mettre en place, afin de conditionner la réussite technique et financière de système culturel, en déterminant les besoins en eau des cultures choisies.

La deuxième partie englobe l'étude technique, dans laquelle nous avons :

- Dimensionné le réseau de distribution et déterminer les équipements qui constituent ce réseau.

Nous espérons que le travail que nous présentons, aidera à concevoir et à mener à bien ce projet qui apparait de plus en plus nécessaire pour diversifier et intensifier la production de ce périmètre.

CHAPITRE I :

*Présentation de la zone
d'étude*

I.1. INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à une présentation détaillée de notre zone d'étude, du point de vue situation géographique, caractéristiques climatiques, et socio-économiques, afin de déterminer les différents paramètres qui vont nous permettre de caractériser cette zone et nous aider à connaître sa nature du climat, ce qui est indispensable dans un projet d'irrigation, puisque c'est la base du calcul des besoins en eaux d'irrigation.

I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La plaine de Ghriss fait partie du bassin-versant de l'oued Fekan qui s'étend sur une superficie de 1 185 km². Située dans le Nord-Ouest algérien, entre 35° 07' et 35° 31' de latitude N et entre 0° 0' et 0° 26' de longitude E, elle est limitée au nord par les monts de Béni Chougrane, au sud par les monts de Saida, à l'ouest par les monts de Bouhanifia et à l'est par le plateau de Tirenifine (figure I.1). Administrativement, la région dépend de la wilaya de Mascara. La plaine est une étendue plate de 470 mètres d'altitude moyenne, surplombée par des reliefs de bordure élevés jusqu'à 1 100 mètres d'altitude au sud (montagne de Nesmoth).

La zone d'étude se situe au sud du chef-lieu de wilaya de Mascara, les exploitations de la plaine de Ghriss ont pour limite supérieure la ville de Mascara et pour limite inférieure la commune de Ghriss.

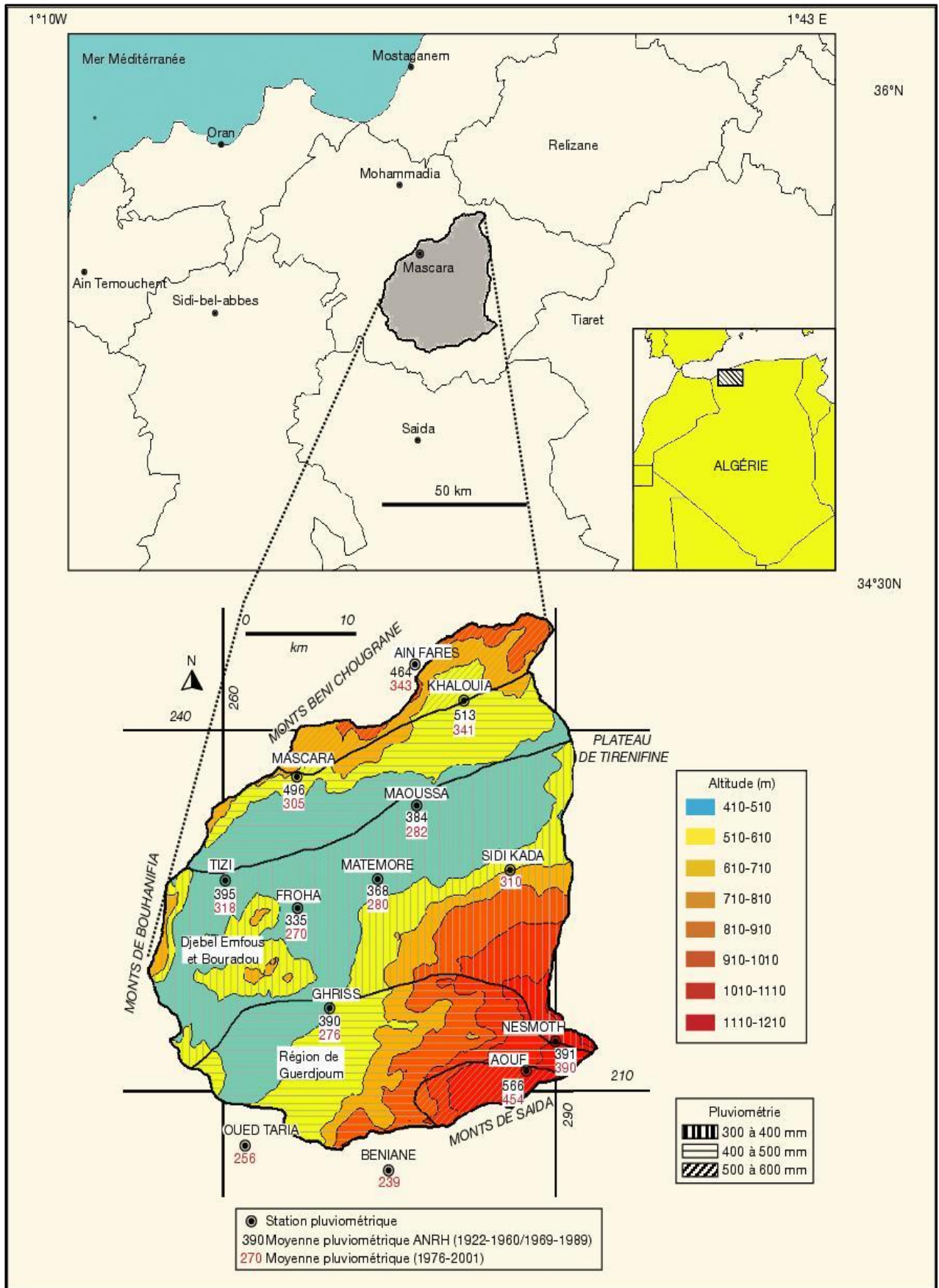


Figure I.1. Situation géographique et carte pluviométrique du bassin de la plaine de Ghris

I.3.CLIMATOLOGIE

Les données météorologiques et climatologiques sont très importantes dans la planification et la gestion des activités de l'homme dont l'une des principales est l'agriculture. Elles permettent de délimiter une région en différentes zones agro-météorologiques spécifiques pour chaque spéculation agricole.

Dans un projet d'irrigation, les facteurs climatiques les plus déterminants sont les précipitations, les températures et d'autres phénomènes climatiques (vent, humidité, etc.) ; ils constituent un ensemble d'éléments décisifs.

Les données météorologiques sont extraites de la banque de données obtenue auprès de l'Office National de la Météorologie. Toutes ces données proviennent de la station de Mascara.

Tableau I.1 : Station de référence.

| 111429 | Période d'observation | Source | Latitude X(m) | Longitude Y(m) | Altitude Z(m) |
|--------------------|-----------------------|--------|---------------|----------------|---------------|
| Station de Mascara | 2005-2015 | O.N.M | 268.1 | 235.7 | 511 |

I.3.1. Pluviométrie

La pluviométrie est la quantité d'eau qui tombe et qui forme la lame d'eau ou la lame pluviométrique. Elle est évaluée en mm par jour, par mois ou par an. Elle varie en fonction de l'éloignement de la mer et l'exposition des versants par rapport aux vents humides (Djebaili,1984).

Le tableau ci-après représente les pluies moyennes mensuelles et annuelles enregistrées par la station de Matmour.

Tableau I.2 : Répartition mensuelle des pluies en mm (Période d'observation 2005-2015)

| Stations | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moyenne Annuelle |
|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-----|-----|-----|------------------|
| Matemore | 12,8 | 35,0 | 35,7 | 47,4 | 50,1 | 38,5 | 42,3 | 38,8 | 29,7 | 7,6 | 1,8 | 2,6 | 342,3 |
| Pmoy saisonnière | 83.5 | | | 136 | | | 110.8 | | | 12 | | | |
| Pmoy % | 24.4 | | | 39.7 | | | 32.4 | | | 3.5 | | | |

Source : O.N.M

D'après le tableau I.3 on remarque que les précipitations sont irrégulièrement réparties à l'échelle annuelle, on a une croissance rapide de la pluviométrie de Septembre à Janvier, ensuite une décroissance plus lente jusqu'en Mai, et très faible en juin, juillet et août. 40% des précipitations tombent au cours des mois de Décembre, Janvier et Février.

I.3.2. Température de l'air

L'examen du tableau des températures mensuelles montre que la valeur minimale (7,8 °C) de la température de l'air se situe en janvier. La valeur maximale (25,7°C) se situe en Août.

Tableau I.3 : Répartition mensuelle de la température de l'air (T moy)

| Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Année |
|---------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mascara | 21.8 | 17.9 | 12.9 | 10.0 | 8.0 | 10.0 | 12.7 | 14.2 | 18.5 | 23.7 | 26.4 | 26.6 | 17.0 |

Source : O.N.M

Les températures moyennes mensuelles de la période allant de Novembre à Avril sont inférieures à la moyenne annuelle, tandis que les températures des mois de Mai à Octobre sont supérieures à la moyenne annuelle,

Les données du Tableau I.3 permettent de déterminer deux périodes dans l'année :

- Saison froids (de Novembre à Avril).
- Saison chaude (de Mai à Octobre).

I.3.3. Humidité relative

L'humidité relative moyenne annuelle de la zone d'étude est de l'ordre de 60%, la distribution mensuelle de l'humidité est donnée ci-dessous :

Tableau I.4: Distribution mensuelle de l'humidité de l'air H (%)

| Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy Annuelle |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| Mascara | 56 | 62 | 71 | 74 | 70 | 67 | 62 | 59 | 56 | 46 | 43 | 46 | 59 |

Source : O.N.M

L'examen de la répartition mensuelle de l'humidité relative, montre que ces derniers est plus élevé en saison chaude les valeurs maximales sont atteintes durant les mois d'hiver 59 à 74%, en saison chaude les valeurs sont minimales varient entre 43 à 56%.

I.3.4. Vitesse du vent

Les valeurs mensuelles et annuelles de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station climatologique de Mascara sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.5 : Vitesse du vent (m/s)

| Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Année |
|---------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-------|
| Mascara | 2.5 | 2 | 2.4 | 2.3 | 2.5 | 2.2 | 2.4 | 3 | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 2.6 | 2.5 |

Source : O.N.M

- Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année.
- La moyenne annuelle est de **2.5 m/s**.

I.3.5. L'évaporation

L'évaporation est l'un des phénomènes les plus importants du cycle hydrologique. Il permet l'alimentation en vapeur d'eau de l'atmosphère par les cours d'eau, les lacs ainsi que les végétaux.

C'est le déficit d'humidité dans l'air ambiant qui provoque l'évaporation. Cette fonction constitue une perte directe à partir des écoulements et des plans d'eau. En Algérie, la hauteur d'eau évaporée annuellement par une surface d'eau libre est presque toujours supérieure à la quantité de pluie tombée sur la même surface.

Les valeurs de l'évaporation mensuelle sont estimées à partir de la formule de l'évaporation de la surface d'eau libre des retenues en Algérie qui a la forme suivante :

$$E = 0.33n(es - ea)(1 + 0.39V) \dots \dots \dots (01)$$

Où :

- **E** : Evaporation en **mm/j** ;
- **es** : Tension de vapeur d'eau correspondante à la température de la surface en millibars;
- **ea** : Tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère en millibars;
- **V** : Vitesse de vent en **m/s** ;
- **n** : nombre de jours du mois considéré.

Le calcul de valeurs de l'évaporation est donné par le tableau ci-dessous.

Tableau I.6: Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne en mm

| Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Année |
|---------|-----|------|------|------|----|------|------|------|-------|-----|-------|-------|--------|
| Mascara | 109 | 69.3 | 38.3 | 23.6 | 27 | 41.1 | 72.1 | 97.7 | 133.2 | 163 | 178.7 | 168.8 | 1114.8 |

Source :O.N.M

L'examen de ce tableau montre que l'évaporation est importante pendant la période allant de Mai à Septembre et elle est faible du mois d'octobre à Février.

I.3.6. Insolation

L'insolation moyenne mensuelle figurée dans le tableau ci-après illustre le paramètre climatique d'insolation dans la zone d'étude.

Tableau I.7: insolation mensuelles en heure.

| Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|------|------|------|
| Mascara | 8.4 | 7.6 | 6.3 | 5.1 | 5.8 | 6.5 | 7.6 | 8 | 9.2 | 10.3 | 11.2 | 10.4 |

Source : O.N.M

La durée d'insolation varie irrégulièrement durant l'année. Elle augmente en été et atteint son maximum en Juillet avec une moyenne mensuelle de 11.2 h/j. Puis elle descend progressivement jusqu'à l'hiver où elle atteint une valeur minimale de 5.1 h/j en Décembre.

I.3.7. Calcul des indices Agro-météorologiques

Pour déterminer le type du climat et l'interférence des différentes variables de ce climat et leur action sur les plantes, nous avons deux facteurs essentiels : la pluviométrie et la température.

Les indices les plus connus sont ceux de De Martonne et le quotient ombrothermique d'Emberger.

1. L'indice d'aridité de Martonne

L'indice d'aridité de Martonne est un paramètre qui permet la classification du climat en fonction d'un rapport de température sur la pluviométrie annuelle, cet indice nous renseigne sur la nécessité d'introduction de l'irrigation par rapport au climat :

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

Avec :

- I_A : indice climatique.
- P : précipitation moyenne annuelle (mm).
- T : température moyenne annuelle (°C).

Les limites des climats d'après l'indice climatique de De Martonne sont données dans le tableau I.8.

Tableau I.8: Classification du climat selon de Martonne

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

Dans notre cas, nous avons :

- $P=342,3$ mm.
- $T=17^\circ\text{C}$.

On trouve donc : $I_A = 12.8$

Selon l'indice d'aridité De Martonne, on constate d'après la classification ci-dessus, que la région est soumise à un régime de climat sec, et que l'irrigation est souvent indispensable.

2. Quotient Ombrothermique d'Emberger

Cet indice a pour but de déterminer l'étage bioclimatique :

$$Q = \frac{2 \times 1000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

- Q : coefficient Ombrothermique d'Emberger.
- P : précipitation moyenne annuelle (mm). 684600
- M : moyenne des températures maximales (Kelvin).
- m : moyenne des températures minimales (Kelvin).

Pour : P=342.3mm ; M=25.7°C et m=7.8°C ,

$$Q = \frac{2 \times 1000 \times 342.3}{(25.7 + 273.5)^2 \times (7.8 + 273.5)^2} = 59.06$$

En portant la valeur de Q dans le diagramme bioclimatique d'Emberger, et en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid (8°C), on peut confirmer que notre région se situe dans :

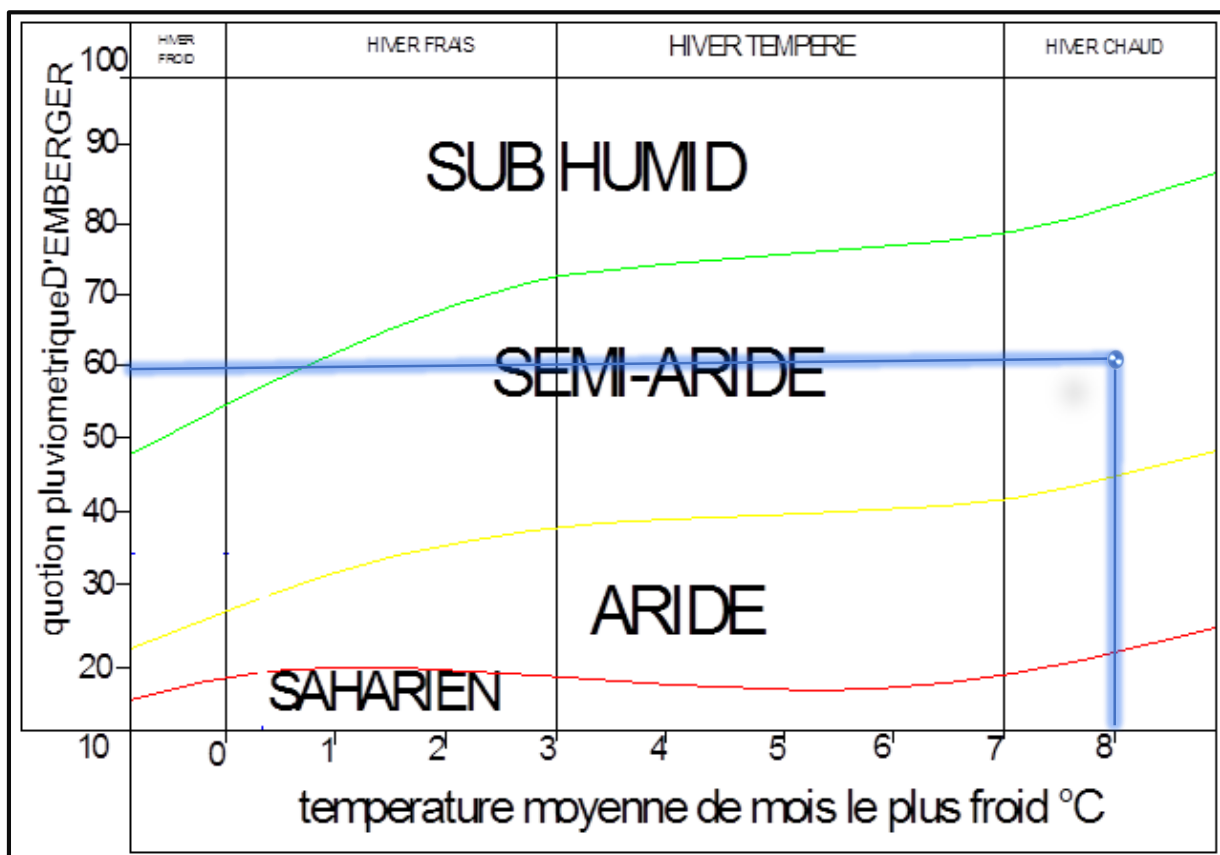


Figure. I.2 : Diagramme bioclimatique d'Emberger

D'après le diagramme bioclimatique d'EMBERGER on peut dire que le climat de notre région est un climat semi-aride.

Classification du climat selon l'indice de BAGNOULS et GAUSSEN

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible, dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (notée ETP). Selon Henry Gausсен une période donnée est dite aride si : $P < 2 \times T$

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

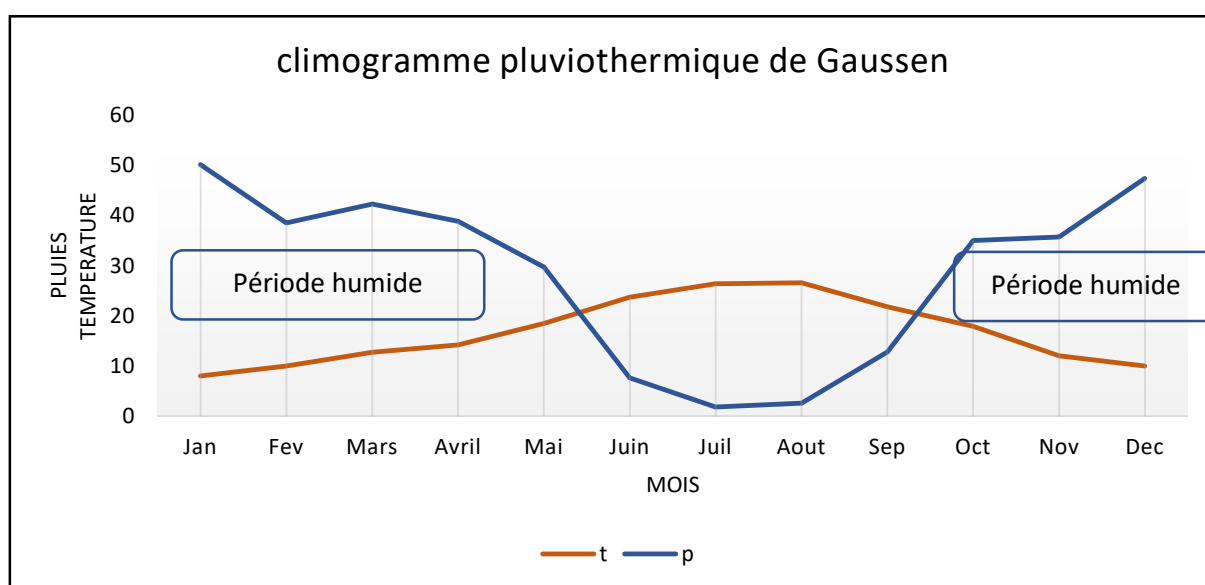


Figure I.3: Climogramme pluviométrique de Gausсен.

