



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: IRRIGATION ET DRAINAGE**

**THEME :**

**Etude du périmètre El-Esnam (Secteur C) à partir  
du barrage de TILES DIT (W.BOUIRA)**

**Présenté par :**

**AKSIL TILLELI**

**Devant les membres du jury**

| <b>Nom et Prénoms</b> | <b>Grade</b> | <b>Qualité</b> |
|-----------------------|--------------|----------------|
| ZEROUAL Ayoub         | M.C.B        | Président      |
| BENKACI Ali Tarek     | M.C.B        | Examineur      |
| MAZOUZI Sabra         | M.A.A        | Examineur      |
| MOKRANE Wahiba        | M.A.A        | Promotrice     |

*Dédicaces*

*Je dédie ce Modest travail :*

*A mon défunt père, qui a tout fait pour moi et a tant voulu voir ce jour ;*

*A ma très chère mère, qui n'a jamais cessée de m'encourager ;*

*A mon cher CHEBINI Karim ; qui a été toujours à cote de moi ;*

*A mon petit frère et a mes chères sœurs ; qui ont tant fais pour moi ;*

*A toutes mes chères amies ;*

*A tous ceux qui j'ai oubliées involontairement ;*

*À tous ceux qui vont lire ce travail.*

*AKSIL Tilleli.*

## **Remercîment**

*Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donnée durant toutes ces longues années d'études et qui m'ont permis s'en arriver là.*

*Je remercie vivement mon encadreur Mm. MOKRANE Ouahiba de m'avoir accordée votre pleine confiance.*

*Je remercie l'ensemble des membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail et d'honorer par leur présence ma soutenance.*

*J'ai l'agréable tache de témoigner ma grande reconnaissance aux différents services techniques auprès desquels j'ai bénéficiée d'un aimable appui, notamment ceux qui m'ont facilitée l'accès aux données de mesures et à la documentation, en particulier :*

- *ANRH d'Alger (en particulier Mr. MOULTI).*
- *ONID d'ALGER (en particulier Mr. KICHOU).*
- *ONM d'Alger.*

*Avant de terminer, je dois remercier ma famille pour son encouragement, don soutien et sa patience.*

## ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تطوير مائي - زراعي لمحيط الأسنام (قطاع ج) بولاية البويرة على مساحة 500 هكتار. سيتم ري هذا المحيط من سد Tilesdit.

تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل هي الأساس لتصميم شبكة ري مناسبة. ولذلك تم إجراء دراسة تفصيلية للمنطقة (المناخية والبيولوجية والموارد المائية).

في هذا العمل يجب أن نستغل أبعاد شبكة الري بمحيط الأسنام (القطاع ج) ولاية البويرة من أجل استخدام أفضل لموارد المياه والتربة وتحسين الإنتاج الزراعي على المدى المتوسط.

## Résumé :

Le but de cette étude est de réaliser un aménagement hydro-agricole du périmètre El-Esnam (Secteur C) dans la wilaya de Bouira, couvrant une superficie de 500 hectares. Ce périmètre sera irrigué à partir du barrage de Tilesdit.

L'estimation des besoins en eau des cultures est à la base de la conception d'un réseau d'irrigation adapté. Une étude détaillée de la zone (ressources climatiques, biologiques et hydriques) a donc été réalisée.

Dans ce travail, nous devons exploiter les dimensions du réseau d'irrigation du périmètre El-Esnam (Secteur C) Wilaya de Bouira afin de mieux utiliser les ressources en eau et en sol et d'améliorer la production agricole à moyen terme.

## Abstract:

The aim of this study is to carry out a hydro-agricultural development of the El-Esnam perimeter (Secteur c) in the wilaya of Bouira, covering an area off 500 hectares. This perimeter will be irrigated from the Tilesdit dam. Estimating crop water needs is the basis for designing an appropriate irrigation network. A detailed study of the area (climatic, biological and water resources) was therefore carried out.

# Sommaire

Introduction générale

## Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

|  |    |
|--|----|
| I .1) Introduction : .....   | 1  |
| I .2) Présentation générale de la wilaya de Bouira.....                          | 1  |
| I .2.1) Situation géographique .....   | 1  |
| I .2.2) Présentation du périmètre d'étude : .....                                | 2  |
| I .2.3) Situation géographique: .....  | 2  |
| I .3) Géologie – géomorphologie .....  | 3  |
| I .4) Le relief .....  | 3  |
| I .5) Réseau hydrographique : .....  | 4  |
| I .6) Étude climatologique : .....   | 4  |
| I .6.1) Choix de la station de référence : .....                                 | 4  |
| I .6.2) Pluies mensuelles : .....  | 5  |
| I .6.3) Les températures : .....   | 5  |
| I .6.4) L'évaporation : .....  | 6  |
| I .6.5) L'humidité relative : .....  | 6  |
| I .6.6) Le vent : .....  | 7  |
| I .6.7) L'insolation: .....  | 7  |
| I .6.8) Calcul des indices Agro-météorologiques : .....                          | 8  |
| I .6.8.1) Quotient Ombrothermique d'Emberger : .....                             | 8  |
| I .6.8.2) Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gausson : ..... | 9  |
| I .6.9) Indice de Martonne .....   | 10 |
| I .7) Etude Socio-économique : .....   | 11 |
| I .8) Conclusion.....  | 11 |

## Chapitre II: Ressources en sol- Ressources en eau

|   |    |
|---|----|
| II .1) Introduction :   | 12 |
| II.2) Etude pédologique :                                     | 12 |
| II.2.1) But de l'étude pédologique :                          | 12 |
| II.2.2) Ressources en sol :                                   | 12 |
| II.2.2.1) Classification des sols :                           | 12 |
| II.2.2.2) Description morphologique des profils :             | 12 |
| II.2.3) Analyse physico-chimique des sols.....                | 13 |
| II.2.4) Caractéristiques hydrodynamiques des sols :           | 14 |
| II.2.5) Détermination des aptitudes culturales des sols :     | 14 |
| II.3) Conclusion :  | 15 |
| II.4) Ressources en eau :                                     | 15 |
| II.4.1) Les ressources en eau superficielles .....            | 15 |
| II.4.2) Barrage de Tilesdit .....                             | 15 |
| II.4.3) Etude de la qualité de l'eau d'irrigation :           | 17 |
| II.4.4) Classification des eaux pour l'irrigation :           | 17 |
| -La Conductivité électrique.....                              | 17 |
| II.4.4.1) La Conductivité électrique :                        | 18 |
| II.4.4.2) Le SAR (Taux d'absorption du Sodium): .....         | 18 |
| II.4.5) Étude Hydrologique :                                  | 19 |
| II.4.5.1) Station pluviométrique: .....                       | 20 |
| II.4.6.1) Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique : | 20 |
| II.4.6.2) Ajustement statistique des pluies :                 | 22 |
| II.4.6.3) Test de validité de l'ajustement :                  | 25 |
| II.4.7) Détermination de l'année de calcul :                  | 26 |
| II.5) Conclusion :  | 27 |

## Chapitre III: Besoins en eau des cultures

|  |    |
|--|----|
| III.1) Introduction :.....   | 28 |
| III.2) Besoin en eau du périmètre :.....                           | 28 |
| III.2.1) Calcul des besoins en eau :.....                          | 28 |
| III.2.2) l'évapotranspiration référence:( $ET_0$ ou $ET_P$ ).....  | 28 |
| III.2.3) Calcul de L'évapotranspiration de référence :.....        | 28 |
| III.2.3.1) Les méthodes directes :.....                            | 29 |
| III.2.3.2) Les méthodes indirectes :.....                          | 29 |
| III.3) Calcul de la pluie efficace :.....                          | 31 |
| III.4) Calcul de la réserve en eau du sol :.....                   | 31 |
| III .5) Choix des cultures .....                                   | 31 |
| III.5.1) Occupation des sols.....                                  | 31 |
| III.5.2) Cultures proposées :.....                                 | 32 |
| III .5.3) Assolements et rotation des cultures :.....              | 32 |
| III.6) Estimation des coefficients culturaux ( $K_c$ ) :.....      | 32 |
| III.7) Estimation des besoins en eau des cultures choisit :.....   | 33 |
| III.7.1) Estimation des besoins en eau pour l'assolement 01 :..... | 33 |
| III.7.2) Estimation des besoins en eau pour l'assolement 02 .....  | 37 |
| III.8) Calcul du débit spécifique : .....                          | 39 |
| III.9. Calcul de débit caractéristique .....                       | 40 |
| III.10) Estimation des besoins en eau totaux du périmètre .....    | 40 |
| III.11) Conclusion : .....   | 41 |

## Chapitre IV: étude du système d'adduction

|   |    |
|---|----|
| IV.1) Introduction : .....                          | 42 |
| IV .2) Alimentation en eau du périmètre :.....      | 42 |
| IV.3) Organisation et structure du périmètre :..... | 42 |

|  |    |
|--|----|
| IV.3.1) Ilots et bornes d'irrigation : .....                       | 42 |
| IV.3.2) Rôle et fonction de la borne d'irrigation : .....          | 42 |
| IV.3.3) Calcul hydraulique aux bornes : .....                      | 42 |
| IV.3.4) Choix du diamètre et du type de bornes : .....             | 42 |
| IV.4) Description de l'aménagement du périmètre : .....            | 46 |
| IV.4.1) Choix de la variante d'aménagement : .....                 | 47 |
| IV.4.1. 1) Description de la variante du tracé : .....             | 47 |
| IV.4.2) Choix de matériau : .....                                  | 47 |
| Le type de matériau constitutif des conduites dépend : .....       | 47 |
| IV.5) Etude de système de pompage : .....                          | 47 |
| IV.5.1) Les pompes: .....  | 47 |
| IV.5.1.1) Les turbopompes (pompes centrifuge) : .....              | 48 |
| IV.5.1.2) Les pompes à écoulement radial : .....                   | 48 |
| IV.5.1.3) Les pompes axiales : .....                               | 48 |
| IV.5.2) Calculs hydrauliques du système d'adduction : .....        | 48 |
| IV.5.2.1) Détermination de la hauteur d'élévation calculée : ..... | 48 |
| IV.5.2.2) Hauteur manométrique totale: .....                       | 48 |
| IV.5.2.2.1) Calcul des pertes de charge totale : .....             | 49 |
| IV.6) Choix des pompes et nombre des pompes : .....                | 52 |
| IV.6.1) Protection contre de la cavitation : .....                 | 56 |
| IV.7) Bâtiments de la station : .....                              | 58 |
| IV.7.1) Choix du type de bâtiment.....                             | 58 |
| IV.7.2) Dimensionnement de bâtiment de station pompage .....       | 58 |
| IV.8) Dimensionnement du Réservoir de stockage : .....             | 60 |
| IV.9) Calcul des diamètres : .....                                 | 60 |
| IV.9.1) Estimation des pertes de charge : .....                    | 60 |
| IV.9.2) Calcul des pressions des nœuds et des bornes : .....       | 61 |
| IV.10) Conclusion : .....  | 68 |

## **Chapitre V: choix du système d'irrigation**

|   |    |
|---|----|
| V.1) Introduction :.....  | 70 |
| V.2) Différentes techniques d'arrosages : .....                     | 70 |
| V.2.1) Irrigation gravitaire : .....                                | 70 |
| V.2.2) L'irrigation par ruissellement .....                         | 70 |
| V.1.2) L'irrigation par submersion .....                            | 71 |
| V.2.3) L'arrosage par infiltration (à la raie):.....                | 71 |
| V.2.3.1) Avantage : .....   | 71 |
| V.2.3.1) Inconvénients : .....                                      | 71 |
| V2.4) L'irrigation par aspersion : .....                            | 71 |
| V.2.4.1) Avantage de l'aspersion : .....                            | 72 |
| V 2.4.2) Les inconvénients de l'aspersion :.....                    | 72 |
| V.2.4.2.1) Différentes installations à la parcelle .....            | 73 |
| V.2.5) Irrigation localisée (Goutte à goutte) .....                 | 73 |
| V.2.5.1) Avantages de l'irrigation par goutte a goutte .....        | 74 |
| V.2.5.2) Les inconvénients de l'irrigation par goutte a goutte..... | 74 |
| V.3) Choix de la technique d'irrigation convenable.....             | 74 |
| V.4) Conclusion : .....   | 76 |

## **Chapitre VI: dimensionnement à la parcelle**

|  |    |
|--|----|
| VI.1) Introduction : .....                                   | 77 |
| VI.2) Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte.....       | 77 |
| VI.2.1) Données générales .....                              | 77 |
| VI.2.2) Besoins d'irrigation en irrigation localisée : ..... | 77 |
| VI.2.3) Dose nette pratique : .....                          | 78 |
| VI.2.3) Fréquence des arrosages (Fr jours) .....             | 78 |

|   |    |
|---|----|
| VI.2.4) Calcul de la dose réelle (brute) : .....            | 78 |
| VI.2.4.1) Dose réelle (Dr): .....                           | 78 |
| VI.2.4.2) La dose brute réelle (Dbr) : .....                | 79 |
| VI.2.5) Durée de fonctionnement par d'arrosage (h) .....    | 79 |
| VI.2.6) Durée d'arrosage journalier .....                   | 79 |
| VI.2.7) Calculs hydrauliques .....                          | 79 |
| VI.2.7.1) Conditions hydrauliques .....                     | 79 |
| VI.2.7.2) La variation maximale de la pression .....        | 79 |
| VI.3) Calcul des débits : .....                             | 80 |
| Le nombre d'arbres par rampe: .....                         | 80 |
| VI.3.1) Débit de la rampe : .....                           | 80 |
| VI.3.2) Débit de la porte rampe : .....                     | 80 |
| VI.3.3) Débit de la conduite secondaire : .....             | 81 |
| VI.4) Dimensionnement des canalisations du réseau : .....   | 81 |
| VI.4.1) La conduite secondaire (conduite d'approche) .....  | 81 |
| VI.4.2) Porte-rampes : .....                                | 81 |
| VI.4.3) Les rampes : .....                                  | 81 |
| VI.5) Vérification des pertes de charges .....              | 81 |
| VI.6) Calcul des diamètres des conduites secondaires: ..... | 82 |
| VI.7) CONCLUSION : .....                                    | 83 |

## **Chapitre VII: étude technico-économique**

|   |    |
|---|----|
| VII-1) Introduction : .....   | 84 |
| VII.2) Différents travaux à entreprendre : .....                        | 84 |
| VII.2.1) Travaux concernant l'adduction et le réseau distribution ..... | 84 |
| VII.3) Calcul des volumes des travaux de l'adduction .....              | 85 |
| VII.3.1) Calcul du volume de terrassement .....                         | 85 |

|   |    |
|---|----|
| VII.3.2) Calcul du volume de déblai.....                          | 85 |
| VII.3.3) Calcul du volume de lit de sable .....                   | 86 |
| VII.3.4) Calcul du volume de remblai .....                        | 86 |
| VII.3.5) Estimation du cout de pose de conduites d'adduction..... | 87 |
| VII.4) Calcul des volumes des travaux de distribution : .....     | 87 |
| VII.4.1) Déblais d'excavation : .....                             | 87 |
| VII.4.2) Pose du lit de sable .....                               | 88 |
| VII.4.3) Remblais compacté.....                                   | 88 |
| VII.4.5) Estimation du cout du réseau de distribution .....       | 89 |
| VII.5) Conclusion.....  | 92 |

Conclusion générale

.

## Liste des tableaux

### **Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I.1 :</b> Caractéristiques géographiques la station pluviométrique étudiée.....           | 4  |
| <b>Tableau I.2 :</b> Répartition des précipitations moyennes interannuelles (station de Bouira)..... | 5  |
| <b>Tableau I.3 :</b> Répartition des températures moyennes interannuelles (station de Bouira) .....  | 5  |
| <b>Tableau I.4 :</b> les moyennes mensuelles de l'évaporation en mm (2016).....                      | 6  |
| <b>Tableau I.5 :</b> Humidité relative à la station de Bouira.....                                   | 7  |
| <b>Tableau I.6:</b> Répartition moyenne mensuelle des vitesses du vent.....                          | 7  |
| <b>Tableau 1.7 :</b> Valeurs moyennes des durées d'insolation mensuelle en (2016).....               | 7  |
| <b>Tableau 1.8 :</b> Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de gelée.....                    | 8  |
| <b>Tableau I. 9.</b> Les valeurs moyennes des précipitations et des températures.....                | 9  |
| <b>Tableau I.10 :</b> Classification de climat selon Mr Martonne.....                                | 10 |
| <b>Tableau 1.11 :</b> Répartition des exploitations agricoles de la commune d'El-Asnam.....          | 11 |
| <b>Tableau I.12:</b> La répartition de la main-d'œuvre.....  | 12 |

### **Chapitre II : Ressources en sol – Ressources en eau**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau II.1:</b> Résultats des analyses des échantillons de sol du profil 1.....           | 13 |
| <b>Tableau II.2:</b> Propriétés hydrodynamiques des sols.....                                  | 14 |
| <b>Tableau II.3:</b> Caractéristiques chimique de l'eau d'irrigation. (ANRH).....              | 17 |
| <b>Tableau II.4:</b> Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....    | 18 |
| <b>Tableau II.5:</b> Risque d'alcalinisation en fonction du SAR.....                           | 18 |
| <b>Tableau II.6:</b> caractéristique principales de la station pluviométrique (ANRH).....      | 20 |
| <b>Tableau II.7:</b> Caractéristiques de la série pluviométrique.....                          | 20 |
| <b>Tableau II.8 :</b> résultat du test Mood.....   | 21 |
| <b>Tableau II.9 :</b> Résultat de l'ajustement a la loi Normale.....                           | 23 |
| <b>Tableau II.10 :</b> Résultat de l'ajustement à la loi log normale.....                      | 24 |
| <b>Tableau II.11:</b> test de validité des deux ajustements.....                               | 26 |
| <b>Tableau II.12:</b> résultats théoriques de l'année de calcul.....                           | 26 |
| <b>Tableau II.13:</b> Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche ( $f_{req}= 80\%$ )..... | 26 |

### **Chapitre III : Besoins en eau des cultures**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau III.1 :</b> Evapotranspiration de référence $ET_0$ calculée par le logiciel COPWAT.....    | 30 |
| <b>Tableau III.2:</b> Calcul des pluies efficaces.....  | 31 |
| <b>Tableau III. 3:</b> Scénarios d’occupation du sol par l’ensemble de l’exploitation du périmètre... | 32 |
| <b>Tableau III.4 :</b> Système de cultures proposées.....   | 32 |
| <b>Tableau III 5:</b> les superficies des différentes occupations de la zone d’étude.....             | 32 |
| <b>Tableau III.6 :</b> Coefficients culturaux des cultures.....                                       | 33 |
| <b>Tableau III.7 :</b> Calcul des besoins en eau pour le Blé.....                                     | 33 |
| <b>Tableau III.8 :</b> Calcul des besoins en eau pour les choux.....                                  | 34 |
| <b>Tableau III.9 :</b> Calcul des besoins en eau pour l’ail.....                                      | 34 |
| <b>Tableau III.10 :</b> Calcul des besoins en eau pour la carotte.....                                | 35 |
| <b>Tableau III.11 :</b> Calcul des besoins en eau pour l’agrumes.....                                 | 35 |
| <b>Tableau III.12 :</b> Calcul des besoins en eau pour l’olivier.....                                 | 36 |
| <b>Tableau III.13 :</b> Calcul des besoins en eau pour le figuier.....                                | 36 |
| <b>Tableau III.14 :</b> Calcul des besoins en eau pour l’orge.....                                    | 37 |
| <b>Tableau III.15 :</b> Calcul des besoins en eau pour le poivron.....                                | 37 |
| <b>Tableau III.16 :</b> Calcul des besoins en eau pour l’haricot.....                                 | 38 |
| <b>Tableau III.17:</b> Récapitulatif des besoins pour l’assolement 1.....                             | 38 |
| <b>Tableau III.18:</b> Récapitulatif des besoins pour l’assolement 2.....                             | 39 |
| <b>Tableau III.19 :</b> volume d’eau d’irrigation.....  | 40 |

### **Chapitre IV: Etude du système d’adduction**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau IV.1:</b> Type de bornes en fonction des superficies des ilots.....                                   | 43 |
| <b>Tableau IV.2 :</b> Calcul de la HMT pour divers diamètres de conduite.....                                    | 49 |
| <b>Tableau IV.3:</b> Calcul des frais d’amortissement.....   | 50 |
| <b>Tableau IV.4.</b> Calcul des Frais d’exploitation.....  | 51 |
| <b>Tableau IV.5 :</b> Bilan technico-économique des diamètres choisis .....                                      | 51 |
| <b>Tableau IV.6 :</b> Variantes pour le choix du nombre de pompes.....   | 53 |
| <b>Tableau IV7 :</b> calcul de la courbe caractéristique de la pompe et celle de la conduite de refoulement..... | 54 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau VI- 8</b> : Pression atmosphérique en fonction de la côte.....    | 57 |
| <b>Tableau VI- 9</b> : Pression de vapeur en fonction de la température..... | 58 |
| <b>Tableau IV.10</b> : Calculs hydrauliques du réseau de distribution.....   | 61 |

### **Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau V.1</b> : Analyse multicritères de choix de technique d'irrigation..... | 75 |
|--|----|

### **Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau VI.1</b> : Diamètre de la porte rampe.....                       | 82 |
| <b>Tableau VI.2</b> : Caractéristiques de la Conduite secondaire.....       | 82 |
| <b>Tableau VI.3</b> : Récapitulatif des caractéristiques des conduites..... | 83 |

### **Chapitre VII : Calcul technico-économique**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau VII.1</b> : calcul du volume de déblai.....   | 86 |
| <b>Tableau VII.2</b> : calcul du volume de sable.....  | 86 |
| <b>Tableau VII.3</b> : Calcul du volume de remblai.....  | 86 |
| <b>Tableau VII.4</b> : Estimation du cout de pose de canalisation de l'adduction. ....           | 87 |
| <b>Tableau.VII.5</b> : calcul du volume de déblai.....   | 87 |
| <b>Tableau. VII.6.</b> calcul du volume du lit de sable.....                                     | 88 |
| <b>Tableau.VII.7</b> : calcul du volume du remblai compacté.....                                 | 88 |
| <b>Tableau VII.8</b> : Estimation du cout de pose de canalisation de la partie distribution..... | 89 |
| <b>Tableau VII.9</b> : Factures pro-forma des pièces du réseau distribution.....                 | 89 |
| <b>Tableau VII.10</b> : Le détail estimatif des travaux de réservoir.....                        | 90 |
| <b>Tableau VII.11</b> récapitule Le détail estimatif des travaux de système de pompage.....      | 91 |

# Liste des figures

## **Chapitre I**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I.1</b> : Carte administrative de la willaya de Bouira.....             | 1  |
| <b>Figure I. 2:</b> carte de situation géographique du périmètre el Asnam.....    | 2  |
| <b>Figure I.3:</b> Répartition des températures moyennes (Station de Bouira)..... | 6  |
| <b>Figure I.4.</b> Climagramme d'Emberger de la zone d'étude.....                 | 9  |
| <b>Figure I.5</b> : Diagramme ombrothermique de Gaussen.....                      | 10 |

## **Chapitre II**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure II.1:</b> Diagramme de classification des eaux d'irrigation.....       | 19 |
| <b>Figure II.2:</b> Ajustement des pluies annuelles à la loi Normale.....        | 23 |
| <b>Figure II.3:</b> Ajustement des pluies annuelles à la loi de log Normale..... | 25 |

## **Chapitre IV**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure IV.1.</b> Résultats de l'étude technico-économique.....                                     | 52 |
| <b>Figure IV.2.</b> Courbes caractéristiques de la pompe.....   | 53 |
| <b>Figure IV.3.</b> Encombrement de la pompe.....   | 54 |
| <b>Figure IV.4.</b> La courbe caractéristique de la pompe et celle de la conduite de refoulement..... | 56 |

## **Chapitre V**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure V.1</b> : L'irrigation par ruissellement..... | 70 |
| <b>Figure V.2:</b> L'irrigation à la raie.....          | 71 |
| <b>Figure V.3.</b> L'irrigation par aspersion.....      | 72 |
| <b>Figure V.4.</b> L'irrigation goutte à goutte.....    | 74 |

## **Chapitre VI**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure VI.1</b> schéma représentative d'un réseau goutte à goutte..... | 83 |
|---|----|

## **Chapitre VII**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure VII.1</b> : Disposition de la conduite dans une tranchée..... | 85 |
|---|----|

## **Liste des planches**

**Plan N°1** : plan du réseau d'adduction et de distribution.

**Plan N°2** : plan de situation du périmètre El-Asnam (Secteur C) W.Bouira.

**Plan N°3** : profil en long de la conduite principale de distribution de réseau de d'irrigation

Du périmètre El-Asnam (Secteur C) W.Bouira.

**Plan N°4** : plan de système d'irrigation goutte à goutte.

## **Introduction générale**

L'eau est un facteur essentiel et stratégique du développement du secteur agricole. Avec l'irrigation, l'agriculteur dispose d'un levier puissant pour augmenter et réguler la production agricole.

L'irrigation est le processus qui consiste à fournir artificiellement de l'eau aux plantes cultivées pour augmenter la production et permettre leur développement naturel en cas de déficit hydrique résultant d'un manque de précipitations, en particulier dans les régions semi-arides.

La wilaya de Bouira est considérée comme l'un des États agricoles les plus importants du pays, car l'agriculture reste le secteur le plus actif de la région. Le périmètre El Asnam a un grand potentiel agricole, mais le manque de systèmes d'irrigation efficaces a rendu tout développement hydro-agricole Expiré. C'est pourquoi une bonne gestion des ressources en eau est devenue plus qu'une nécessité. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre mémoire.

Il s'agit d'étude du périmètre du El-Asnam (secteur c) W. Bouira, à partir d'un barrage prévu TELLESDIT. L'objectif principal est alors d'exploiter l'eau du barrage pour Irriguer une superficie de 500 hectares. Ainsi il devient possible de choisir la meilleure technologie du système d'irrigation et l'installation appropriée des équipements Sur la base d'une parfaite connaissance des informations techniques et économiques pertinentes dans les conditions de fonctionnement.

Pour aboutir à notre but, nous avons suivi un plan composé de sept chapitres. La réalisation de ce projet d'irrigation dépendra des informations recueillies en premier chapitre. A travers le second et le troisième chapitre, nous établissons une analyse des ressources en eau et en sol pour déterminer les besoins en eau, ainsi que les caractéristiques des parcelles et le type de cultures à irriguer. Le quatrième chapitre sera consacré pour le transport de l'eau par adduction par pompage. Le choix du système d'irrigation adéquat fera l'objet du cinquième chapitre alors que le dimensionnement à la parcelle se fera en sixième chapitre. Une estimation du cout de projet sera faite dans le dernier chapitre.

Toutes ces étapes nous obligent à conceptualiser un projet qui prend en compte toutes les restrictions internes et externes pour augmenter et réguler la production végétale afin d'atteindre les objectifs techniques (de rendement) et économiques (coût optimal).

Enfin, nous achèverons notre travail par une conclusion générale.

## Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

### I.1) Introduction :

Dans ce chapitre, nous essayons de décrire la zone, ciblée par l'étude de son aménagement hydro agricole, par la collecte des données naturelles nécessaires et de les analyser.

### I.2) Présentation générale de la wilaya de Bouira

#### I.2.1) Situation géographique

La wilaya de Bouira se situe dans la région Centre Nord du pays. Elle s'étend sur une superficie de 4456,26 km<sup>2</sup> représentant 0,19% du territoire national. Le chef lieu de wilaya est situé à près de 120 km de la capitale Alger. La grande chaîne du Djurdjura d'une part et les monts de Dirah d'autre part, encadrent la Wilaya qui s'ouvre de l'Ouest vers l'Est sur la vallée de la Soummam.

La wilaya de Bouira est délimitée:

- au nord par la wilaya de Tizi-Ouzou.
- à l'est par la wilaya de Bordj Bou Arreridj.
- au sud par la wilaya de M'Sila.
- à l'ouest par les wilayas de Médéa et de Blida.

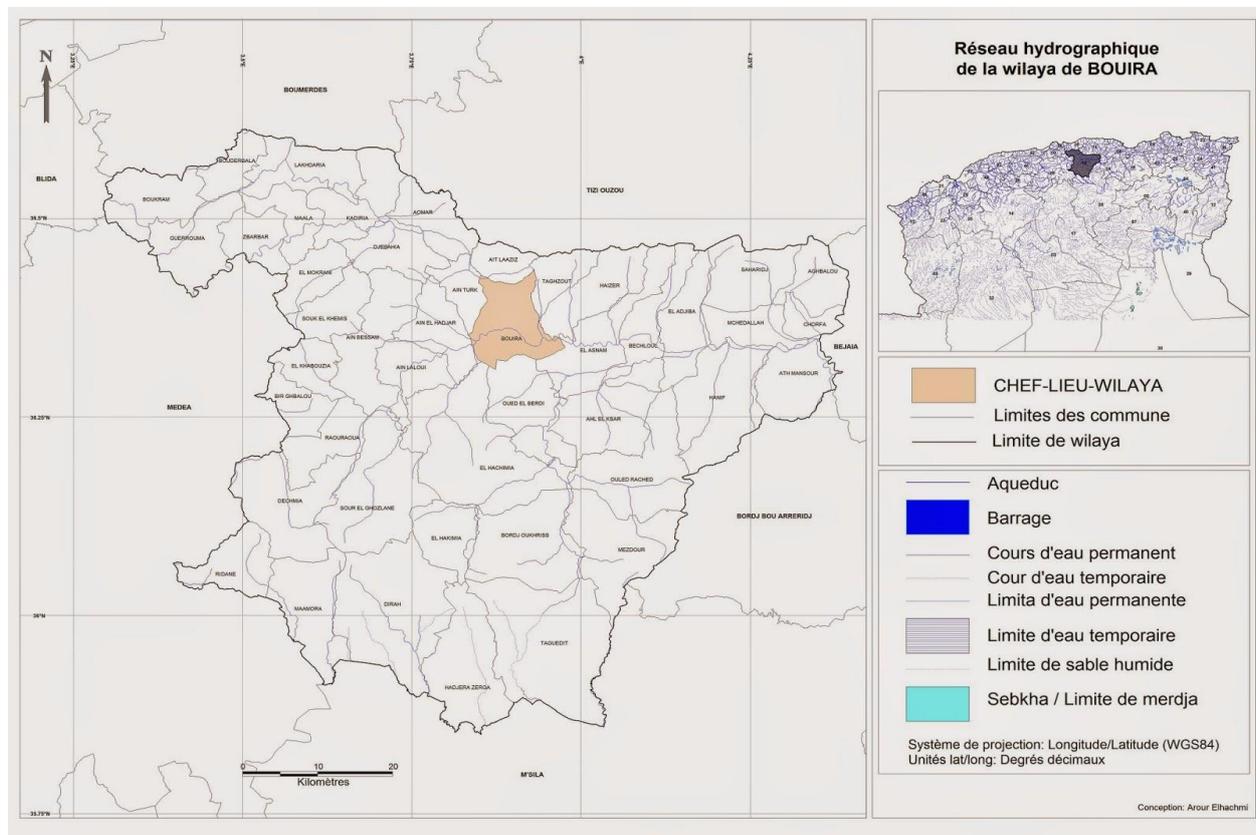


Figure I.1 : Carte administrative de la wilaya de Bouira

### I.2.2) Présentation du périmètre d'étude :

Le plateau El-Esnam est situé dans la commune d'el-Esnam qui se trouve dans la partie ouest de la wilaya de Bouira entre 36° 19' latitude nord et 4° 00' longitude Est.

### I.2.3) Situation géographique:

La commune d'El-Esnam se trouve à 13 km au sud-est du chef-lieu de la wilaya de Bouira et à 120 km de la capitale Alger. Elle est traversée par la route nationale n° 05 et par l'autoroute Est Ouest.

Elle est délimitée par :

- Le nord par la ligne de crête du Djurdjura.
- L'est par la commune boucheloul.
- Au sud par celle d'ahl el ksar.
- A l'ouest par le chef-lieu de la wilaya de Bouira.

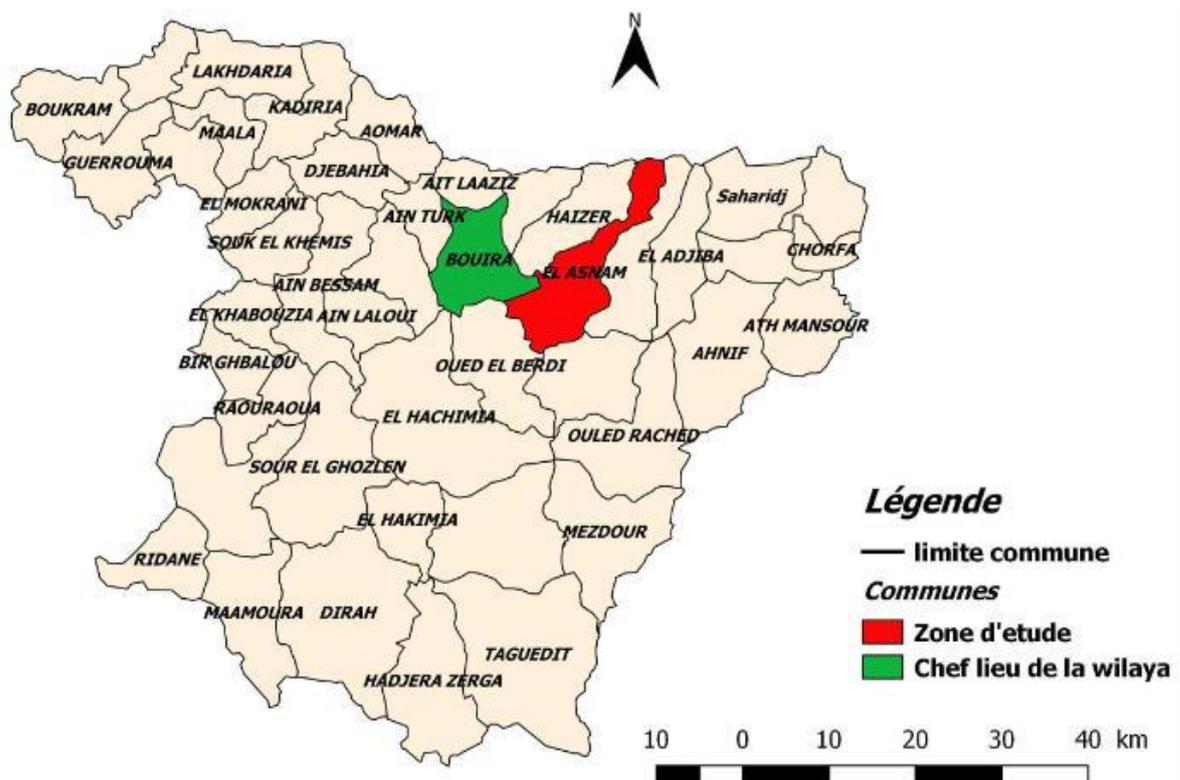


Figure I. 2: carte de situation géographique du périmètre el Asnam

**I.3) Géologie – géomorphologie**

Le territoire étudié constitue la majeure partie du plateau d'El Asnam : c'est un replat bordé par des talus de 50 à 100 m de dénivelé, limités au nord par la vallée de l'Oued Eddous et au sud par celle de l'Oued Ziane.

L'observation d'une carte topographique de la région révèle que ce plateau, dont l'altitude avoisine 525 m, est la zone la moins accidentée du bassin versant de l'Oued Ziane.

Sa masse est un monoclin à pendage nord, constitué de puissants dépôts continentaux. Ce sont des produits d'érosion épandus durant l'Aquitaniens, par des cours d'eau provenant du massif du Djurdjura.

Il s'agit de conglomérats plus au moins consolidés, alternant avec des argiles sableuses, facilement observables sur les talus abrupts qui limitent le plateau.

Sur celui-ci, cet Aquitaniens est à l'affleurement dans les unités 4 et surtout 5. Sur le terrain, ce sont des buttes et des versants plus ou moins érodés à surface brun-jaunâtre à jaune, à cause de la présence d'une accumulation calcaire peu profonde développée dans le mètres supérieur de l'Aquitaniens ; principalement d'âge **MOULOUYEN** (Quaternaire ancien),

Cette accumulation calcaire de sol tonique présente :

1. En son sommet, une croûte calcaire, zonaire, rosée, parallèle à la surface du sol, continue, fracturée, de 5 à 20 cm d'épaisseur ;
2. Puis en encroûtement calcaire, tufeux, friable à concrétions calcaires et /ou galets.

C'est cette accumulation calcaire qui limite l'épaisseur utile des sols de l'unité 4 et surtout 5 ; elle s'observe à moins de 1,2 m de profondeur dans la majorité des sols des autres unités (sauf dans les unités 7 et 8, les seules à être non calcaires et, éventuellement, caillouteuses).

Sur le reste du plateau, les sols sont développés dans des formations superficielles métriques qui recouvrent ce substratum Aquitaniens ; ce sont :

1. Pour les unités 1 et 6 à 10, des alluvions qui confèrent à l'ensemble du plateau la propriété de terrasse alluviale ;
2. Pour les unités 2 et 3 des alluvions colluvions accumulées dans des fonds évasés de vallons.

**I.4) Le relief**

Le relief de la wilaya de Bouira est contrasté et comporte cinq grands ensembles physiques :

- La dépression centrale (plaines des Aribes, plateau d'El Asnam, la vallée d'Ouadhou et Oued Sahel).
- La terminaison orientale de l'Atlas blidéen.
- Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya).

- La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud.
- La dépression sud des Bibans.

La zone boisée représente 25 % du territoire avec 111 490 ha de massif forestier. On trouve le pin d'Alep, le chêne vert ainsi que le chêne-liège.

Concernant la région d'El Asnam le relief prédominant est montagneux à caractère Alpin, au Nord elle est délimitée par la ligne de crête de Djurdjura, la partie sud est caractérisée par un relief moins accidenté avec une pente douce d'ouest en Est dont les cotes varient de 520 à 550 m.

**I.5) Réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement.

Le plateau d'El Asnam est localisé dans le bassin versant de l'Oued Ziane. Ce bassin présente une superficie totale de 1005.4 km<sup>2</sup> et un périmètre total de 165.88 km.

La plaine d'El Asnam correspond à un bassin sédimentaire d'orientation Est - Ouest. Elle est limitée au Nord par l'Oued Eddhous, au sud par des forêts Kessana. Cette plaine abrite une nappe d'eau alluviale importante exploitée pour les besoins en eau potable des principales agglomérations de la zone Bouira - El .Asnam.

L'extension des alluvions d'El Asnam présente une superficie de 21,34km<sup>2</sup> et un périmètre de 36,60 km

**I.6) Étude climatologique :**

L'étude climatologique est d'une importance capitale. En effet, le climat est un facteur déterminant pour le choix des cultures ainsi que pour l'estimation des doses d'irrigation nécessaires. Les différents éléments caractérisant le climat, sont principalement : les précipitations, la température, le vent, l'humidité relative de l'air, l'insolation.

**I.6.1) Choix de la station de référence :**

Le choix de la station de référence est important pour avoir une bonne précision des paramètres climatiques. Donc on doit choisir la station la plus proche du périmètre. Ainsi, nous avons exploité les données de la station de Crête rouge.

**Tableau I.1 :** Caractéristiques géographiques la station pluviométrique étudiée.

| Nom de la station | Code   | Coordonnées |       | Altitude<br>(m) | Nbre d'années d'observer |
|-------------------|--------|-------------|-------|-----------------|--------------------------|
| Nom de la station | Code   | X(m)        | Y(m)  | Altitude<br>(m) | Nbre d'années d'observer |
| CRETE ROUGE       | 150115 | 628.1       | 335.5 | 340.05          | 31                       |

(Source : ONM d'Alger).

**I .6.2) Pluies mensuelles :**

Le tableau ci-après représente les pluies moyennes mensuelles et annuelles enregistrées par cette station :

**Tableau I.2 :** Répartition des précipitations moyennes interannuelles (station de Bouira)

| Mois                    | S    | O    | N    | D    | J    | F    | M    | A    | M    | J   | J   | A   | Année |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-------|
| P <sub>moy</sub>        | 35,2 | 27,4 | 44,3 | 56,4 | 52,9 | 39,5 | 41,8 | 39,9 | 28,4 | 6,5 | 2,3 | 7,2 | 356,7 |
| P <sub>moy saison</sub> | 35.6 |      |      | 49.6 |      |      | 36.7 |      |      | 5.3 |     |     | 127.2 |
| %                       | 28.4 |      |      | 38.8 |      |      | 28.7 |      |      | 4.1 |     |     | 100   |

D’après le tableau I.3 on remarque que les précipitations sont très irrégulièrement réparties à l’échelle annuelle, on a une croissance rapide de la pluviométrie de septembre à Décembre, ensuite une décroissance plus lente jusqu’en Mai, et très faible en juin, juillet et aout. 38% des précipitations tombent au cours des mois de Décembre, Janvier et Février.

**I .6.3) Les températures :**

Les températures ont été mesurées à l’aide de thermomètre à minima et à maxima.

Le tableau suivant résume les moyennes mensuelles et annuelles pendant la période (1990-2016)

**Tableau I.4 :** Répartition des températures moyennes interannuelles (station de Bouira)

| Mois        | SEP  | OCT  | NOV  | DEC   | JAN  | FEV  | MAR  | AVR  | MAI  | JUIN | JUIL  | AOUT  |
|-------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| T° min (C°) | 15.5 | 12.5 | 8    | 6     | 1.5  | 5    | 6    | 8.7  | 11   | 15.6 | 17    | 18.4  |
| T° max (C°) | 31   | 25.5 | 21   | 16    | 16.8 | 17   | 18.6 | 20.7 | 25.5 | 32   | 35.5  | 39    |
| T° moy (C°) | 22.5 | 18.6 | 14.5 | 11.45 | 8.9  | 10.6 | 11.9 | 14.5 | 18.4 | 23.5 | 26.45 | 27.75 |

(Source : ONM Alger)

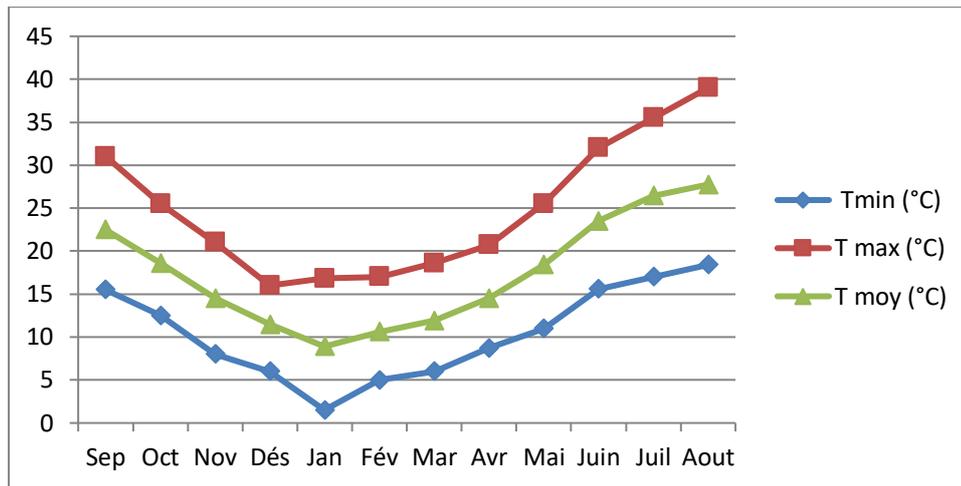
Avec : Tmin: moyenne de tous les minima observes pour chaque mois,

Tmax: moyenne de tous les maxima observe pour chaque mois,

Tmoy: moyenne mensuelle.

Tmoy annuelle= 17.42°C

Le graphe de variation des températures est présenté comme suit :



**Figure I.3:**Répartition des températures moyennes (Station de Bouira).

Le tableau ci-dessus montre que les températures varient durant l’année, avec un maximum en Aout (T max = 39° C) c’est le mois le plus chaud, et un minimum en Janvier (Tmin = 1.5° C) et c’est le mois le plus froid.

**I .6.4) L’évaporation :**

L’évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s’agit de l’évaporation physique. Les plans d’eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d’eau.

Les mesures de l’évaporation ont été effectuées sous abri à l’aide de l’évaporémètre « Pichi » à la station de Bouira. Voir le tableau suivant :

**Tableau I.5 :** les moyennes mensuelles de l’évaporation en mm (2016):

| Mois    | S   | O   | N   | D   | J   | F   | M   | A   | M    | J   | J   | A    | Année |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-------|
| Ev (mm) | 122 | 80  | 46  | 28  | 26  | 40  | 64  | 100 | 133  | 172 | 221 | 198  | 1230  |
| Ev(%)   | 9.9 | 6.5 | 3.7 | 2.3 | 2.1 | 3.3 | 5.2 | 8.1 | 10.8 | 14  | 18  | 16.1 | 100   |

**I .6.5) L’humidité relative :**

C’est le quotient entre la tension de vapeur réelle et la tension de vapeur saturante. L’humidité de la région montre un écart important entre la période hivernale et la période estivale.

Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont portées dans le tableau suivant :

**Tableau I.6 :** Humidité relative à la station de Bouira.

| Mois       | Jan | fév | Mars | Avril | Mai | Juin | juil | Aout | Sep | oct | nov | Déc | Annuel |
|------------|-----|-----|------|-------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|--------|
| Hr max (%) | 97  | 97  | 95   | 94    | 91  | 81   | 76   | 80   | 90  | 91  | 95  | 97  | 90     |
| Hr min (%) | 62  | 56  | 47   | 44    | 41  | 30   | 27   | 27   | 37  | 44  | 52  | 62  | 44     |
| Hrmoy (%)  | 84  | 82  | 74   | 71    | 68  | 56   | 51   | 54   | 66  | 71  | 73  | 84  | 68     |

(Source : ONM Alger).

L'analyse du **tableau I.6** fait ressortir que l'humidité est supérieure à 70% sur les 6 mois de l'année et ceci à partir du mois d'Octobre. Le maximum est enregistré en saison hivernale 84% alors que le minimum 51% est observé en été.

**I.6.6) Le vent :**

C'est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause, notamment en agriculture.

Vitesse moyenne mensuelles du vent (m/s) de la région Bouira (période : 2014-2016).

**Tableau I.7:** Répartition moyenne mensuelle des vitesses du vent

|            | J    | F   | M    | A    | M    | J   | J    | A   | S    | O    | N    | D   |
|------------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|
| 2014       | 2.3  | 2.8 | 3.2  | 3.0  | 3.0  | 2.5 | 3.2  | 2.8 | 2.5  | 1.6  | 2.3  | 2.5 |
| 2015       | 2.5  | 3.5 | 3.0  | 1.8  | 2.4  | 2.2 | 1.8  | 2.0 | 2.3  | 2.3  | 1.9  | 0.9 |
| 2016       | 1.9  | 2.7 | 2.7  | 2.8  | 2.6  | 2.5 | 2.3  | 2.1 | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 1.4 |
| <b>Moy</b> | 2.23 | 3   | 2.96 | 2.53 | 2.66 | 2.4 | 2.43 | 2.3 | 2.26 | 1.96 | 2.06 | 1.6 |

Source : (station métrologique de Bouira)

On remarque une variation des vitesses de vent tout le long de l'année, les vitesses varient entre 1.6 et 3 m/s.

**I.6.7) L'insolation:**

L'insolation ou radiation solaire globale représente la durée totale mensuelle d'ensoleillement en supposant un ciel dégagé de nuages, elle est mesurée à l'aide de l'héliographe CAMPBELL et exprimée en heures.

**Tableau 1.8 :** Valeurs moyennes des durées d'insolation mensuelle en (2016)

| Mois               | Jan  | Fev | Mar   | Avr   | Mai | Jun   | Jul   | Aou | Sep   | Oct   | Nov  | Dec  |
|--------------------|------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|------|------|
| Insolation moyenne | 93.6 | 156 | 170.4 | 163.2 | 132 | 211.2 | 290.4 | 228 | 165.6 | 148.8 | 43.2 | 76.8 |

Nous remarquons que les heures d'insolation augmentent en été jusqu'à atteindre 290.4 heures en juillet pour décroître en hiver avec une insolation minimale de 43.2 heures en Novembre.

**Tableau 1.9 :** Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de gelée

| Mois          | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aou | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Moyen (jours) | 7.5 | 7.7 | 6.3 | 2.2 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.6 | 6.1 |

Le risque de gelée existe pendant toute la période allant de Novembre à Avril, le nombre de jour de gelée enregistré est de maximum 7.7 se trouve en février.

**I .6.8) Calcul des indices Agro-météorologiques :**

Pour la classification du climat, nous avons deux facteurs essentiels : la pluviométrie et la température.

**I .6.8.1) Quotient Ombrothermique d'Emberger :**

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

$$Q = \frac{2.1000.P}{M^2 - m^2} = \frac{2000.P}{M^2 - m^2} ;$$

Avec :

Q : coefficient Ombrothermique d'Emberger.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des températures maximales en degrés Kelvin.

m : moyenne des températures minimales en degrés Kelvin.