D'après BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne mensuelle ($P < 2T$).

D'après le graphe, la période sèche s'étend sur plus de 5 mois ce qui confirme le caractère semi-aride de cette zone.

I.4. ETUDE SOCIO-ECONOMIQUE

L'étude Agro socio-économique a pour but l'analyse des contraintes socio-économiques et les facteurs qui influencent sur la production agricole végétale et animale, et de proposer les orientations de développement agricole pour la mise en valeur du périmètre.

a. Situation de référence

L'étude agro-socio-économique, situation de référence ou "actuelle", a pour but d'analyser les contraintes socio-économiques et les facteurs qui influencent actuellement la production agricole végétale et animale, depuis la mise en place de la culture, et même avant, jusqu'à la récolte et l'écoulement du produit sur le marché.

L'enquête auprès de l'agriculteur a permis de définir la répartition culturale, les problèmes fonciers, la mécanisation, le niveau technique de la main d'œuvre, sa disponibilité et son âge, la conduite des spéculations, et les problèmes liés à l'accès aux crédits, l'approvisionnement en intrants, la vulgarisation et la commercialisation.

b. Situation projetée

L'objectif de la situation projetée est la définition de l'occupation future du périmètre, en se basant sur les facteurs conditionnant la mise en valeur en irrigué tel que : les aptitudes culturales des sols, les conditions climatiques, les caractères socio-économiques de l'aire d'étude, les mesures d'accompagnement nécessaires à tout projet d'intensification, sans oublier le contexte national (ses potentialités et besoins en produit agricole). Nous rappelons que la surface agricole à développer est de 12 000 ha.

I.5. GEOLOGIE

La plaine de Ghriss est une cuvette d'effondrement à topographie plane, encadrée de reliefs aux aspects géologiques divers. (Sourisseau B, 1974).

➤ Bordure nord et ouest :

Les Monts des Beni-Chougrane sont allongés en arc de cercle en direction Sud-Sud-Ouest et Nord-Nord Est, très plissés, à ossature Crétacé et recouvrement Tertiaire très épais. Ce sont les vestiges de l'ancien sillon méditerranéen, effondrés et transportés par charriage en deux ensembles principaux ; le Crétacé moyen et supérieur et le Nummulitique (Eocène et Oligocène).(Sourisseau B, 1974).

➤ Bordure sud :

Les Monts de Saida constituent la bordure Sud de la plaine. Ils ont subi une intense tectonique cassante ; ces ensembles s'enfoncent légèrement vers le Nord, ce qui favorise l'écoulement et le drainage des eaux vers la plaine. A Ain Fekan cet ensemble calcaréo-dolomitique du Jurassique Supérieur est limité par une faille qui le met en contact avec le Crétacé inférieur argilo-gréseux. Cette interruption soudaine de la perméabilité » des terrains est à l'origine des sources des Aïounes Fékan, où le Crétacé constitue un véritable barrage souterrain

Des dépôts de destruction, sables argileux rouges et conglomérats, se sont amassés au pied des Monts de Sidi Kadda sur de grandes épaisseurs par endroits. (Sourisseau B, 1974).

➤ Bordure Est :

À L'Est de Tighenif, les affleurements de marnes et d'argiles de L'Oligocène et du Miocène forment une barrière imperméable qui limite nettement les bassins versants de la plaine de Ghriss et de l'Oued Mina. La surface topographique confirme cette séparation. (Sourisseau B, 1974).

➤ Centre de la plaine :

La cuvette correspond à une zone de subsidence marquée par la flexure des couches du Néogène, en bordure des Monts des Beni-Chougrane ; les apports d'alluvionnement argilo sableux de L'Oued Maoussa continuent de permettre à cette subsidence d'évoluer. Le substratum, effondré, est constitué par les calcaires dolomitiques du Jurassique Supérieur. Au-dessus, se sont déposés localement des conglomérats de base puis un remplissage marin d'argile et marne grisâtre et verdâtre du Miocène inférieur et Moyen. Au centre de la plaine, la subsidence a permis l'accumulation d'une grande épaisseur de calcaire lacustre. (Sourisseau B, 1974).

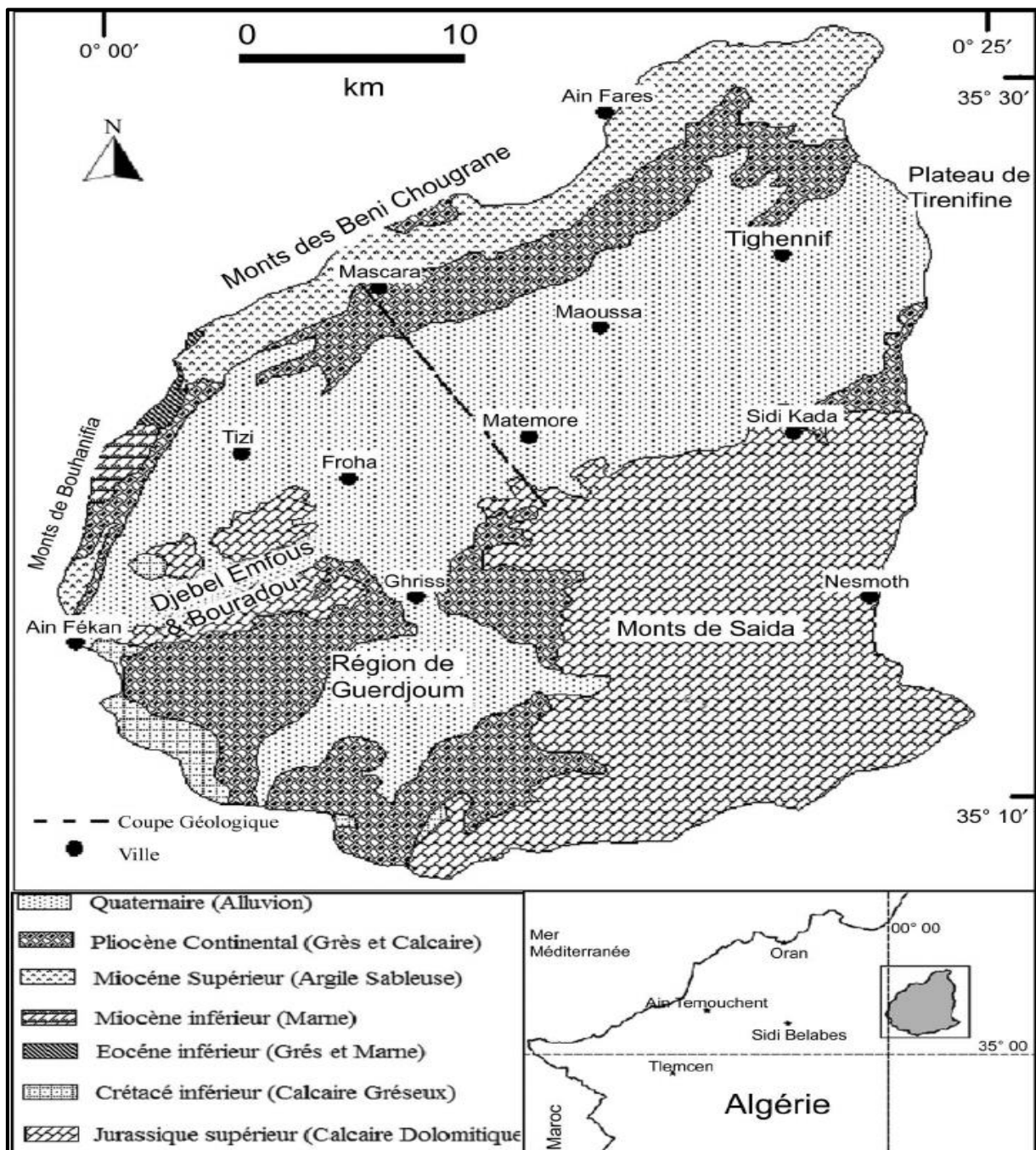


Figure I.4. Carte géologique et réseau hydrographique de la plaine de Ghriess

I.5. CONCLUSION

A travers ce chapitre, qui est basé principalement sur l'étude des données pluviométriques et climatiques du périmètre d'étude, nous avons estimé que le périmètre de Ghriss est caractérisé par un climat chaud en été et frais en hiver, et par une moyenne pluviométrique de l'ordre de 342.3 mm/an.

L'agriculture constitue la principale activité de la zone, ce qui importe son développement, en implantant des cultures à haut rendement.

Cependant vu les potentialités agro-pédologiques de la zone d'étude, l'introduction de l'irrigation s'avère donc indispensable pour un développement des cultures et une intensification de l'agriculture dans cette zone semi-aride.

CHAPITRE II

Ressources En sol & en eau

II.1. INTRODUCTION

Avant d'entamer un projet d'irrigation, il faut faire des analyses bien détaillées sur les compositions des sols, il faut aussi localiser et quantifier l'eau nécessaire à cette irrigation. Pour cela, et à travers ce chapitre nous étudions les ressources en sol et nous présentons les ressources en eau et leurs qualités dans notre zone d'étude.

II.2. RESSOURCE EN SOL

L'étude agro-pédologique a pour but de définir les sols destinés à l'irrigation ou de localiser les zones aptes à la mise en valeurs en irrigation. Ainsi les caractéristiques hydrodynamiques de ces sols indispensables pour le calcul des doses d'arrosages et l'emplacement des réseaux d'irrigation et de drainage.

II.2. 1. Classes des sols

Cette étude de contrôle que le bureau d'étude à réaliser a touché une superficie de 22500ha et a permis de dégager cinq principales classes de sols :

- Classe de sols calcimagnésiques : 7069.77 ha
- Classe des sols peu évolués : 4261.311 ha
- Classe des sols isohumiques : 6230.83 ha
- Classe des sols a sesquioxyde de fer : 1214.6 ha
- Classe des vertisols : 209.07 ha

Les deux premières classes sont les plus répandues dans la plaine et spécialement dans notre zone d'étude. Ce sont des sols facilement aménageables et ils ne présentent pratiquement pas de contraintes pour la mise en culture en irriguée, n'ayant pas de contraintes physico-chimique sévères (texture moyenne, propriétés physiques améliorées, salinité très faible, pente favorable).

Ces sols nécessitent apport d'amendement organique,

a. Les sols calcimagnésiques

Ce sont des sols dont les caractères morphologiques des horizons supérieurs sont déterminés par la présence d'ions alcalino-terreux, le complexe adsorbant de ces sols est saturé par l'ion calcium, le pH est supérieur à 6.5.

b. Les sols peu évolués

C'est la deuxième catégorie de sols la plus répandue dans le périmètre, ces sols offrent une grande importance économique et agricole. Ces sols sont formés de dépôt récent des vallées et se localisent dans le lit majeur des rivières où ils sont souvent rajeunis par des dépôts, ils sont caractérisés par une granulométrie variable, le plus souvent limoneuse et rarement argilo-limoneuse, il est souvent qu'un sol d'apport alluvial repose sur un niveau limitant (croûte), tel est le cas rencontré au niveau de la plaine de Ghriss.

II.2. 2. Aptitudes culturales

L'étude de l'aptitude culturelle des sols vise à estimer la valeur agronomique des sols du point de vue cultures, cette étude est primordiale, elle permet de mieux orienter les agriculteurs dans leur choix des cultures.

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

- Zone I :

Les sols de cette catégorie se caractérisent par des sols profonds **P > 120 cm** ; une texture favorable au bon développement du système racinaire des différentes cultures, ces sols sont caractérisés par une bonne perméabilité, avec un taux de calcaire actif qui ne pose pas de problème. En général les sols de cette zone ne posent pas de problèmes de mis en valeur, cette zone est favorable à toutes les cultures possibles sous le climat de la région.

- Zone II :

Ce sont des sols profonds à moyennement profonds (80-120 cm), la texture est limono argileuse et équilibrée. La salinité exprimée en mmhos/cm est nulle à très faible.

Les travaux d'aménagements sont mineurs et ne concernent que les amendements minéraux et organiques, avec une recommandation d'irrigation par le système de l'aspersion ou le goutte à goutte.

Tableau II. 1 : Les aptitudes culturales associées à chaque zone

| Zone | | Zone I | Zone II |
|------------|---------------------------|--|--|
| Propriétés | | sont des sols profonds, à dominance limoneux-argileuse perméables, bien aérés | sont des sols moyennement profonds, Structure généralement favorable |
| Aptitudes | cultures maraîchères | Tomate, oignon, ail, pomme de terre, haricot, carotte, Petits pois, Chou, concombre | Tomate, oignon, ail, pomme de terre, haricot, carotte, concombre. |
| | cultures céréalières | Blé, orge | Blé, orge |
| | cultures fourragères | Avoine | Avoine |
| | l'arboriculture fruitière | Pêcher, Pommier, Olivier | Olivier |

Source :F.A.O

II.2.3. Caractéristiques hydrodynamiques

Un sol se caractérise par un certain nombre de paramètres physiques mesurables. Les valeurs de ces paramètres sont généralement fonctions à la fois de la structure et de la texture du sol, sans toutefois leur être rigoureusement liés.

Les paramètres hydrodynamiques, qui interviennent entre autres dans le calcul de la dose d'irrigation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Propriétés hydrodynamiques des sols.

| Texture | Limoneux-argileux |
|----------------------------|-------------------|
| Capacité au champ (%) | 27 |
| Point de flétrissement (%) | 13 |
| Perméabilité (mm/h) | 10 |
| Densité apparente | 1.40 |

➤ LA PERMEABILITE

Les mesures de perméabilité réalisées ont permis de déterminer la perméabilité des sols de la plaine de Ghriss et la moyenne de toutes les mesures sont de 7,93 cm/h, selon les normes FAO, nous remarquons que les sols sont perméables à très perméables. En conclusion, les sols de la zone d'étude, présentent une assez bonne perméabilité et ne présentent pas de contrainte pour l'irrigation.

II.3. RESSOURCES EN EAU

L'eau est un élément indispensable à la croissance des plantes. Pour cela et à travers ce volet, on va présenter les ressources en eau qui peuvent alimenter notre zone d'étude (secteur 2).

II.3.1. EAUX SOUTERRAINES

À Mascara, Les ressources souterraines sont mobilisées principalement par la nappe de Mascara à partir des aquifères suivants :

- Aquifère alluvionnaire (phréatique) : Apports 33,8 Hm³/an
- Aquifère des calcaires dolomitiques : Apports 24,7 Hm³/an
- Aquifères calcaires lacustres : Apports 5,2 Hm³/an.

La situation des nappes de la plaine de Ghriss dans les conditions hydro - climatologiques actuelles, ne permet aucune augmentation des extractions d'eau souterraine.

II.3.2. EAUX SUPERFICIELLE

a. Barrage Ouizert

Barrage de Ouizert est situé au nord-ouest de l'Algérie, à environ 35 km au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Mascara et à 17 km au sud de la localité d'Ain Fekan. Ses coordonnées sont X : 250.55 ; Y : 206.80 ; Z : 396.00, bassin versant de la Macta, sur l'oued Sahout qui est la fusion des oueds Taria et Saida. L'Oued Sahout est l'un des principaux affluents de l'oued El Hammam sur lequel ont été édifiés les barrages de Bouhanifia et Fergoug. Le bassin versant du barrage d'Ouizert est soumis à un climat de l'Atlas tellien semi-aride. Les variations annuelles de la pluviométrie sont de 100 mm et 400 mm, avec de très fortes intensités en hiver et au printemps (SADOK & MEKERTA, 2012).



Figure II.1. Vue aérienne du barrage de Ouizert.

C'est un barrage-poids d'une hauteur de 60 m et d'une capacité de stockage de 100 millions de m³, cette réserve est destinée à l'alimentation en eau potable du couloir de Ain Fekan, pour un volume de 10 millions de m³, 20 millions de m³ pour l'irrigation de la plaine de Ghriss et écrêter les crues.

Tableau II.4 : Caractéristiques du barrage Ouizert.

| Dénomination | Unité | Quantité |
|---------------------|-----------------|----------|
| Bassin versant | Km ² | 2 100 |
| Capacité du barrage | Hm ³ | 100 |
| Hauteur du barrage | m | 60 |
| Volume régularisé | Hm ³ | 32 |

| | | |
|-------------|-----------------|-----|
| Volume mort | Hm ³ | 7 |
| Niveau NNR | m | 448 |

Source : ANRH

b. Etude de la qualité de l'eau d'irrigation

La salinité de l'eau d'irrigation entraîne une modification de la composition chimique du sol. Il est donc impératif de bien gérer et exploiter cette ressource.

La qualité de l'eau d'irrigation est représentée traditionnellement par deux paramètres : la salinité totale et l'alcalinité.

- Pour la conductivité électrique C.E

Tableau II.5 : les classes de la salinité.

| | | |
|-----------|------------------------------|---------------------------|
| Classe C1 | C.E < 0.250 mmhos/cm | Eau de faible salinité |
| Classe C2 | 0.250 < C.E < 0.7 mmhos/cm | Eau de salinité moyenne |
| Classe C3 | 0.750 < C.E < 2.250 mmhos/cm | Eau à forte salinité |
| Classe C4 | C.E > 2.250 mmhos/cm | Eau à très forte salinité |

Source : Tolérance des plantes aux sels (FAO, 2005).

De notre périmètre la conductivité électrique inférieure à 0,7 mmhos/cm donc l'eau non salin.

La conductivité électrique (CE) est égale à **0,70** mmhos/cm.

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

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

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

Avec : Na⁺, Ca⁺⁺, et Mg⁺⁺ en meq/l.

Tableau II.6 : les classes d'alcalinité.

| | | |
|-----------|-----------------|--------------------------------|
| Classe S1 | S.A.R < 10 | Risque d'alcalinité faible |
| Classe S2 | 10 < S.A.R < 18 | Risque d'alcalinité moyen |
| Classe S3 | 18 < S.A.R < 26 | Risque d'alcalinité élevé |
| Classe S4 | S.A.R > 26 | Risque d'alcalinité très élevé |

Tableau II.7 : Analyse physico-chimique du barrage Ouizert.

| Paramètres | Unité | Normes | Barrage Ouizert |
|----------------------------|-------|-----------|-----------------|
| PH | / | 6,5 - 8,5 | 8,37 |
| Conductivité CE | µs/cm | 2800 | 703 |
| Calcium Ca++ | mg/l | 200 | 56,5 |
| Magnésium Mg++ | mg/l | 150 | 29,5 |
| Sodium Na+ | mg/l | 200 | 71,70 |
| Potassium K+ | mg/l | 20 | 7,40 |
| Chlorures Cl- | mg/l | 500 | 87,83 |
| Sulfates SO4-- | mg/l | 400 | 71,50 |
| Bicarbonates HCO3-- | mg/l | | 186,66 |
| Nitrates NO3 | mg/l | 50 | 7,49 |
| Matières Organiques MO | mg/l | 3 | 2,09 |
| S.A.R | / | / | 10.93 |

Source : ANRH

Les principales classifications des eaux d'irrigation et les plus utilisées : FAO et USSL (unite stat of salinity laboratory) le SAR et celle de l'USSD (conductivité et SAR), La qualité chimique des eaux superficielles, a été étudiée sur des échantillons prélevés au niveau du barrage Ouizert, et d'après les résultats des analyses, l'eau se caractérise par une classe C2 S2 et d'après ces valeurs, l'eau du barrage est caractérisée par une salinité moyenne avec faible danger d'alcalinisation des sols (SAR < 10).

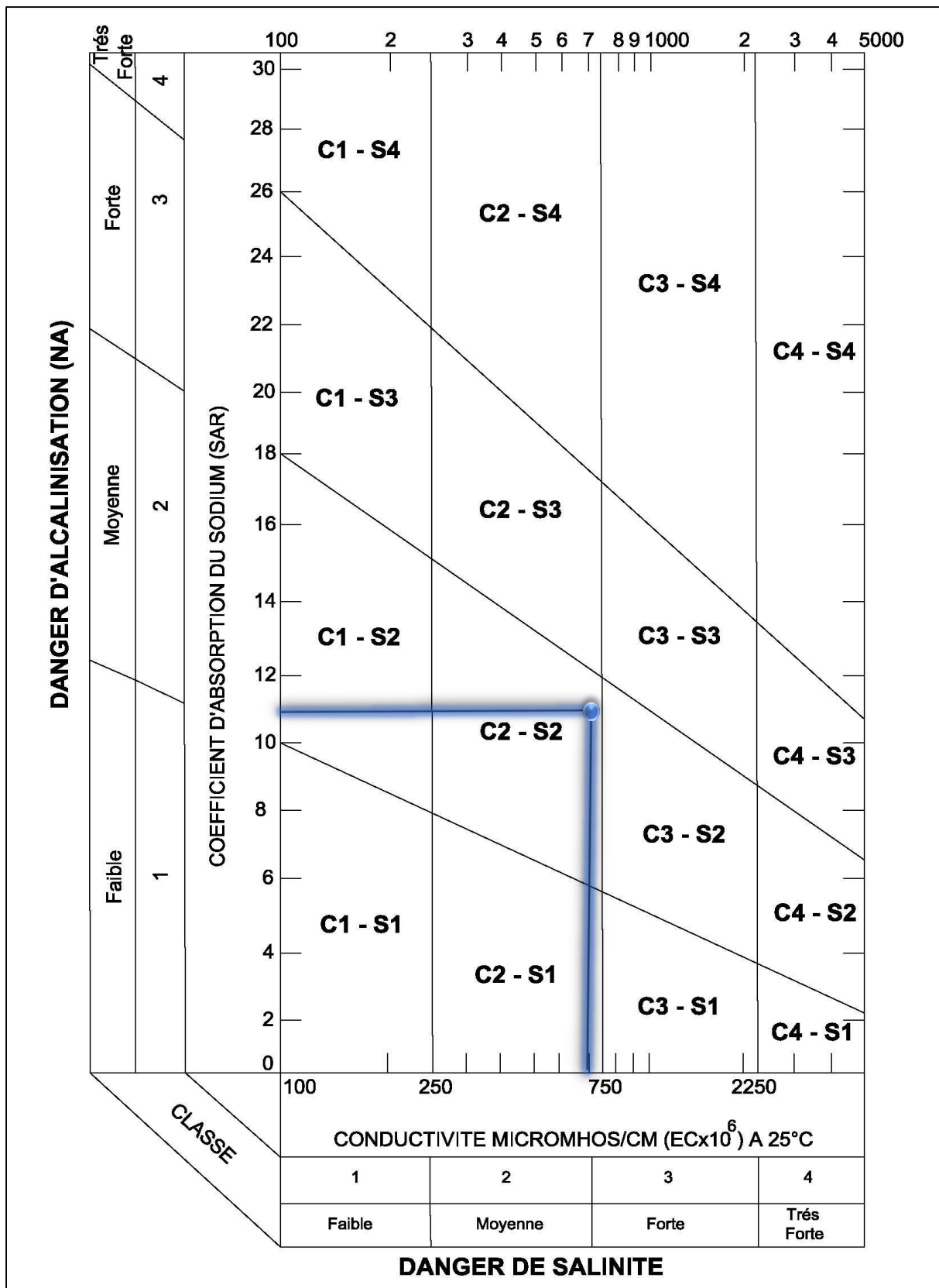


Figure II.2: Diagramme De Classification Des Eaux D'irrigation- Barrage Ouizert.

II.4. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré à l'analyse agro-pédologique et les ressources en eau de la zone d'étude. Les analyses physico-chimiques des sols ont mis en évidence des propriétés adéquates pour toute mise en valeur de ce périmètre.

Les sols présentent généralement une texture **limoneux-argileuse**, avec une perméabilité élevée et la qualité des eaux d'irrigation est de classe **C2-S2**, avec une alcalinité et une salinité moyenne.

CHAPITRE III

Etude Hydrologique

III.1. INTRODUCTION

L'étude hydrologique a pour but de déterminer les caractéristiques des pluies annuelles de fréquences données, qui conditionnent l'étude de notre projet d'aménagement hydro-agricole, tels que : le calcul des besoins des cultures projetés dans le périmètre, ainsi que le dimensionnement du réseau d'irrigation. La connaissance de ces pluies est nécessaire au dimensionnement du réseau d'irrigation.

La station de Mascara a été prise comme station de référence, les caractéristiques de cette dernière sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III .1 : Station de référence.

| 111429 | Période d'observation | Source | Latitude X(m) | Longitude Y(m) | Altitude Z(m) |
|--------------------|-----------------------|---------|---------------|----------------|---------------|
| Station de Mascara | 1985-2015 | A.N.R.H | 268.1 | 235.7 | 511 |

III.2. ETUDE DE L'HOMOGENEITE DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE

L'homogénéité est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquence.

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

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous (Touaibia, 2004):

- On divise la série complète en deux sous séries X et Y tel que :
- N1 et N2 représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement $N2 > N1$.

On constitue par la suite, la série X unions Y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre décroissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle. La série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée. Avec (Touaibia, 2004) :

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

Tableau III.2: Le procédé de test d'homogénéité pour la station de Mascara

| Rang | La série d'origine | X | Y | trie | X U Y |
|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 528.3 | 265.6 | 192.3 | 528.3 | Y |
| 2 | 350.5 | 387.5 | 338.6 | 526.5 | Y |
| 3 | 464.9 | 333.4 | 165.4 | 468.1 | Y |
| 4 | 243.3 | 232.6 | 321.2 | 465.8 | Y |
| 5 | 526.5 | 199.1 | 280.2 | 464.9 | Y |
| 6 | 460.9 | 265.8 | 415.5 | 460.9 | Y |
| 7 | 417.1 | 416.8 | 365.3 | 445.5 | Y |
| 8 | 445.5 | 324.9 | 256.5 | 417.1 | Y |
| 9 | 468.1 | 277.5 | 465.7 | 416.8 | X |
| 10 | 465.7 | 325.9 | 468.1 | 415.5 | Y |
| 11 | 256.5 | 354.4 | 445.5 | 387.5 | X |
| 12 | 365.3 | 369.3 | 417.1 | 369.3 | X |
| 13 | 415.5 | 332.9 | 460.9 | 365.3 | Y |
| 14 | 280.2 | | 526.5 | 354.4 | X |
| 15 | 321.2 | | 243.3 | 350.5 | Y |
| 16 | 165.4 | | 464.9 | 338.6 | Y |
| 17 | 338.6 | | 350.5 | 333.4 | X |
| 18 | 192.3 | | 528.3 | 332.9 | X |
| 19 | 332.9 | | | 325.9 | X |
| 20 | 369.3 | | | 324.9 | X |
| 21 | 354.4 | | | 321.2 | Y |
| 22 | 325.9 | | | 280.2 | Y |
| 23 | 277.5 | | | 277.5 | X |
| 24 | 324.9 | | | 265.8 | X |
| 25 | 416.8 | | | 265.6 | X |
| 26 | 265.8 | | | 256.5 | Y |
| 27 | 199.1 | | | 243.3 | Y |
| 28 | 232.6 | | | 232.6 | X |
| 29 | 333.4 | | | 199.1 | X |
| 30 | 387.5 | | | 192.3 | Y |
| 31 | 265.6 | | | 165.4 | Y |

- $W_{\min} = \left[\left(\frac{(N1+N2+1) \times N1 - 1}{2} \right) - 1.96 \sqrt{\frac{N1 \times N2 \times (N1+N2+1)}{12}} \right]$
- $W_{\max} = (N1 + N2 + 1) \times N1 - W_{\min}$
- $W_x = \sum_{i=1}^n rang_x$

Les calculs donnent :

$$W_x = 247 \quad W_{\min} = 158.54 \quad W_{\max} = 257.46$$

Donc : $158.54 < W_x < 257.46$

La condition d'homogénéité du test de Wilcoxon est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle de la Station de Mascara est homogène.

III.3. ETUDE DE L'ECHANTILLON ET CHOIX DU TYPE DE LOI D'AJUSTEMENT

La pluviométrie est souvent ajustable à des lois statistiques très nombreuses, on utilise pour notre projet celle qui garantit le meilleur ajustement possible.

Les lois d'ajustement les plus communément employées sont les suivantes :

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

III.3.1 Ajustement des pluies annuelles

a) Ajustement des pluies annuelles a la loi Normale :

Le procédé de calcul consiste à :

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale (par la formule de Hazen par exemple).

$$\text{Variable réduite de gauss : } U = \frac{x - \bar{X}}{\delta}$$

- Calcul des caractéristiques empirique de loi (\bar{X} ; δ ; C_v ; $C_s=0$).

$$\text{Le coefficient de variation : } C_v = \frac{\delta}{\bar{X}}$$

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

$$X_{p\%} = \bar{X} + \delta \times U_{p\%}$$

Avec :

- $X_{p\%}$: précipitation de probabilité P%.
- $U_{p\%}$: variable réduit de Gauss.
- \bar{X} : Moyenne arithmétique.
- δ : Écart type

Pour les calculs on a utilisé le logiciel HYFRAN.

STATION DE MASCARA : Résultats de l'ajustement

- Normale (Maximum de vraisemblance)
- **Nombre d'observations** : 31.
- **Paramètres** : $\mu = 348.112903$; $\sigma = 97.087915$.
- **Quantiles** : $q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement) ; $T = 1/(1-q)$.

Tableau III.3: Ajustement à la loi Normale.

| T | q | XT | δ | intervalle de confiance 95% | |
|------|------|-----|----------|-----------------------------|-----|
| 100 | 0.99 | 574 | 34 | 507 | 641 |
| 50 | 0.98 | 548 | 31.1 | 487 | 609 |
| 20 | 0.95 | 508 | 27 | 455 | 561 |
| 10 | 0.9 | 473 | 23.7 | 426 | 519 |
| 5 | 0.8 | 430 | 20.4 | 390 | 470 |
| 2 | 0.5 | 348 | 17.4 | 314 | 382 |
| 1.25 | 0.2 | 266 | 20.4 | 226 | 306 |

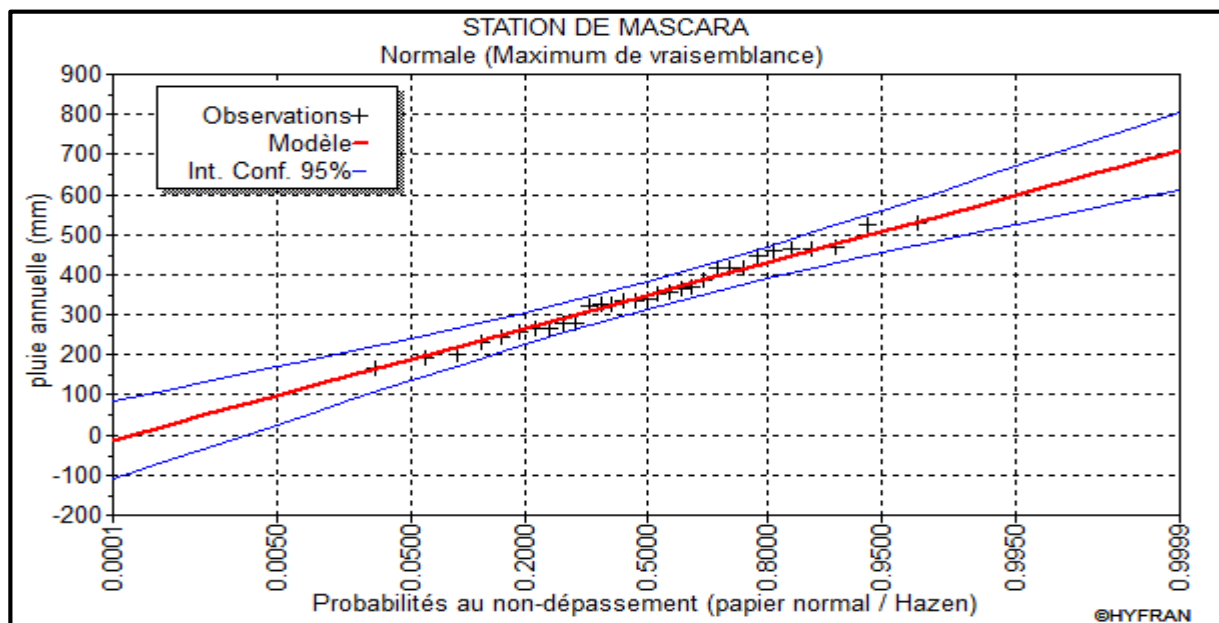


Figure III.1: Ajustement des pluies annuelles à la loi Normale.

b) Ajustement des pluies annuelles a la loi log-normale :

L'ajustement par la loi log-normal se fait comme suit :

Les données statistiques des pluies sont rapportées à l'échelle log-normale. L'équation de la droite de Galton s'écrit comme suit :

$$L_n(X_{p\%}) = \overline{L_n(X)} + \delta L_n \times U_{p\%}$$

- $X_{p\%}$: Précipitation probable à P%.

- $\overline{L_n(X)}$: Moyenne arithmétique du log des précipitations observées.
- $U_{p\%}$: variable réduite de Gauss.
- δL_n : La variance calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique sa formule s'écrit comme suit :

$$\delta L_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_n(X_i) - \overline{L_n(X)})^2} \quad \text{si } n \geq 30.$$

Pour le calcul on a utilisé le logiciel HYFRAN.

STATION DE MASCARA : Résultats de l'ajustement

- Log-normale (Maximum de vraisemblance)
- Nombre d'observations : 31
- Paramètres : $\mu=5.811671$; $\sigma=0.298342$.
- Quantiles $q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement) ; $T = 1/(1-q)$.

Tableau III.4: Ajustement à la loi de log-normale.

| T | q | XT | δ | intervalle de confiance 95% | |
|------|------|-----|----------|-----------------------------|-----|
| 100 | 0.99 | 669 | 69.9 | 532 | 806 |
| 50 | 0.98 | 617 | 58.9 | 501 | 732 |
| 20 | 0.95 | 546 | 45.3 | 457 | 635 |
| 10 | 0.9 | 490 | 35.7 | 420 | 560 |
| 5 | 0.8 | 430 | 26.9 | 377 | 482 |
| 2 | 0.5 | 334 | 17.9 | 299 | 369 |
| 1.25 | 0.2 | 260 | 16.3 | 228 | 292 |

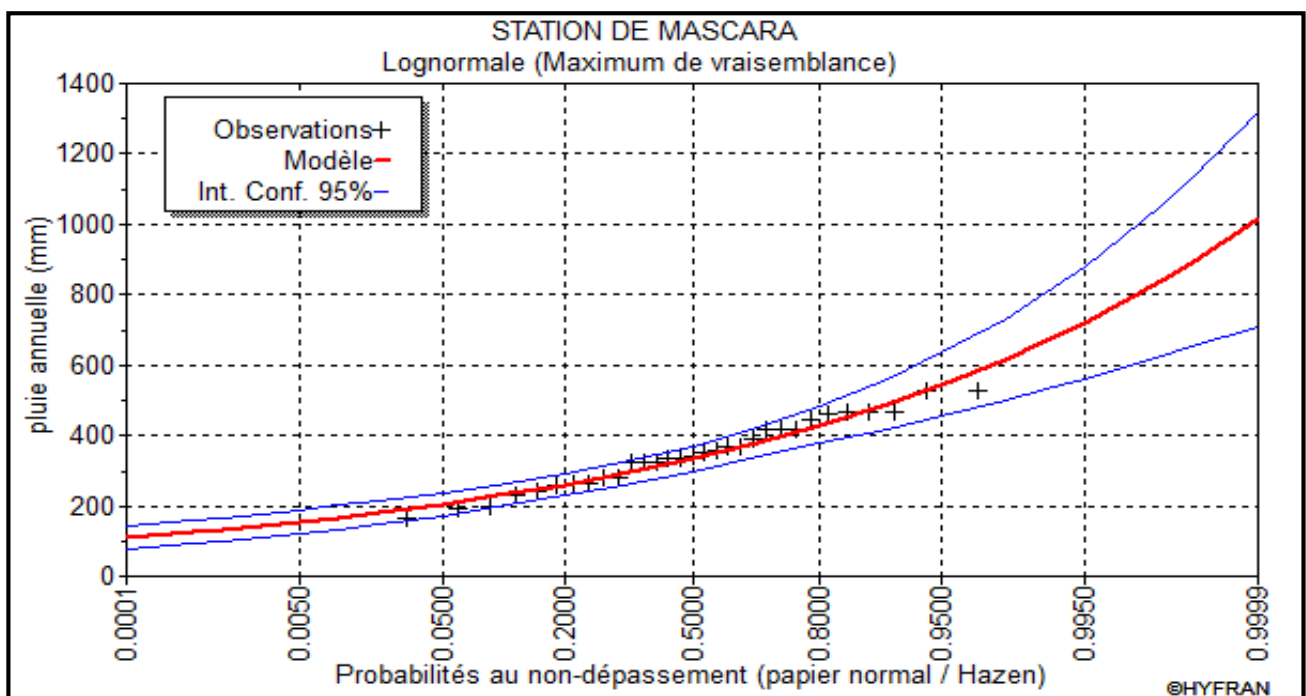


Figure III. 2 : Ajustement à la loi Log normale.

III.3.2. Test de validité de l'ajustement à les lois Normale et Log-Normale

- On calcule χ^2
- On calcule le nombre de degré de liberté γ
- On détermine théorique sur la table de Pearson III. Avec : $\chi^2_{\text{théorique}} = g(\alpha, \gamma)$

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

Tableau III.5: Résultats d'après le logiciel HYFRAN.

| | Loi normale | Loi log-normale |
|---------------------------|-------------|-----------------|
| $\chi^2_{\text{calculé}}$ | 7.16 | 3.10 |
| α | 0.05 | 0.05 |
| γ | 4 | 4 |

$\chi^2_{\text{théorique}} = 9.488$.

D'après le test de Khi carré, la loi log-Normale s'ajuste mieux aux pluies annuelles par rapport à la loi normale.

III.4. DETERMINATION DE L'ANNEE DE CALCUL

Puisque la loi log-normale est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région. On déduit les résultats suivants :

- $P_{\text{théorique } 80\%} = 260\text{mm}$
- $P_{\text{théorique } 50\%} = 344\text{ mm}$

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

$$Pi_{80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}}$$

$$\frac{P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}} = 0.76$$

Tableau III.6. Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Aout |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| $P_{\text{moy mensuelle}}$ | 18.9 | 30.14 | 49.65 | 44.41 | 47.38 | 42.58 | 42.98 | 32.1 | 25.05 | 6.91 | 2.58 | 5.23 |
| $Pi_{80\%}$ | 14.36 | 22.91 | 37.73 | 33.75 | 36.01 | 32.36 | 32.66 | 24.40 | 19.04 | 5.25 | 1.96 | 3.97 |

III.5. CONCLUSION

L'étude hydrologique a permis de reconstituer l'année de pluie mensuelle de probabilité 80%, nécessaire au calcul du bilan hydrique de chaque culture. Afin de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante, afin de satisfaire ses besoins.

CHAPITRE IV

Besoins en eau des cultures

IV.1. INTRODUCTION

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

IV.2. BESOINS EN EAU DES CULTURES

Selon Doorenbos et Pruitt (1976) : « Le besoin en eau d'une culture est la quantité d'eau nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, établi dans un champ de grande superficie, dans des conditions de sol non limitant du point de vue de la disponibilité de l'eau et de la fertilité, et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données ».

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite une bonne connaissance des plantes et aussi les données climatique et pédologique de la région pour pouvoir estimer la réserve en eau utile du sol 'RU' et la réserve facilement utilisable par la plante 'RFU'.

IV.3. L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE DE REFERENCE (ETO)

C'est l'évapotranspiration maximale (c.à.d. le sol est à sa capacité de retentions) d'un gazon ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue (Perrier, 1977).

L'évapotranspiration correspond aussi à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

Pour prédire l'évapotranspiration de référence on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques, parmi les plus communément employées sont :

- Méthode de lysimètre
- Méthode des stations expérimentales
- Méthode directe de l'évaporation
- Méthodes empiriques

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

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

- Les températures moyennes en degré Celsius.
- L'humidité relative de l'air exprimé en (%)

- L'insolation journalière en heure
- La vitesse du vent en m /s

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ETo calculée à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 sont récapitulés dans le tableau suivant.