Pour : P=356,7 mm ; M=39°C et m=1.5°C

$$Q = \frac{2.1000.P}{M^2 - m^2} = \frac{2*1000*356.7}{(39+273.15)^2 - (1.5+273.15)^2} = 32.42$$

D'où Q = 32.42

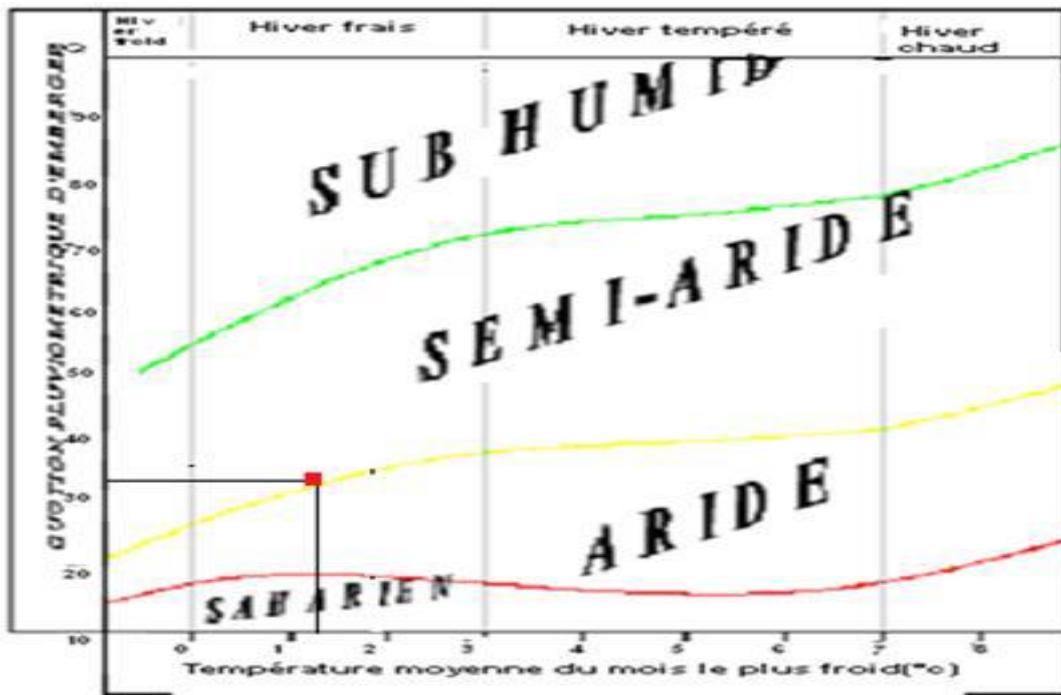


Figure I.4. Climagramme d’Emberger de la zone d’étude

D’après le diagramme bioclimatique ci-dessus et d’après la valeur de Q, notre zone d’étude est caractérisée par un étage bioclimatique, semi-aride à hiver frais.

**I .6.8.2) Classification du climat selon l’indice de Bagnouls et Gaussen :**

Le diagramme ombrothermique est un outil graphique qui consiste à confronter deux paramètres majeurs du climat, à savoir la température et les précipitations.

le graphique se présente sous la forme d’une abscisse avec les 12 mois de l’année et une double ordonnée avec d’une part les précipitations totales du mois en mm et les températures moyennes du mois .l’échelle des ordonnées pour les précipitations est contruite de telle sorte que sa valeur correspond au double de la valeur des températures.

Les deux courbes se croisent et la surface délimitée mesure l’intensité de la saison sèche et la saison humide, c’est-à-dire lorsque la courbe des températures dépasse celle des précipitations, c’est la période sèche. Dans le cas contraire, il s’agit d’une période humide.

**Tableau I. 10.** Les valeurs moyennes des précipitations et des températures.

| Mois     | SEP  | OCT  | NOV  | DEC   | JAN  | FEV  | MAR  | AVR  | MAI  | JUIN | JUIL  | AOUT  |
|----------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| P (mm)   | 35,2 | 27,4 | 44,3 | 56,4  | 52,9 | 39,5 | 41,8 | 39,9 | 28,4 | 6,5  | 2,3   | 7,2   |
| Tmoy(C°) | 22,5 | 18,6 | 14,5 | 11,45 | 8,9  | 10,6 | 11,9 | 14,5 | 18,4 | 23,5 | 26,45 | 27,75 |

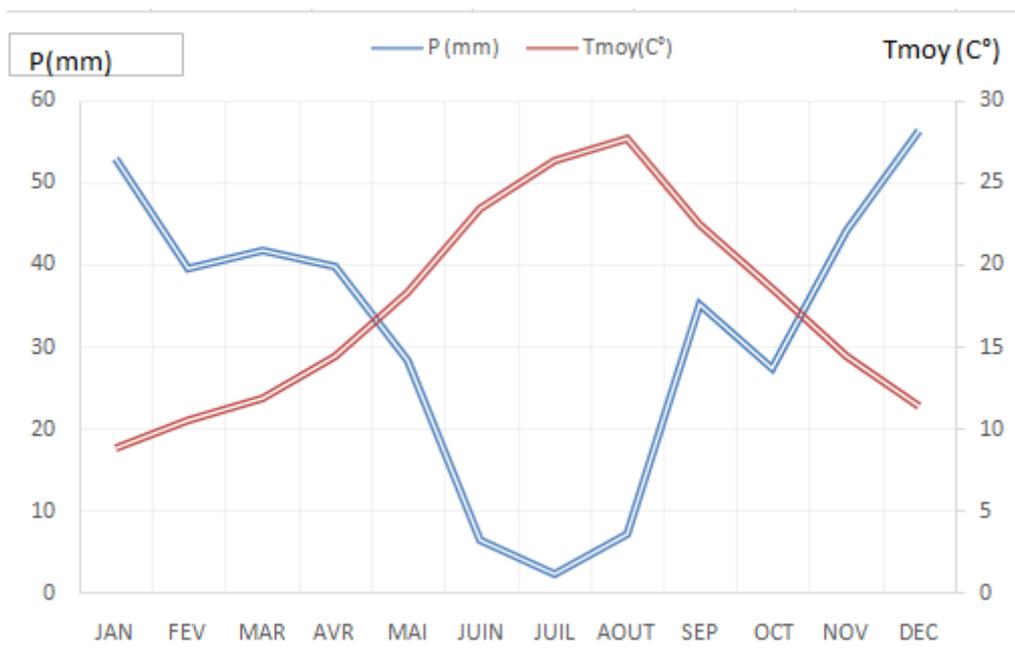


Figure I.5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.

**Description du graphe :**

Les deux courbes se croisent et la surface délimitée mesure l'intensité de la saison sèche et la saison humide, la différence des abscisses nous donne la durée de la saison ; donc :

- La saison humide allant du mois d'Octobre jusqu'au mois de Avril.
- La saison sèche est plus marquée, allant du mois de mai jusqu'au mois de Septembre.

**I.6.9) Indice de Martonne**

L'indice d'aridité de Martonne est un indice qui permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule  $I_A = \frac{P}{T+10}$  où P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle ;

Tableau I.11 : Classification de climat selon Mr Martonne

| Valeurs de I  | Type de climat      | Irrigation            |
|---------------|---------------------|-----------------------|
| $I < 5$       | Désertique          | Indisponible          |
| $5 < I < 10$  | Très sec            | Indisponible          |
| $10 < I < 20$ | Sec                 | Souvent indispensable |
| $20 < I < 30$ | Relativement humide | Parfois utile         |
| $I > 30$      | Humide              | Inutile               |

Avec : I : Indice De Martonne

Pour : P = 330,1mm/an T= 17.42°C

**I= 12.04**

Selon l'indice d'aridité calculé et d'après la classification ci-dessus, nous pouvons dire que le type de climat est sec et que l'irrigation est souvent indispensable.

**I.7) Etude Socio-économique :**

El-Asnam est caractérisée par sa vocation agricole notamment céréalière, l'espace agricole est constitué par des plaines, des collines et piémonts et une zone montagneuse. La commune totalise des exploitations agricoles réparties dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1.12 :** Répartition des exploitations agricoles de la commune d'El-Asnam.

| Exploitation | Nombre | Superficie (ha) |
|--------------|--------|-----------------|
| E.A.C        | 30     | 526.3           |
| E.A.I        | 32     | 465.7           |
| Ferme pilote | 1      | 1041.6          |

Source : DSA de Bouira

**Tableau I.13:** La répartition de la main-d'œuvre

| MAIN D'OEUVRE PERMANENTE |        | MAIN D'OEUVRE SAISONNIERE |        |
|--------------------------|--------|---------------------------|--------|
| Hommes                   | femmes | Hommes                    | Femmes |
| 5058                     | 318    | 2222                      | 445    |
| 5376                     |        | 2667                      |        |

Source : DSA de Bouira

**I.8) Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'étudier les conditions naturelles de notre zone de projet, en présentant la wilaya de Bouira ainsi que le périmètre à irriguer d'El-Asnam de point de vue géographique, morphologique, géologique et hydrographique.

L'analyse des données climatologiques nous a permis d'attribuer à la région étudiée un climat semi-aride, caractérisé par une saison sèche, qui s'étend du mois de Mai au mois de Septembre. Et une saison froide, tempérée qui s'étend du mois d'Octobre au mois d'Avril. La température moyenne est d'environ 17.42°C.

Une pluviométrie annuelle de 356,7mm ; donc il est indispensable d'introduire une irrigation pour un développement des cultures agricoles.

## Chapitre II: Ressources en sol et ressources en eau

### II.1) Introduction :

Le sol forme la couche supérieure molle à la surface de la terre, dans laquelle poussent les plantes. Il est constitué de particules minérales et de particules organiques.

### II.2) Etude pédologique :

#### II.2.1) But de l'étude pédologique :

L'étude pédologique a pour but d'étudier la pédogenèse, c'est-à-dire la formation et l'évolution des sols.

La pédologie examine les constitutions de la terre (minéraux, structure, porosité), leurs propriétés physiques (transfert de l'eau et de l'air), leurs propriétés chimiques (rétention des ions, PH) et leurs propriétés biologiques (activité des microorganismes). Elle porte des diagnostics sur les types de sol (classification) et sur leur dynamique.

#### II.2.2) Ressources en sol :

L'analyse des ressources en sol, a pour but de définir les sols destinés aux cultures, ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques pour assurer un bon développement végétatif des cultures.

##### II.2.2.1) Classification des sols :

Le type du sol :

- ✓ Les sols fersiallitiques

##### II.2.2.2) Description morphologique des profils :

###### *Profil n°1:*

###### a)- Données générales :

- Géomorphologie : plateau El-Asnam.
- Pente : 00 – 03 %.
- Occupation actuelle : verger d'olivier nouvellement crée.
- Aspect de surface : charge caillouteuse environ 10 % (cailloux de gré).
- Lieu dit : El berdi.
- Coordonnées : X=03° 58' 53.8'' Y=36° 18' 47.5''

###### b)- Classification :

- Classe : sol à sesquioxyde de fer / classe : sols rouges formés sous un climat de type méditerranéen.
- Groupe : sols rouges non lessivés / groupe : modal.

**c)- Description macro morphologique:**

**H1: 0 – 30 cm :** frais, horizon labouré de couleur 2.5YR4/6 (red) texture limono argileuse à équilibrée (limono argilo sableuse), structure motteuse puis grumeleuse fine, charge caillouteuse de grés environ 02%, présence de nombreuses racines fines ramifiées, matière organique décelable, bonne activité biologique, poreux et friable, effervescence nulle à Hcl, transition peu nette.

**H2 :30 - 50 cm:** frais, couleur 2.5YR4/8 (red) texture limono argileuse, structure polyédrique moyenne, pas de charge caillouteuse, faible enracinement, matière organique peu décelable, moyenne activité biologique, poreux et friable, effervescence nulle à Hcl, transition nette.

**H3 : 50-90 cm :** frais, couleur 5YR 4/6 (yellowishred) texture limono argileuse, structure polyédrique grossière, pas de charge caillouteuse, pas de racines, matière organique apparemment non décelable, activité biologique nulle, poreux, peu compacte, effervescence nulle à Hcl, transition nette.

**II.2.3) Analyse physico-chimique des sols**

L'analyse physico-chimique réalisée en laboratoire nous a permis de mieux apprécier les propriétés en texture et hydrodynamique particulières de notre sol. Ces analyses de profil moyen sont résumées dans le tableau suivant:

**Tableau II.1:** Résultats des analyses des échantillons de sol du profil 1.**(Source B.N.E.D.E.R)**

| Coordonnées                    |                         | X = 588124.33 |       | Y = 4019199.028 |
|--------------------------------|-------------------------|---------------|-------|-----------------|
| Code laboratoire numéro        |                         | 95            | 96    | 97              |
| Horizons                       |                         | H1            | H2    | H3              |
| Profondeurs (cm)               |                         | 00-30         | 30-50 | 50-90           |
| <b>Granulométrie</b>           | Argile %                | 35.70         | 36.60 | 37.80           |
| <b>Granulométrie</b><br>(en %) | Limons<br>fin %         | 29.50         | 30.00 | 29.40           |
| <b>Granulométrie</b><br>(en %) | Limons<br>grossier<br>% | 16.20         | 16.20 | 20.80           |
| <b>Granulométrie</b><br>(en %) | Sables<br>fins %        | 7.20          | 6.80  | 4.60            |
| <b>Granulométrie</b><br>(en %) | Sables<br>grossiers     | 10.40         | 10.40 | 6.40            |

|                          |                                | % |       |       |       |
|--------------------------|--------------------------------|---|-------|-------|-------|
| <b>Reserve minérales</b> | Caco <sub>3</sub> Total (en %) |   | 0.75  | 0.75  | 1.13  |
|                          | Caco <sub>3</sub> actif (en %) |   | -     | -     | -     |
|                          | CEC (en méq /100 g)            |   | 20.62 | 20.64 | 20.65 |
| <b>Solution du sol</b>   | PH (au 1/5)                    |   | 8.39  | 8.73  | 8.85  |
|                          | CE mmhos/cm. (1/5)             |   | 0.22  | 0.13  | 0.15  |
| <b>Matière organique</b> | Carbone C %                    |   | 0.96  | 0.52  | 0.73  |
|                          | Matière organique<br>MO %      |   | 1.65  | 0.89  | 1.26  |
|                          | Azote N ‰                      |   | 0,71  | 0,58  | 0,60  |

Source B.N.E.D.E.

**Interprétation:**

Le sol est de texture argilo-limoneuse, avec une bonne teneur en matière organique.

**II.2.4) Caractéristiques hydrodynamiques des sols :**

Pour une meilleure utilisation de l'irrigation, il est nécessaire de connaître les propriétés hydrodynamiques des sols, qui sont essentielles pour le calcul des doses d'irrigation.

Les paramètres hydrodynamiques, qui interviennent entre autres dans le calcul de la dose d'irrigation, sont résumés dans le tableau II.2:

**Tableau II.2:** Propriétés hydrodynamiques des sols.

| Texture                           | limono-Argileux |
|-----------------------------------|-----------------|
| Capacité au champ (%)             | 26 %            |
| Point de flétrissement (%)        | 17 %            |
| Vitesse de perméabilité<br>(mm/h) | 10 mm/h         |

**II.2.5) Détermination des aptitudes culturales des sols :**

L'adéquation des sols à la culture est un concept important en agriculture, c'est la capacité du sol à répondre aux besoins physiques, chimiques et biologiques nécessaires pour la croissance des plantes, pour leur productivité, leur reproduction et leur qualité de manière appropriée le type de plante, le type de sol et les conditions climatiques.

Dans le cas de notre périmètre d'étude, nous avons:

**a) Arboriculture :**

En général, les sols ont de bonnes aptitudes pour les arbres : pommier, prunier, pêcher, olivier, figuier, et amandier (arboricultures à noyau).

**b) Cultures industrielles :**

Les Cultures industrielles peuvent être introduites dans le périmètre étudié.

**c) Cultures céréalières et fourragères :**

- ✓ Bonne aptitude pour le blé tendre, le sorgho, le tourne.
- ✓ Aptitude médiocre pour la luzerne.

**d) Cultures maraichères :**

- ✓ Bonne aptitude pour les cultures maraichères adaptées aux textures fines telle que: artichauts, laitue, choux, tomates.
- ✓ Bonne aptitude pour les cultures maraichères adaptées aux textures grossières telles que : pommes de terre, carottes, navets.

**II.3) Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de classifier le sol de la région d'El Asnam et de caractériser la pédologie du sol. Les analyses physico-chimiques et texturales ont révélé des propriétés hydrodynamiques bonnes à l'irrigation.

La mise en œuvre d'une irrigation moderne et rationnelle va permettre un développement agricole et économique important pour la région.

**II.4) Ressources en eau :**

Avant d'entamer une étude d'un projet, il faut d'abord localiser et quantifier les ressources en eau nécessaire à l'irrigation. Ainsi que l'estimation des besoins en eau des cultures.

**II.4.1) Les ressources en eau superficielles**

Généralement l'eau pour les besoins agricoles est exploitée superficiellement dans cette région à cause de disponibilité des barrages au bord de périmètre d'étude.

**II.4.2) Barrage de Tilesdit**

Le barrage de Tilesdit est situé sur l'oued El-Dhous dans la commune de Bechloul à environ 4,7 km au nord-est du chef-lieu de la wilaya de Bouira, il a été mis en eau à partir de l'an 2003.

Le barrage de Tilesdit est dimensionné pour la régularisation des apports de l'Oued Edhous ainsi que ; pour le transfert des apports de deux affluents le rejoignant sur la rive gauche, à l'aval du site de Tilesdit.

Le barrage de TILES DIT est prévu pour une capacité de 167 Hm<sup>3</sup> ; cette dernière a fortement diminué par rapport au problème d'érosion, les eaux de ce barrage sont affectées comme suit :

- AEP: ville de Bouira et communes limitrophes: 20, 23 Hm<sup>3</sup>/an;
- AEP: de la daïra de Mansoura de la wilaya de Bordj-Bou-Argeridj;
- AEI: zone industrielle de Sidi Khaled: 1, 15 Hm<sup>3</sup>/an;

Irrigation:

- Plateau d'El-Asnam (2 200 ha): 12 Hm<sup>3</sup>/an;
- Vallée du Sahel (3 400 ha) : 27,2 Hm<sup>3</sup>/an :(périmètre de M'chedallah).

### **b) Caractéristiques générales du barrage**

Le barrage de Tilesdit appartient au bassin versant de la Soummam, caractérisé par :

- Coordonnées de l'Ambert (Km) : X=626.17 ; Y=340,02 ;
- Surface de bassin versant d'Eddous: 843 Km<sup>2</sup> ;
- Surface du lac au NRN : 810ha ;
- Précipitations moyennes : 655 mm/an ;
- Apports solides : 698 000 T/an ;
- Apports moyens annuels : 83 Hm<sup>3</sup> ;
- Volume annuel régularisé par la retenue avec les apports d'Eddous seul : 65m<sup>3</sup> ;
- Volume annuel régularisé avec le transfert des apports des Oueds Berd et Barbar 77Hm<sup>3</sup>.

Il est constitué par une digue en terre avec noyau argileux, d'une longueur en crête de 452 m et de 65 m de hauteur au-dessus du lit de l'oued, une largeur de base de 256 m et un volume de remblais de 3 360 000 m<sup>3</sup>, à la côte 399,00 m NGA

Le barrage de Tilesdit crée une retenue de caractéristiques suivantes :

- Niveau de la retenue normale: 454,30m NGA;
- Niveau des plus hautes eaux: 458,90m NGA
- Cote du couronnement du barrage: 460,80 m NGA;
- Cote d'eau morte: 424 ,50mNGA ;
- Niveau maximal à l'aval du barrage : 430,90mNGA ;
- Volume utile de la retenue : 167,2 Hm<sup>3</sup> ;
- Capacité utile : 147 Hm<sup>3</sup> ;
- Crue du projet : 525 m<sup>3</sup>/s ;

- Station de pompage et un réservoir de régulation : l'adduction de l'eau au périmètre situé à l'amont de la retenue est effectuée par:
- Un tronçon de diamètre 900 mm et d'un débit de 1000 l/s reliant la station de pompage de TILEDIT située au pied du barrage, avec le réservoir de régulation du plateau d'EL ASNAM situé à une côte de 575 m NGA.

#### II.4.3) Etude de la qualité de l'eau d'irrigation :

Avant tout projet d'aménagement agricole, il est important de vérifier la qualité de l'eau d'irrigation qui permet de préserver le sol et le bon développement des cultures.

Les caractéristiques physico-chimiques représentant les résultats de l'analyse chimique, en laboratoire de l'ANRH, de l'eau brute du Barrage de Tiledit sont montées dans le tableau suivant :

**Tableau II.3:**Caractéristiques chimique de l'eau d'irrigation. (ANRH)

| Paramètres                    | Valeurs moyennes |
|-------------------------------|------------------|
| Conductivité en mmhos /<br>cm | 0.533            |
| Ca++ en (mg/l)                | 19               |
| CL- en (mg/l)                 | 68               |
| Na+ en (mg/l)                 | 59               |
| Mg++ en (mg/l)                | 25               |
| K+ en (mg/l)                  | 4                |
| SO4 <sup>2-</sup> en (mg/l)   | 65               |
| T (°C)                        | 25               |
| PH                            | 8.3              |
| NO3- en mg/l                  | 11               |
| HCO3 (mg/l)                   | 116              |

#### II.4.4) Classification des eaux pour l'irrigation :

Pour remédier aux risques de limitation de développement des végétaux ainsi qu'à la dégradation du sol, il convient de bien connaître la qualité de l'eau destinée à l'irrigation.

Il faut étudier deux principaux éléments :

- La Conductivité électrique.
- Le SAR (SODIUM ABSORPTION RATION).

**II.4.4.1) La Conductivité électrique :**

La conductivité électrique de l'eau représente sa capacité à laisser les charges électriques se déplacer librement. Cette caractéristique dépend de la quantité d'ions présents en solution, donc du degré déminéralisation globale de l'eau. Ici exprimée en mmhos / cm.

**Tableau II.4:** Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.

| Classe | Conductivité électrique CE<br>(mmhos/cm) | Qualité des eaux              | Cultures  |
|--------|--|-------------------------------|---|
| C1     | $CE \geq 0.25$                           | Risque faible de salinité     | Pour toutes les cultures  |
| C2     | $0.25 \leq CE \leq 0.75$                 | Risque moyen de salinité      | pour les plantes moyennement tolérantes.                          |
| C3     | $0.75 \leq CE \leq 2.25$                 | Risque élevé de salinité      | ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes. |
| C4     | $CE > 2.25$                              | Risque très élevé de salinité | Eau difficilement utilisable                                      |

**II.4.4.2) Le SAR (Taux d'absorption du Sodium):**

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

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

$$SAR = 12.6$$

Quatre classes de danger d'alcalinisation ont été définies.

**Tableau II.5:** Risque d'alcalinisation en fonction du SAR

| Classe | SAR                | Danger d'alcalinisation |
|--------|--------------------|-------------------------|
| S1     | $SAR \leq 10$      | Risque faible           |
| S2     | $10 < SAR \leq 18$ | Risque moyen            |
| S3     | $18 < SAR \leq 26$ | Risque élevé            |
| S4     | $SAR > 26$         | Risque très élevé       |

Pour déterminer la classe des eaux d'irrigation de notre barrage on se base sur le diagramme de Riverside, d'après l'US Salinity Laboratory Staff (1954).

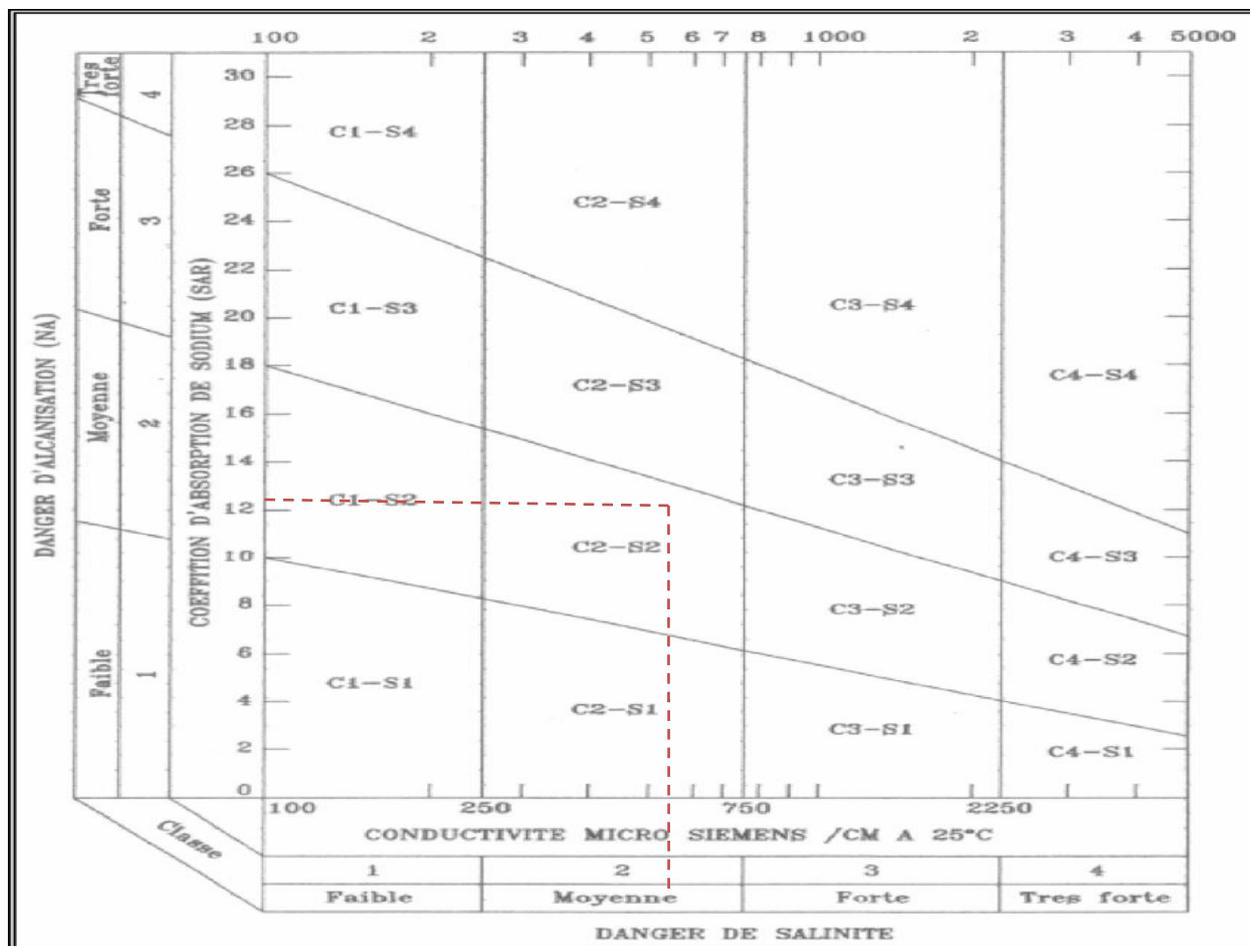


Figure II.1: Diagramme de classification des eaux d'irrigation

On a :  $CE = 0.533$  mmhos/ cm et  $SAR = 12.6$

Et d'après le Diagramme de classification des eaux d'irrigation (**Figure II.1**) on peut déduire que notre eau est caractérisée par une salinité moyenne avec un risque d'alcalinité moyen et qu'elle est classée (C2-S2).

#### II.4.5) Étude Hydrologique :

L'hydrologie est la science qui étudie la phase du cycle d'eau de la nature, donc c'est une étude primordiale en irrigation. Cette étude nous permet de déterminer l'année de calcul à partir de l'analyse fréquentielle de la pluviométrie. De ce fait, l'analyse hydrologique se base sur l'exploitation des données, présentées souvent sous forme de séries statistiques.

**II.4.5.1) Station pluviométrique:**

Les données pluviométriques sont issues de la station localisée d'après les caractéristiques géodésiques du tableau ci-après :

**Tableau II.6:** caractéristique principales de la station pluviométrique (ANRH).

| Nom de la station | Code   | coordonnées |       | Altitude | Nombre d'années d'observer |
|-------------------|--------|-------------|-------|----------|----------------------------|
|                   |        | X(m)        | Y(m)  |          |                            |
| CRETE ROUGE       | 150115 | 628.1       | 335.5 | 340.05   | 31                         |

**Tableau II.7:** Caractéristiques de la série pluviométrique.

|                  |       |
|------------------|-------|
| Moyenne          | 356,7 |
| Ecart type       | 102   |
| Cv               | 0.268 |
| p <sub>min</sub> | 184   |
| p <sub>max</sub> | 643.9 |

**II.4.6.1) Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique :**

Avant de déterminer les différentes caractéristiques des précipitations une vérification d'homogénéité de la série pluviométrique est nécessaire et pour cela on procède au Test de Mood, cette méthode repose sur le procédé suivant :

- Soit un échantillon  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Déterminons sa médiane  $M$  après avoir classé l'échantillon par ordre croissant.
- La médiane  $M$  est une constante de telle sorte que 50% de  $X_i$  soient inférieures et 50% des  $X_i$  lui soient supérieures.

Remplaçons donc la série des valeurs non classées par une suite de signe

- + Pour le  $x_i > M$
- Pour le  $x_i < M$

- Calculons les quantités  $N_s$  et  $T_s$  avec :

$N_s$  : nombre totale de séries de (+) ou de (-).

$T_s$  : taille de la plus grande série de (+) ou de (-).

Les conditions du test sont les suivantes :  $\frac{1}{2}(N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) < N_s < \frac{1}{2}(N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1})$

$$T_s < 3.3(\log_{10}N + 1)$$

Dans le cas de notre série :

**Tableau II.8 : résultat du test Mood**

| Pmoy (mm) : | Signe : |
|-------------|---------|
| 418,5       | +       |
| 479,5       | +       |
| 322,9       | -       |
| 493,9       | +       |
| 345         | -       |
| 362,8       | -       |
| 367.9       | -       |
| 227,3       | -       |
| 281,3       | -       |
| 460         | +       |
| 370,5       | -       |
| 226,3       | -       |
| 512,8       | +       |
| 251.5       | -       |
| 184         | -       |
| 355.6       | -       |
| 191,8       | -       |
| 643.9       | +       |
| 373.6       | +       |
| 427,6       | +       |
| 357.5       | -       |
| 445.2       | +       |
| 379.6       | +       |
| 449.9       | +       |
| 454.3       | +       |
| 423.5       | +       |
| 330.8       | -       |
| 506.5       | +       |
| 449.5       | +       |
| 404         | +       |
| 363.8       | -       |

- Avec :

$$\frac{1}{2}(N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) = 10.22 \cdot \frac{1}{2}(N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) = 20.78.$$

$N_s = 16$

Donc :  $10.22 < N_s = 16 < 20.78$

- Et d'autre part :

$$3.3(\log_{10} N + 1) = 8.17 \quad \text{et } T_s = 5$$

$$T_s = 5 < 3.3(\log_{10} N + 1) = 8.17$$

D'après les calculs, on voit que les conditions de Mood sont vérifiées, donc la série des précipitations moyenne annuelle de la station de la crête rouge est homogène.

#### II.4.6.2) Ajustement statistique des pluies :

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

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

#### ***Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale***

Le procédé de calcul consiste à :

- Classer les valeurs des précipitations annuelles par ordre décroissant.
- Classer les fréquences des valeurs observées par la formule:

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N}$$

Avec :  $n$  : Numéro d'ordre.

$N$  : Nombre d'années observées.

- On doit calculer :

$$\text{La moyenne arithmétique : } \bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$$

$$\text{L'écart type: } \delta = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \text{ Pour } n \geq 30.$$

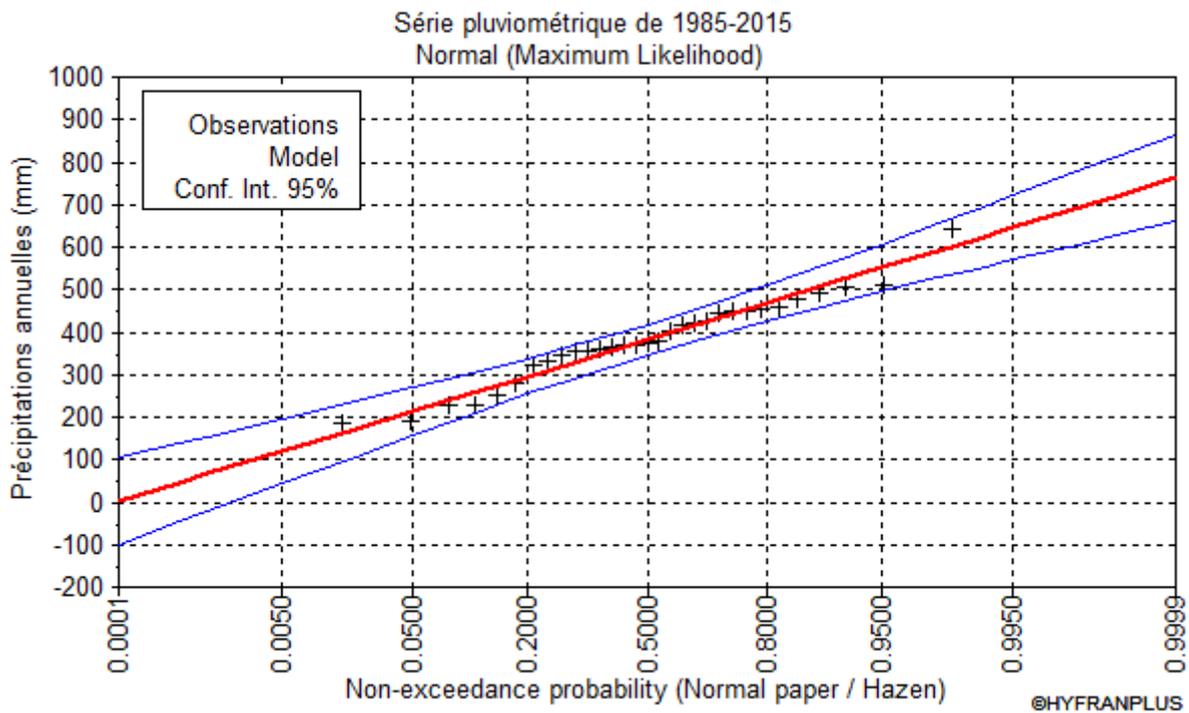
$$\text{La variable réduite de Gauss : } U = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

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

Pour la mise en œuvre des calculs, nous avons utilisé le logiciel HYFRAN.

**Tableau II.9 :** Résultat de l’ajustement a la loi Normale

| T      | Q      | Xt  | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |
|--------|--------|-----|------------|-------------------------------|
| 5.0    | 0.8000 | 468 | 21.5       | 426-511                       |
| 2.0    | 0.5000 | 382 | 18.4       | 346-418                       |
| 1.2500 | 0.2000 | 296 | 21.5       | 254 -338                      |



**Figure II.2:** Ajustement des pluies annuelles à la loi Normale

**Ajustement des pluies annuelles loi log normale (Galton) :**

On dit qu’une variable aléatoire X a une distribution log normal lorsque  $y = \ln x$  est normal. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variable. Sa fonction de répartition est donnée par :

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

Avec la valeur réduite u est donnée par  $u = \frac{\ln x - \bar{\ln x}}{\sigma(\ln x)}$

L’équation de la valeur réduite présente sous forme de  $\ln x = \bar{\ln x} - u\sigma(\ln x)$  est l’équation d’une droite sur un papier Gausso-logarithmique en abscisse l’échelle gaussienne et en ordonnée l’échelle logarithmique.

Procédé de l'ajustement :

- Classement des valeurs par ordre croissant.
- Calcul de la fréquence expérimentale.
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale.
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série transformée en logarithmique  $\overline{\ln x}$  et  $\sigma(\ln x)$ .
- Détermination de la droite de Galton  $\ln x_{p(\%)} = \overline{\ln x} + u\sigma(\ln x)$ .

Avec :

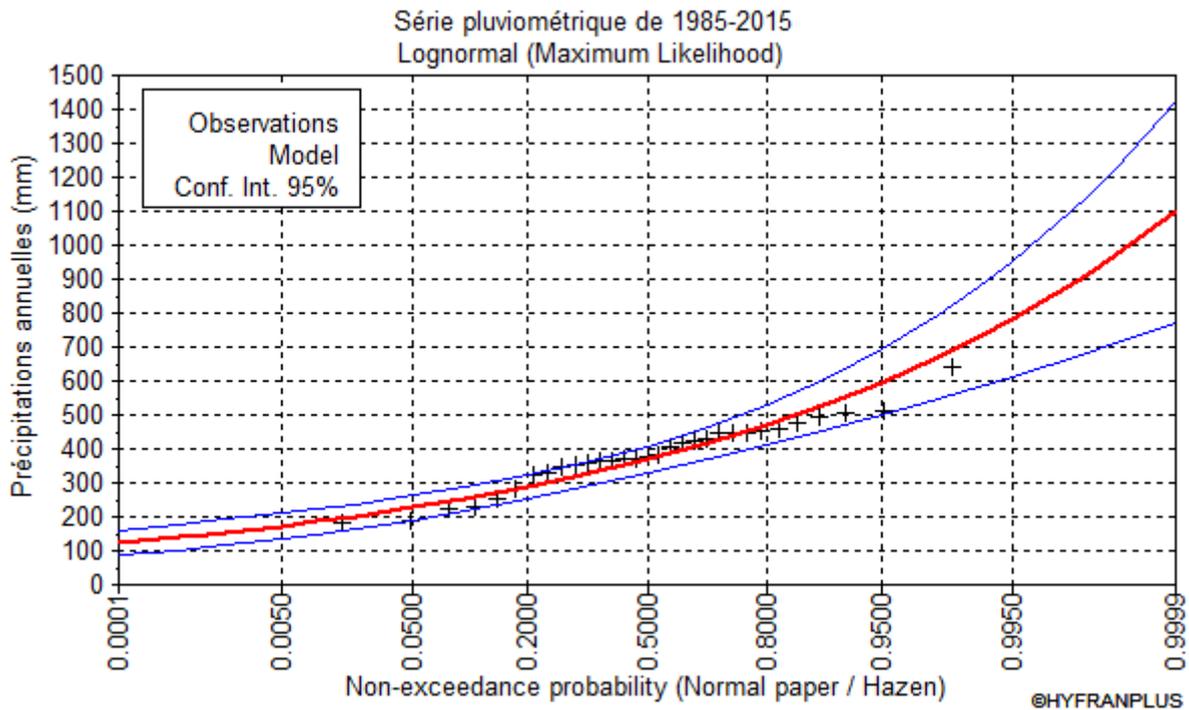
- ✓  $x_{p\%}$  précipitation probable à  $p\%$ .
- ✓  $\overline{\ln x}$  moyenne arithmétique du log des précipitations observées.
- ✓  $\sigma(\ln x)$  la variance calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique, sa formule s'écrit comme suit :

$$\delta \ln x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} [\ln(X_i - \overline{\ln(x)})]^2} \quad \text{si } n < 30$$

$$\delta \ln x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} [\ln(X_i - \overline{\ln(x)})]^2} \quad \text{si } n \geq 30$$

**Tableau II.10** : Résultat de l'ajustement à la loi log normale.

| T      | Q      | X <sub>t</sub> | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |
|--------|--------|----------------|------------|-------------------------------|
| 5.0    | 0.8000 | 471            | 29.1       | 414- 528                      |
| 2.0    | 0.5000 | 368            | 19.4       | 330- 406                      |
| 1.2500 | 0.2000 | 287            | 17.7       | 252- 322                      |



**Figure II.3:** Ajustement des pluies annuelles à la loi de log Normale

#### II.4.6.3) Test de validité de l'ajustement :

L'ajustement obtenu par voie du logiciel HYFRAN représente un calcul correct sans erreurs. Les lois d'ajustement sont comparées suivant le test de validité de Khi carré  $\chi^2$ .

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

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

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

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

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

$n_i$  : nombre d'observations contenues dans la classe i.

$v_i$  : nombre d'observations théoriques calculées dans la classe i.

$$\gamma = k - 1 - m$$

Avec : k : nombre de classes.

$\gamma$  : degré de liberté.

m : nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition.

**Tableau II.11:** test de validité des deux ajustements

|   |   |
|---|---|
| Loi normale                               | Loi log normale                           |
| $\chi^2$ calculé =1.94                    | $\chi^2$ calculé =2.36                    |
| Probabilité p ( $\chi^2$ calculée) =0.725 | Probabilité p ( $\chi^2$ calculée) =0.216 |

**Conclusion :**

Les Figure II.2 et Figure II.3 montrent, d'après le test de Khi carré, que la loi de GAUSS présente une adéquation meilleure.

**II.4.7) Détermination de l'année de calcul :**

La détermination de l'année de calcul a pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante ; elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%).

Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante:

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

D'après le tableau d'ajustement a la loi normale :

**Tableau II.12:** résultats théoriques de l'année de calcul

| T    | Q   | Xt  | Ecartype | Intervalle de confiance |
|------|-----|-----|----------|-------------------------|
| 2    | 0.5 | 382 | 18.4     | 346-418                 |
| 1.25 | 0.2 | 296 | 21.5     | 254-338                 |

Donc :

$$P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}=296$$

$$P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}=382$$

$$P_{\text{moy 80\%}} = \frac{296}{382} \times P_{\text{moy de chaque mois}} = 0.77 \times P_{\text{moy de chaque mois}}$$

D'où l'année de précipitation de probabilité à fréquence de 80% est répartie comme suit :

**Tableau II.13:** Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche ( $f_{\text{req}}= 80\%$ ).

| Mois                              | Sept  | oct.  | nov.  | Déc.  | janv. | fév.  | mars  | avril | mai   | Juin | Juil. | Aout |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| $P_{\text{moy}}$<br>(mm/mois)     | 35,2  | 27,4  | 44,3  | 56,4  | 52,9  | 39,5  | 41,8  | 39,9  | 28,4  | 6,5  | 2,3   | 7,2  |
| $P_{\text{moy80\%}}$<br>(mm/mois) | 27,10 | 21,10 | 34,11 | 43,43 | 40,73 | 30,42 | 32,19 | 30,72 | 21,87 | 5,01 | 1,77  | 5,54 |

**II.5) Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons étudié la problématique des ressources en eau au terme de source et qualité d'eau de la zone du projet.

Quant à l'ajustement des séries des pluies moyennes annuelles, le test de Khi carré a montré un meilleur ajustement avec la loi normale. A partir de cette loi, nous avons déterminé les pluies mensuelles de l'année de calcul qui seront la base de dimensionnement de notre périmètre d'irrigation.

## Chapitre III : Besoins en eau des cultures

### III.1) Introduction :

Dans le présent chapitre, nous quantifions le volume total des besoins en eau des cultures, en tenant compte des conditions climatiques, pédologiques, de la qualité de l'eau d'irrigation et du système d'irrigation. Ces informations ont été définies dans les chapitres précédents.

### III.2) Besoin en eau du périmètre :

Les besoins en eau sont définis comme étant le volume qu'on doit apporter par irrigation pour compléter la quantité apporté par la pluviométrie.

Avant de déterminer les besoins en eau des cultures, il est nécessaire de connaître certains paramètres concernant les plantes, ainsi que les données climatiques et pédologiques de la région.

#### III.2.1) Calcul des besoins en eau :

Afin d'évaluer les besoins en eau du périmètre, il est indispensable de déterminer les besoins en eau de chaque culture, pour cela on doit d'abord déterminer l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET<sub>0</sub>).

Le déficit agricole représentant les besoins en eau des plantes est déterminé en effectuant le bilan hydrique suivant :

$$B_i = ETM - (P_{\text{eff}} + RFU).$$

Où :

- **ETM**: est la valeur réelle de l'évapotranspiration en mm ( $ETM = ET_0 * k_c$ )
- **K<sub>c</sub>** : le coefficient culturel de la culture considérée.
- **P<sub>eff</sub>** : est la pluie efficace.
- **RFU** : réserve facilement utilisable La réserve utile.

#### III.2.2) L'évapotranspiration référence:(ET<sub>0</sub> ou ET<sub>P</sub>)

L'évapotranspiration de référence est l'évapotranspiration maximale 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).

#### III.2.3) Calcul de L'évapotranspiration de référence :

Il existe plusieurs méthodes Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence, ces méthodes sont réparties en deux classes :

- Les méthodes directes.
- Les méthodes indirectes.

**III.2.3.1) Les méthodes directes :**

Dans cette catégorie, nous distinguons :

- La cuve lysimétrique.
- Le bac évaporant.

**III.2.3.2) Les méthodes indirectes :**

Ces méthodes permettent de calcul l'ET<sub>0</sub> à partir de formules basées sur des paramètres climatiques qu'on appelle "formules empiriques" dont les principales sont :

- Priestley- Taylor
- Makkink - Turc
- Hargreaves
- Blaney – Cridle
- Thornthwaite
- Penman et Monteith modifiée.

Dans notre cas, nous optons pour la méthode la plus utilisée, depuis 1948, qui est celle de Penman\_ Monteith Modifiée

**-Formule Modifiée de Penman\_Monteith**

en 1948, Penman et monteith ont combiné un bilan énergétique en utilisant une méthode de transfert de masse, pour le calcul de l'évapotranspiration d'une surface libre d'eau à partir des enregistrements climatologiques de l'ensoleillement, de la température, de l'humidité et de la vitesse du vent.

La formule de Panman-Monteith modifiée est recommandée par l'organisation mondiale de l'alimentation et l'agriculture(FAO), elle donnée par :

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Avec:

ET<sub>0</sub> : évapotranspiration de référence [mm. jour-1],

R<sub>n</sub> : rayonnement net à la surface de la culture [MJ .m-2. jour-1],

G : densité de flux de chaleur dans le sol [MJ. m-2 .jour-1],

T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]

u<sub>2</sub> : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m. s-1],

e<sub>s</sub> : pression de vapeur saturante [kPa],

e<sub>a</sub> : pression de vapeur réelle [kPa],

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> : déficit de pression de vapeur saturante [kPa],

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C-1],

$g$  : constante psychrométrique [kPa °C<sup>-1</sup>].

Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence, nous utilisons le logiciel CROPWAT, fondé sur la méthode de Mr Penman et Monteith.

Nous introduisons les données mensuelles de la station météorologique de Bouhamama:

- Température : Les températures minimales et maximales mensuelles.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation.
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en m/s.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence  $ET_0$  calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 selon la formule de Penman&Monteith, modifiée sont récapitulés dans le tableau ci-après

**Tableau III.1** : Evapotranspiration de référence  $ET_0$  calculée par le logiciel COPWAT.

| Pays : Algérie   |                | station climatique : |                           |               |                  |                                     |                              |
|------------------|----------------|----------------------|---------------------------|---------------|------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| la crête rouge   |                |                      |                           |               |                  |                                     |                              |
| Altitude : 340 m |                | coordonnées :        |                           |               |                  |                                     |                              |
| latitude 36.20°N |                | longitude : 10°E     |                           |               |                  |                                     |                              |
| Mois             | Temp<br>min °C | Temp<br>max °C       | Humidité<br>relative<br>% | Vent<br>(m/s) | Insol<br>(heurs) | Radiation<br>(mj/m <sup>2</sup> /j) | ET <sub>0</sub><br>(mm/mois) |
| Jan              | 1.5            | 16.8                 | 84                        | 2.2           | 3.0              | 7.0                                 | 47.65                        |
| Fév.             | 5.0            | 17.0                 | 82                        | 3.0           | 5.0              | 10.8                                | 55.51                        |
| Mar              | 6.0            | 18.6                 | 74                        | 3.0           | 5.5              | 14.0                                | 87.19                        |
| Avr              | 8.7            | 20.7                 | 71                        | 2.5           | 5.3              | 16.1                                | 100.42                       |
| Mai              | 11.0           | 25.5                 | 68                        | 2.7           | 4.3              | 16.1                                | 130.86                       |
| Jui              | 15.6           | 32.0                 | 56                        | 2.4           | 6.8              | 20.2                                | 175.35                       |
| Jul              | 17.0           | 35.5                 | 51                        | 2.4           | 9.4              | 23.6                                | 214.08                       |
| Aou              | 18.4           | 39.0                 | 54                        | 2.3           | 9.3              | 22.3                                | 214.36                       |
| Sep              | 15.5           | 31.0                 | 66                        | 2.3           | 5.3              | 14.6                                | 128.43                       |
| Oct.             | 12.5           | 25.5                 | 71                        | 2.0           | 4.8              | 11.4                                | 86.79                        |
| Nov.             | 8.0            | 21.0                 | 73                        | 2.1           | 1.4              | 5.9                                 | 57.95                        |
| Déc.             | 6.0            | 16.0                 | 84                        | 1.6           | 2.5              | 6.1                                 | 33.22                        |
| Année            | <b>10.4</b>    | <b>24.9</b>          | <b>70</b>                 | <b>2.4</b>    | <b>5.2</b>       | <b>14.0</b>                         | <b>1331.80</b>               |

### III.3) Calcul de la pluie efficace :

C'est la fraction des pluies totales réellement utilisée par la culture, elle dépend des caractéristiques du sol, et de l'intensité des pluies.

Plusieurs méthodes permettent le calcul de ces pluies, nous retenons la méthode de pourcentage détaillée comme suit :

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

Avec :

A : coefficient estimé à 0,8. Les pluies efficaces sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.2:** Calcul des pluies efficaces.

| Mois                          | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   | Jan   | Fev   | Mars  | Avr   | Mai   | Juin | Juill | Aout |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| <b>P<sub>moy</sub>80%(mm)</b> | 27,10 | 21,10 | 34,11 | 43,43 | 40,73 | 30,42 | 32,19 | 30,72 | 21,87 | 5,01 | 1,77  | 5,54 |
| <b>P<sub>eff</sub></b>        | 21,68 | 16,88 | 27,29 | 34,74 | 32,59 | 24,33 | 25,75 | 24,58 | 17,49 | 4,0  | 1,42  | 4,43 |

### III.4) Calcul de la réserve en eau du sol :

La RFU correspond à la part de la réserve utile (RU) qu'une plante peut extraire sans réduire sa transpiration ou limiter sa croissance, elle représente en général de (1/3) ou (2/3) de la RU selon la profondeur du sol et le type de cultures.

Tel que :

$$\text{RFU} = (\text{hcc} - \text{hpf}) \cdot Y \cdot \text{Da} \cdot Z$$

Avec : **hcc** : humidité à la capacité au champ

**hpf** : humidité au point de flétrissement

**Z** : profondeur racinaire

**Y** : coefficient qui dépend de la nature du sol

**Da** : densité apparente du sol

### III .5) Choix des cultures

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

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

#### III.5.1) Occupation des sols

Il faut définir l'occupation et la répartition culturale dans le périmètre, en tenant compte des différentes contraintes d'ordre climatique, social, Agro pédologique.

Les scénarios d'occupation des sols retenus pour le projet sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau III .3:** Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre

| Scénario | Céréales (%) | Maraichage(%) | Arboriculture (%) | Total % |
|----------|--------------|---------------|-------------------|---------|
| 1        | 34.68        | 52.02         | 13.3              | 100     |

### III.5.2) Cultures proposées :

Le tableau ci dessous présente quelques systèmes de culture

**Tableau III.4 :** Système de cultures proposées

| Céréaliculture | Cultures maraichères | Cultures arboricoles à pépins |
|----------------|----------------------|-------------------------------|
| Blé            | Haricot              | Olivier                       |
| Orge           | Choux                | Agrumes                       |
|                | Carotte              | Figuier                       |
|                | Poivron              |                               |
|                | Ail - tomate         |                               |

### III .5.3) Assolements et rotation des cultures :

Pour mieux préserver les ressources du sol, nous avons pris en considération un assolement de cultures maraichères/céréalières.