TABLEAU IV.1 : Calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de CROPWAT 8.0

| Mois | Temp Moy | Humidité | Vent | Insolation | Ray. | ETo | |
|---------|-------------|-----------|------------|------------|-------------------------|-------------|----------|
| | °C | % | m/s | heures | MJ/m ² /jour | mm/jour | mm/mois |
| Janv | 8 | 70 | 2.5 | 5.8 | 9.5 | 1.35 | 41.85 |
| Fév | 10 | 67 | 2.2 | 6.5 | 12.3 | 1.78 | 51.62 |
| Mars | 12.7 | 62 | 2.4 | 7.6 | 16.6 | 2.75 | 85.25 |
| Avr | 14.2 | 59 | 3 | 8 | 19.8 | 3.63 | 108.9 |
| Mai | 18.5 | 56 | 2.7 | 9.2 | 23.1 | 4.64 | 143.84 |
| Juin | 23.7 | 46 | 2.8 | 10.3 | 25.2 | 6.19 | 185.7 |
| Juill | 26.4 | 43 | 2.6 | 11.2 | 26.2 | 6.77 | 209.87 |
| Août | 26.6 | 46 | 2.6 | 10.4 | 23.6 | 6.34 | 196.54 |
| Sept | 21.8 | 56 | 2.5 | 8.4 | 18.4 | 4.44 | 133.2 |
| Oct | 17.9 | 62 | 2 | 7.6 | 14.3 | 2.89 | 89.59 |
| Nov | 12.9 | 71 | 2.4 | 6.3 | 10.4 | 1.78 | 53.4 |
| Déc | 10 | 74 | 2.3 | 5.1 | 8. | 1.26 | 39.06 |
| Moyenne | 16.9 | 59 | 2.5 | 8.0 | 17.3 | 3.65 | 111.5683 |

IV.3.2. Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM)

L'Evapotranspiration maximale c'est la valeur maximale de l'évaporation d'une culture, elle dépend du stade phénologique de la culture (une culture peu couvrante évapore moins qu'une culture pleinement développée) et elle dépend aussi des conditions pédologiques et climatiques.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est mesurée comme suit : $ETM = Kc \cdot ETo$

IV.3.3. Les Coefficients cultureux (Kc)

Les valeurs du coefficient cultural (Kc) de chaque culture ont été ressorties, en fonction du stade végétatif de la plante, de la vitesse du vent et de la valeur moyenne de l'humidité moyenne

de l'air régnant au niveau de notre périmètre d'étude, à partir du bulletin « irrigation et drainage », F.A.O N°24.

IV.4. DETERMINATION DE LA PLUIE EFFICACE

La pluie efficace correspond à la différence entre les précipitations totales et l'évapotranspiration réelle de la culture. L'eau des précipitations efficaces est répartie, au niveau du sol, en deux fractions : l'écoulement superficiel et l'infiltration.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer P_{eff} ici on va utiliser celle de pourcentage fixe (80%) :

Pluies efficaces (en mm/mois) = 80% × Pluies moyennes mensuelles (80%) (mm/mois)

Tableau IV.2 : calcul des pluies efficaces pour chaque mois en mm.

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Aout |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| $P_{i,80\%}$ | 16.44 | 26.22 | 43.20 | 38.64 | 41.22 | 37.04 | 37.39 | 27.93 | 21.79 | 6.01 | 2.24 | 4.55 |
| P_{eff} | 11.49 | 18.33 | 30.19 | 27.00 | 28.81 | 25.89 | 26.13 | 19.52 | 15.23 | 4.20 | 1.57 | 3.18 |

III.4.1. Assolements

La pratique des assolements a pour but principal de maximiser les revenus et minimiser les risques de fluctuation de la fertilité de sol, d'une année à l'autre, elle permet l'association et la combinaison des grandes classes de cultures, à savoir : les maraîchages, arboriculture, céréaliculture, les cultures fourragères suivant la taille des exploitations, les moyens financiers, les capacités techniques et de la gestion des agriculteurs. L'assolement proposé est détaillé dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : assolement proposé

| Assolement 1 | Assolement 2 |
|-------------------|--------------------|
| Blé | Orge en vert |
| Orge grain | Blé |
| Ail + Oignon vert | Tomate |
| Tomate | Petit pois |
| Carotte | Courgette |
| Concombre | Chou |
| Haricot vert | Pomme de terre (s) |

| | |
|---------|---------|
| Vigne | Vigne |
| Pêcher | Pêcher |
| Olivier | Olivier |

IV.4.2. Besoins en eau d'irrigation

Par définition le bilan hydrique d'une culture donnée est la différence entre d'une part les besoins en eau des cultures tels que déterminés par le climat et les caractéristiques végétales (ETM) et d'autre part la somme des apports effectifs des précipitations.

Le calcul des volumes d'eau à apporter par irrigation est réalisé en effectuant période par période le bilan :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + K_c \times RFU_{i-1})$$

Avec :

- ETM : évapotranspiration potentielle de référence en (mm/mois) ;
- Peff : pluie efficace en mm ;
- RFU : Réserve du sol assimilée à la réserve facilement utilisable disponible au début de la période ;
- K_c

Le calcul de la RFU se fait comme suit :

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

Avec :

- Y : degré de tarissement égale 2/3 ;
- D_a : densité apparente (1.35) ;
- Z : profondeur d'enracinement mm ;
- H_{cc} : humidité à la capacité au champ, dans notre cas. On prend (27%) ;
- H_{pf} : humidité au point de flétrissement, dans notre cas. On prend (13%).

L'irrigation est faite lorsque B_i (bilan hydrique) > 0

IV.4.3. Calcul des besoins brut

C'est le volume d'eau d'irrigation exprimé en mm/j, nécessaire en pratique (compris les pertes et les besoins de lessivage mais à l'exclusion de la contribution des autres ressources).

La formule employée est :

$$B_{brut} = B_{net} \times E_{ff}$$

- Ef : l'efficience du réseau.

L'estimation de l'efficience d'un réseau d'irrigation dépend de l'efficience du réseau, du transport et de l'uniformité de distribution. On a considéré une efficience globale (0,75).

Tableau IV.4 : besoins en eau d'irrigation du blé.

| Blé dur | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|------------|----------|---------------|-----------------|-----------|------------|-----------------------|-----------------------|
| | P eff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | 0.00 | 0.00 | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | 0.00 | 0.00 | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.25 | 34.24 | 0.00 | 0.40 | 21.36 | | 0.00 |
| Dec | 27 | 39.06 | 0.35 | 47.93 | 34.24 | 0.70 | 27.34 | | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 0.50 | 68.47 | 47.93 | 0.85 | 35.57 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 0.60 | 82.17 | 68.47 | 0.95 | 49.04 | | 0.00 |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 1.00 | 85.25 | 31.73 | 42.31 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.85 | 92.57 | 45.66 | 60.87 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.70 | 100.69 | 58.07 | 77.42 |
| Juin | 4.2 | 185.70 | 0.60 | 82.17 | 0.00 | 0.35 | 65.00 | 60.80 | 81.06 |
| Juill | 1.57 | 209.87 | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | 0.00 | 0.00 | | | | |
| | | | | | | | | | 261.67 |

Tableau IV.5 : besoins en eau d'irrigation de l'orge vert

| Orge en vert | | | | | | | | | |
|--------------|-------|--------|------|--------|----------|------|-------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.30 | 41.08 | 0.00 | 0.40 | 21.36 | | |
| Dec | 27.00 | 39.06 | 0.50 | 68.47 | 41.08 | 0.65 | 25.39 | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 0.50 | 68.47 | 68.47 | 0.90 | 37.67 | | |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 0.60 | 82.17 | 68.47 | 0.90 | 46.46 | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.90 | 76.73 | 23.21 | 30.94 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.85 | 92.57 | 45.66 | 60.87 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.60 | 86.30 | 43.68 | 58.25 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | | | | | | | |
| Juill | 1.57 | 209.87 | | | | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 150.06 |

Tableau IV.6 : besoins en eau d'irrigation de l'orge en grain

| Orge grain | | | | | | | | | |
|------------|-------|--------|------|--------|----------|------|-------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.30 | 41.08 | 0.00 | 0.40 | 21.36 | | 0.00 |
| Dec | 27.00 | 39.06 | 0.50 | 68.47 | 41.08 | 0.65 | 25.39 | | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 0.50 | 68.47 | 68.47 | 0.90 | 37.67 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 0.60 | 82.17 | 68.47 | 0.90 | 46.46 | | 0.00 |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.90 | 76.73 | 23.21 | 30.94 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.85 | 92.57 | 45.66 | 60.87 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.60 | 82.17 | 27.39 | 0.60 | 86.30 | 43.68 | 58.25 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 0.60 | 82.17 | 0.00 | 0.35 | 65.00 | 60.80 | 81.06 |
| Juill | 1.57 | 209.87 | | 0.00 | 0.00 | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | | 0.00 | | | | |
| | | | | | | | | | 231.12 |

Tableau IV.7 : besoins en eau d'irrigation de l'Ail / Oignon vert.

| Ail / Oignon vert | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | 0.00 | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | 0.00 | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | | 0.00 | | | | | |
| Dec | 27.00 | 39.06 | | 0.00 | | | | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 0.35 | 47.93 | 0.00 | 0.60 | 25.11 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 0.40 | 54.78 | 47.93 | 0.70 | 36.13 | | 0.00 |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.40 | 54.78 | 18.26 | 0.85 | 72.46 | 28.07 | 37.43 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.45 | 61.63 | 18.26 | 0.95 | 103.46 | 65.68 | 87.57 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.45 | 61.63 | 20.54 | 0.95 | 136.65 | 100.88 | 134.50 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 0.45 | 61.63 | 20.54 | 0.80 | 148.56 | 123.82 | 165.09 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| | | | | | | | | | 424.59 |

Tableau IV.8 : besoins en eau d'irrigation du Pomme de terre.

| Pomme de terre | | | | | | | | | |
|----------------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | | | | | | | |
| Dec | 27.00 | 39.06 | | | | | | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | | | | | | | |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | | | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.10 | 13.69 | 0.00 | 0.70 | 59.68 | 33.55 | 44.73 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.15 | 20.54 | 4.56 | 0.95 | 103.46 | 79.37 | 105.83 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.25 | 34.24 | 6.85 | 1.05 | 151.03 | 128.95 | 171.94 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 0.30 | 41.08 | 0.00 | 0.85 | 157.85 | 153.65 | 204.86 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 0.35 | 47.93 | 0.00 | 0.75 | 157.40 | 155.83 | 207.78 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 735.13 |

Tableau IV.9 : besoins en eau d'irrigation du Tomate.

| Tomate | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | | | | | | | |
| Dec | 27 | 39.06 | | | | | | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | | | | | | | |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | | | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.70 | 95.86 | 0.00 | 0.50 | 42.63 | 16.50 | 21.99 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.90 | 123.25 | 31.95 | 0.85 | 92.57 | 41.09 | 54.79 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 1.20 | 164.34 | 41.08 | 1.15 | 165.42 | 109.10 | 145.47 |
| Juin | 4.2 | 185.70 | 1.20 | 164.34 | 0.00 | 0.90 | 167.13 | 162.93 | 217.24 |
| juill | 1.57 | 209.87 | | | 0.00 | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 439.49 |

Tableau IV.10 : besoins en eau d'irrigation d'Haricot vert.

| Haricot vert | | | | | | | | | |
|--------------|-------|--------|------|--------|----------|------|-------|----------------|-----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin brut(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 0.50 | 68.47 | 34.24 | 0.65 | 86.58 | 40.85 | 54.47 |
| Oct | 18.33 | 89.59 | 0.70 | 95.86 | 34.24 | 1.10 | 98.55 | 45.98 | 61.31 |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.70 | 95.86 | 47.93 | 0.50 | 26.70 | 0.00 | 0.00 |
| Dec | 27.00 | 39.06 | | 0.00 | 47.93 | 0.65 | 25.39 | 0.00 | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | | 0.00 | | 1.10 | 46.04 | 17.23 | 22.97 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | 0.00 | | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | | 0.00 | | | | | |
| Avr | 19.52 | 108.90 | | 0.00 | | | | | |
| Mai | 15.23 | 143.84 | | 0.00 | | | | | |
| Juin | 4.20 | 185.70 | | 0.00 | | | | | |
| juill | 1.57 | 209.87 | | 0.00 | | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 0.50 | 68.47 | 0.00 | 0.50 | 98.27 | 95.09 | 126.79 |
| | | | | | | | | | 265.53 |

Tableau IV.11 : besoins en eau d'irrigation du Carotte.

| Carotte | | | | | | | | | |
|---------|-------|--------|------|--------|----------|------|-------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 0.30 | 41.08 | 0 | 0.42 | 55.94 | 44.45 | 59 |
| Oct | 18.33 | 89.59 | 0.40 | 54.78 | 20.54 | 0.70 | 62.71 | 23.84 | 32 |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.50 | 68.47 | 27.39 | 0.81 | 43.25 | | 0 |
| Dec | 27.00 | 39.06 | 0.60 | 82.17 | 68.47 | 0.77 | 30.08 | | 0 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 0.70 | 95.86 | 82.17 | 0.57 | 23.85 | | 0 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | | 95.86 | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | | | | | | | |
| Avr | 19.52 | 108.90 | | | | | | | |
| Mai | 15.23 | 143.84 | | | | | | | |
| Juin | 4.20 | 185.70 | | | | | | | |
| juill | 1.57 | 209.87 | | | | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 91.06 |

Tableau IV.12 : besoins en eau d'irrigation du Concombre.

| Concombre | | | | | | | | | |
|-----------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | | | | | | | |
| Dec | 27.00 | 39.06 | | | | | | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | | | | | | | |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | | | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | | | | | | | |
| Avr | 19.52 | 108.90 | | | | | | | |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.40 | 54.78 | 0.00 | 0.38 | 54.66 | 39.43 | 52.57 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 0.45 | 61.63 | 0.00 | 0.57 | 105.85 | 101.65 | 135.53 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 0.50 | 68.47 | 0.00 | 0.85 | 178.39 | 176.82 | 235.76 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 0.60 | 82.17 | 0.00 | 0.85 | 167.06 | 163.88 | 218.51 |
| | | | | | | | | | 642.37 |

Tableau IV.13 : besoins en eau d'irrigation du Courgette.

| Courgette | | | | | | | | | |
|-----------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 0.60 | 82.17 | 34.24 | 0.85 | 113.22 | 67.49 | 89.99 |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | | 41.08 | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | | | | | | | |
| Dec | 27 | 39.06 | | | | | | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | | | | | | | |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | | | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | | | | | | | |
| Avr | 19.52 | 108.90 | | | | | | | |
| Mai | 15.23 | 143.84 | | | | | | | |
| Juin | 4.2 | 185.70 | 0.40 | 54.78 | 0.00 | 0.50 | 92.85 | 88.65 | 118.20 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 0.45 | 61.63 | 0.00 | 0.75 | 157.40 | 155.83 | 207.78 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 0.50 | 68.47 | 0.00 | 0.85 | 167.06 | 163.88 | 218.51 |
| | | | | | | | | | 634.47 |

Tableau IV.14 : besoins en eau d'irrigation du Chou.

| Chou | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------|------|--------|----------|------|-------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 0.30 | 41.08 | 0.00 | 0.50 | 66.60 | 55.11 | 73.48 |
| Oct | 18.33 | 89.59 | 0.40 | 54.78 | 20.54 | 0.70 | 62.71 | 23.84 | 31.79 |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.50 | 68.47 | 27.39 | 0.95 | 50.73 | | 0.00 |
| Dec | 27 | 39.06 | 0.60 | 82.17 | 68.47 | 0.80 | 31.25 | | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | | 0.00 | 82.17 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | | | | | | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | | | | | | | |
| Avr | 19.52 | 108.90 | | | | | | | |
| Mai | 15.23 | 143.84 | | | | | | | |
| Juin | 4.2 | 185.70 | | | | | | | |
| juill | 1.57 | 209.87 | | | | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 105.27 |

Tableau IV.15 : besoins en eau d'irrigation du Petit Pois.

| Petit pois | | | | | | | | | |
|------------|-------|--------|------|--------|----------|------|-------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | | 0.00 | | | | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | | 0.00 | | | | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| Dec | 27 | 39.06 | 0.40 | 54.78 | 0.00 | 0.45 | 17.58 | | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 0.70 | 95.86 | 54.78 | 0.80 | 33.48 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 0.70 | 95.86 | 95.86 | 1.00 | 51.62 | | 0.00 |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 0.70 | 95.86 | 31.95 | 0.95 | 80.99 | 22.90 | 30.54 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 0.70 | 95.86 | 31.95 | 0.50 | 54.45 | 2.98 | 3.97 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 0.00 | 0.00 | 31.95 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| Juin | 4.2 | 185.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| juill | 1.57 | 209.87 | | 0.00 | | | | | |
| Aout | 3.18 | 196.54 | | 0.00 | | | | | |
| | | | | | | | | | 34.50 |

Tableau IV.16 : besoins en eau d'irrigation du Vigne.

| Vigne | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 1.30 | 178.03 | 82.17 | 0.55 | 73.26 | | |
| Oct | 18.33 | 89.59 | 1.30 | 178.03 | 89.02 | 0.00 | 0.00 | | |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 1.30 | 178.03 | 89.02 | 0.00 | 0.00 | | |
| Dec | 27.00 | 39.06 | 1.30 | 178.03 | 178.03 | 0.00 | 0.00 | | |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 1.30 | 178.03 | 178.03 | 0.00 | 0.00 | | |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 1.30 | 178.03 | 178.03 | 0.30 | 15.49 | | |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 1.30 | 178.03 | 59.34 | 0.50 | 42.63 | | |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 1.30 | 178.03 | 59.34 | 0.60 | 65.34 | | |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 1.30 | 178.03 | 59.34 | 0.70 | 100.69 | 26.11 | 34.82 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 1.30 | 178.03 | 59.34 | 0.90 | 167.13 | 103.59 | 138.11 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 1.30 | 178.03 | 59.34 | 0.70 | 146.91 | 85.99 | 114.66 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 1.20 | 164.34 | 59.34 | 0.60 | 117.92 | 55.40 | 73.87 |
| | | | | | | | | | 361.46 |

Tableau IV.17 : besoins en eau d'irrigation du Pêche.

| Pêche | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 1.50 | 205.42 | 102.71 | 0.55 | 73.26 | | 0.00 |
| Oct | 18.33 | 89.59 | 1.50 | 205.42 | 102.71 | 0.55 | 49.27 | | 0.00 |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 1.50 | 205.42 | 102.71 | 0.55 | 29.37 | | 0.00 |
| Dec | 27.00 | 39.06 | 1.50 | 205.42 | 205.42 | 0.75 | 29.30 | | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 1.50 | 205.42 | 205.42 | 0.75 | 31.39 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 1.50 | 205.42 | 205.42 | 0.75 | 38.72 | | 0.00 |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 1.50 | 205.42 | 68.47 | 0.75 | 63.94 | | 0.00 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 1.50 | 205.42 | 68.47 | 0.55 | 59.90 | | 0.00 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 1.50 | 205.42 | 68.47 | 0.55 | 79.11 | | 0.00 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 1.50 | 205.42 | 0 | 0.55 | 102.14 | 97.94 | 130.58 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 1.50 | 205.42 | 0 | 0.55 | 115.43 | 113.86 | 151.81 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 1.50 | 205.42 | 0.00 | 0.55 | 108.10 | 104.92 | 139.89 |
| | | | | | | | | | 422.28 |

Tableau IV.18 : besoins en eau d'irrigation du Olivier.