La répartition des cultures maraichères dans le périmètre est détaillée comme suit :

**Tableau III 5:** les superficies des différentes occupations de la zone d'étude

| Assolement 1 | Assolement 2 |
|--------------|--------------|
| Blé          | Orge         |
| Choux        | Poivron      |
| Ail          | Haricot      |
| Carotte      |              |
| Agrumes      | Agrumes      |
| Olivier      | Olivier      |
| Figuier      | Figuier      |

### III.6) Estimation des coefficients culturaux (Kc) :

Les valeurs du coefficient cultural ( $K_c$ ) de chaque culture ont été ressorties selon les valeurs établies par Doorenbos (FAO, 2003), en fonction du stade végétatif de la plante, et du climat considéré : ils sont représentés dans le tableau III.

**Tableau III.6 : Coefficients culturaux des cultures.**

| Culture | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Jan  | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Aout |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blé     |      | 0,25 | 0.4  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 0.75 | 0.7  | 0.5  |      |      |
| Orge    |      |      | 0.65 | 0.75 | 0.9  | 1.05 | 1.15 | 1.01 | 1    | 0.7  |      |      |
| Ail     |      | 0.55 | 0.7  | 0.9  | 0.95 | 0.75 | 0.6  |      |      |      |      |      |
| Poivron |      |      |      |      |      |      |      | 0.5  | 0.8  | 0.95 | 0.75 |      |
| Haricot | 0.9  | 0.8  |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.6  | 0.85 |
| Carotte | 0.45 | 0.7  | 0.9  | 0.85 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Choux   | 0.7  | 0.9  | 0.8  |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.5  |
| Agrumes | 0.75 | 0.75 | 0.65 | 0.65 | 0.55 | 0.55 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.7  | 0.7  | 0.75 |
| Olivier | 0.7  | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.65 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| Figuier | 0.7  | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.7  | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.5  | 0.5  |

**III.7) Estimation des besoins en eau des cultures choisit :**

Pour chaque culture on calcule les besoins suivant le stade végétatif :

**III.7.1) Estimation des besoins en eau pour l'assolement 01 :****Tableau III.7 : Calcul des besoins en eau pour le Blé.**

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM    | Bnet   |
|--------------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|--------|--------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 |     | 0      | 0          |      | 0      | 0      |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  | 0,1 | 12,16  | 0          | 0,25 | 21,698 | 4,818  |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  | 0,3 | 36,48  | 6,08       | 0,4  | 23,180 |        |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  | 0,5 | 60,8   | 18,24      | 0,6  | 19,932 |        |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  | 0,6 | 72,96  | 30,4       | 0,7  | 33,355 |        |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  | 0,6 | 72,96  | 36,48      | 0,8  | 44,408 |        |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  | 0,6 | 72,96  | 36,48      | 0,9  | 78,471 | 16,239 |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 | 0,6 | 72,96  | 36,48      | 0,75 | 75,315 | 14,259 |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 | 0,6 | 72,96  | 0          | 0,7  | 91,602 | 74,106 |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 0,6 | 72,96  | 0          | 0,5  | 87,675 | 83,667 |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 |     | 0      | 0          |      | 0,000  | 0      |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 |     | 0      | 0          |      | 0      | 0      |

**Tableau III.8 : Calcul des besoins en eau pour les choux.**

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z    | RFU th | RFU réelle | Kc  | ETM    | Bnet    |
|--------------|-------|--------|--------|------|--------|------------|-----|--------|---------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 0,2  | 24,3   | 0          | 0,7 | 89,901 | 68,221  |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  |      | 0,0    | 0          | 0,9 | 78,111 | 61,231  |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  |      | 0,0    | 0          | 0,8 | 46,36  | 19,072  |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  |      | 0,0    | 0          |     | 0      |         |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  |      | 0,0    | 0          |     | 0      |         |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  |      | 0,0    | 0          |     | 0      |         |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  |      | 0,0    | 0          |     | 0      |         |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 | 0,05 | 6,1    | 0          |     | 0      |         |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 | 0,07 | 8,5    | 0          |     | 0      |         |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 0,09 | 10,9   | 0          |     | 0      |         |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 | 0,1  | 12,2   | 0          |     | 0      |         |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 | 0,15 | 18,2   | 0          | 0,5 | 107,18 | 102,748 |

**Tableau III.9 : Calcul des besoins en eau pour l'ail.**

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM   | Bnet  |
|--------------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|-------|-------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 |     | 0      | 0          |      | 0     | 0     |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  | 0,2 | 24,32  | 0          | 0,55 | 47,73 | 30,85 |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  | 0,2 | 24,32  | 12,16      | 0,7  | 40,56 | 1,117 |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  | 0,4 | 48,64  | 12,16      | 0,9  | 29,89 | 0     |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  | 0,4 | 48,64  | 48,64      | 0,95 | 45,26 | 0     |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  | 0,4 | 48,64  | 48,64      | 0,75 | 41,63 | 0     |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  | 0,4 | 48,64  | 48,64      | 0,6  | 52,31 | 0     |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 |     | 0      | 16,21      |      | 0     | 0     |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 |     | 0      | 0          |      | 0     | 0     |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 |     | 0      | 0          |      | 0     | 0     |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 |     | 0      | 0          |      | 0     | 0     |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 |     | 0      | 0          |      | 0     | 0     |

**Tableau III.10** : Calcul des besoins en eau pour la carotte.

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ETO    | Z    | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM     | Bnet  |
|--------------|-------|--------|--------|------|--------|------------|------|---------|-------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 0,1  | 12,16  | 0          | 0,45 | 57,7935 | 36,11 |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  | 0,2  | 24,32  | 6,08       | 0,7  | 60,753  | 37,79 |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  | 0,25 | 30,4   | 12,16      | 0,9  | 52,155  | 12,71 |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  | 0,3  | 36,48  | 15,2       | 0,85 | 28,237  | 0     |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  |      | 0      | 18,24      |      | 0       | 0     |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 |      | 0      | 0          |      | 0       | 0     |

**Tableau III.11** : Calcul des besoins en eau pour l'agrumes :

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ETO    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM     | Bnet    |
|--------------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|---------|---------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,75 | 96,3225 | 74,6425 |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,75 | 65,0925 | 0       |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,65 | 37,6675 | 0       |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,65 | 21,593  | 0       |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,55 | 26,2075 | 0       |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,55 | 30,5305 | 0       |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,65 | 56,6735 | 0       |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,65 | 65,273  | 0       |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,65 | 85,059  | 67,563  |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,7  | 122,745 | 118,737 |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,7  | 149,856 | 148,44  |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,75 | 160,77  | 156,338 |

**Tableau III.12** : Calcul des besoins en eau pour l'olivier :

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM     | Bnet   |
|--------------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|---------|--------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,7  | 89,90   | 68,221 |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,55 | 47,75   | 0      |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,55 | 31,87   | 0      |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,55 | 18,271  | 0      |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,55 | 26,2075 | 0      |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,6  | 33,306  | 0      |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,7  | 61,033  | 0      |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 | 1,5 | 182,4  | 91,2       | 0,7  | 70,294  | 0      |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,65 | 85,059  | 67,56  |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,85 | 149,04  | 145,03 |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,85 | 181,96  | 180,55 |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 | 1,5 | 182,4  | 0          | 0,85 | 182,20  | 177,77 |

**Tableau III.13** : Calcul des besoins en eau pour le figuier :

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z    | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM    | Bnet   |
|--------------|-------|--------|--------|------|--------|------------|------|--------|--------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 1,2  | 145,92 | 0          | 0,7  | 89,90  | 68,22  |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  |      | 0      | 72,96      | 0,55 | 47,73  |        |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  |      | 0      | 0          | 0,55 | 31,87  | 4,58   |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  |      | 0      | 0          | 0,55 | 18,27  |        |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  |      | 0      | 0          | 0,55 | 26,21  |        |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  |      | 0      | 0          | 0,7  | 38,86  | 14,52  |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  |      | 0      | 0          | 0,75 | 65,39  | 39,64  |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 |      | 0      | 0          | 0,75 | 75,32  | 50,74  |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 | 0,85 | 103,36 | 0          | 0,75 | 98,15  | 80,65  |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 1,15 | 139,84 | 0          | 0,75 | 131,51 | 127,50 |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 | 1,25 | 152    | 0          | 0,5  | 107,04 | 105,62 |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 | 1,25 | 152    | 0          | 0,5  | 107,18 | 102,75 |

## III.7.2) Estimation des besoins en eau pour l'assolement 02

Tableau III.14 : Calcul des besoins en eau pour l'orge.

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM  | Bnet  |
|--------------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|------|-------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 |     | 0      | 0          |      | 0    | 0     |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  |     | 0      | 0          |      | 0    | 0     |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  | 0,3 | 36,48  | 0          | 0,3  | 17,4 | 0     |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  | 0,3 | 36,48  | 18,24      | 0,4  | 13,3 | 0     |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  | 0,4 | 48,64  | 18,24      | 0,5  | 23,8 | 0     |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  | 0,5 | 60,8   | 24,32      | 0,65 | 36,1 | 0     |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  | 0,6 | 72,96  | 30,4       | 0,85 | 74,1 | 17,96 |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 | 0,6 | 72,96  | 36,48      | 0,75 | 75,3 | 14,26 |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 | 0,7 | 85,12  | 0          | 0,75 | 98,1 | 80,65 |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 0,7 | 85,12  | 0          | 0,5  | 87,7 | 83,67 |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 |     | 0      | 0          |      | 0    | 0     |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 |     | 0      | 0          |      | 0    | 0     |

Tableau III.15 : Calcul des besoins en eau pour le poivron.

| Mois         | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM      | Bnet   |
|--------------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|----------|--------|
| <b>Sep</b>   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 0,8 | 97,28  | 0          |      | 0        |        |
| <b>Oct</b>   | 21,1  | 16,88  | 86,79  | 0,9 | 109,44 | 48,64      |      | 0        |        |
| <b>Nov</b>   | 34,11 | 27,288 | 57,95  |     | 0      | 54,72      |      | 0        |        |
| <b>Dec</b>   | 43,43 | 34,744 | 33,22  |     | 0      | 0          |      | 0        |        |
| <b>Jan</b>   | 40,73 | 32,584 | 47,65  |     | 0      | 0          |      | 0        |        |
| <b>Fev</b>   | 30,42 | 24,336 | 55,51  |     | 0      | 0          |      | 0        |        |
| <b>Mars</b>  | 32,19 | 25,752 | 87,19  |     | 0      | 0          |      | 0        |        |
| <b>Avr</b>   | 30,72 | 24,576 | 100,42 |     | 0      | 0          | 0,5  | 50,21    | 25,63  |
| <b>Mai</b>   | 21,87 | 17,496 | 130,86 |     | 0      | 0          | 0,8  | 104,688  | 87,19  |
| <b>Juin</b>  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 0,4 | 48,64  | 0          | 0,95 | 166,5825 | 162,57 |
| <b>Juill</b> | 1,77  | 1,416  | 214,08 | 0,6 | 72,96  | 0          | 0,75 | 160,56   | 159,14 |
| <b>Aout</b>  | 5,54  | 4,432  | 214,36 | 0,7 | 85,12  | 0          |      | 0        |        |

**Tableau III.16** : Calcul des besoins en eau pour l'haricot.

| Mois  | Pmoy  | Peff   | ET0    | Z   | RFU th | RFU réelle | Kc   | ETM     | Bnet    |
|-------|-------|--------|--------|-----|--------|------------|------|---------|---------|
| Sep   | 27,1  | 21,68  | 128,43 | 0,7 | 85,12  | 0          | 0,9  | 115,587 | 93,907  |
| Oct   | 21,1  | 16,88  | 86,79  |     | 0      | 42,56      | 0,8  | 69,432  | 9,992   |
| Nov   | 34,11 | 27,288 | 57,95  |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Dec   | 43,43 | 34,744 | 33,22  |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Jan   | 40,73 | 32,584 | 47,65  |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Fev   | 30,42 | 24,336 | 55,51  |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Mars  | 32,19 | 25,752 | 87,19  |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Avr   | 30,72 | 24,576 | 100,42 |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Mai   | 21,87 | 17,496 | 130,86 |     | 0      | 0          |      | 0       |         |
| Juin  | 5,01  | 4,008  | 175,35 | 0,5 | 60,8   | 0          |      | 0       |         |
| Juill | 1,77  | 1,416  | 214,08 | 0,5 | 60,8   | 0          | 0,6  | 128,448 | 127,032 |
| Aout  | 5,54  | 4,432  | 214,36 | 0,7 | 85,12  | 0          | 0,85 | 182,206 | 177,774 |

**Tableau III.17**: Récapitulatif des besoins pour l'assolement 1

| Mois        | Blé    | CHOUX   | Ail     | Carotte | Agrumes | Olivier  | Figuier  | Total (mm) |
|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|------------|
| Sept        | 0      | 68,221  | 0       | 36,1135 | 74,6425 | 68,221   | 68,221   | 321,8405   |
| Oct         | 4,818  | 61,231  | 30,8545 | 37,793  | 0       | 0        |          | 73,465     |
| Nov         | 0,000  | 19,072  | 1,117   | 12,707  | 0       | 0        | 4,5845   | 29,9985    |
| Déc         | 0,000  |         | 0       | 0       | 0       | 0        |          | 0          |
| Jan         | 0,000  |         | 0       | 0       | 0       | 0        |          | 0          |
| Fév         | 0,000  |         | 0       | 0       | 0       | 0        | 14,521   | 14,521     |
| Mar         | 16,239 |         | 0       | 0       | 0       | 0        | 39,6405  | 55,8795    |
| Avr         | 14,259 |         | 0       | 0       | 0       | 0        | 50,739   | 80,59      |
| Mai         | 74,106 |         | 0       | 0       | 67,563  | 67,563   | 80,649   | 350,901    |
| Jui         | 83,667 |         | 0       | 0       | 118,737 | 145,0395 | 127,5045 | 672,5925   |
| Juill       | 0      |         | 0       | 0       | 148,44  | 180,552  | 105,624  | 434,616    |
| Août        | 0      | 102,748 | 0       | 0       | 156,338 | 177,774  | 102,748  | 436,86     |
| Qs (l/s/ha) | 0,43   | 0,52    | 0,16    | 0,19    | 0,8     | 0,93     | 0,66     | 3,7        |

**Tableau III.18:** Récapitulatif des besoins pour l'assolement 2.

| Mois               | Orge    | Poivron  | Haricot | Haricot | Agrumes | Olivier  | Figuier  | Total (mm) |
|--------------------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|------------|
| Sept               | 0       |          | 93,907  | 93,907  | 74,6425 | 68,221   | 68,221   | 398.894    |
| Oct                | 0       |          | 9,992   | 9,992   | 0       | 0        |          | 19.984     |
| Nov                | 0       |          |         |         | 0       | 0        | 4,5845   | 4,5845     |
| Déc                | 0       |          |         |         | 0       | 0        |          | 0,00       |
| Jan                | 0       |          |         |         | 0       | 0        |          | 0,00       |
| Fév                | 0       |          |         |         | 0       | 0        | 14,521   | 14,521     |
| Mar                | 17,9595 |          |         |         | 0       | 0        | 39,6405  | 57.6       |
| Avr                | 14,259  | 25,634   |         |         | 0       | 0        | 50,739   | 90.632     |
| Mai                | 80,649  | 87,192   |         |         | 67,563  | 67,563   | 80,649   | 383,616    |
| Jui                | 83,667  | 162,5745 |         |         | 118,737 | 145,0395 | 127,5045 | 637,5225   |
| Juill              | 0       | 159,144  | 127,032 | 127,032 | 148,44  | 180,552  | 105,624  | 847,824    |
| Août               | 0       |          | 177,774 | 177,774 | 156,338 | 177,774  | 102,748  | 792,408    |
| <b>Qs (l/s/ha)</b> | 0.43    | 0.84     | 0.91    | 0.91    | 0.8     | 0.93     | 0.66     | 5.48       |

**III.8) Calcul du débit spécifique :**

Le débit spécifique est défini comme le débit fictif continu maximum qui est fonction des besoins en eau de chaque culture durant la période de pointe, il est évalué d'après la formule suivante:

$$Q_s = (B_{net}) / (N_j * N_i * 3600 * E_i)$$

**Avec:**

- ✓ B<sub>net</sub> : besoin net du mois de pointe en mm/mois ;
- ✓ N<sub>i</sub> : nombre des heures d'irrigation= 24h;
- ✓ N<sub>j</sub> : nombre de jours du mois de pointe =30 jours ;
- ✓ E<sub>i</sub> : Efficience d'irrigation=75%.

On a deux méthodes pour estimer le débit spécifique :

- Prendre la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures ;
- Prendre en considération le débit spécifique de la culture la plus exigeante ou de la culture la plus dominante.

Les besoins de pointe correspondent au mois de juin, soient donc pour l'assolement n°01 on a 672,59 mm/mois et pour l'assolement n°02 on a 847,824 mm/mois, Le débit spécifique calculé

est très important, il est respectivement de 3.7 l/s/ha, 5.48 l/s/ha, ce débit dépasse les normes (1,5 l/s/ha), ce qui risque d'aboutir à un surdimensionnement des conduites du réseau.

Alors on doit prendre le débit spécifique de la culture la plus exigeante celui de l'olivier (assolement2),

$$B_{net} = 180.552 \text{ mm/mois}$$

$Q_s = 0.93 \text{ l/s/ha}$  ; est inférieur à 1,5 l/s/ha donc le choix de ce débit reste valable.

### III.9. Calcul de débit caractéristique

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système de desserte aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile, voir la formule suivante :

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

Avec :

$Q_s$  : débit spécifique de mois de pointe en (l/s/ha)

$S$  : la superficie totale à irriguer = 500ha

$$Q_{car} = q_s \cdot S = 0.93 \cdot 500 = 465 \text{ l/s}$$

### III.10) Estimation des besoins en eau totaux du périmètre

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

**Le volume des besoins en eau = le besoin de la culture (m<sup>3</sup>) \* la surface de la culture.**

Le volume des besoins en eau pour notre périmètre est présenté dans le Tableau III-28.

**Tableau III.19 : volume d'eau d'irrigation.**

| Cultures                        | Surface<br>ha | Besoins en eau<br>(mm) | Besoins brute<br>(m <sup>3</sup> /ha) | Besoins brutes<br>totaux (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|---------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| <b>Céréales</b>                 | 173.4         |                        |                                       |  |
| <b>Orge</b>                     | 173.4         | 196,53                 | 2620,53333                            | 454400,48                                  |
| <b>Cultures<br/>maraichères</b> | 260.1         |                        |                                       |  |
| <b>Poivron</b>                  | 90.6          | 434,54                 | 5793,92                               | 524929,75                                  |
| <b>Haricot</b>                  | 169.5         | 408,705                | 5449,4                                | 923673,3                                   |
| <b>Arboriculture</b>            | 76.5          |                        |                                       |  |
| Agrumes                         | 20            | 565,72                 | 7923,07                               | 158461,33                                  |
| Olivier                         | 30            | 639,15                 | 8521,99                               | 255659,8                                   |
| Figuier                         | 26.5          | 594,23                 | 7923,09                               | 209961,80                                  |
|                                 |               |                        |                                       | 2527086,46                                 |

D'après le tableau précédent, on remarque que le volume total des besoins en eau des cultures de notre périmètre est de 2527086,46 m<sup>3</sup>, et le volume d'eau stocké dans le barrage est 167Hm3. Donc on remarque que la retenue est capable de satisfaire les besoins de notre périmètre sans problème.

### **III.11) Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons estimé les besoins en eau des cultures ainsi que le volume nécessaire pour le mois de pointe et pour l'ensemble de l'année. Le calcul des besoins nous permettra le bon dimensionnement de notre réseau d'adduction.

## Chapitre IV : Etude du système d'adduction

### IV.1) Introduction :

Le système d'adduction est destiné à transporter l'eau depuis sa source vers un point d'accumulation, puis la distribuer gravitairement vers le réseau d'irrigation. Ainsi, pour élaborer de tel système, il est nécessaire d'opter pour un schéma adéquat et de détailler les ouvrages et les structures de la variante choisie. Ceci en fonction de la disponibilité de la ressource d'eau.

### IV .2) Alimentation en eau du périmètre :

Le périmètre El Asnam dont la superficie est de 500 Ha, sera irrigué à partir du barrage de Tilesdit qui a une capacité initiale de 167 Hm<sup>3</sup>. Le volume destiné à l'irrigation est de 7 hm<sup>3</sup>.

### IV.3) Organisation et structure du périmètre :

Le périmètre d'El Asnam est divisé en plusieurs ilots d'irrigation, il englobe 44 ilots avec des superficies qui varient de 5 ha à plus de 15 ha, la surface totale est de 500 ha.

#### IV.3.1) Ilots et bornes d'irrigation :

Un ilot est un ensemble de parcelles alimentées par une seule borne (prise d'irrigation).

#### IV.3.2) Rôle et fonction de la borne d'irrigation :

Chaque borne et même chaque sortie doit assurer toutes les fonctions d'une prise, c'est-à-dire, laisser passer ou arrêter le débit, régler et limiter le débit au module, régler la pression, assurer le comptage de l'eau livrée, et enfin encaisser les suppressions accidentelles.

#### IV.3.3) Calcul hydraulique aux bornes :

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

$$Q_b = q_s \cdot S_i ;$$

Avec :

- ✓  $Q_b$  : Débit de chaque ilot (l/s).
- ✓  $q_s$  : Débit spécifique (l/s/ha).
- ✓  $S_i$  : Superficie de l'ilot (ha).

#### IV.3.4) Choix du diamètre et du type de bornes :

Le choix du type de borne dépend de la surface de l'ilot et du nombre de parcelles. Généralement on admet :

- Pour les ilots qui ont un nombre de parcelles entre [4 -8], et dont la superficie est inférieure à 15ha, on prend la borne à quatre prises (Borne de type A4).
- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie est inférieure à 15ha, on prend la borne à deux prises (borne de type A2).
- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie dépasse 15ha, on prend la borne à deux prises (Borne de type B).

- Pour les grands ilots ( $S > 50$  ha) on prévoit des bornes de type C.