| Olivier | | | | | | | | | |
|---------|-------|--------|------|--------|----------|------|--------|----------------|----------------|
| | Peff | ET0 | Z | RFU th | RFU réel | kc | ETM | besoin net(mm) | besoin bru(mm) |
| Sep | 11.49 | 133.20 | 1.50 | 204.40 | 0.00 | 0.85 | 113.22 | 101.73 | 135.64 |
| Oct | 18.33 | 89.59 | 1.50 | 204.40 | 102.20 | 0.85 | 76.15 | | 0.00 |
| Nov | 30.19 | 53.40 | 1.50 | 204.40 | 102.20 | 0.75 | 40.05 | | 0.00 |
| Dec | 27.00 | 39.06 | 1.50 | 204.40 | 204.40 | 0.65 | 25.39 | | 0.00 |
| Jan | 28.81 | 41.85 | 1.50 | 204.40 | 204.40 | 0.65 | 27.20 | | 0.00 |
| Fev | 25.89 | 51.62 | 1.50 | 204.40 | 204.40 | 0.65 | 33.55 | | 0.00 |
| Mars | 26.13 | 85.25 | 1.50 | 204.40 | 68.13 | 0.65 | 55.41 | | 0.00 |
| Avr | 19.52 | 108.90 | 1.50 | 204.40 | 68.13 | 0.65 | 70.79 | | 0.00 |
| Mai | 15.23 | 143.84 | 1.50 | 204.40 | 68.13 | 0.65 | 93.50 | 10.13 | 13.51 |
| Juin | 4.20 | 185.70 | 1.50 | 204.40 | 0.00 | 0.85 | 157.85 | 153.65 | 204.86 |
| juill | 1.57 | 209.87 | 1.50 | 204.40 | 0.00 | 0.85 | 178.39 | 176.82 | 235.76 |
| Aout | 3.18 | 196.54 | 1.50 | 204.40 | 0.00 | 0.85 | 167.06 | 163.88 | 218.51 |
| | | | | | | | | | 808.27 |

Tableau IV.19 : Récapitulatif des besoins.

| Assolement I | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|------------|-------------------|--------|--------------|---------|-----------|--------|---------------|--------|---------------|---------------|
| | Blé | Orge grain | Ail / oignon vert | Tomate | Haricot vert | Carotte | Concombre | Pêche | Olivier | Vigne | Total | Max |
| Sep | 11.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 40.85 | 44.45 | 0.00 | 0.00 | 101.73 | 0.00 | 198.53 | 101.73 |
| Oct | 18.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.98 | 23.84 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 88.15 | 45.98 |
| Nov | 30.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 30.19 | 30.19 |
| Dec | 27.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 27.00 | 27.00 |
| Jan | 28.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.04 | 28.81 |
| Fev | 25.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.89 | 25.89 |
| Mars | 26.13 | 23.21 | 28.07 | 16.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 93.90 | 28.07 |
| Avr | 19.52 | 45.66 | 65.68 | 41.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 171.94 | 65.68 |
| Mai | 15.23 | 43.68 | 100.88 | 109.10 | 0.00 | 0.00 | 39.43 | 0.00 | 10.13 | 26.11 | 344.57 | 109.10 |
| Juin | 4.20 | 60.80 | 123.82 | 162.93 | 0.00 | 0.00 | 101.65 | 97.94 | 153.65 | 103.59 | 808.56 | 153.65 |
| Juill | 1.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 176.82 | 113.86 | 176.82 | 85.99 | 555.06 | 176.82 |
| Aout | 3.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 95.09 | 0.00 | 163.88 | 104.92 | 163.88 | 55.40 | 586.34 | 163.88 |

Tableau IV.20 : Récapitulatif des besoins.

| assolement II | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|--------------|-----------|----------------|--------|-------|------------|--------|---------------|--------|---------------|---------------|
| | Blé | Orge en vert | Courgette | Pomme de terre | Tomate | Chou | Petit pois | Pêche | Olivier | Vigne | Total | Max |
| Sep | 11.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 55.11 | 0.00 | 0.00 | 101.73 | 0.00 | 168.33 | 101.73 |
| Oct | 18.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.84 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 42.17 | 23.84 |
| Nov | 30.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 30.19 | 30.19 |
| Dec | 27.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 27.00 | 27.00 |
| Jan | 28.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.81 | 28.81 |
| Fev | 25.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.89 | 25.89 |
| Mars | 26.13 | 23.21 | 0.00 | 33.55 | 16.50 | 0.00 | 22.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 122.28 | 26.13 |
| Avr | 19.52 | 45.66 | 0.00 | 79.37 | 41.09 | 0.00 | 2.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 188.61 | 79.37 |
| Mai | 15.23 | 43.68 | 88.65 | 128.95 | 109.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.13 | 26.11 | 421.87 | 128.95 |
| Juin | 4.20 | 0.00 | 155.83 | 153.65 | 162.93 | 0.00 | 0.00 | 97.94 | 153.65 | 103.59 | 831.77 | 162.93 |
| Juill | 1.57 | 0.00 | 163.88 | 155.83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 113.86 | 176.82 | 85.99 | 697.95 | 176.82 |
| Aout | 3.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 104.92 | 163.88 | 55.40 | 327.38 | 163.88 |

IV.5. CALCUL DES DEBITS SPECIFIQUES

Les débits spécifiques sont définis d'après les besoins en eau de chaque culture, évalués précédemment à partir de la répartition culturale. La dose d'arrosage de la consommation de pointe est donnée sous forme de débit permanent fourni 24 heures sur 24 afin d'assurer les besoins de la consommation mensuelle. Les débits spécifiques sont définis par la formule suivante :

$$q = \frac{B_m}{T \times t \times 3.6 \times K} \dots\dots\dots(l/s/ha)$$

- B_m : Besoin mensuel maximum net, exprimé en m³/ha.
- T : Temps d'irrigation par jour.
- t : Nombre de jours du mois d'irrigation, exprimée en jour ; égale à 30 J.
- K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation ≈ 0.75.

On calcule les besoins en eau pour **l'assolement le plus exigeant (Assolement II)**

D'où les besoins de pointe correspondent au mois de Juin,

$$q_s = \frac{831 \times 10}{20 \times 30 \times 3.6 \times 0.75} = 5.12 \text{ l/s/ha}$$

Le débit spécifique **q_s** est important 5.12 l/s/ha.

Le débit spécifique obtenu est supérieur à 1.5. Il y'a un risque de surdimensionnement

Pour y remédier, nous avons trois méthodes pour estimer le débit spécifique :

- Prendre la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures ;
- Prendre en considération la moyenne des débits spécifiques des cultures les plus exigeantes
- Prendre le débit spécifique de la culture la plus exigeante pour le mois de pointe.

On choisira le débit spécifique de la culture la plus exigeante. (Olivier 177 mm)

$$q_s = 1 < 1.5 \text{ l/s/ha}$$

IV.6. EVALUATION DU DEBIT CARACTERISTIQUE

C'est le débit maximum en rapport à la pression de service dans le réseau d'irrigation. Il est égal à :

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

Avec :

- Q_{car} = débit caractéristique ;
- S = surface du périmètre, 365 ha.

$$Q_{car} = 1 \times 365 = 365 \text{ l/s}$$

$$Q_{car} = 365 \text{ l/s}$$

IV.7. ESTIMATION DES VOLUMES D'EAU D'IRRIGATION

L'estimation des volumes d'eau d'irrigation permet de prévoir les volumes d'eau stockés dans la retenue et d'effectuer un meilleur calendrier d'arrosage.

volume des besoins en eau = besoin de la culture (m^3) \times surface de la culture

Tableau V21 : volume d'eau d'irrigation

| | Surface (ha) | Besoin brute (mm) | Besoin brute (m3/ha) | Besoin brute (m3) |
|----------------------------|--------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Blé | 70 | 261.67 | 2616.66 | 183165.92 |
| Orge en vert | 70 | 150.06 | 1500.60 | 105042.19 |
| Courgette | 30 | 634.47 | 6344.73 | 190341.80 |
| Pomme de terre | 30 | 735.13 | 7351.30 | 220538.87 |
| Tomate | 30 | 477.70 | 4777.01 | 143310.43 |
| Chou | 30 | 105.27 | 1052.68 | 31580.32 |
| Petit pois | 30 | 34.50 | 345.05 | 10351.37 |
| pêche | 25 | 422.28 | 4222.81 | 105570.17 |
| olivier | 25 | 808.27 | 8082.75 | 202068.72 |
| vigne | 25 | 361.46 | 3614.59 | 90364.82 |
| | 365 | | | 1282334.60 |
| Besoins total (hm3) | | | | 1.3 |

INTERPRETATION

On remarque que le volume nécessaire pour les besoins des cultures sur notre périmètre durant toute leur période végétative est de l'ordre de **1.3 Hm³**. Et comme le barrage d'alimentation est de capacité **de 100 Hm³**, ce qui explique qu'on peut extraire ce volume à partir du barrage Ouizert.

IV.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons choisi les cultures qu'on va implanter dans notre périmètre et nous avons déterminé leurs besoins en eau, ce qui nous a permis d'estimer le débit spécifique de notre périmètre en tenant compte de la culture la plus exigeante à cause des contraintes agricoles et agronomiques. En deuxième lieu, nous avons calculé les besoins en eau totaux du périmètre et déduit que la capacité du barrage Ouizert suffit largement pour irriguer le périmètre de Ghriss (secteur 2).

CHAPITRE V

Techniques d'irrigation

V.1. INTRODUCTION

Pour une exploitation particulière, le choix de la méthode d'irrigation dépend d'un grand nombre de facteurs techniques, économiques et sociologiques.

Les facteurs techniques incluent le type de culture, le type du sol, la structure parcellaire, la topographie et la qualité de l'eau.

Les facteurs socio-économiques se rapportent à la structure de l'exploitation, les coûts d'investissement, les frais de fonctionnement et d'entretien, le niveau technique de l'exploitant et les besoins en main d'œuvre.

Le choix de la méthode d'irrigation par l'exploitant, peut être dicté également par le mode de livraison de l'eau au niveau de la parcelle. La distribution de l'eau aux bornes d'irrigation, fonctionnant sous pression et à la demande, encouragerait l'utilisation de méthodes d'irrigation modernes (irrigation par aspersion ou localisée).

V.2. LES TECHNIQUES D'IRRIGATION

V.2.1. Irrigation de surface

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

On classe généralement les différentes techniques d'irrigation de surface en trois groupes principaux (Ollier & Poirée, 1981) : irrigations par submersion, irrigations par ruissellement, irrigations par rigoles d'infiltration.

a. Irrigation par bassin (submersion)

Cette méthode consiste à introduire la dose d'arrosage à l'intérieur de planches horizontales bordées par des diguettes et formant bassin de submersion.

L'eau est amenée aux bassins par un canal arroseur situé entre deux séries de bassins adjacents. La culture du riz qui nécessite des volumes d'eau importants est un des exemples de ce type d'irrigation.

b. Irrigation par planches

L'irrigation à la planche, s'effectue par ruissellement d'une lame d'eau sur une planche (terrain en pente parfaitement nivelée) 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.

c. Irrigation à la raie

Avec l'irrigation à la raie, l'eau ne ruisselle que sur une faible partie de la surface du sol dans des raies ou sillons préalablement aménagés et qui constituent des rigoles d'infiltration.

L'irrigation par ruissellement et infiltration présentent plusieurs inconvénients :

- Elle nécessite un aménagement préalable du terrain.
- Le volume d'eau utilisé est important.
- Pertes d'eau considérable.
- Elle nécessite beaucoup de mains d'œuvre, la durée de l'arrosage est plus longue.

A cause de ces inconvénients et avec la disponibilité de matériel de l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée, les surfaces irriguées par l'aspersion et l'irrigation localisée connaissent une augmentation chaque année dans l'Algérie.

V.2.2. Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est la technique d'arrosage par laquelle l'eau est fournie aux plantes sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression.

Ces appareils rotatifs pulvérisent l'eau en fines gouttelettes et doivent assurer une répartition aussi uniforme que possible de pluie sur la surface du sol.

➤ Avantages de l'irrigation par aspersion

- Elle ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface d'irrigation.
- Elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie.
- Elle permet un dosage précis et une répartition régulière de la quantité d'eau distribuée.
- Elle met à la distribution des exploitations des conditions d'arrosage très souples.

➤ Inconvénients de l'irrigation par aspersion

- Elle nécessite au départ, pour chaque irrigant une dépense importante de premier établissement et qu'elle exige souvent une nombreuse main d'œuvre d'explication.
- Elle favorise l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont plus fines et l'aire plus sec.
- Elle favorise le développement des mauvaises herbes.
- L'eau distribuée peut provoquer une croûte superficielle dans le cas de sols lourds

➤ Différentes installations à la parcelle

En pratique, deux solutions extrêmes peuvent être envisagées :

- L'installation totalement fixée.
- L'installation totalement mobile.

Dans l'installation fixée, l'ensemble des équipements (pompe, canalisation, asperseur) sont fixés de façon permanente, ce qui limite une main d'œuvre, mais occasionne des investissements très élevés.

- Couverture totale (quadrillage total)

Ce dispositif est le plus utilisé, au lieu d'avoir une seule rampe on couvre toute la superficie à arroser par toute la tuyauterie, celle-ci reste en place durant toute la saison d'arrosage. Dans ce cas, seuls les asperseurs doivent être déplacés et chaque rampe comporte un asperseur et forme une rampe fictive, ce qui permet de réduire le diamètre de la rampe.

- Couverture intégrale

La parcelle à arroser est entièrement couverte par des tuyaux et des arroseurs à poste fixe, l'arrosage est commandé par l'ouverture et la fermeture d'une vanne soit manuellement soit automatiquement par commande hydraulique ou électrique.

V.2.3. Irrigation localisée (goutte à goutte)

L'irrigation localisée est une expression qui caractérise un certain nombre de techniques nouvelles en particulier et principalement l'irrigation dite « goutte à goutte » qui ont en commun les caractéristiques suivantes (Ollier & Poirée, 1981) :

- Une alimentation en eau à proximité immédiate du système racinaire des plantes cultivées
- La limitation de la surface humectée du sol à ce qui semble strictement nécessaire, à l'exclusion de la portion du sol qui ne porte pas de plantes.
- L'utilisation souvent répétée à la limite continue de faibles débits instantanés.

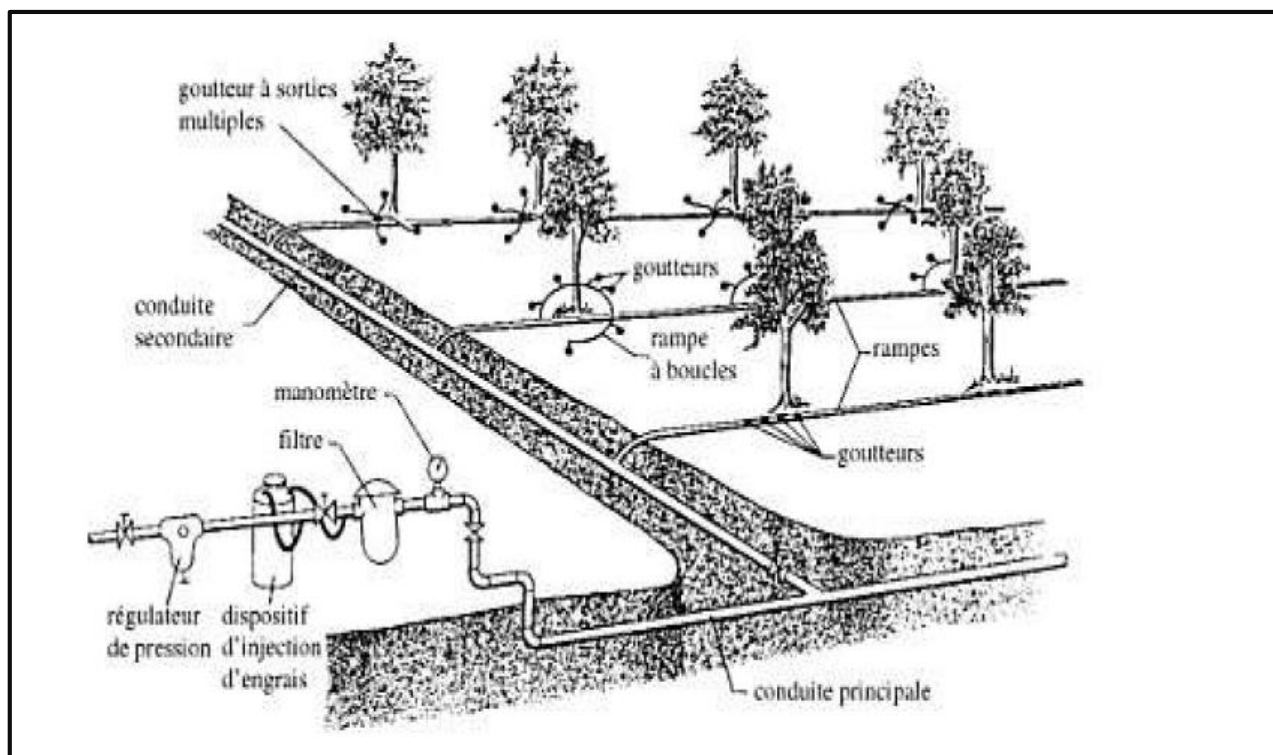


Figure V.1: schéma général d'une installation d'irrigation localisé. (Manuel des techniques d'irrigation sous pression.2 Ed. FAO : Rome,2008)

Avantages de l'irrigation localisée

a. Efficience de l'eau

Peu de pertes par évaporation, puisqu'il n'y a pas de trajectoire aérienne des gouttes d'eau, que le feuillage n'est pas humidifié inutilement, qu'une partie de la surface du sol reste sèche, que la croissance des mauvaises herbes est très limitée et n'entraîne donc pas une consommation parasite (Rieul, 1992), il n'y a pas de ruissellement, pas de débordement sur les parcelles voisines.

b. Avantages agronomiques

- L'humidité du sol au voisinage des racines reste constamment élevée sans empêcher une bonne aération du sol.
- La fertilisation par des engrais incorporés à l'eau d'arrosage est aisée.
- L'atmosphère au voisinage des plantes n'est pas saturée d'humidité comme dans l'aspersion.
- Les mauvaises herbes se développent peu.
- Les activités culturales ne sont pas gênées par les arrosages

c. Avantages économiques

Le prix de revient est très influencé par l'espacement des lignes, le prix de revient est nettement moins élevé que celui d'autres réseaux fixes, comme l'aspersion. En ce qui concerne le coût d'exploitation, il est peu élevé, de plus la faible pression.

- **Inconvénient de l'irrigation localisée**

a. L'obstruction des goutteurs

Des particules de sable, des dépôts lents d'argile ou de limons, des précipitations chimiques, le développement de micro-organismes sont les plus souvent rencontrés et favorisent l'obstruction des orifices des goutteurs. Il est à noter que l'entretien et l'élimination des goutteurs obstrués sont longs et onéreux. Le meilleur moyen de prévenir ces obstructions est un procédé par de filtration soignée de l'eau.

b. Accumulation de sels

Pendant la période d'irrigation les sels sont peu refoulés à la périphérie du bulbe humide, plus spécialement près de la surface du sol.

V.3. CHOIX DE LA TECHNIQUE D'ARROSAGE

Pour pouvoir choisir la technique d'irrigation convenable, il est nécessaire de connaître toutes les contraintes de chaque type d'arrosage. Une analyse multicritère des techniques d'arrosage basée sur différentes contraintes est nécessaire pour aboutir au choix de la technique d'irrigation la plus adéquate pour la zone considérée.

Tableau V.1 : Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage

| CONTRAINTES | IRRIGATION DE SURFACE PAR RIGOLE | IRRIGATION PAR ASPERSION | IRRIGATION LOCALISE |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| • Evaporation | + | ++ | +++ |
| • Vent | +++ | + | +++ |
| • Texture | ++ | ++ | +++ |
| • Perméabilité | ++ | +++ | +++ |
| • Pente | ++ | +++ | +++ |
| • Qualité d'eau | + | ++ | +++ |
| • Culture | ++ | ++ | + |
| ▪ Céréales | | | |
| ▪ Maraichage | | | |
| ▪ Arbres | +++ | +++ | +++ |
| • Contraintes économique | × | +++ | |
| ▪ Economie d'eau | +++ | × | +++ |
| | × | ++ | +++ |

Remarque :

- X : inadéquat ou déconseillé ;
- + : Adapté avec réserve ;
- ++ : Adapté ;
- +++ : Très Adapté.

V.4. CONCLUSION

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

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

Pour le cas de notre étude, nous nous sommes basés sur les techniques d'irrigation modernes telles que l'aspersion et le goutte à goutte.

CHAPITRE VI

Dimensionnement

du réseau de distribution

VI.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, le réseau de distribution d'eau sera dimensionné. Il est essentiellement composé par des canalisations enterrées, livrant l'eau sous pression aux différents exploitants, par l'intermédiaire des bornes.

Le développement de ces réseaux, est lié principalement, à la rationalisation de la ressource en eau et particulièrement la généralisation des méthodes d'irrigation modernes à la demande. C'est dans ce contexte, que notre attention dans ce chapitre s'est accentuée à la mise au point de la méthodologie d'optimisation du réseau de distribution d'irrigation sous pression, présentée ci-après.

VI.2. LA METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT

Pour l'objectif de la détermination des diamètres des conduites de ce réseau, ce traitement a été basé sur les éléments et les hypothèses suivants :

- Le tracé du réseau (la longueur de chaque tronçon) ;
- Le débit à transiter sur chaque tronçon ;
- La surface des îlots desservis par le tronçon
- Les pertes de charges totales dans le tronçon
- Les conditions limites aval ; la charge minimum à assurer aux bornes
- Les conditions limites amont ; la cote charge disponible à l'entrée du réseau
- Les côtes de terrain naturel des bornes.

VI.3. DECOUPAGE DU PERIMETRE EN ILOTS D'IRRIGATION :

Le terme « îlot d'irrigation » décrit l'unité hydro-agricole alimentée par une borne d'irrigation. Cette borne comporte une ou plusieurs sorties ou « prises » suivant le nombre d'arrosages qu'elle doit assurer simultanément, en particulier lorsqu'elle se trouve en limite de plusieurs exploitants. Chaque borne aura pour rôle :

- Laisser passer ou arrêter le débit.
- Régler ce débit, ou plus exactement le limiter au module.
- Régler la pression

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

VI.4. CALCUL DES DEBITS DES ILOTS :

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 est défini d'après les besoins en

eau de chaque culture, évalués précédemment à partir de la répartition culturale. Ce débit a été évalué (**chapitre III**) à :

$$q_s = 1 \text{ l/s/ha}$$

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

$$Q_i = q_s \times S_i$$

- Q_i = Débit caractéristique de chaque îlot (l/s).
- q_s = Débit spécifique (=1 l/s/ha).
- S_i = Superficie de l'îlot (ha)

VI.5. CHOIX DU TYPE DE BORNE

Le choix de la borne dépend de la surface :

- Pour les surfaces $S < 10$ 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 VI.1: Choix du diamètre de la borne.

| Débit fourni l/s | Diamètre de la borne mm |
|------------------|-------------------------|
| $Q < 8$ | D=65 |
| $8 < Q < 20$ | D= 100 |
| $20 < Q < 25$ | D=150 |
| $Q > 25$ | D= 200 |

Les résultats du calcul du débit de chaque îlot d'irrigation sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 : Les débits au niveau de chaque ilot

| NUMERO D'ILOT /BORNE | SUPERFICIE ha | LES PARCELLES | DEBIT DE LA BORNE l/s | DIAMETRE DE LA BORNE mm |
|----------------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | 13 | I1.1 | 16.9 | A2-100 |
| | | I1.2 | | |
| 2 | 12 | I2.1 | 15.6 | A2-100 |
| | | I2.2 | | |
| 3 | 14.8 | I3.1 | 19.24 | A2-100 |
| | | I3.2 | | |
| 4 | 11 | I4.1 | 14.3 | A2-100 |
| | | I4.2 | | |
| 5 | 12.5 | I5.1 | 16.25 | A2-100 |
| | | I5.2 | | |
| 6 | 14.6 | I6.1 | 18.98 | A2-100 |
| | | I6.2 | | |
| 7 | 12.5 | I7.1 | 16.25 | A2-100 |
| | | I7.2 | | |
| 8 | 8.9 | I8.1 | 11.57 | A2-100 |
| | | I8.2 | | |
| 9 | 8.9 | I9.1 | 11.75 | A2-100 |
| | | I9.2 | | |
| 10 | 9.6 | I10.1 | 12.48 | A2-100 |
| | | I10.2 | | |
| 11 | 14.6 | I11.1 | 18.98 | A2-100 |
| | | I11.2 | | |
| 12 | 9 | I12.1 | 11.7 | A2-100 |
| | | I12.2 | | |
| 13 | 7.7 | I13.1 | 10.01 | A2-100 |
| | | I13.2 | | |
| 14 | 14.3 | I14.1 | 18.59 | A2-100 |
| | | I14.2 | | |
| 15 | 8.4 | I15.1 | 10.92 | A2-100 |
| | | I15.2 | | |
| 16 | 5.2 | I16.1 | 6.76 | A2-100 |
| | | I16.2 | | |
| 17 | 14.9 | I17.1 | 19.37 | A2-100 |
| | | I17.2 | | |
| 18 | 7 | I18.1 | 9.1 | A2-100 |
| | | I18.2 | | |
| 19 | 11.5 | I19.1 | 14.95 | A2-100 |
| | | I19.2 | | |
| 20 | 10.7 | I20.1 | 13.91 | A2-100 |
| | | I20.2 | | |

| | | | | |
|----|------|-------|--------|--------|
| 21 | 14.7 | I21.1 | 9.11 | A2-100 |
| | | I21.2 | | |
| 22 | 12.9 | I22.1 | 16.77 | A2-100 |
| | | I22.2 | | |
| 23 | 9.5 | I23.1 | 12.35 | A2-100 |
| | | I23.2 | | |
| 24 | 8.6 | I24.1 | 11.18 | A2-100 |
| | | I24.2 | | |
| 25 | 14.2 | I25.1 | 18.46 | A2-100 |
| | | I25.2 | | |
| 26 | 14.8 | I26.1 | 19.24 | A2-100 |
| | | I26.2 | | |
| 27 | 14.9 | I27.1 | 19.37 | A2-100 |
| | | I27.2 | | |
| 28 | 12 | I28.1 | 15.6 | A2-100 |
| | | I28.2 | | |
| 29 | 14.5 | I29.1 | 18.85 | A2-100 |
| | | I29.2 | | |
| 30 | 13 | I30.1 | 16.9 | A2-100 |
| | | I30.2 | | |
| 31 | 14.2 | I31.1 | 18.46 | A2-100 |
| | | I31.2 | | |
| | | | 400.85 | |

VI.6. CHOIX DU TRACE :

Pour le choix du tracé de la conduite de distribution (Res-N) il sera tenu compte de certain impératif que l'on s'efforcera dans la mesure du possible de respecter :

- Il est important de chercher un profil en long aussi régulier que possible pour éliminer les contres pentes ;
- Dans le but d'économie du projet, le tracé doit être le plus court possible.
- Eviter le phénomène de cavitation qui peut engendrer les éclatements et vibration de la canalisation au cours de la phase de surpression.
- Eviter les forêts, bois et zones marécageuses.
- Eviter autant que possible la traversée des obstacles (routes, voies ferrées, canaux, oueds,).

VI.7. DIMENSIONNEMENT DES CANALISATIONS

Le dimensionnement optimal est une des problématiques auxquelles doit résoudre l'ingénieur.

Dans un souci technico-économique, les dimensions des conduites doivent répondre aux normes hydrauliques :

VI.7.1. Vitesse admissible

La vitesse admissible varie entre 0.5 m/s, comme vitesse inférieure, et 2.5 m/s comme vitesse maximum. Dans notre étude, on prend une vitesse dans la conduite égale à 1.5 m/s

VI.7.2. Calcul des diamètres

Le calcul des diamètres est réalisé sur la base des débits véhiculés par le tronçon de conduite, et les vitesses. La formule de « LABYE » nous donne une approche du diamètre économique qu'on normalise

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

Avec :

- **Q** : débit, exprimé en m³/s.
- **D**: diamètre exprimé en mm
- **V** : vitesse économique de l'ordre de 1.5 m/s

VI.7.3. Calcul des pertes de charge

Les pertes de charge unitaires, ont été définies par la formule de Lechapt et Calmon, elle est donnée par l'expression suivante :

$$h_{pu} = \frac{L \times Q^M}{D^N} \times C$$

Avec :

- **h_{pu}** : perte de charge unitaire en mm/ml
- **Q** : débit en m³/s
- **D** : diamètre de la conduite considérée (m)
- **L, M et N** : Paramètres en fonction de la rugosité absolue (Ks) des canalisations
- **C** : coefficient compris une majoration de 10 % pour les pertes de charge singulière

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

Tableau VI.3 : Paramètres de pertes de charge de la loi de Lechapt-Calmon.

| mm | L | M | N |
|-----|-----|-------|------|
| 0.1 | 1.2 | 1.89 | 5.01 |
| 0.5 | 1.4 | 1.96 | 5.19 |
| 1 | 1.6 | 1.975 | 5.25 |

Pour une conduite en fonte ou en **PEHD**, nous avons la rugosité $K=0,1\text{mm}$, avec les paramètres suivants : $L=1.2$, $M=1.89$, $N= 5.01$.

Les résultats de calculs sont donnés dans le tableau V.4

Tableau VI.4: Calculs hydrauliques du réseau de distribution

| tronçon | longueur | débit des ilots | débit des tronçons | | D.calculé | D.normalisé | matériaux de canalisation | V | p.charge total | cote terrain | cote piezo | pression | |
|----------------|----------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------|-------------|---------------------------|------|----------------|--------------|------------|----------|-------------|
| | | | l/s | m ³ /s | | | | | | | | m | bar |
| | km | l/s | l/s | m ³ /s | mm | mm | | m/s | m/km | m | | m | bar |
| R-N | 2.97 | | 365 | 0.365 | 650 | 710 | fonte | 0.92 | 3.2 | 612.67 | | | |
| N-N1 | 1.66 | 13 | 90.4 | 0.090 | 324 | 355 | fonte | 0.91 | 4.2 | 544.46 | 608.50 | 64.04 | 6.40 |
| N1-N2 | 0.205 | 12 | 77.4 | 0.077 | 299 | 315 | PEHD | 0.99 | 0.7 | 544.29 | 607.80 | 63.51 | 6.35 |
| N2-N3 | 0.189 | 14.8 | 65.4 | 0.065 | 280 | 315 | PEHD | 0.84 | 0.5 | 544.25 | 607.33 | 63.08 | 6.31 |
| N3-N4 | 0.172 | 11 | 50.6 | 0.051 | 250 | 280 | PEHD | 0.82 | 0.5 | 543.87 | 606.85 | 62.98 | 6.30 |
| N4-N5 | 0.152 | 12.5 | 39.6 | 0.040 | 225 | 250 | PEHD | 0.81 | 0.5 | 543.70 | 606.39 | 62.69 | 6.27 |
| N5-N6 | 0.105 | 14.6 | 27.1 | 0.027 | 180 | 225 | PEHD | 0.68 | 0.3 | 543.20 | 606.12 | 62.92 | 6.29 |
| N6-N7 | 0.683 | 12.5 | 12.5 | 0.013 | 120 | 160 | PEHD | 0.62 | 2.2 | 543.30 | 603.91 | 60.61 | 6.06 |
| N-N8 | 0.0983 | 8.9 | 274.6 | 0.275 | 564 | 630 | fonte | 0.88 | 0.1 | 544.46 | 603.79 | 59.33 | 5.93 |
| N8-N9 | 0.2477 | 8.9 | 265.7 | 0.266 | 555 | 560 | fonte | 1.08 | 0.5 | 544.11 | 603.30 | 59.19 | 5.92 |
| N9-N10 | 0.3813 | 9.6 | 256.8 | 0.257 | 545 | 560 | fonte | 1.04 | 0.7 | 543.36 | 602.60 | 59.24 | 5.92 |
| N10-N' | 0.212 | | 247.2 | 0.247 | 535 | 560 | fonte | 1.00 | 0.4 | 542.61 | 602.24 | 59.63 | 5.96 |
| N'-N11 | 0.3457 | 14.6 | 247.2 | 0.247 | 535 | 560 | fonte | 1.00 | 0.6 | 514.42 | 601.64 | 87.22 | 8.72 |
| N11-N12 | 0.3255 | 9 | 232.6 | 0.233 | 519 | 560 | fonte | 0.94 | 0.5 | 542.00 | 601.14 | 59.14 | 5.91 |
| N12-N13 | 0.1956 | 7.7 | 223.6 | 0.224 | 509 | 560 | fonte | 0.91 | 0.3 | 542.50 | 600.87 | 58.37 | 5.84 |
| N13-N14 | 0.1529 | 14.3 | 215.9 | 0.216 | 500 | 500 | fonte | 1.10 | 0.4 | 542.20 | 600.51 | 58.31 | 5.83 |
| N'-N15 | 0.0718 | 8.4 | 201.6 | 0.202 | 483 | 500 | fonte | 1.03 | 0.1 | 514.42 | 600.36 | 85.94 | 8.59 |
| N15-N16 | 0.5277 | 5.2 | 193.2 | 0.193 | 473 | 500 | fonte | 0.98 | 1.0 | 541.17 | 599.36 | 58.19 | 5.82 |
| N16-N'' | 0.2827 | | 188 | 0.188 | 467 | 500 | fonte | 0.96 | 0.5 | 540.29 | 598.84 | 58.55 | 5.86 |
| N''-N17 | 0.2392 | 14.9 | 188 | 0.188 | 467 | 500 | fonte | 0.96 | 0.4 | 539.40 | 598.41 | 59.01 | 5.90 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|------|-------|-------|--------|-----|-------|------|------|--------|--------|-------|------|
| N17-N18 | 0.2386 | 7 | 173.1 | 0.173 | 448 | 450 | fonte | 1.09 | 0.6 | 541.15 | 597.79 | 56.64 | 5.66 |
| N18-N19 | 0.1933 | 11.5 | 166.1 | 0.166 | 439 | 450 | fonte | 1.04 | 0.5 | 540.00 | 597.32 | 57.32 | 5.73 |
| N19-N20 | 0.2155 | 10.7 | 154.6 | 0.155 | 423 | 450 | fonte | 0.97 | 0.5 | 541.74 | 596.86 | 55.12 | 5.51 |
| N20-N21 | 0.2073 | 14.7 | 143.9 | 0.144 | 408 | 450 | fonte | 0.91 | 0.4 | 541.00 | 596.48 | 55.48 | 5.55 |
| N21-N22 | 0.1321 | 12.9 | 129.2 | 0.129 | 387 | 400 | fonte | 1.03 | 0.4 | 540.70 | 596.12 | 55.42 | 5.54 |
| N''-N23 | 0.0958 | 9.5 | 116.3 | 0.116 | 367 | 400 | fonte | 0.93 | 0.2 | 539.40 | 595.91 | 56.51 | 5.65 |
| N23-N24 | 0.2804 | 9 | 106.8 | 0.107 | 352 | 355 | fonte | 1.08 | 1.0 | 539.16 | 594.94 | 55.78 | 5.58 |
| N24-N25 | 0.3559 | 14.2 | 97.8 | 0.098 | 337 | 355 | fonte | 0.99 | 1.0 | 539.63 | 593.90 | 54.27 | 5.43 |
| N25-N26 | 0.321 | 14.8 | 83.6 | 0.084 | 311 | 315 | PEHD | 1.07 | 1.3 | 540.70 | 592.63 | 51.93 | 5.19 |
| N26-N27 | 0.064 | 14.9 | 68.8 | 0.069 | 282 | 315 | PEHD | 0.88 | 0.2 | 537.75 | 592.45 | 54.70 | 5.47 |
| N27-N28 | 0.1047 | 12 | 53.9 | 0.054 | 250 | 250 | PEHD | 1.10 | 0.6 | 537.37 | 591.88 | 54.51 | 5.45 |
| N28-N29 | 0.1127 | 14.5 | 41.9 | 0.042 | 220 | 225 | PEHD | 1.05 | 0.7 | 538.41 | 591.23 | 52.82 | 5.28 |
| N29-N30 | 0.1863 | 13 | 27.4 | 0.027 | 178 | 180 | PEHD | 1.08 | 1.5 | 538.00 | 589.75 | 51.75 | 5.18 |
| N30-N31 | 0.28587 | 14.4 | 14.4 | 0.01 | 129.14 | 160 | PEHD | 0.72 | 1.21 | 538.06 | 588.54 | 50.48 | 5.05 |

Interprétations

D'après les calculs exposés dans les tableaux VI.4 on remarque que les pressions aux bornes sont très satisfaisantes, et sont généralement supérieures à deux bars ce qui est satisfaisant pour l'implantation des systèmes d'irrigation et pour les pressions très importantes (> 7bars) on installe des brises charge.

VI.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons dimensionné le réseau de distribution et détaillé les structures et facteurs régissant la réalisation et la gestion d'un réseau ainsi que les calculs relatifs aux bornes d'irrigation.

Dans le cadre de la réalisation du projet, le périmètre est découpé en **31 îlots** d'irrigation, variant entre 5.2 ha et 14.9 ha, avec une superficie totale de **365 ha** et une taille moyenne de **12 ha**.

En deuxième phase, nous avons entamé le calcul hydraulique des canalisations du réseau de distribution du périmètre d'étude .

CHAPITRE VII

Dimensionnement à la parcelle

VII.1. INTRODUCTION

Le choix du mode d'irrigation dépend de certains facteurs techniques et socioéconomiques. Les facteurs techniques englobent le type de culture, le type de sol, la structure parcellaire, la topographie et la qualité d'eau.

Les facteurs socio-économiques incluent la structure des exploitations, les coûts d'investissement, les frais de fonctionnement et d'entretien et les besoins en main d'œuvre. La disponibilité en matériel sur le marché national constitue un facteur important en ce qui concerne le choix de la méthode d'irrigation.

VII.2. LES PROCEDES D'IRRIGATION

Pour ce projet, nous avons choisi l'Olivier comme culture pour dimensionner le réseau goutte à goutte et la Pomme de terre pour le dimensionnement de l'aspersion.

VII.3. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU GOUTTE A GOUTTE

Le réseau d'irrigation goutte à goutte est installé sur la parcelle **I8.1** ; dont la surface est de **2 ha** ; alimentée par la **borne 8** et dont les pressions calculées sont de l'ordre de **5.93 bars**, ce qui est largement suffisant pour alimenter la parcelle.

Données générales

- **Culture** : Olivier
- **Besoin de pointe** : 177 mm (Juillet)

Organisation du réseau : Avec un écartement de 4*4m, et un espacement des goutteurs 1 m,

- **Surface** : 1 ha ;
- **Longueur** : 160 m ;
- **Largeur** : 70 m.

Caractéristique du goutteur :

- **Débit nominal** : 4l/h et pression nominale : 10 m.c.e ;
- **Espacement des goutteurs** : 1 m ;
- **Le nombre de goutteurs par arbre** : 2.
- **Espacement entre rang d'arbre** : $S_r=4m$.
- **Espacement entre arbre** : $S_a = 4m$.
- **Taux de couverture** : $C_s=60\%$
- $H_{cc}=27\%$; $H_{pf}=13\%$; $Y= 2/3$; $Z= 1,5 m$; $Da = 1,40$.
- Nombre d'heure de travail 20h/jour

VII.3.1. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée

VII.3.1.1. Influence du taux de couverture du sol

En micro-irrigation, les apports d'eau étant localisés sur une portion très faible de la surface du sol. On applique alors à l'ETM un coefficient de réduction « Kr » dépend du taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) pour les plantes adultes.

Kr peut être calculé par la formule proposée suivantes :

$$ETM_{\text{corrigé}} = ETM * K_r$$

- La formule de Freeman et Garzoli : $k_r = c_s + 0,5(1 - c_s) = 0,8$

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

On prendra un coefficient $K_r = 0.80$

$$ETM = \frac{\text{Besoin mensuelle}}{30 \text{ jours}} = \frac{177}{30} = 5.9 \text{ mm}$$

$$B_{jl} = ETM_{\text{corrigé}} = 5.9 \times 0.8 = 4.72 \text{ mm/j}$$

VII.3.1.2. Dose nette pratique

$$D_p = RFU \times P$$

Et : $RFU = (H_{cc} - H_{pf}) \times D_a \times Z \times \frac{Y}{100}$

$$RFU = (27 - 13) \times 1.46 \times 1300 \times \frac{2/3}{100} = 204.4 \text{ mm}$$

Sachant que : $P = \frac{n * S_d * S_h}{S_a * S_r} = \frac{2 * 2 * 1}{4 * 4} = 0,13$

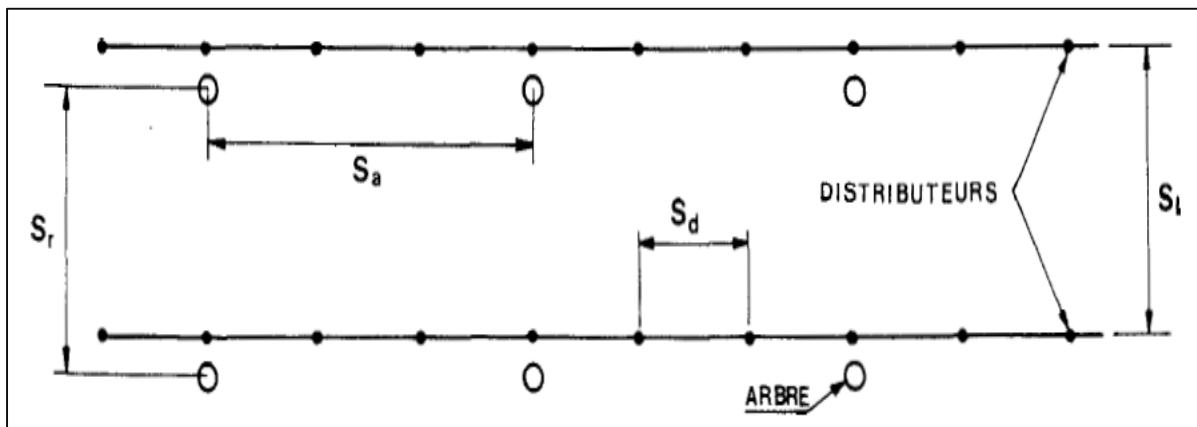


Figure VII.1 : dispositifs d'installation des goutteurs sur la rampe.