**Tableau IV.1:**Type de bornes en fonction des superficies des ilots.

| Type    | Débit fourni   | Entrée                       | Sortie (prise)      |
|---------|--|------------------------------|---------------------|
| Type A2 | $Q < 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11) l/s  | 1 Entrée $\Phi 80$ , 100     | 2 Entrée $\Phi 65$  |
| Type A4 | $Q < 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11) l/s  | 2 Entrée $\Phi 80$ , 100     | 4 Entrée $\Phi 65$  |
| Type B  | $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11l/s) $< Q < 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (22.22 l/s) | 2 Entrée $\Phi 80$ , 100,125 | 2 Entrée $\Phi 100$ |
| Type C  | $Q > 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (33.33 l/s)  | 2 Entrée $\Phi 80$ , 100,125 | 1 Entrée $\Phi 150$ |

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

**Tableau IV.2 :** Calcul des débits des ilots et choix du type de bornes.

| Ilots | superficies (ha) | parcelles | superficies | Q (l/s/ha) | Qb (l/s) | Matériau | Corps de régulation (mm) | Borne type |
|-------|------------------|-----------|-------------|------------|----------|----------|--------------------------|------------|
|       |                  | P1        | 3,82        | 3,5526     |          |          |                          |            |
| I1    | 14,88            | P2        | 2,08        | 1,9344     | 13,8384  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
| I1    | 14,88            | P3        | 5,71        | 5,3103     | 13,8384  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
| I1    | 14,88            | P4        | 3,27        | 3,0411     | 13,8384  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
| I2    | 5,59             | P5        | 5,59        | 5,1987     | 5,1987   | PEHD     | 65                       | Type A2    |
| I1    | 14,88            |           |             |            | 13,8384  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
|       |                  | P6        | 3,07        | 2,8551     | 10,6113  | PEHD     | 65                       | Type A4    |
| I3    | 11,41            | P7        | 2,27        | 2,1111     |          |          |                          |            |
| I3    | 11,41            | P8        | 2,83        | 2,6319     |          |          |                          |            |
| I3    | 11,41            | P9        | 3,24        | 3,0132     |          |          |                          |            |
| I3    | 11,41            | P10       | 2,18        | 2,0274     |          |          |                          |            |
| I4    | 11,67            | P11       | 3,38        | 3,1434     | 10,8531  | PEHD     | 65                       | Type A4    |
| I4    | 11,67            | P12       | 3,15        | 2,9295     | 10,8531  | PEHD     | 65                       | Type A4    |
| I4    | 11,67            | P13       | 2,96        | 2,7528     | 10,8531  | PEHD     | 65                       | Type A4    |
| I5    | 5,77             | P14       | 5,77        | 5,3661     | 5,3661   | PEHD     | 65                       | Type A2    |
| I4    | 11,67            |           |             |            | 10,8531  | PEHD     | 65                       | Type A4    |
|       |                  | P15       | 4           | 3,72       |          |          |                          |            |
| I6    | 13,11            | P16       | 2,41        | 2,2413     | 12,1923  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
| I6    | 13,11            | P17       | 3,39        | 3,1527     | 12,1923  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
| I6    | 13,11            | P18       | 3,31        | 3,0783     | 12,1923  | PEHD     | 100                      | Type A4    |
| I7    | 15,34            | P19       | 8,99        | 8,3607     | 14,2662  | PEHD     | 100                      | Type B     |
| I7    | 15,34            | P20       | 6,35        | 5,9055     | 14,2662  | PEHD     | 100                      | Type B     |

|                |                  |     |      |        |                    |      |     |                       |
|----------------|------------------|-----|------|--------|--------------------|------|-----|-----------------------|
| I8             | 7,78             | P21 | 7,78 | 7,2354 | 7,2354             | PEHD | 65  | Type A2               |
|                |                  | P22 | 2,25 | 2,0925 |                    |      |     |                       |
| I9             | 11,06            | P23 | 2,93 | 2,7249 | 10,2858            | PEHD | 65  | Type A4               |
| I9             | 11,06            | P24 | 3,29 | 3,0597 | 10,2858            | PEHD | 65  | Type A4               |
| I9             | 11,06            | P25 | 2,59 | 2,4087 | 10,2858            | PEHD | 65  | Type A4               |
| <del>I9</del>  | <del>11,06</del> | P26 | 5,65 | 5,2545 | <del>10,3974</del> | PEHD | 65  | Type A2               |
| I10            | 11,18            | P27 | 5,53 | 5,1429 | 10,3974            | PEHD | 65  | Type A2               |
| I11            | 8,92             | P28 | 8,92 | 8,2956 | 8,2956             | PEHD | 65  | Type A2               |
|                |                  | P29 | 3,53 | 3,2829 |                    |      |     |                       |
| I12            | 14,88            | P30 | 3,91 | 3,6363 | 13,8384            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I12            | 14,88            | P31 | 3,82 | 3,5526 | 13,8384            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I12            | 14,88            | P32 | 3,62 | 3,3666 | 13,8384            | PEHD | 100 | Type A4               |
| <del>I12</del> | <del>14,88</del> | P33 | 8,03 | 7,4679 | <del>14,0058</del> | PEHD | 100 | Type A4               |
| I13            | 15,06            | P34 | 7,03 | 6,5379 | 14,0058            | PEHD | 100 | Type B                |
| I14            | 15,48            | P35 | 7,6  | 7,068  | 14,3964            | PEHD | 100 | Type B                |
| I14            | 15,48            | P36 | 7,9  | 7,347  | 14,3964            | PEHD | 100 | Type B                |
|                |                  | P37 | 2,68 | 2,4924 |                    |      |     |                       |
| I15            | 12,7             | P38 | 2,4  | 2,232  | 11,811             | PEHD | 100 | Type A4               |
| I15            | 12,7             | P39 | 3,06 | 2,8458 | 11,811             | PEHD | 100 | Type A4               |
| I15            | 12,7             | P40 | 4,56 | 4,2408 | 11,811             | PEHD | 100 | Type A4               |
| <del>I15</del> | <del>15,09</del> | P41 | 7,03 | 6,5379 | <del>14,0337</del> | PEHD | 100 | Type A4               |
| I16            | 15,09            | P42 | 8,06 | 7,4958 | 14,0337            | PEHD | 100 | Type B                |
|                |                  | P43 | 2,65 | 2,4645 |                    |      |     |                       |
| I17            | 13,57            | P44 | 2,83 | 2,6319 | 12,6201            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I17            | 13,57            | P45 | 4,65 | 4,3245 | 12,6201            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I17            | 13,57            | P46 | 3,44 | 3,1992 | 12,6201            | PEHD | 100 | Type A4               |
| <del>I18</del> | <del>15,57</del> | P47 | 8,11 | 7,5423 | <del>14,6103</del> | PEHD | 100 | Type A4               |
| I18            | 15,3             | P48 | 7,19 | 6,6867 | 14,229             | PEHD | 100 | Type B                |
| I19            | 15,71            | P49 | 8,33 | 7,7469 | 14,6103            | PEHD | 100 | Type B                |
| I19            | 15,71            | P50 | 7,38 | 6,8634 | 14,6103            | PEHD | 100 | Type B                |
|                |                  | P51 | 2,9  | 2,697  |                    |      |     |                       |
| I20            | 12,04            | P52 | 3,68 | 3,4224 | 11,1972            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I20            | 12,04            | P53 | 2,94 | 2,7342 | 11,1972            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I20            | 12,04            | P54 | 2,52 | 2,3436 | 11,1972            | PEHD | 100 | Type A4               |
| I20            | 12,04            |     |      |        | 11,1972            | PEHD | 100 | Type A4 <sup>44</sup> |

|     |       |     |       |         |         |      |     |         |
|-----|-------|-----|-------|---------|---------|------|-----|---------|
| I21 | 11,04 | P55 | 11,04 | 10,2672 | 10,2672 | PEHD | 65  | Type A2 |
| I22 | 15,07 | P56 | 6,87  | 6,3891  | 14,0151 | PEHD | 100 | Type B  |
| I22 | 15,07 | P57 | 8,2   | 7,626   | 14,0151 | PEHD | 100 | Type B  |
| I23 | 14,59 | P58 | 8,04  | 7,4772  | 13,5687 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I23 | 14,59 | P59 | 6,55  | 6,0915  | 13,5687 | PEHD | 100 | Type A4 |
|     |       | P60 | 3,47  | 3,2271  |         |      |     |         |
| I24 | 14,17 | P61 | 2,29  | 2,1297  | 13,1781 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I24 | 14,17 | P62 | 3,87  | 3,5991  | 13,1781 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I24 | 14,17 | P63 | 4,54  | 4,2222  | 13,1781 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I24 | 14,17 | P64 | 7,72  | 7,1796  | 13,1781 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I25 | 15,6  | P65 | 7,88  | 7,3284  | 14,508  | PEHD | 100 | Type B  |
|     |       | P66 | 2,81  | 2,6133  |         |      |     |         |
| I26 | 13,35 | P67 | 5,79  | 5,3847  | 12,4155 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I26 | 13,35 | P68 | 2,65  | 2,4645  | 12,4155 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I26 | 13,35 | P69 | 2,1   | 1,953   | 12,4155 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I26 | 13,35 | P70 | 3,8   | 3,534   | 12,4155 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I27 | 13,8  | P71 | 4,92  | 4,5756  | 12,834  | PEHD | 100 | A4 Type |
| I27 | 13,8  | P72 | 2,13  | 1,9809  | 12,834  | PEHD | 100 | A4 Type |
| I27 | 13,8  | P73 | 2,95  | 2,7435  | 12,834  | PEHD | 100 | A4 Type |
| I27 | 13,8  | P74 | 3,71  | 3,4503  | 12,834  | PEHD | 100 | A4 Type |
| I28 | 14,09 | P75 | 4,52  | 4,2036  | 13,1037 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I28 | 14,09 | P76 | 2,83  | 2,6319  | 13,1037 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I28 | 14,09 | P77 | 3,03  | 2,8179  | 13,1037 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I28 | 14,09 | P78 | 4,95  | 4,6035  | 13,1037 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I29 | 14,33 | P79 | 3,68  | 3,4224  | 13,3269 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I29 | 14,33 | P80 | 1,92  | 1,7856  | 13,3269 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I29 | 14,33 | P81 | 3,78  | 3,5154  | 13,3269 | PEHD | 100 | Type A4 |
| I30 | 8,09  | P82 | 5,06  | 4,7058  | 7,5237  | PEHD | 65  | Type A2 |
| I30 | 8,09  | P83 | 3,04  | 2,8272  | 7,5237  | PEHD | 65  | Type A2 |
|     |       | P84 | 2,75  | 2,5575  |         |      |     |         |
| I31 | 13    | P85 | 4,16  | 3,8688  | 12,09   | PEHD | 100 | Type A4 |
| I31 | 13    | P86 | 3,25  | 3,0225  | 12,09   | PEHD | 100 | Type A4 |
| I31 | 13    | P87 | 2,85  | 2,6505  | 12,09   | PEHD | 100 | Type A4 |
| I32 | 9,22  | P88 | 2,56  | 2,3808  | 8,5746  | PEHD | 65  | Type A4 |
| I31 | 13    |     |       |         | 12,09   | PEHD | 100 | Type A4 |

|                |                 |      |      |        |                   |      |    |         |
|----------------|-----------------|------|------|--------|-------------------|------|----|---------|
|                |                 | P89  | 1,88 | 1,7484 |                   |      |    |         |
|                |                 | P90  | 2,18 | 2,0274 |                   |      |    |         |
|                |                 | P91  | 2,6  | 2,418  |                   |      |    |         |
|                |                 | P92  | 2,22 | 2,0646 |                   |      |    |         |
| I33            | 9,41            | P93  | 3,65 | 3,3945 | 8,7513            | PEHD | 65 | Type A4 |
| I33            | 9,41            | P94  | 2,1  | 1,953  | 8,7513            | PEHD | 65 | Type A4 |
| I33            | 9,41            | P95  | 1,44 | 1,3392 | 8,7513            | PEHD | 65 | Type A4 |
| I33            | 9,41            | P96  | 2,34 | 2,1762 | 8,7513            | PEHD | 65 | Type A4 |
| I34            | 9,8             | P97  | 1,89 | 1,7577 | 9,114             | PEHD | 65 | Type A4 |
| I34            | 9,8             | P98  | 2,27 | 2,1111 | 9,114             | PEHD | 65 | Type A4 |
| I34            | 9,8             | P99  | 2,88 | 2,6784 | 9,114             | PEHD | 65 | Type A4 |
| <del>I34</del> | <del>7,35</del> | P100 | 3,81 | 3,5433 | <del>6,8355</del> | PEHD | 65 | Type A2 |
| I35            | 7,35            | P101 | 3,54 | 3,2922 | 6,8355            | PEHD | 65 | Type A2 |
| I36            | 5,03            | P102 | 5,03 | 4,6779 | 4,6779            | PEHD | 65 | Type A2 |
| <del>I37</del> | <del>8,45</del> | P103 | 4,56 | 4,2408 | <del>7,8585</del> | PEHD | 65 | Type A2 |
| I37            | 8,45            | P104 | 3,89 | 3,6177 | 7,8585            | PEHD | 65 | Type A2 |
| I38            | 6,12            | P105 | 6,12 | 5,6916 | 5,6916            | PEHD | 65 | Type A2 |
| I39            | 9,71            | P106 | 9,71 | 9,0303 | 9,0303            | PEHD | 65 | Type A2 |
| I40            | 10              | P107 | 10   | 9,3    | 9,3               | PEHD | 65 | Type A2 |
|                |                 | P108 | 2,5  | 2,325  |                   |      |    |         |
| I41            | 10,2            | P109 | 3,1  | 2,883  | 9,486             | PEHD | 65 | Type A4 |
| I41            | 10,2            | P110 | 2,84 | 2,6412 | 9,486             | PEHD | 65 | Type A4 |
| I41            | 10,2            | P111 | 1,76 | 1,6368 | 9,486             | PEHD | 65 | Type A4 |
| I41            | 10,2            | P112 | 2,63 | 2,4459 | 9,486             | PEHD | 65 | Type A4 |
| I42            | 9,56            | P113 | 1,54 | 1,4322 | 8,8908            | PEHD | 65 | Type A4 |
| I42            | 9,56            | P114 | 2,61 | 2,4273 | 8,8908            | PEHD | 65 | Type A4 |
| <del>I42</del> | <del>9,56</del> | P115 | 2,78 | 2,5854 | <del>8,8908</del> | PEHD | 65 | Type A4 |
| I43            | 6,34            | P116 | 6,34 | 5,8962 | 5,8962            | PEHD | 65 | Type A2 |
| <del>I42</del> | <del>9,56</del> |      |      |        | <del>8,8908</del> | PEHD | 65 | Type A4 |
| I44            | 5,1             | P117 | 5,1  | 4,743  | 4,7               | PEHD | 65 | Type A2 |

#### IV.4) Description de l'aménagement du périmètre :

L'aménagement hydro agricole est constituer de :

La source d'eau qui est la retenue du barrage de Tilesdit.

La station de pompage permettant le refoulement des eaux du barrage située une cote d'altitude de 398.5 m

Une conduite de refoulement transportant les eaux d'irrigation au point d'accumulation.

Un bassin de régulation situé à une cote d'altitude de 575 m.

Une conduite gravitaire principale acheminant l'eau vers le réseau d'irrigation.

#### **IV.4.1) Choix de la variante d'aménagement :**

Le tracé de l'adduction doit répondre au maximum de critères imposés à cet effet :

- Le tracé doit être le plus économique possible.
- Un rapprochement des ouvrages doit être prévu.
- Les contrepentes doivent être évitées.
- Les stations balnéaires et terrains privés doivent être contournés et une distance minimale entre la station de pompage et un aéroport doit être respectée.
- La variation du plan d'aspiration doit être prise en compte.
- Disponibilité de deux réseaux électriques.

#### **IV.4.1. 1) Description de la variante du tracé :**

Nous prévoyons dans le schéma directeur de l'aménagement hydro agricole, La station de pompage est directement raccordée à la conduite de vidange de fond de la retenue et d'une conduite de refoulement sur une longueur de 3725 m. Cette dernière refoule vers un bassin de régulation. L'alimentation du périmètre d'irrigation sera assurée grâce à une conduite gravitaire.

#### **IV.4.2) Choix de matériau :**

Le type de matériau constitutif des conduites dépend :

- ✓ Du diamètre
- ✓ Type de sol et qualité de l'eau
- ✓ Résistance aux attaques chimiques
- ✓ Disponibilité sur le marché
- ✓ Facilité de pose
- ✓ Prix du mètre linéaire

En considérant les critères ci-dessus, nous optons pour la fonte comme matériau pour les conduites principales gravitaire et de refoulement.

#### **IV.5) Etude de système de pompage :**

##### **IV.5.1) Les pompes:**

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un liquide, Il existe deux grands types de pompes : les pompes volumétriques et les turbopompes.

- Les turbo-pompes.

- Les pompes volumétriques.

#### IV.5.1.1) Les turbopompes (pompes centrifuge) :

Il existe trois classes de turbopompes : les pompes centrifuges, à écoulement radial, les pompes axiales, à écoulement axial, les pompes semi axiales.

#### IV.5.1.2) Les pompes à écoulement radial :

Ce sont les pompes centrifuges au sens strict. Elles permettent de relever des faibles débits sur de fortes hauteurs. La hauteur de refoulement croît avec le diamètre extérieur de la roue.

Dans ce cas, l'écoulement est radial et les aubages sont des surfaces planes.

Dans ce cas, l'écoulement est semi axial et les aubages sont inclinés sur les flasques.

#### IV.5.1.3) Les pompes axiales :

Ce sont les pompes hélices où les pales sont constituées par des surfaces gauches. Ces pompes conviennent pour relever de forts débits sur de faibles hauteurs.

#### IV.5.2) Calculs hydrauliques du système d'adduction :

La station de pompage étant le point de départ de notre aménagement, nous commençons par son calcul

##### IV.5.2.1) Détermination de la hauteur d'élévation calculée :

##### IV.5.2.2) Hauteur manométrique totale:

La HMT d'une pompe est la différence de pression en mètre colonne de liquide (mcl) entre les orifices d'aspiration et de refoulement, (hauteur géométrique d'élévation totale) y compris la pression nécessaire pour vaincre les pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement.

La hauteur manométrique est donnée par la formule :

$$H_{MT} = H_g + \Delta H_t \quad ;$$

Avec:

- ✓  $H_{MT}$  : Hauteur Manométrique Totale en (m) ;
- ✓  $H_g$  : Hauteur géométrique en (m).
- ✓  $H_g = CR - CSP = 575 - 398.5 = 176.5m$
- ✓  $\Delta H_t$ : pertes de charge totales.

A partir du calcul des besoins en eau, on peut tirer le débit caractéristique (pour le mois de pointe), dans notre cas il est de :

$$Q_{car} = q_s \cdot S = 0.93 \cdot 500 = 465 \text{ l/s} = 0.465 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q \text{ caractéristique} = 0.465 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit à refouler :  $Q_{rf} = Q_c \cdot (1.05 - 1.1)$

$$Q_{rf} = 1.07 \cdot Q_c = 497.55 \text{ l/s} = 0.4975 \text{ m}^3/\text{s}$$

**IV.5.2.2.1) Calcul des pertes de charge totale :**

- Calcul perte de charge linéaire :

Pour déterminer les pertes des charges linéaires on utilise la formule de Hazen-Williams

$$\Delta H_l = \left(\frac{3.592}{C}\right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}} \cdot Q^{1.852}$$

- $\Delta H_L$  : perte de charge linéaire
  - L : Longueur de conduite, en m
  - Q : Débit, en m<sup>3</sup> /s
  - D : Diamètre, en m
  - C : Coefficient de Hazen-Williams c=130
- Calcul pertes de charge totales :

$$\Delta H_t = 1.1 \Delta H_L$$

**IV.5.2.2.2) Détermination de diamètre économique de la conduite de refoulement :**

Pour le calcul diamètre économique de conduite de refoulement, on utilise les deux formules approchées suivant :

- ✓ **Formule de Bress** :  $D = 1.5 \cdot \sqrt{Q}$
- ✓ **Formule de Bonnin** :  $D = \sqrt{Q}$

Avec :

Q : débit à élever (débit forcé) en m<sup>3</sup>/s.

**Remarque** : la formule de Bress n'est valable que pour les petits projets.

(Longueur de conduite <1 Km).

Le diamètre économique se fait à base de la formule de BONNIN

$$D = \sqrt{Q}$$

$$D = \sqrt{0.4975} = 0.705 \text{ m}$$

D= 705 mm (diamètre extérieur = 800 mm) fonte

**Tableau IV.2** : Calcul de la HMT pour divers diamètres de conduite

| D (mm) | L (m) | Q (m <sup>3</sup> /s) | $\Delta H_L$ | $\Delta H_s$ | $\Delta H_t$ (m) | Hg    | HMT    |
|--------|-------|-----------------------|--------------|--------------|------------------|-------|--------|
| 0,5    | 3725  | 0,4975                | 38,82        | 3,88         | 42,70            | 176,5 | 219,20 |
| 0,6    | 3725  | 0,4975                | 15,98        | 1,60         | 17,57            | 176,5 | 194,07 |
| 0,7    | 3725  | 0,4975                | 7,54         | 0,75         | 8,29             | 176,5 | 184,79 |
| 0,8    | 3725  | 0,4975                | 3,94         | 0,39         | 4,33             | 176,5 | 180,83 |

Le choix du diamètre de la conduite de refoulement se fait sur la base d'une analyse technico-économique entre :

$S = \text{coût d'investissement} + \text{coût de l'exploitation.}$

#### IV.5.2.2.2.1) Calcul des frais d'amortissement

##### ➤ Amortissement annuel

Les frais d'amortissement sont en fonction de la durée d'amortissement de la conduite et du taux d'annuité. Il se calcul par la relation suivante:

$$\mathbf{Fam = Prc \times A}$$

Avec :

: Prix de la conduite en (DA) ;

: Amortissement annuel. Il est donné par la formule suivante :

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i$$

A : Frais d'amortissement (DA) ;

i : Taux d'annuité ;  $i = 8 \%$  ;

n: Durée de l'amortissement de la conduite,  $n = 30$  ans.

$$A = \frac{0.08}{(1+0.08)^{30} - 1} + 0.08$$

$$A = 0,088 = 8.8 \%$$

**Tableau IV.3:** Calcul des frais d'amortissement

| Diamètre<br>mm | Longueur(m) | Prix<br>unitaire(DA) | Amortissement<br>annuel(%) | Frais<br>d'amortissement(DA) |
|----------------|-------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| 500            | 3725        | 17335,76             | 0,088                      | 5682662,13                   |
| 600            | 3725        | 26341,1              | 0,088                      | 8634612,58                   |
| 700            | 3725        | 37000                | 0,088                      | 12128600                     |
| 800            | 3725        | 45000                | 0,088                      | 14751000                     |

#### IV.5.2.2.2.2) Calcul des Frais d'exploitation :

Les frais d'exploitation sont définis par la formule suivante :

$$\mathbf{Fexp = E \times e}$$

Avec :

**F**: Frais d'exploitation (DA) ;

**E** : Énergie totale dépensée par la pompe (**Kwh**) ;

: Prix unitaire d'un **Kw** imposé par la Sonelgaz ( $e = 4,67$  DA).

- **Puissance des pompes**

La puissance absorbée par la pompe est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{g \cdot Q \cdot H_{mt}}{\eta}$$

Avec :

P: Puissance absorbée par la pompe (kW).

g: Accélération de la pesanteur (9.81m/s<sup>2</sup>).

Q: Débit à refoulé (m<sup>3</sup>/s).

: Hauteur manométrique totale (m).

$\eta$ : Rendement du pompage (85%).

- **Energie consommée par la pompe**

L'énergie consommée par la station de pompage est donnée par la formule suivante :

$$E = P \times t \times 365$$

: Énergie totale consommée par la pompe pendant une année (kWh).

: Puissance absorbée (KW).

: Temps de pompage en (heure), dans notre cas t =20 h

**Tableau IV.4.** Calcul des Frais d'exploitation

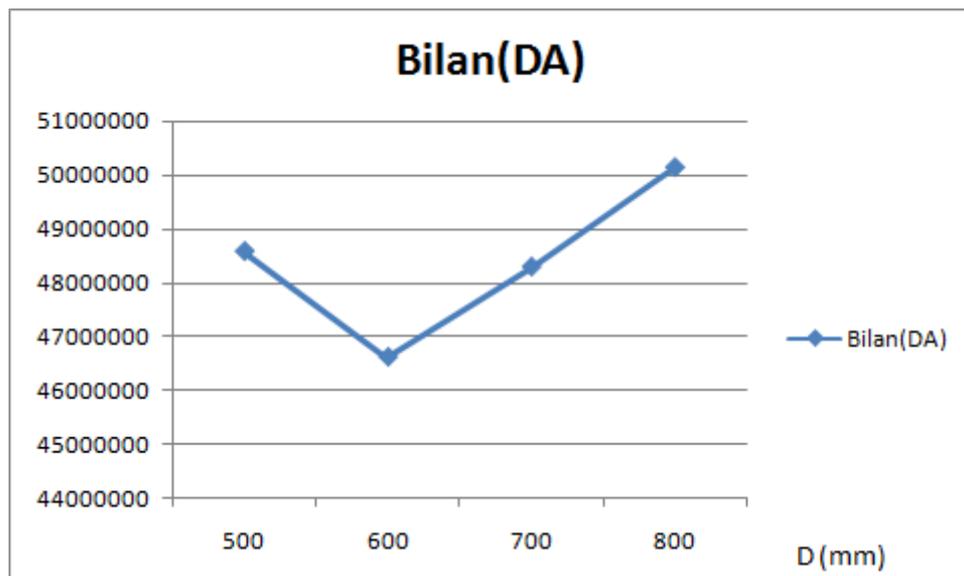
| Diamètre (mm) | HMT(m) | Q (l/s) | P (Wat) | E (KWH)    | Frais d'exploitation (DA) |
|---------------|--------|---------|---------|------------|---------------------------|
| 500           | 219,2  | 0,4975  | 1258,59 | 9187695,15 | 42906536,3                |
| 600           | 194,07 | 0,4975  | 1114,30 | 8134379,55 | 37987552,5                |
| 700           | 184,79 | 0,4975  | 1061,02 | 7745411,43 | 36171071,4                |
| 800           | 180,83 | 0,4975  | 1038,28 | 7579429,35 | 35395935,1                |

#### IV.5.2.2.2.3) Bilan total des frais :

Le bilan des frais d'exploitation et d'amortissement permet de déterminer le diamètre économique de la conduite de refoulement.

**Tableau IV.5 :** Bilan technico-économique des diamètres choisis

| Diamètre (mm) | Frais d'amortissement (DA) | Frais d'exploitation (DA) | Bilan(DA)  |
|---------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| 500           | 5682662,1                  | 42906536                  | 48589198,4 |
| 600           | 8634612,6                  | 37987553                  | 46622165,1 |
| 700           | 12128600                   | 36171071                  | 48299671,4 |
| 800           | 14751000                   | 35395935                  | 50146935,1 |



**Figure IV-1** : Résultats de l'étude technico-économique

D'après le graphe précédent, on déduit que le diamètre économique est de 600 mm avec HMT= 194,07 m

#### IV.6) Choix des pompes et nombre des pompes :

Notre station de pompage est dimensionnée par un débit max, donc il faudra choisir le nombre de pompes qui assure ce débit maximum et selon les critères suivants :

- Nombre minimal de pompes.
- Puissance absorbée minimale.
- (NPSH) r minimal et meilleur rendement.

Les données :

- HMT = 194,07m.
- Q = 497.5 l/s.
- Hg = 176.5 m

Nous avons utilisé le logiciel CAPRARI pour le choix du type et du nombre des pompes. Le tableau IV.5, Englobe le type, le nombre et les caractéristiques de chaque pompe choisie.

Tableau IV.6 : Variantes pour le choix du nombre de pompes.

| Nombre de pompe | Q (l/s) | HMT (m) | Type de Pompe | $\eta$ % | N (tr/m n) | Pab (kW) | NPSHr (m) | Ø Mm |
|-----------------|---------|---------|---------------|----------|------------|----------|-----------|------|
| 5               | 97.7    | 194     | PM 150/ 8 A   | 75.9     | 2900       | 243      | 5         | 150  |

Dans notre cas, on choisit 5 pompes identiques avec 2 pompes de secours.