Avec :

- P : Volume du sol humidifié ;
- N : Nombre de point (de goutteurs) de distribution par arbre =2 ;
- Spd : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre =(1m) ;
- Sh : Largeur de la bande humidifiée (tirée de la table) = 1m (arbres) ;
- Sr : Ecartement entre rangs d'arbre (4m) ;
- Sa : espacement des arbres sur les rangs (2m).

$$D_p = RFU_{\text{corrigé}} = 204.4 \times 0.13 = 26.57 \text{ mm}$$

VII.3.1.3. Fréquence et intervalle des arrosages (Fr)

L'intervalle entre deux d'arrosage (tour d'eau) est donné par la formule suivante :

$$F_r = \frac{\text{Dose pratique}}{B_{jl}} = \frac{26.57}{4.72} = 5.63 \text{ jours}$$

Donc on prend un tour d'eau de 6 jours, on irrigue 5 fois/Mois

VII.3.1.4. Calcul de la dose (brute)

On recalcule la nouvelle dose pratique :

$$D_{p'} = F_r \times B_{jl} = 5 \times 4.72 = 23.6 \text{ mm}$$

$$D_r = D_{\text{brute}} = \frac{23.6}{E_{ff} \times C_u} = 29.14 \text{ mm}$$

Avec :

- Eff : efficacité du réseau d'irrigation Eff=90% ;
- Cu : coefficient d'uniformité Cu=90%.

VII.3.1.5. Durée de fonctionnement par d'arrosage (h)

$$\theta = T_f = \frac{D_r \times S_d \times S_r}{n \times Q_g}$$

$$\theta = \frac{29.14 \times 2 \times 4}{2 \times 4} = 29 \text{ heures/mois}$$

Avec :

- Sr et Sd espacement entre rang et distributeur,
- n et Qg nombre et débit du goutteur.

VII.3.1.6. Surface du poste

$$S_p = \frac{\text{surface totale}}{\text{nombre de poste}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ ha}$$

VII.4. LE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

VII.4.1. La conduite principale

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte rampes. Elle est en PVC rigide ou en acier galvanisé comme en irrigation par aspersion.

Pour les petites installations, du polyéthylène haute densité peut également utiliser.

VII.4.2 Porte rampe

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

VII.4.3 Les rampes

Qui sont toujours en PEBD (polythène base densité), à l'exception de quelque installation où l'on a utilisé du PVC rigide de petit diamètre.

- Règle Christiansen, sachant que **10mce=1bar**

On admet que la variation maximale de débits entre goutteurs $\frac{\Delta q}{q} = 10\%$

Variation maximale de la pression $q = K \times H^{0.5}$

$$\Rightarrow \frac{\Delta q}{q_g} = \frac{\Delta H}{H_n}$$

Avec :

- q_g : débit d'un goutteur ;
- H_n : pression nominal

$$0.1 = 0.5 \times \frac{\Delta H_{max}}{10} = 2 \text{ m. c. e}$$

Donc : $\Delta H_{max} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ m. c. e}$

- ΔH singulières = 0.2 m
- Le reste 1.8 ΔH linéaire = 1.8 m ;
- Donc pour les rampes = $2/3 \times 1.8 = 1.2$ m ;
- Pour la porte rampe = $1/3 \times 1.8 = 0.6$ m.

VII.4.3.1. Pour les rampes

1) Le nombre d'arbres par rampe

La longueur de la rampe = $\frac{\text{largeur}}{2} = \frac{70}{2} = 35 \text{ m}$

Nombre d'arbre = $\frac{70}{4} = 17 \text{ arbre}$

2) Nombre des goutteurs par rampe

$$N_g = N_{arbre} \times n = 17 \times 2$$

$$N_g = 34$$

3) Débit de la rampe

$$Q_r = N_g \times Q_g = 34 \times 4$$

$$Q_r = 136 \text{ l/h}$$

4) Diamètre de la rampe

$$D_r = \left(\frac{p.d.c_r \times 2.75}{0.478 \times Q_r^{1.75} \times L_r} \right)^{\frac{-1}{4.75}}$$

$$D_r = \left(\frac{1.2 \times 2.75}{0.478 \times 136^{1.75} \times 70} \right)^{\frac{-1}{4.75}} = 9.95 \text{ mm}$$

$D_{rampe} = 9.95 \text{ mm}$, on prend DN = **16 mm**.

5) Vérification des pertes de charges

Pour la détermination des pertes de charges des différents tronçons de la canalisation après choix du diamètre, On recalcule les pertes de charges pour un D = 16 mm. Perte de charge selon Hazen-williams :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_w} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

Avec :

- $C_w = 140$ (PE),
- L : la longueur de la rampe : 70m ;
- Q : débit (m³/s), $Q = 136 \text{ l/h} = 3.78 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- D : diamètre intérieur de la canalisation (m), $D = 0.016 \text{ m}$,

$$\Delta H_{rampe} = 0.28 \text{ m} < 1.2 \text{ m (vérifiée)}.$$

VII.4.3.2. Pour le porte rampe : $L_{pr} = 160 \text{ m}$

1) Le nombre des rampes

$$N_r = \frac{L_{pr}}{Er} = \frac{160}{4} = 40 \text{ rampes}$$

2) Débit du porte rampe

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r$$

$$Q_{pr} = 136 \times 40$$

$$Q_{pr} = 5440 \text{ l/h}$$

3) Diamètre de la porte rampe

$$D_{pr} = \left(\frac{p. d. c_{pr} \times 2.75}{0.478 \times Q_{pr}^{1.75} \times L_{pr}} \right)^{\frac{-1}{4.75}}$$

$$D_{pr} = \left(\frac{0.6 \times 2.75}{0.478 \times 5440^{1.75} \times 160} \right)^{\frac{-1}{4.75}}$$

$$\mathbf{D_{pr}=48.31}$$

Donc on prend $D_{pr}=63 \text{ mm}$.

4) Vérification des pertes de charges

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_w} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

- $C_w = 140$ PEBD
- $L = 160 \text{ m}$,
- $D = 0.063 \text{ m}$,
- $Q = 5440 \text{ l/h} = 0.0015 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\Delta H_{\text{porte rampe}} = 0.48 \text{ m} < 0.6 \text{ m (vérifiée)}$$

Donc les pertes de charges sur rampes et porte-lampe sont :

$$\Delta H_{\text{rampe}} + \Delta H_{\text{porte rampe}} = 0.76 \text{ m} < 1.8 \text{ m (Règle de Christiansen Vérifiée)}$$

VII.4.3.3. Calcul des vitesses

La rampe :

- $D_r = 16 \text{ mm}$
- $Q_r = 136 \text{ l/}$

$$V = \sqrt{\frac{4Q_r}{\pi D_r^2}} = 0.43 \text{ m/s}$$

Porte rampe :

- $D_{pr} = 63 \text{ mm}$
- $Q_{pr} = 5440 \text{ l/h}$

$$V = \sqrt{\frac{4Qpr}{\pi Dpr^2}} = 0.7 \text{ m/s}$$

VII.4.3.4. Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution

Tableau VII.1 : récapitulatif des calculs hydrauliques.

| Conduites | La rampe | Porte rampe | Conduite secondaire |
|---------------------|----------|-------------|---------------------|
| Longueur (m) | 70 | 160 | 70 |
| Diamètre (mm) | 16 | 63 | 63 |
| Débit (l/h) | 136 | 5440 | 5440 |
| Perte de charge (m) | 0.28 | 0.48 | 0.33 |

A partir du tableau on peut déterminer la perte de charge totale entre la borne d'irrigation jusqu'à le goutteur le plus défavorable :

$$P(m) = 10 + 1.09 = 11.09 \text{ m} = 1.1 \text{ bar}$$

Donc la pression requise est nettement inférieure à celle de la borne (4.79 bars).

VII.5. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'IRRIGATION PAR ASPERSION

Le réseau d'irrigation par aspersion est installé sur la parcelle **P16.1** ; dont la surface est de **2 ha**; alimentée par la borne **B16** et dont les pressions calculées sont de l'ordre de **5.83 bars**, ce qui est largement suffisant pour alimenter la parcelle.

Données générales :

- Choix de la culture : pomme de terre (as)
- Choix du mode de couverture : couverture totale.
- Temps de travail : 20 heures par jour, et 31 jours par mois
- Besoins en de pointes : **156 mm/mois** pour le mois de Juillet.
- Perméabilité du sol : le sol est de type **Limoneux-argileux** estimée de : $K = 10 \text{ mm/h}$

VII.5.1. Dose pratique : RFU

Elle est calculée comme suit :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) \times D_a \times Z \times \frac{Y}{100}$$

$$RFU = 40.88 \text{ mm}$$

VII.5.2. Le diamètre de l'ajutage

La perméabilité du sol $K = 10 \text{ mm/h}$

On pose $p \leq k$ tel que p : pluviométrie de la buse.

Le diamètre de la buse se calcul, par la relation : $P = \frac{1.5 \times d}{1.04}$, p en mm

$$d = \frac{1.04 \times p}{1.5} = \frac{1.04 * 10}{1.5} = 6.9 \text{ m}$$

D'après la fiche technique d'un arroseur de type Perrot (Annexe), le diamètre de la buse normalisé le plus proche est de 7mm.

VII.5.3. Calcul de la portée du jet (L)

La portée du jet se calcule par l'équation suivante :

$$L = 3 \times d^{0.5} \times h^{0.25}$$

Où :

- d : diamètre de la buse (mm) ; h : pression à la buse (m), dans notre cas P=2.5 bars, h=25m.

$$L = 3 \times 7^{0.5} \times 25^{0.25} = 17.74 \text{ m}$$

D'après le catalogue (voir annexe), pour le diamètre de la buse de 7 mm à une pression minimale de 3 bars la portée sera de 17.5m.

VII.5.4. Ecartements entre les rampes et arroseurs

En fonction de la vitesse du vent, les normes américaines recommandent l'écartement maximum suivant :

- El entre les lignes d'arrosage : 1,25 (vent faible) à 1,02 L (vent fort).
- Ea entre les asperseurs sur la rampe : 0,8 (vent faible) à 0,5 L (vent fort).

Notre zone d'étude présente des vitesses pour des vents faibles de l'ordre de 2.5 m/s, donc on prend les valeurs suivantes :

- **El** = $1.25 \times 17.75 = 22.19 \text{ m}$;
- **Ea** = $0.8 \times 17.75 = 14.2 \text{ m}$;

On prend les valeurs normalisées des écartements multiple de 6 :

$$\mathbf{El=18 \text{ m}, Ea=12 \text{ m.}}$$

VII.5.4. Vérification de la pluviométrie (P<K)

VII.5.4.1. Débit de l'asperseur

Le débit d'un asperseur se calcule, par la relation suivante :

$$Q = 0.95 \times \frac{\pi \times d^2}{4} \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$Q = 0.95 \times \frac{\pi \times (7 \times 10^{-3})^2}{4} \sqrt{2 \times g \times 25} = 0.00081 \text{ m}^3/\text{s}$$

Avec q débit de l'asperseur (m³/s). **q=0.00081 m³/s =2.91m³/h**

a. Vérification de la pluviométrie de la buse

Si on admet que l'écartement est proportionnel à L, la pluviométrie horaire p en (mm/h) peut être appréciée via la relation :

$$p = \frac{q}{E_l \times E_a} = \frac{2.91}{18 \times 24} = 6.73 \text{ mm/h}$$

Donc le diamètre d de la buse assurera une pluviométrie $P \leq K = 10 \text{ mm/h}$

b. Calcul du tour d'eau

$$T_{eau} = \frac{D_{RFU} \times N_j}{B_{mp}}$$

$$T_{eau} = \frac{40.88 \times 31}{156} = 8.12$$

Dose RFU = 40.88 mm, $N_j = 31$, $B_{mp} = 156 \text{ mm}$

On prend un $T_{eau} = 8$ jours. Donc on irrigue $\frac{31}{8} = 4$ fois

c. Calcul de la dose réelle

$$D_r = T_{eau} \times D_j$$

$$D_r = 8 \times \frac{156}{31}$$

$$D_r = 40.25 \text{ mm}$$

D_r : dose réelle ; D_j : dose journalier.

d. Calcul de la dose brute

$$D_b = \frac{D_r}{0.75} = \frac{40.25}{0.75} = 53.67 \text{ mm}$$

VII.5.4.2. Temps d'arrosage

Temps d'arrosage par position sans dépasser la capacité d'infiltration se calcul comme suit :

$$T = \frac{D_b}{k} = \frac{53.67}{10} = 5 \text{ heures}$$

Donc on pourra adopter deux positions par jour pour un asperseur, sans dépasser 22 heures.

a. Calcul de l'unité d'arrosage

$$S_u = \frac{S}{T_{eau} \times N} = \frac{2}{8 \times 2} = 0.17 \text{ ha}$$

b. Nombre d'asperseurs requis

$$N_{asp} = \frac{S_u}{E_l \times E_a} = \frac{0.125 \times 10000}{18 \times 12} = 5 \text{ asperseurs}$$

VII.5.4.3. Calcul du volume fourni par un asperseur par mois

$$V = N_p \times N_i \times D_{RFU} \times E_l \times E_a$$

$$V = 2 \times 5 \times 40.88 \times 18 \times 12$$

$$V = 88.30 \text{ m}^3$$

VII.6. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DES RAMPES

Cette étape de dimensionnement diffère d'une parcelle à une autre car elle basée sur les dimensions de la parcelle ainsi que la façon dont on projette le réseau d'aspersion, dans notre cas nous avons : la longueur du terrain est de **180m**, la largeur du terrain est de **134 m**.

a. LA longueur de la rampe

$$L_r = \frac{\text{largeur de terrain}}{2} - \frac{E_a}{2}$$

$$L_r = \frac{134}{2} - \frac{12}{2} = 61$$

b. Nombre d'asperseur/rampe

$$N_{asp} = \frac{L_r}{E_a} = \frac{61}{12} = 5 \text{ asperseurs}$$

c. Nombre de rampes

On travaille avec une rampe et 5 asperseurs.

VII.6.1. Dimensionnement de la rampe

a. Débit de la rampe

$$Q_r = Q_{asp} \times N_{asp/rampe}$$

$$Q_r = 1.5 \times 5 = 7.5 \text{ m}^3/h$$

$$Q_r = 0.0021 \text{ m}^3/s$$

b. Débit de la porte rampe

$$Q_{pr} = Q_{rampe} \times N_{rampe}$$

$$Q_{pr} = 7.5 \times 1$$

$$Q_{pr} = 7.5 \text{ m}^3/h$$

VII.6.2. Calcul du Diamètre de la rampe

$$\text{Diamètre de la rampe : } D_r = \sqrt{\frac{4 \times Q_r}{\pi \times V}}$$

V : vitesse de l'écoulement à travers la rampe ou $V \leq V_{adm}$, $V_{adm} \in [0.5, 2.5] \text{ m/s}$.

On suppose que : $V = 1.5 \text{ m/s}$ et on calcul D_r

$$D_r = D_{pr} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0021}{\pi \times 1.5}} = 42.22 \text{ mm}$$

Les conduites en PEHD donc : $D_r \text{ normalisé} = 50 \text{ mm}$

a. Calcul de la nouvelle vitesse

$$V = \frac{4 \times 0.0021}{\pi \times 0.05^2} = 1.07 \text{ m/s} < V_{adm}$$

b. Calcul des pertes de charge :

Les pertes de charges seront calculées selon la formule de Hazen-Williams :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_H} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

Avec :

- J = Perte de charges linéaire en m ;
- C_H : Coefficient de Hazen-Williams (130-140 pour la fonte et le PEHD) ;
- D : Diamètre en m ;
- L : longueur de la conduite en m.

- Pour la rampe on a : $L=61 \text{ m}$, $D=0.063 \text{ m}$, $Q=0.0021 \text{ m}^3/\text{s}$ $\Rightarrow \Delta H = 0.6$
- Pour le porte rampe on a : $L=180 \text{ m}$, $D=0.075 \text{ m}$, $Q=0.0021 \text{ m}^3/\text{s}$ $\Rightarrow \Delta H = 0.77$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.2: Résultat de calcul pratique d'aspersion.

| Conduites | Rampe | Porte rampe | Conduite secondaire |
|---------------------------|--------|-------------|---------------------|
| Longueur (m) | 61 | 180 | 30 |
| Diamètre (mm) | 63 | 75 | 75 |
| Débit (m ³ /s) | 0.0021 | 0.0021 | 0.0021 |
| Perte de charge (m) | 0.6 | 0.77 | 0.13 |

VII.6.3. Calcul de la pression en tête du réseau

C'est la pression nécessaire pour le bon fonctionnement du dernier asperseur.

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

Avec :

- **H** : pression à la tête de la parcelle.
- **H1** : pression nécessaire pour le bon fonctionnement d'un asperseur (2.5bar).
- **H2** : perte de charge totale. (0.61+0.77+0.11=1.49 m)
- **H3** : la dénivelée. (0 m. terrain relativement plat)

$$H=25+1.49+0=26.49m.$$

Donc la pression **2.7** bars ce qui est largement suffisant vu la pression aux bornes qui est de **4.35 bars**.

VII.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons étudié le dimensionnement d'un réseau goutte à goutte pour la culture d'olivier, et un réseau d'aspersion pour la culture de la pomme de terre. Ayant dimensionné tous les organes du réseau localisé projeté sur la parcelle choisie, nous avons effectué une vérification de la pression à la sortie de la borne, afin d'assurer la pression nominale de 10 mce dans le goutteur le plus éloigné et cela pour assurer le bon fonctionnement du système projeté.

Ces deux systèmes d'irrigation sont modernes, pratiques et nettement plus économiques avec des meilleurs rendements et permettront le développement de l'agriculture.

Chapitre VIII

Evaluation du coût du projet

VIII.1. INTRODUCTION


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

Dans le cadre de notre travail, l'étude qui va suivre n'a pour but que de donner une estimation générale sur le coût que peut occasionner un projet de ce genre.