- **Courbes caractéristiques et encombrement**

Les courbes caractéristiques de la hauteur de refoulement, de la puissance absorbée et la hauteur nette requise à l'aspiration (NPSH)r en fonction du débit refoulé par la pompe ainsi que les différentes caractéristiques géométriques sont représentées dans la figure ci après.

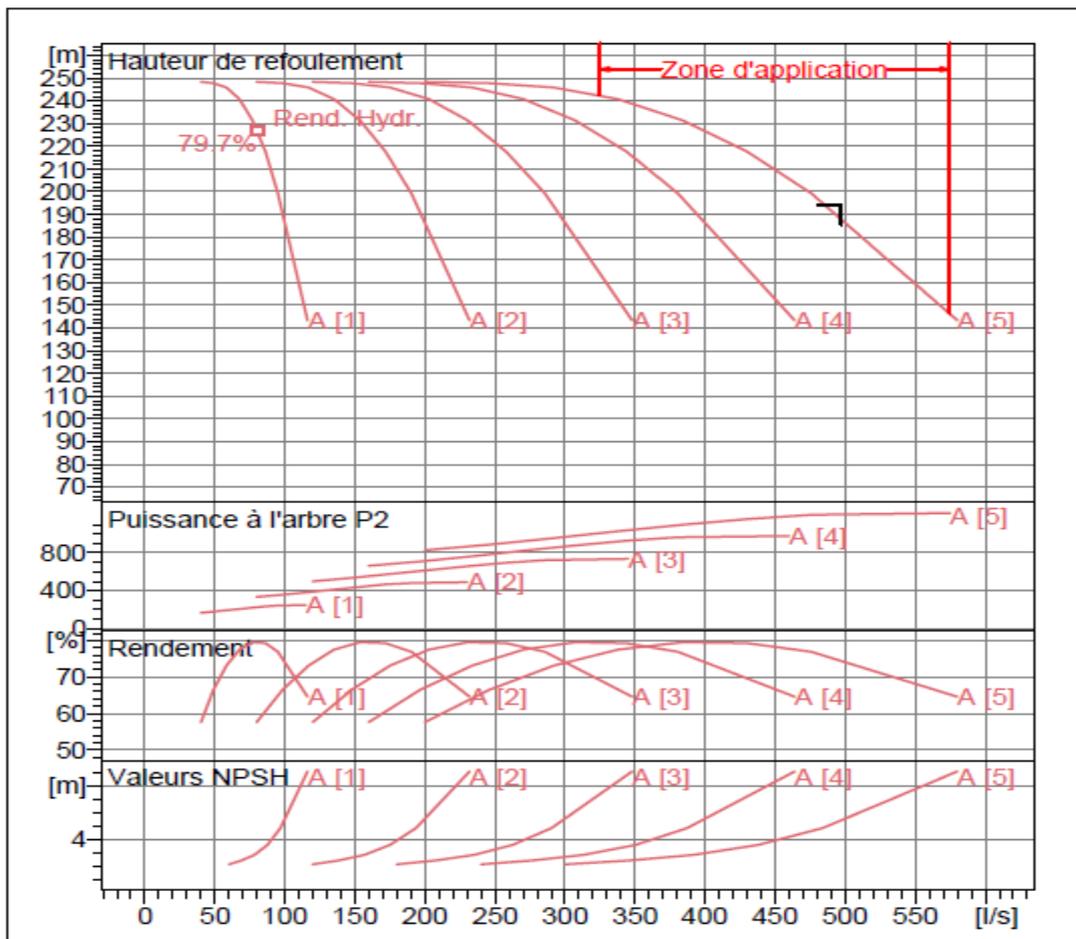


Figure IV.2. Courbes caractéristiques de la pompe

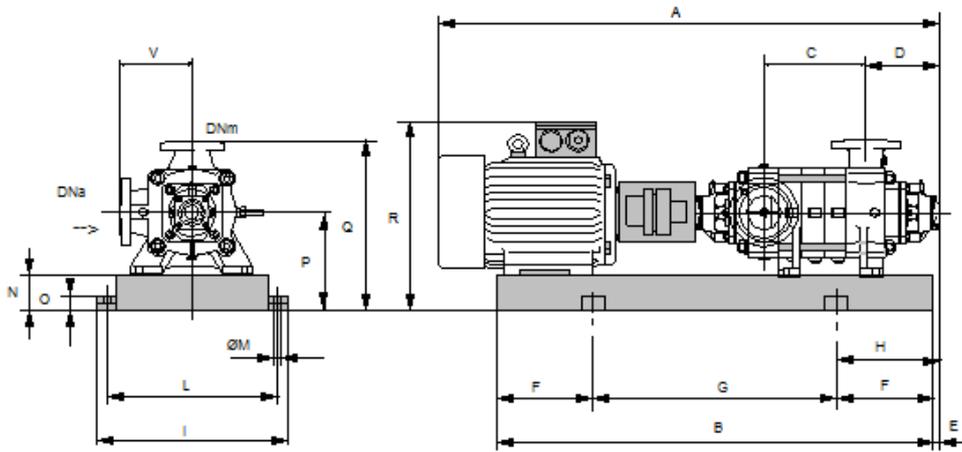


Figure IV.3. Encombrement de la pompe

- Point de fonctionnement

- ✓ Courbe caractéristique de la conduite de refoulement :

$$H_c = H_g + RQ^2$$

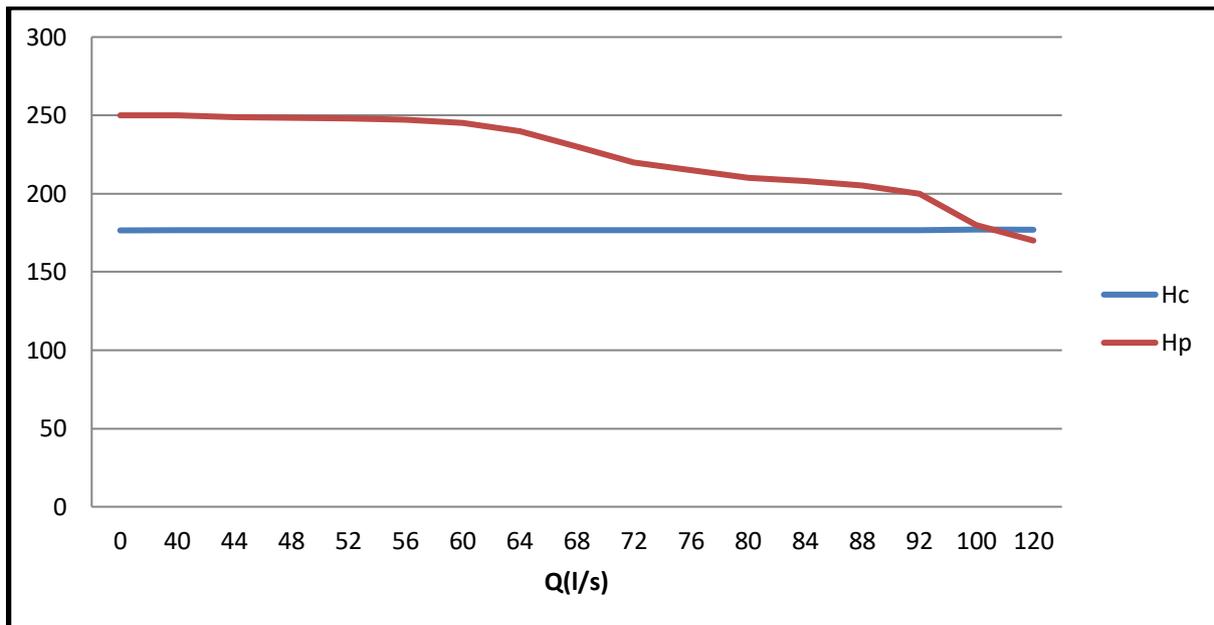
$$R = \frac{8\lambda L_{ref}}{gD^5\pi^2}$$

Avec :  $\lambda = (1.14 - 0.86Ln \frac{\epsilon}{D})^{-2}$ ,

Tableau IV.7. Calcul de la courbe caractéristique de la pompe et celle de la conduite de refoulement.

| N° | Q<br>(l/s) | H <sub>g</sub><br>(m) | L <sub>ref</sub><br>(m) | D <sub>ec</sub><br>(mm) | $\Delta h_p^{lin}$<br>(m) | $\Delta h_t$<br>= 1.1 $\Delta h_p^{lin}$ (m) | H <sub>c</sub><br>(m) |
|----|------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--|-----------------------|
| 1. | 0          | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0                         | 0  | 176,5                 |
| 2. | 40         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,31                      | 0,34   | 176,56                |
| 3. | 44         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,37                      | 0,41   | 176,57                |
| 4. | 48         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,44                      | 0,48   | 176,59                |

| N°  | Q<br>(l/s) | H <sub>g</sub><br>(m) | L <sub>ref</sub><br>(m) | D <sub>ec</sub><br>(mm) | $\Delta h_p^{lin}$<br>(m) | $\Delta h_t$<br>=1.1 $\Delta h_p^{lin}$ (m) | H <sub>c</sub><br>(m) |
|-----|------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---|-----------------------|
| 5.  | 52         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,51                      | 0,56  | 176,60                |
| 6.  | 56         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,59                      | 0,65  | 176,62                |
| 7.  | 60         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,67                      | 0,74  | 176,64                |
| 8.  | 64         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,75                      | 0,83  | 176,66                |
| 9.  | 68         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,84                      | 0,93  | 176,68                |
| 10. | 72         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 0,94                      | 1,03  | 176,70                |
| 11. | 76         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 1,04                      | 1,14  | 176,72                |
| 12. | 80         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 1,14                      | 1,254                                       | 176,753               |
| 13. | 84         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 1,25                      | 1,375                                       | 176,77                |
| 14. | 88         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 1,36                      | 1,496                                       | 176,80                |
| 15. | 92         | 176.5                 | 3725                    | 500                     | 1,48                      | 1,628                                       | 176,83                |



**Figure IV.4.** La courbe caractéristique de la pompe et celle de la conduite de refoulement

#### Interprétation :

D'après l'intersection de la courbe caractéristique de la pompe et celle de la conduite de refoulement, les coordonnées du point de fonctionnement sont (105 ; 176,83).

#### IV.6.1) Protection contre de la cavitation :

La cavitation est la perturbation des veines liquides juste à l'entrée de la pompe en fonctionnement, cela se produit pour à une température constante lorsque la pression absolue est inférieure ou égale à la tension de vapeur d'eau. Pour le non cavitation on doit assurer la condition suivante :

$$(NPSH)_r < (NPSH)_d$$

Avec :

- $(NPSH)_r$  : Charge nette d'aspiration requise, elle est fournie par le constructeur ;
- $(NPSH)_d$  : Charge nette d'aspiration disponible, elle est fournie par l'installateur. La relation qui permet de calculer le  $(NPSH)_d$  est la suivante :

Avec:

$$(NPSH)_d = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - \left( h_a^{ad} + \sum h_{p_{asp}} + \frac{V^2}{2g} \right)$$

- $\frac{P_a}{\rho g}$  : en mce, la hauteur de pression atmosphérique locale, en fonction de la cote de l'emplacement de la station de pompage.

- $P_v$  : en mce, pour la plupart des installations, est en fonction de la température ambiante. Avec une température d'eau comprise entre 15°C et 20°C, il est recommandé de prendre  $P_v = 20 \text{ hPa}$ , soit  $\frac{P_v}{\rho g} = 0.24 \text{ m}$ .
- ZE : la différence de dénivelé entre le niveau de pompage et la bride d'entrée de la pompe.
- $\Delta H_a$ : perte de charge à l'aspiration.

V : vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration (m/s).

Fixons  $v=1 \text{ m/s}$  (PEHD comme matériau de la conduite d'aspiration)

**Diamètre de la conduite d'aspiration :**

$$D_a = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

AN :  $D_a=434 \text{ mm}$

On prend un diamètre normalisé de  $D_a= 500 \text{ mm}$

$D_a=500 \text{ mm} > D_{Na}=200 \text{ mm}$  (diamètre de la tubulure d'aspiration. Voir fiche technique)

Considérons les pertes de charge totales à l'aspiration :

$$\Sigma h_{p_{asp}} = 1.15 \cdot \Delta H = 1,12$$

$$\Delta H = \frac{\lambda L_{asp} 8 Q^2}{\pi^2 D^5 g}$$

$$\text{AN : } \Delta H = 0.058 \text{ m et } \frac{v a^2}{2g} = 0.28 \text{ m}$$

$$\Sigma h_{p_{asp}} = 0.0697 \text{ m}$$

(NPSHr) : Déterminé d'après le (Tableau VII- 1)

$\frac{P_{atm}}{\rho}$ : Dépend de l'altitude d'implantation de la station de pompage (voir tableau VII-2)

$\frac{P_v}{\rho}$ : dépend de la température du liquide pompé (voir tableau VII-3)

**Tableau VI- 8 : Pression atmosphérique en fonction de la côte.**

| H (m)                  | - 50  | 0     | 100  | 300   | 500 | 1500 | 2000 |
|------------------------|-------|-------|------|-------|-----|------|------|
| $\frac{P_{atm}}{\rho}$ | 10.86 | 10.33 | 10.2 | 10.06 | 9.7 | 8.6  | 8.4  |

**Tableau VI- 9** : Pression de vapeur en fonction de la température.

| T (°C)               | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 80   | 100   |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\frac{P_v}{\varpi}$ | 0.09 | 0.12 | 0.24 | 0.43 | 0.75 | 1.25 | 4.82 | 10.33 |

On a :

(NPSH r) : Déterminé graphiquement égal à 5 m

La côte de la station de pompage est de 398.5 m NGA, par l'interpolation linéaire on trouve :

$$\frac{P_{atm}}{\varpi} = 9.86 \text{ m.}$$

La température ambiante est considérée égale à 19.8°C donc  $\frac{P_v}{\varpi} = 0.24 \text{ m.}$

Pour assurer la condition de non cavitation : (NPSH) d > (NPSH) r

$$(NPSH) d = (NPSH) r + 0.5 = 5,5 \text{ m}$$

$$ET \text{ had} = 9.86 - 0.24 - 0.0697 - 0.051 - 5 - 0.5$$

$$\text{had} = 3.99 \text{ m}$$

Donc la condition de non cavitation est vérifiée.

#### IV.7) Bâtiments de la station :

Il existe différents types de bâtiment pour une station de pompage :

- Bâtiment type bloc.
- Bâtiment type bache sèche.
- Bâtiment type bache mouillée.
- Bâtiment de type semi-enterré et sur sol.

On choisit le type de bâtiment en fonction des paramètres mentionnés dans le tableau

##### IV.7.1) Choix du type de bâtiment.

Dans notre cas, on opte pour un bâtiment de surface c'est à dire que tous l'ouvrage de la station est surélevé. Le bâtiment est constitué de deux parties :

- ✓ Une partie souterraine.
- ✓ Une partie supérieure constituée de briques ou de dalles préfabriqués.

Il faut prévoir un éclairage de 12.5% en plus de l'éclairage électrique Il faut prévoir un pont roulant au-dessus de chaque installation qui dépasse 100Kg.

Partie supérieure : salle des machines, salle annexe.

Salles annexes : armoire électrique, bureau du chef d'exploitation, magasin.

##### IV.7.2) Dimensionnement de bâtiment de station pompage

###### A) Hauteur du bâtiment

Elle est calculée comme suit :

$$\mathbf{H_b = H_5 + H_6 + H_7 + H_8 + H_9}$$

Où:

$$H_5 = H_p + H_{rf} + H_r$$

$H_p$ : hauteur de la pompe,  $H_p = 1.2\text{ m}$  ;

$H_{rf}$ : hauteur à la sortie de la pompe,  $H_{rf} = 0,8\text{ m}$

$H_r$ : hauteur de réserve  $H_r = 0,5\text{ m}$  ;

$$\text{A.N : } H_5 = 1.2 + 0,5 + 0,8,$$

$$\text{D'où : } H_5 = 2.5\text{ m}$$

$H_6$  : hauteur réservée à l'homme,  $H_6 = 2,2\text{ m}$  ;

$H_7$  : hauteur du chariot,  $H_7 = 0,3\text{ m}$  ;

$H_8$  : hauteur profilée,  $H_8 = 0,8\text{ m}$  ;

$H_9$  : hauteur de sécurité,  $H_9 = 0,5\text{ m}$  ;

$$\text{A.N : } H_b = 2.5 + 2,2 + 0,3 + 0,8 + 0,5$$

$$H_b = 6.9\text{ m.}$$

Les hauteurs du bâtiment étant normalisées (3,6 ; 4,2 ; 4,8 ; 5,5 m) on prend comme hauteur du bâtiment  **$H_b = 5,5\text{ m}$** .

### **B) Longueur du bâtiment :**

Elle est donnée par la relation :

$$L_b = n \times L + L_{int} + L_{pf} + L_r + L_m + L_{pm}$$

$n$ : nombre de pompes,  $n = 7$  (tenant compte de la pompe de secours)

$L_{int}$  : distance entre deux pompes voisines,  $L_{int} = (0,8 - 1,2)\text{ m}$ . On prend :  $L_{int} = 1.1\text{ m}$ .

$L_{pf}$ : longueur de la plate-forme de montage,  $L_{pf} = 2\text{ m}$

$L_r$ : longueur de l'armoire électrique,  $L_r = (2 - 3)\text{ m}$  ; On prend :  $L_r = 2.5\text{ m}$ .

$L_m$  : épaisseur du mur, on prend :  $0,6\text{ m}$ .

$L_{pm}$ : distance entre pompe et mur, on prend :  $0,5\text{ m}$ .

$$\text{A.N : } L_b = 7 \times 1.5 + 1.1 + 2 + 2.5 + 0,6 + 0.5 = 17.2\text{ m}$$

On prend  **$L_b = 18\text{ m}$** .

### **C) Largeur du bâtiment :**

Elle est donnée par la relation :

$$l_b = l_1 + l_2 + L_B + L_r + L_p$$

$l_1$  : distance entre mur et première pompe,

$$\mathbf{l_1 = 1.5\text{ m}}$$

$l_2$  = distance entre mur et dernière pompe,

**l<sub>2</sub>=1.5m.**

L<sub>b</sub> : longueur du bureau du personnel,

On prend : **L<sub>p</sub> = 2.0m** ;

L<sub>r</sub> : longueur de l'armoire électrique,

L<sub>r</sub> = (2-3) m ;

On prend : L<sub>r</sub> = **2.5m.**

L<sub>P</sub> : longueur de la pompe et le moteur

On prend : L<sub>p</sub> = 1.50 m ;

A.N: l<sub>b</sub> = 1.5+1.5+2+2.5+1.5= **9.0 m.**

#### **IV.8) Dimensionnement du Réservoir de stockage :**

Etant donné la superficie importante, on opte pour un réservoir rectangulaire (ou bassin).

Le volume du réservoir est estimé comme suit :

$V = Q_c * T_{nr}$  avec V : volume d'eau d'irrigation (m<sup>3</sup>) et Q<sub>c</sub> : débit caractéristique (m<sup>3</sup>/h).

T<sub>nr</sub> : temps de non fonctionnement pris égal à 1 heures.

On trouve  $V = 1674 * 1 = 1000 \text{ m}^3$

#### **IV.9) Calcul des diamètres :**

Le calcul des diamètres se fait par l'application de la formule de " LABYE " qui nous donne une approche du diamètre économique qu'on normalise.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V_{ad}}} \times 1000$$

Avec :

Q : débit exprimé en m<sup>3</sup>/s, D : diamètre exprimé en mm;

V<sub>ad</sub>: vitesse admissible = 1.5 m/s.

#### **IV.9.1) Estimation des pertes de charge :**

Les pertes de charge unitaires, ont été définies par la formule Hazen-williams :

$$\Delta H_l = \left(\frac{3.592}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852}$$

Avec :

- $\Delta H_l$ : perte de charge linéaire
- L : Longueur de conduite, en m
- Q : Débit, en m<sup>3</sup> /s
- D : Diamètre, en m
- C : Coefficient de Hazen-Williams c=130

Les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires. Les calculs hydrauliques sont détaillés dans le tableau qui suivra.

**IV.9.2) Calcul des pressions des nœuds et des bornes :**

L'estimation des pressions est basée sur le principe de Bernoulli qui décrit le mouvement d'un fluide réel entre le point 1 et le point 2 :

$$\frac{1}{2g}V^2_1 + Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{1}{2g}V^2_2 + Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \Delta H_{1-2}$$

Les calculs hydrauliques du réseau de distribution de notre périmètre sont détaillés dans le tableau IV.10 :

**Tableau IV.10 :** Calculs hydrauliques du réseau de distribution.

|       | L (m)    | Q (l/s) | Q (m3/s) | Dcal (mm) | DN (mm) | Vr (m/s) | $\Delta l_{lin}$ Williams (m) | DHt  | Cote terrain aval Z (m) | cote piézo (m) | P (m) |
|-------|----------|---------|----------|-----------|---------|----------|-------------------------------|------|-------------------------|----------------|-------|
| R     |          |         |          |           |         |          |                               |      | 575,00                  | 581,00         |       |
| R N1  | 3 346,96 | 465     | 0,47     | 628,41    | 700,00  | 1,21     | 5,98                          | 6,58 |                         |                |       |
| N1    |          |         |          | -         |         |          |                               |      | 529,00                  | 574,42         | 45,42 |
| N1 B1 | 237,87   | 13,84   | 0,01     | 108,41    | 110,00  | 1,46     | 4,53                          | 4,98 |                         |                | -     |
| B1    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 515,00                  | 569,44         | 54,44 |
| N1 N2 | 110,95   | 451,16  | 0,45     | 618,99    | 700,00  | 1,17     | 0,16                          | 0,18 |                         |                | -     |
| N2    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 521,00                  | 574,24         | 53,24 |
| N2 B2 | 65,00    | 5,1987  | 0,01     | 66,45     | 75,00   | 1,18     | 1,30                          | 1,43 |                         |                | -     |
| B2    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 525,00                  | 572,81         | 47,81 |
| N2 N3 | 21,90    | 445,96  | 0,45     | 615,42    | 700,00  | 1,16     | 0,03                          | 0,03 |                         |                | -     |
| N3    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 522,00                  | 574,21         | 52,21 |
| N3 N4 | 204,76   | 445,96  | 0,45     | 615,41    | 700,00  | 1,16     | 0,30                          | 0,32 |                         |                | -     |
| N4    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 515,00                  | 573,88         | 58,88 |
| N4 B3 | 115,86   | 10,6113 | 0,01     | 94,93     | 110,00  | 1,12     | 1,35                          | 1,48 |                         |                | -     |
| B3    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 512,00                  | 572,40         | 60,40 |
| N4 B4 | 420,09   | 10,8531 | 0,01     | 96,01     | 110,00  | 1,14     | 5,10                          | 5,61 |                         |                | -     |
| B4    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 505,00                  | 568,28         | 63,28 |
| N3 N5 | 204,55   | 424,50  | 0,42     | 600,00    | 600,00  | 1,50     | 0,57                          | 0,63 |                         |                | -     |
| N5    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 518,00                  | 573,58         | 55,58 |
| N5 B5 | 113,66   | 5,3661  | 0,01     | 67,51     | 75,00   | 1,22     | 2,42                          | 2,66 |                         |                | -     |
| B5    |          |         |          | -         |         |          |                               | -    | 520,00                  | 570,92         | 50,92 |
| N5 N6 | 91,15    | 419,13  | 0,42     | 596,62    | 600,00  | 1,48     | 0,25                          | 0,27 |                         |                | -     |

|       |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-------|--------|---------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| N6    |        |         | -    | -      |        |      |      | -    | 515,00 | 573,31 | 58,31 |
| N6 N7 | 218,73 | 419,13  | 0,42 | 596,62 | 600,00 | 1,48 | 0,60 | 0,65 |        |        | -     |
| N7    |        |         | -    | -      |        |      |      | -    | 509,00 | 572,65 | 63,65 |
| N7 B6 | 136,76 | 12,1923 | 0,01 | 101,76 | 110,00 | 1,28 | 2,06 | 2,26 |        |        | -     |
| B6    |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 508,00 | 570,39 | 62,39 |
| N7 B7 | 358,10 | 14,2662 | 0,01 | 110,00 | 110,00 | 1,50 | 7,21 | 7,93 |        |        | -     |
| B7    |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 502,00 | 564,72 | 62,72 |
| N6 N8 | 153,07 | 392,67  | 0,39 | 577,48 | 600,00 | 1,39 | 0,37 | 0,41 |        |        | -     |
| N8    |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 510,50 | 572,90 | 62,40 |
| N8 B8 | 88,66  | 7,2354  | 0,01 | 78,39  | 90,00  | 1,14 | 1,35 | 1,48 |        |        | -     |
| B8    |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 515,00 | 571,42 | 56,42 |
| N8 N9 | 155,79 | 385,44  | 0,39 | 572,13 | 600,00 | 1,36 | 0,36 | 0,40 |        |        | -     |
| N9    |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 510,00 | 572,50 | 62,50 |
| N9    |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N10   | 201,45 | 385,44  | 0,39 | 572,13 | 600,00 | 1,36 | 0,47 | 0,52 |        |        | -     |
| N10   |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 507,00 | 571,99 | 64,99 |
| N10   |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B10   | 105,87 | 10,3974 | 0,01 | 93,97  | 110,00 | 1,09 | 1,19 | 1,31 |        |        | -     |
| B10   |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 506,50 | 570,68 | 64,18 |
| N10   |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B11   | 213,44 | 8,2956  | 0,01 | 83,94  | 90,00  | 1,30 | 4,18 | 4,60 |        |        | -     |
| B11   |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 501,00 | 567,38 | 66,38 |
| N9    |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N11   | 62,86  | 366,75  | 0,37 | 558,09 | 600,00 | 1,30 | 0,13 | 0,15 |        |        | -     |
| N11   |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 510,00 | 572,36 | 62,36 |
| N11   |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B9    | 207,92 | 10,2858 | 0,01 | 93,46  | 110,00 | 1,08 | 2,28 | 2,51 |        |        | -     |
| B9    |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 520,00 | 569,84 | 49,84 |
| N11   |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N12   | 213,52 | 356,46  | 0,36 | 550,21 | 600,00 | 1,26 | 0,43 | 0,47 |        |        | -     |
| N12   |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 511,00 | 571,88 | 60,88 |
| N12   |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B12   | 337,97 | 13,8384 | 0,01 | 108,41 | 110,00 | 1,46 | 6,43 | 7,08 |        |        | -     |