VIII.2.1 FACTURE DES DIFFERENTS TYPES DE CONDUITES DU RESEAU DE DISTRIBUTION

Les prix des conduites sont présentés comme suite :

Tableau VIII.1 : Facture des différents types de conduites du réseau de distribution.

|  (mm) | Type | Unité de mesure | Quantité (m) | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|--|-------|-----------------|--------------|--------------------|--------------------|
| 700 | fonte | ml | 2.97 | 18500 | 54945000 |
| 560 | PEHD | ml | 1.6105 | 2731.5 | 4399080.75 |
| 500 | PEHD | ml | 1.4699 | 526 | 773167.4 |
| 450 | PEHD | ml | 0.6474 | 253 | 163792.2 |
| 400 | PEHD | ml | 0.7156 | 524.4 | 375260.64 |
| 355 | PEHD | ml | 2.0159 | 363 | 731771.7 |
| 315 | PEHD | ml | 0.526 | 567.6 | 298557.6 |
| 280 | PEHD | ml | 0.253 | 450.7 | 114027.1 |
| 250 | PEHD | ml | 0.2767 | 2109 | 583560.3 |
| 225 | PEHD | ml | 0.451 | 1358.5 | 612683.5 |
| 200 | PEHD | ml | 0.105 | 683 | 71715 |
| 140 | PEHD | ml | 0.96887 | 195.6 | 189510.972 |
| TOTAL | | | | | 63258127.16 |
| TVA 19% | | | | | 12019044.16 |
| TCC | | | | | 75277171.32 |

VIII.2.1. CALCUL DU VOLUME DE DEBLAI ET REMBLAI

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

$$B = D + 2 \times 0.3$$

- D : diamètre de la conduite (m)

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

$$H \geq D + 0.8$$

$$Déblai = L \times H \times B$$

$$Remblai = Déblai - \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) \times L$$

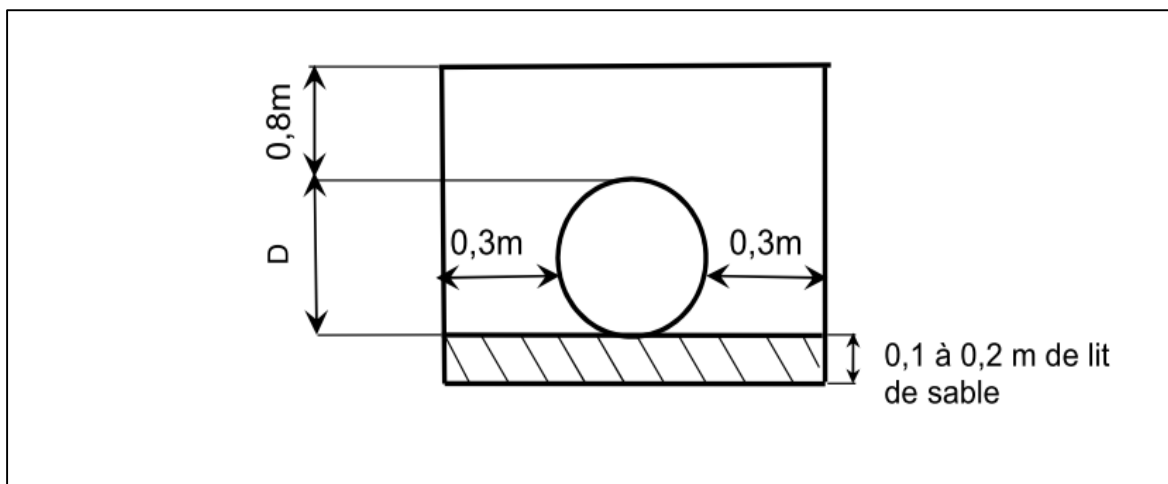


Figure VIII.1: Schéma simplifié pour place la conduite principale.

Tableau VIII.3 : calcul de terrassement

| Ø (mm) | B (m) | H (m) | L (m) | Déblai m ³ | Remblai m ³ | Sable m ³ |
|--------|-------|-------|--------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 800 | 1.4 | 1.6 | 2970 | 6653 | 5161 | 415.8 |
| 710 | 1.31 | 1.51 | 680.6 | 1346 | 1077 | 89.2 |
| 630 | 1.23 | 1.43 | 1241.1 | 2183 | 1796 | 152.6 |
| 560 | 1.16 | 1.36 | 2731.5 | 4309 | 3637 | 316.8 |
| 500 | 1.1 | 1.3 | 526 | 752 | 649 | 57.9 |
| 450 | 1.05 | 1.25 | 253 | 332 | 292 | 26.6 |
| 400 | 1 | 1.2 | 524.4 | 629 | 563 | 52.4 |
| 355 | 0.955 | 1.15 | 363 | 400 | 364 | 34.7 |
| 315 | 0.915 | 1.12 | 567.6 | 579 | 535 | 52 |
| 280 | 0.88 | 1.08 | 450.7 | 428 | 401 | 39.7 |

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|--------|--------------|--------------|-------------|
| 250 | 0.85 | 1.05 | 325.5 | 291 | 275 | 27.7 |
| 225 | 0.825 | 1.025 | 497.87 | 421 | 401 | 41.1 |
| 160 | 0.76 | 0.96 | 683 | 498 | 485 | 51.9 |
| 140 | 0.74 | 0.94 | 195.6 | 136 | 133 | 14.5 |
| La somme | | | | 18959 | 15768 | 1373 |

Tableau VIII.4 : Coût des travaux de terrassement.

| Volumes | Unité de mesure | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|------------------------|-----------------|----------|--------------------|--------------------|
| Déblai | m^3 | 18959 | 1000 | 18958521.84 |
| Pose du lit de sable | m^3 | 1373 | 1100 | 1509992.63 |
| Remblai de la tranchée | m^3 | 15768 | 600 | 9460975.23 |
| Evacuation de terres | m^3 | 3190 | 500 | 1595114.90 |
| | | | Total | 31524604.60 |
| | | | TTC | 37514279.48 |

Donc le cout total du projet en prenant en compte toutes les opérations financières est de l'ordre de : **CT = 112.791.451 DA**

VIII.3 CONCLUSION

On constate que le coût de la projection du réseau d'irrigation localisé et le réseau de distribution est de l'ordre de : **cent-douze million sept cent quatre-vingt-onze mille quatre cent cinquante et un dinars Algérien**. Le coût de la projection du réseau d'irrigation localisée est élevé, comme c'était déjà cité cette élévation de coût est due aux équipements très chers (les conduites assez important et filtration).

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire nous avons abordé l'aménagement hydro agricole du périmètre de GHRISS secteur 2, de superficie 365Ha, wilaya de Mascara, qui a effectué après une étude détaillée des caractéristiques climatiques, pédologiques et les ressources en eau disponible.

L'étude du climat (précipitation-température), montre que notre région a un climat semi-aride ; et l'analyse du sol nous donne un sol moyen, de salinité moyenne avec une quantité de matière organique moyenne ; et assez perméable.

Après le choix des cultures nous avons déterminé les besoins en eau totaux du périmètre ainsi de chaque ilot pour permettre de dimensionner le réseau de distribution.

À la fin de ce travail on est arrivé à :

- Projeter une conduite gravitaire à partir du réservoir R1 ($2 \times 20000 \text{ m}^3$) alimenté par barrage Ouizert, de diamètre DN 700 sur une longueur de 2970 m transportant un débit de 475 l/s
- Projeter et dimensionner un réseau de distribution sous pression avec des diamètres allant de 140 mm à 700 mm.
- Installant des techniques d'arrosage modernes tel que le goutte à goutte et l'aspersion.

Ce projet peut donc contribuer à améliorer l'ensemble des facteurs socio-économique de la région, le but est d'assurer un bon recouvrement du périmètre d'irrigation à fin d'alimenter convenablement toute la superficie à irriguer, ce qui va améliorer le rendement et d'avoir une stabilité moyenne de long terme.

Références

1. **DRE, ONM, ANRH Mascara** : Les données pluviométriques et les données climatiques.
 2. Bekkoussa B, Meddi M, Jourde H. Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss (Nord-Ouest algérien). Sécheresse 2008 ; 19 (3) : 173-84.
https://www.researchgate.net/publication/312991075_Climatic_and_anthropic_forcing_on_groundwater_resources_in_a_semiarid_area_the_case_of_the_Ghriss_plain_north_western_Algeria
 3. ACHITE M, REZAK S. BENBOUALI A. Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation en zone semi-aride. Cas des eaux souterraine de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss (wilaya de mascara).
 4. Bekkoussa B, Jourde H, Batiot-Guilhe CH, Meddi M, Khaldi A Azzaz H. Origine de la salinité et des principaux éléments majeurs des eaux de la nappe phréatique de la plaine de Ghriss, Nord-Ouest algérien. Hydrological Sciences Journal 2013.
https://www.researchgate.net/publication/263412474_Origine_de_la_salinite_et_des_principaux_elements_majeurs_des_eaux_de_la_nappe_phreatique_de_la_plaine_de_Ghriss_Nord-Ouest_algerien?enrichId=rgreq-e39b9890e00fc9dcd13a3a48369fbeb-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MzQxMjQ3NDtBUzozMzQxMTE1MjU4ODM5MDRAMTQ1NjY2OTgwMzc3OQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf
 5. TOUAIBIA B. **2004**. Manuelle pratique d'hydrologie. ENSH Blida.
 6. Cours de module irrigation de Mr Benkaci de 2^{ème} année second cycle
 7. Les TDs de module d'irrigation de 2^{ème} année second cycle.
 8. BOUDJOUAD M. 2011. ETUDE DE L'AMENAGEMENT HYRO-AGRICOLE DE LA PLAINE DE GHRISS (W. MASCARA). (Mémoire de fin d'étude). Ecole nationale supérieur d'hydraulique. Blida, Algérie
 9. DOUHA M. 2018. ETUDE DU PERIMETRE D'OULED FADHEL ,400 ha, WILAYA DE BATNA. (Mémoire de fin d'étude). Ecole nationale supérieur d'hydraulique. Blida, Algérie
 10. Générateur de prix. Espaces urbains. Algérie. <http://generateur-de-prix.cype.fr>
-

Annexe

ANNEXE I


TABLEAU : PRÉCIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES (1985-2015).(ANRH ORAN).

| Année | sept | oct | nov | déc | janv | fev | mars | avr | mai | juin | juill | aout | annuel |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|---------------|
| 1985 | 0 | 3.3 | 48.9 | 25.6 | 41.5 | 8.7 | 71.6 | 20.2 | 45.8 | 0 | 0 | 0 | 265.6 |
| 1986 | 60.8 | 36.5 | 17.8 | 50.7 | 73.3 | 65.2 | 53.7 | 23.2 | 1.7 | 4.6 | 0 | 0 | 387.5 |
| 1987 | 88 | 11.1 | 36.1 | 28.7 | 38.5 | 67.2 | 12.3 | 2 | 13.9 | 0 | 35.6 | 0 | 333.4 |
| 1988 | 2.5 | 8 | 35.2 | 12.3 | 83.8 | 12.1 | 15.3 | 26.4 | 37 | 0 | 0 | 0 | 232.6 |
| 1989 | 7 | 0.5 | 20.4 | 26.2 | 8.9 | 20.2 | 59.5 | 27.1 | 2.8 | 10.3 | 0 | 16.2 | 199.1 |
| 1990 | 8.3 | 20.1 | 42.7 | 31.1 | 64.8 | 0 | 13.1 | 40.7 | 26.9 | 1.6 | 15.1 | 1.4 | 265.8 |
| 1991 | 11 | 17.4 | 43.9 | 6.5 | 36.2 | 74.1 | 190.3 | 4.5 | 15.3 | 4 | 7 | 6.6 | 416.8 |
| 1992 | 13 | 15.6 | 41 | 19.3 | 30.6 | 22.4 | 78.9 | 36.9 | 49.8 | 17.4 | 0 | 0 | 324.9 |
| 1993 | 22.7 | 40.5 | 37.4 | 20 | 1.5 | 40.6 | 18.9 | 51 | 44.5 | 0 | 0 | 0.4 | 277.5 |
| 1994 | 17.7 | 87.4 | 45.7 | 18 | 51.4 | 76.9 | 1 | 23 | 4.8 | 0 | 0 | 0 | 325.9 |
| 1995 | 28 | 13 | 37.8 | 80.4 | 41 | 21.7 | 107.6 | 15.6 | 0 | 6.8 | 0 | 2.5 | 354.4 |
| 1996 | 19.5 | 9 | 9.8 | 28.5 | 76.2 | 119.7 | 31.2 | 46.1 | 22.3 | 0 | 5.5 | 1.5 | 369.3 |
| 1997 | 22.8 | 26.3 | 66.2 | 49.9 | 61.2 | 1.3 | 0 | 72.2 | 8.7 | 0.5 | 2 | 21.8 | 332.9 |
| 1998 | 0.2 | 11.8 | 11.9 | 40.4 | 11.4 | 35.5 | 6.7 | 31.7 | 38.7 | 0 | 0 | 4 | 192.3 |
| 1999 | 28.6 | 19.2 | 40.8 | 99.9 | 36.8 | 42.2 | 62.8 | 0 | 4 | 2.3 | 0 | 2 | 338.6 |
| 2000 | 17.2 | 30.9 | 68.8 | 14.6 | 0 | 0 | 5 | 7.8 | 18 | 0 | 0 | 3.1 | 165.4 |
| 2001 | 11.7 | 27.5 | 136.8 | 25.8 | 49.1 | 28.8 | 3 | 14.5 | 24 | 0 | 0 | 0 | 321.2 |
| 2002 | 0 | 15.2 | 95.7 | 18.3 | 3.2 | 0.6 | 29.6 | 45.1 | 58.5 | 0 | 0 | 14 | 280.2 |
| 2003 | 22.8 | 45.1 | 34.3 | 53.4 | 87.6 | 64.6 | 13.6 | 62 | 14.5 | 2.7 | 0 | 14.9 | 415.5 |
| 2004 | 9.1 | 49.5 | 40.4 | 96.1 | 24.8 | 41.4 | 16.6 | 21.8 | 53.9 | 7.9 | 1.8 | 2 | 365.3 |
| 2005 | 14.8 | 30.1 | 87.6 | 19.7 | 29.1 | 36.3 | 21.3 | 4.7 | 1.7 | 11.2 | 0 | 0 | 256.5 |
| 2006 | 8.5 | 1 | 3.9 | 137.8 | 126.3 | 70.1 | 16.1 | 22 | 70 | 10 | 0 | 0 | 465.7 |
| 2007 | 30.8 | 136.6 | 55 | 16.7 | 33.5 | 50.9 | 82.6 | 52.5 | 7.6 | 0 | 0 | 1.9 | 468.1 |
| 2008 | 42.2 | 46.3 | 79.8 | 122.6 | 19.3 | 23.3 | 33.9 | 12.5 | 45.6 | 9 | 10.2 | 0.8 | 445.5 |
| 2009 | 20.5 | 0.9 | 36.5 | 54.1 | 104.7 | 39.7 | 47.3 | 102.5 | 9.5 | 1 | 0 | 0.4 | 417.1 |
| 2010 | 14.8 | 51.6 | 40 | 64 | 60.4 | 61 | 75.5 | 21.6 | 35.8 | 0 | 0 | 36.2 | 460.9 |
| 2011 | 6.2 | 43.4 | 89 | 19.2 | 29.8 | 48.5 | 28.3 | 119.4 | 84.3 | 34.8 | 1.8 | 21.8 | 526.5 |
| 2012 | 28.8 | 34.6 | 33.9 | 0 | 64.8 | 42.3 | 20.8 | 0 | 7.4 | 8.6 | 0 | 2.1 | 243.3 |
| 2013 | 20.5 | 37.1 | 64.9 | 79.4 | 50.2 | 66.2 | 55.3 | 4.9 | 6.8 | 79.6 | 0 | 0 | 464.9 |
| 2014 | 5.2 | 59.9 | 52 | 0 | 92.1 | 78 | 46.9 | 0 | 7.4 | 0.5 | 0 | 8.5 | 350.5 |
| 2015 | 2.7 | 4.9 | 85 | 117.6 | 36.7 | 60.5 | 113.6 | 89.7 | 15.4 | 1.3 | 0.9 | 0 | 528.3 |
| Pmoy mensuelle | 18.9 | 30.14 | 49.65 | 44.41 | 47.38 | 42.58 | 42.98 | 32.1 | 25.05 | 6.91 | 2.58 | 5.23 | 348.11 |

DIAMETRES DES CONDUITES PEHD (GROUPE CHI ALI)

| Diamètre extérieur nominal d_n (mm) | Diamètre extérieur moyen | |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------|
| | d_{moy} (mm) | d_{moy} (mm) |
| 16 | 16,0 | 16,3 |
| 20 | 20,0 | 20,3 |
| 25 | 25,0 | 25,3 |
| 32 | 32,0 | 32,3 |
| 40 | 40,0 | 40,4 |
| 50 | 50,0 | 50,4 |
| 63 | 63,0 | 63,4 |
| 75 | 75,0 | 75,5 |
| 90 | 90,0 | 90,6 |
| 110 | 110,0 | 110,7 |
| 125 | 125,0 | 125,8 |
| 140 | 140,0 | 140,9 |
| 160 | 160,0 | 161,0 |
| 180 | 180,0 | 181,1 |
| 200 | 200,0 | 201,2 |
| 225 | 225,0 | 226,4 |
| 250 | 250,0 | 251,5 |
| 280 | 280,0 | 281,7 |
| 315 | 315,0 | 316,9 |
| 355 | 355,0 | 357,2 |
| 400 | 400,0 | 402,4 |
| 450 | 450,0 | 452,7 |
| 500 | 500,0 | 503,0 |
| 560 | 560,0 | 563,4 |
| 630 | 630,0 | 633,8 |
| 710 | 710,0 | 716,4 |
| 800 | 800,0 | 807,2 |
| 900 | 900,0 | 908,1 |
| 1000 | 1000,0 | 1009,0 |
| 1200 | 1200,0 | 1210,8 |
| 1400 | 1400,0 | 1412,6 |
| 1600 | 1600,0 | 1614,4 |

CARACTERISTIQUES DE L'ASPERSEUR CIRCULAIRE PERROT ZF 30



**Caractéristiques de
l'asperseur circulaire
PERROT ZF 30**

1 buse
angle de jet 30°
Raccord fileté 1"

| Ø de la buse Ø mm | pression à la buse bar | portée m | débit m ³ /h | espacement m | | surface irriguée m ² | | densité d'aspersion mm/h | |
|----------------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------|-----------------|------------|---------------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| | | | | □ disp. | △ disp. | □ disp. | △ disp. | □ disp. | △ disp. |
| 4,0 | 2,5 | 13 | 0,93 | 12/18 | 18/18 | 216 | 324 | 4,3 | 2,88 |
| | 3,0 | 14,5 | 1,02 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3,16 | 2,36 |
| | 3,5 | 15,3 | 1,11 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3,42 | 2,57 |
| | 4,0 | 16 | 1,19 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3,71 | 2,76 |
| 4,2 | 2,5 | 13,5 | 1,04 | 12/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4,8 | 2,42 |
| | 3,0 | 15 | 1,14 | 18/18 | 18/24 | 216 | 432 | 3,52 | 2,64 |
| | 3,5 | 15,8 | 1,23 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3,8 | 2,85 |
| | 4,0 | 16,5 | 1,32 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 3,06 | 2,3 |
| 4,5 | 2,5 | 14 | 1,20 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 3,71 | 2,78 |
| | 3,0 | 15,5 | 1,32 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4,07 | 3,05 |
| | 3,5 | 16,3 | 1,42 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4,38 | 3,29 |
| | 4,0 | 17 | 1,52 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 3,52 | 2,64 |
| 4,8 | 2,5 | 14,5 | 1,38 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 4,27 | 3,2 |
| | 3,0 | 16 | 1,51 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4,66 | 3,5 |
| | 3,5 | 16,5 | 1,63 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 3,78 | 2,82 |
| | 4,0 | 17 | 1,75 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 4,05 | 3,04 |
| 5,0 | 2,5 | 14,5 | 1,48 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 4,57 | 3,43 |
| | 3,0 | 16,5 | 1,83 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 5,04 | 3,77 |
| | 3,5 | 17 | 1,76 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 4,08 | 3,05 |
| | 4,0 | 17,5 | 1,88 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 4,35 | 3,26 |
| 5,5 | 2,5 | 15,2 | 1,82 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 5,62 | 4,22 |
| | 3,0 | 17 | 1,99 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 4,61 | 3,45 |
| | 3,5 | 17,5 | 2,14 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 4,95 | 3,71 |
| | 4,0 | 18 | 2,29 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5,31 | 3,98 |
| 6,0 | 2,5 | 16,2 | 2,16 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5,00 | 3,75 |
| | 3,0 | 17,5 | 2,37 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5,50 | 4,12 |
| | 3,5 | 18 | 2,56 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5,92 | 4,43 |
| | 4,0 | 18,5 | 2,74 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 6,35 | 4,78 |
| 7,0 | 2,5 | 17,5 | 2,96 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 6,9 | 5,1 |
| | 3,0 | 18,0 | 3,22 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 7,5 | 5,6 |
| | 3,5 | 18,5 | 3,48 | 24/24 | 24/24 | 576 | 576 | 8,0 | 6,0 |
| | 4,0 | 19,0 | 3,73 | 24/24 | 24/30 | 576 | 720 | 8,5 | 6,7 |