|     |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-----|--------|---------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| B12 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 521,00 | 564,81 | 43,81 |
| N12 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N13 | 111,04 | 342,62  | 0,34 | 539,42 | 600,00 | 1,21 | 0,21 | 0,23 |        |        | -     |
| N13 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 511,00 | 571,65 | 60,65 |
| N13 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B13 | 311,61 | 14,0058 | 0,01 | 109,06 | 110,00 | 1,47 | 6,07 | 6,67 |        |        | -     |
| B13 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 505,00 | 564,98 | 59,98 |
| N13 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N14 | 96,96  | 328,62  | 0,33 | 528,28 | 600,00 | 1,16 | 0,17 | 0,18 |        |        | -     |
| N14 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 510,50 | 571,47 | 60,97 |
| N14 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B14 | 129,36 | 14,3964 | 0,01 | 110,00 | 110,00 | 1,52 | 2,65 | 2,91 |        |        | -     |
| B14 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 514,00 | 568,55 | 54,55 |
| N14 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N15 | 150,21 | 314,22  | 0,31 | 516,58 | 600,00 | 1,11 | 0,24 | 0,26 |        |        | -     |
| N15 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 509,00 | 571,21 | 62,21 |
| N15 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B15 | 280,80 | 11,811  | 0,01 | 100,15 | 110,00 | 1,24 | 3,99 | 4,38 |        |        | -     |
| B15 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 504,00 | 566,82 | 62,82 |
| N15 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N16 | 72,02  | 302,41  | 0,30 | 506,78 | 600,00 | 1,07 | 0,11 | 0,12 |        |        | -     |
| N16 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 508,00 | 571,09 | 63,09 |
| N16 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B16 | 151,47 | 14,0337 | 0,01 | 109,17 | 110,00 | 1,48 | 2,96 | 3,26 |        |        | -     |
| B16 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 511,00 | 567,83 | 56,83 |
| N16 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N17 | 175,25 | 288,38  | 0,29 | 494,88 | 500,00 | 1,47 | 0,58 | 0,64 |        |        | -     |
| N17 |        |         |      |        |        |      |      |      | 505,00 | 570,45 | 65,45 |
| N17 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B17 | 256,30 | 12,6201 | 0,01 | 103,53 | 110,00 | 1,33 | 4,11 | 4,52 |        |        | -     |
| B17 |        |         |      |        |        |      |      |      | 501,00 | 565,93 | 64,93 |
| N17 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N18 | 77,60  | 275,76  | 0,28 | 483,93 | 500,00 | 1,41 | 0,24 | 0,26 |        |        | -     |

|     |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-----|--------|---------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| N18 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 503,00 | 570,19 | 67,19 |
| N18 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B18 | 260,57 | 14,229  | 0,01 | 109,93 | 110,00 | 1,50 | 5,22 | 5,74 |        |        | -     |
| B18 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 511,00 | 564,44 | 53,44 |
| N18 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N19 | 179,88 | 261,53  | 0,26 | 471,28 | 500,00 | 1,33 | 0,50 | 0,55 |        |        | -     |
| N19 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 499,50 | 569,64 | 70,14 |
| N19 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B19 | 319,64 | 14,6103 | 0,01 | 111,39 | 110,00 | 1,54 | 6,73 | 7,40 |        |        | -     |
| B19 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 497,00 | 562,24 | 65,24 |
| N19 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N20 | 101,86 | 246,92  | 0,25 | 457,93 | 500,00 | 1,26 | 0,25 | 0,28 |        |        | -     |
| N20 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 499,00 | 569,37 | 70,37 |
| N20 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B20 | 255,44 | 11,1972 | 0,01 | 97,52  | 110,00 | 1,18 | 3,28 | 3,61 |        |        | -     |
| B20 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 507,00 | 565,75 | 58,75 |
| N20 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N21 | 35,97  | 235,72  | 0,24 | 447,42 | 500,00 | 1,20 | 0,08 | 0,09 |        |        | -     |
| N21 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 498,50 | 569,27 | 70,77 |
| N21 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N22 | 129,59 | 235,72  | 0,24 | 447,42 | 500,00 | 1,20 | 0,30 | 0,32 |        |        | -     |
| N22 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 497,00 | 568,95 | 71,95 |
| N22 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B21 | 135,42 | 10,2672 | 0,01 | 93,38  | 110,00 | 1,08 | 1,48 | 1,63 |        |        | -     |
| B21 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 497,00 | 567,32 | 70,32 |
| N22 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B22 | 353,54 | 14,0151 | 0,01 | 109,10 | 110,00 | 1,48 | 6,89 | 7,58 |        |        | -     |
| B22 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 496,00 | 561,37 | 65,37 |
| N21 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N23 | 183,30 | 211,44  | 0,21 | 423,75 | 500,00 | 1,08 | 0,34 | 0,38 |        |        | -     |
| N23 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 498,50 | 568,90 | 70,40 |
| N23 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B23 | 272,42 | 13,5687 | 0,01 | 107,35 | 110,00 | 1,43 | 2,80 | 3,08 |        |        | -     |

|     |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-----|--------|---------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| B23 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 508,00 | 565,82 | 57,82 |
| N23 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N24 | 183,40 | 197,87  | 0,20 | 409,93 | 500,00 | 1,01 | 0,30 | 0,33 |        |        | -     |
| N24 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 499,50 | 568,57 | 69,07 |
| N24 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N25 | 256,45 | 197,87  | 0,20 | 409,93 | 500,00 | 1,01 | 0,42 | 0,46 |        |        | -     |
| N25 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 496,00 | 568,10 | 72,10 |
| N25 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B24 | 118,87 | 13,1781 | 0,01 | 105,79 | 110,00 | 1,39 | 2,07 | 2,27 |        |        | -     |
| B24 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 496,00 | 565,83 | 69,83 |
| N25 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B25 | 307,45 | 14,508  | 0,01 | 111,00 | 200,00 | 0,46 | 0,35 | 0,38 |        |        | -     |
| B25 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 494,00 | 567,72 | 73,72 |
| N24 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N26 | 71,09  | 170,18  | 0,17 | 380,17 | 400,00 | 1,35 | 0,26 | 0,29 |        |        | -     |
| N26 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 500,00 | 568,28 | 68,28 |
| N26 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B26 | 233,69 | 12,4155 | 0,01 | 102,68 | 110,00 | 1,31 | 3,64 | 4,00 |        |        | -     |
| B26 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 506,00 | 564,28 | 58,28 |
| N26 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N27 | 266,61 | 157,77  | 0,16 | 366,04 | 400,00 | 1,26 | 0,86 | 0,94 |        |        | -     |
| N27 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 502,00 | 567,34 | 65,34 |
| N27 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B28 | 248,93 | 13,1037 | 0,01 | 105,49 | 110,00 | 1,38 | 4,28 | 4,71 |        |        | -     |
| B28 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 506,00 | 562,63 | 56,63 |
| N27 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N28 | 59,78  | 144,66  | 0,14 | 350,51 | 400,00 | 1,15 | 0,16 | 0,18 |        |        | -     |
| N28 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 502,00 | 567,16 | 65,16 |
| N28 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B27 | 392,91 | 12,834  | 0,01 | 104,40 | 110,00 | 1,35 | 6,51 | 7,16 |        |        | -     |
| B27 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 496,50 | 560,00 | 63,50 |
| N28 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N29 | 193,18 | 131,83  | 0,13 | 334,60 | 400,00 | 1,05 | 0,44 | 0,49 |        |        | -     |

|     |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-----|--------|---------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| N29 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 504,00 | 566,67 | 62,67 |
| N29 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B29 | 319,37 | 13,3269 | 0,01 | 106,39 | 110,00 | 1,40 | 5,67 | 6,24 |        |        | -     |
| B29 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 500,50 | 560,43 | 59,93 |
| N29 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N30 | 17,92  | 118,50  | 0,12 | 317,24 | 400,00 | 0,94 | 0,03 | 0,04 |        |        | -     |
| N30 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 504,00 | 566,63 | 62,63 |
| N30 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B30 | 241,96 | 7,5237  | 0,01 | 79,93  | 90,00  | 1,18 | 3,96 | 4,35 |        |        | -     |
| B30 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 507,00 | 562,28 | 55,28 |
| N30 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N31 | 191,63 | 110,98  | 0,11 | 307,00 | 315,00 | 1,42 | 1,03 | 1,13 |        |        | -     |
| N31 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 505,00 | 565,50 | 60,50 |
| N31 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B32 | 208,07 | 8,5746  | 0,01 | 85,33  | 90,00  | 1,35 | 4,34 | 4,77 |        |        | -     |
| B32 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 508,00 | 560,73 | 52,73 |
| N31 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N32 | 25,28  | 102,40  | 0,10 | 294,90 | 315,00 | 1,31 | 0,12 | 0,13 |        |        | -     |
| N32 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 505,00 | 565,37 | 60,37 |
| N32 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B31 | 188,15 | 12,09   | 0,01 | 101,33 | 110,00 | 1,27 | 2,79 | 3,07 |        |        | -     |
| B31 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 503,00 | 562,31 | 59,31 |
| N32 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N33 | 131,14 | 90,31   | 0,09 | 276,95 | 300,00 | 1,28 | 0,61 | 0,67 |        |        | -     |
| N33 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 505,00 | 564,70 | 59,70 |
| N33 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B34 | 239,69 | 9,114   | 0,01 | 87,98  | 90,00  | 1,43 | 5,59 | 6,15 |        |        | -     |
| B34 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 508,50 | 558,55 | 50,05 |
| N33 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N34 | 189,04 | 81,20   | 0,08 | 262,60 | 315,00 | 1,04 | 0,57 | 0,62 |        |        | -     |
| N34 |        |         | -    | -      |        |      |      |      | 506,00 | 564,08 | 58,08 |
| N34 |        |         |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B33 | 97,87  | 8,7513  | 0,01 | 86,21  | 90,00  | 1,38 | 2,12 | 2,33 |        |        | -     |

|     |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| B33 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 504,50 | 561,75 | 57,25 |
| N34 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N35 | 36,10  | 72,45  | 0,07 | 248,05 | 250,00 | 1,48 | 0,27 | 0,30 |        |        | -     |
| N35 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 506,00 | 563,78 | 57,78 |
| N35 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B35 | 162,60 | 6,8355 | 0,01 | 76,19  | 90,00  | 1,08 | 2,23 | 2,45 |        |        | -     |
| B35 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 508,50 | 561,33 | 52,83 |
| N35 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N36 | 247,65 | 65,61  | 0,07 | 236,06 | 250,00 | 1,34 | 1,54 | 1,70 |        |        | -     |
| N36 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 507,00 | 562,08 | 55,08 |
| N36 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B36 | 86,18  | 4,6779 | 0,00 | 63,03  | 75,00  | 1,06 | 1,42 | 1,56 |        |        | -     |
| B36 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 509,00 | 560,52 | 51,52 |
| N36 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N37 | 181,15 | 60,94  | 0,06 | 227,49 | 250,00 | 1,24 | 0,99 | 1,08 |        |        | -     |
| N37 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 506,50 | 561,00 | 54,50 |
| N37 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B37 | 142,56 | 7,8585 | 0,01 | 81,69  | 90,00  | 1,24 | 2,53 | 2,78 |        |        | -     |
| B37 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 504,00 | 558,22 | 54,22 |
| N37 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N38 | 83,00  | 53,08  | 0,05 | 212,31 | 250,00 | 1,08 | 0,35 | 0,38 |        |        | -     |
| N38 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 505,00 | 560,62 | 55,62 |
| N38 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B38 | 86,13  | 5,6916 | 0,01 | 69,52  | 75,00  | 1,29 | 2,04 | 2,25 |        |        | -     |
| B38 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 507,50 | 558,37 | 50,87 |
| N38 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N39 | 159,73 | 47,39  | 0,05 | 200,61 | 250,00 | 0,97 | 0,91 | 1,00 |        |        | -     |
| N39 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 501,50 | 559,62 | 58,12 |
| N39 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B39 | 120,50 | 9,0303 | 0,01 | 87,57  | 90,00  | 1,42 | 2,76 | 3,04 |        |        | -     |
| B39 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 499,90 | 556,57 | 56,67 |
| N39 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N40 | 46,56  | 38,36  | 0,04 | 180,49 | 200,00 | 1,22 | 0,32 | 0,35 |        |        | -     |

|     |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| N40 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 501,00 | 559,26 | 58,26 |
| N40 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B40 | 137,37 | 9,3    | 0,01 | 88,87  | 90,00  | 1,46 | 3,33 | 3,66 |        |        | -     |
| B40 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 506,00 | 555,60 | 49,60 |
| N40 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N41 | 136,07 | 29,06  | 0,03 | 157,09 | 160,00 | 1,45 | 1,65 | 1,82 |        |        | -     |
| N41 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 499,50 | 557,45 | 57,95 |
| N41 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B41 | 189,08 | 9,486  | 0,01 | 89,76  | 90,00  | 1,49 | 4,75 | 5,23 |        |        | -     |
| B41 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 494,00 | 552,22 | 58,22 |
| N41 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N42 | 61,03  | 19,57  | 0,02 | 128,93 | 200,00 | 0,62 | 0,12 | 0,13 |        |        | -     |
| N42 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 498,00 | 557,32 | 59,32 |
| N42 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B42 | 210,54 | 8,8908 | 0,01 | 86,89  | 90,00  | 1,40 | 4,69 | 5,16 |        |        | -     |
| B42 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 508,00 | 552,15 | 44,15 |
| N42 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N43 | 188,64 | 10,68  | 0,01 | 95,24  | 110,00 | 1,12 | 2,22 | 2,45 |        |        | -     |
| N43 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 493,00 | 554,87 | 61,87 |
| N43 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B43 | 75,57  | 5,8962 | 0,01 | 70,76  | 75,00  | 1,34 | 1,91 | 2,10 |        |        | -     |
| B43 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 492,00 | 552,77 | 60,77 |
| N43 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| N44 | 101,88 | 4,79   | 0,00 | 63,75  | 75,00  | 1,08 | 1,75 | 1,93 |        |        | -     |
| N44 |        |        | -    | -      |        |      |      |      | 499,00 | 552,94 | 53,94 |
| N44 |        |        |      |        |        |      |      |      |        |        |       |
| B44 | 84,66  | 4,79   | 0,00 | 63,78  | 75,00  | 1,08 | 1,46 | 1,60 |        |        | -     |
| B44 |        |        |      |        |        |      |      |      | 499,00 | 551,34 | 52,34 |

**IV.10) Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les dimensions de l'ensemble du réseau d'adduction par pompage et d'irrigation dont l'objectif est d'assurer les besoins en eau des cultures pour Assurer une pression adéquate.

Ces pressions sont généralement satisfaisantes et dans tout les cas supérieures à 2,5 bars, permettant la mise en place de systèmes d'irrigation efficaces.

## Chapitre V : Choix de système d'irrigation

### V.1) Introduction :

Dans le but d'assurer un rendement maximum des cultures agricoles, une irrigation adéquate s'impose pour approvisionner les plantes en taux d'humidification de sol et en éléments nécessaires à leur développement. Ce chapitre va porter sur la présentation des différentes techniques d'irrigation à la parcelle avec leurs avantages, inconvénients et leurs coûts, ainsi que sur le choix de la meilleure technique. Ceci en considérant les critères et les contraintes de la zone du périmètre El-Asnam.

### V.2) Différentes techniques d'arrosages :

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

- L'irrigation gravitaire ou de surface.
- L'irrigation par aspersion (sous pression).
- L'irrigation par micro-irrigation (sous pression).

#### V.2.1) Irrigation gravitaire :

C'est l'ensemble des techniques où la répartition de l'eau se fait entièrement à l'air libre par simple écoulement à la surface du sol.

La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain, et aux propriétés hydriques du sol (ruissellement, infiltration, et capillarité). L'application de l'eau se fait par ruissellement, submersion et infiltration.

#### V.2.2) L'irrigation par ruissellement

**Cette méthode consiste à faire couler de l'eau à la surface du sol qui s'y infiltre verticalement. Laissez couler l'eau tant que le sol est humide**

À la profondeur de la couche active.



**Figure V.1 : L'irrigation par ruissellement**

**V.1.2) L'irrigation par submersion**

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

**V.2.3) L'arrosage par infiltration (à la raie):**

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



**Figure V.2 : L'irrigation a la raie**

**V.2.3.1) Avantage :**

- Coût d'investissement relativement faible.
- **Besoins en énergie nuls.**

**V.2.3.1) 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.

**V2.4) L'irrigation par aspersion :**

Irrigation qui projette l'eau en l'air pour tomber à la surface du sol sous forme de fines gouttelettes). C'est un réseau de conduites sous pression portant des asperseurs ou des buses,

conçu pour projeter des jets ou pulvériser de l'eau sous forme de fine gouttes à la surface du sol. (FAO, 2008).



**Figure V.3.** L'irrigation par aspersion

#### V.2.4.1) Avantage de l'aspersion :

- Elle s'adapte à n'importe quel type de terrain (accidenté, pente nulle...etc.).
- Elle peut être employée quelque soit la nature du sol si ce dernier sera très perméable.
- Elle permet une oxygénation de l'eau.
- Elle présente une économie de l'eau, qui peut atteindre 50%.
- Elle met à la disposition des exploitations des conditions d'arrosage très souples, en région aride, l'aspersion permet une protection antigel et fertilisante.

#### V 2.4.2) Les inconvénients de l'aspersion :

- Investissements initiaux élevés (manuel de la fao, 2008)
- Favorise l'apparition des problèmes phytosanitaires en créant un milieu propice aux champignons, insectes et autres maladies.
- Développement des mauvaises herbes.
- Elle favorise l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont fines.
- Tassement progressif du sol ou érosion éventuel de celui-ci, le sol ne s'adapte pas bien à de sols ayant une vitesse d'infiltration inférieure à 3 mm/h.
- Eau chargée provoque l'abrasion très rapide des buses d'aspersion.
- Un minimum de précaution doit être pris pour éviter le colmatage surtout avec la buse de petit diamètre.

### V.2.4.2.1) Différentes installations à la parcelle

En pratique, deux solutions extrêmes peuvent être envisagées, l'installation totalement fixée et 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)

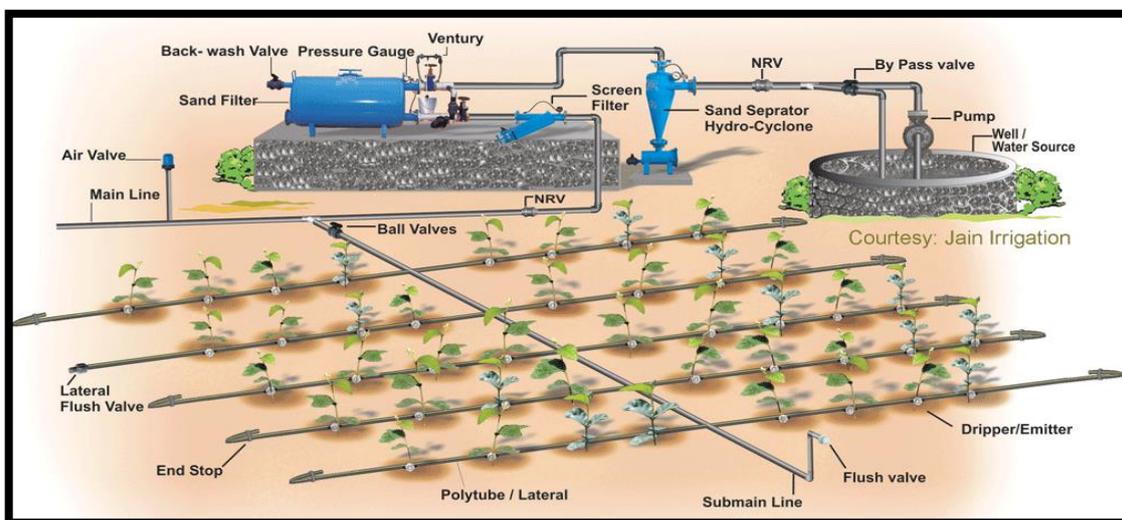
Ce dispositif est le plus utilisé, au lieu d'avoir une seule rampe on couvre toute la superficie à arroser par toute la tuyauterie, celle-ci reste en place durant toute la saison d'arrosage. Dans ce cas, seuls les asperseurs doivent être déplacés et chaque rampe comporte un asperseur et forme une rampe 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 fixé, l'arrosage est commandé par l'ouverture et la fermeture d'une vanne soit manuellement soit automatiquement par commande hydraulique ou électrique

### V.2.5) Irrigation localisée (Goutte à goutte)

Elle consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines de chacune des plantes et à la distribuer au compte goutte, en surface ou en souterraine à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés. Bien menée, cette technique permet notamment de diminuer la consommation d'eau ; elle n'humidifie que la portion de sol située au voisinage immédiat des racines et elle limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde. (SAFRANE et ; 1975).



**Figure V.5.** L'irrigation goutte a goutte**V.2.5.1) Avantages de l'irrigation par goutte a goutte**

- Gain de temps, car l'arrosage se fait automatiquement.
- Grande économie d'eau et d'engrais.
- Coût pas excessif, il est assez facile de trouver un bon système à un tarif raisonnable.
- Toutes les plantes reçoivent exactement la même quantité d'eau et de nutriments (meilleure uniformisation globale de la culture).
- Equilibre parfait en apport d'eau, d'engrais et d'oxygène, ce qui favorise un développement plus rapide de la plante.
- Forte réduction du risque d'apparition des maladies fongiques, car seul le substrat reçoit une quantité précise de solution nutritive.

**V.2.5.2) Les inconvénients de l'irrigation par goutte a goutte**

- 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 coûteux. Le meilleur moyen de prévenir ces obstructions est un procédé par de filtration.
- 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. Une pluie légère risque alors de les entrainer vers les racines, ce qui est très dommageable.
- Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à l'éventuelle interruption des arrosages.
- Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation.
- Coût globalement élevé qui fait réserver cette technique aux cultures à forte valeur ajoutée.
- Fonctionne avec du matériel délicat à durée de vie relativement faible.

**V.3) Choix de la technique d'irrigation convenable**

Le choix de la technique la plus convenable repose sur l'analyse d'un ensemble de critères et contraintes à savoir:

- la topographie (pente de terrain, relief géométrie de la parcelle...etc.)
- la ressource en eau (quantité, qualité, débit et pression disponible).

- la nature des cultures.
- la nature du sol (perméabilité).
- les facteurs socioculturels.
- les facteurs économiques.
- la rentabilité de l'opération.

Une analyse multicritère des techniques d'irrigation basée sur diverses contraintes est essentiel trouver la technique d'irrigation la plus appropriée pour la zone considérée, notre analyse est détaillée comme suit :

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

| Contraintes                    | Irrigation de surface par Rigole | Irrigation par Aspersion | Irrigation localisée |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| • Evaporation                  | +                                | +++                      | +++                  |
| • Vent (1.9 m/s)               | +++                              | +                        | +++                  |
| • Texture (argileux limoneuse) | ++                               | ++                       | +++                  |
| • Perméabilité (bonne)         | +                                | ++                       | +++                  |
| • Pente                        | ++                               | ++                       | +                    |
| • Qualité d'eau (moyenne)      | +++                              | +++                      | +++                  |
| • Cultures                     | X                                | +++                      | X                    |
| • Maraîchage                   | +++                              | X                        | +++                  |
| • céréales                     | X                                | ++                       | +++                  |
| • arbres                       | +++                              | X                        | +++                  |
| • Contraintes économique       |                                  |                          |                      |
| • économie d'eau               | X                                | ++                       | +++                  |

**Remarque :**

x: inadéquat ou déconseillé ; +: Adapté avec réserve;

++ : Adapté ; +++ : Très Adapté

### V.4) Conclusion :

Le choix d'une méthode d'irrigation adaptée à une combinaison de conditions physiques, socio-économiques dépend des facteurs complexes et parfois contradictoires.

Afin de pouvoir choisir la méthode d'irrigation la plus appropriée, il est nécessaire de pouvoir évaluer les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

Dans notre étude, nous nous sommes appuyés sur des techniques d'irrigation modernes, à savoir: l'irrigation goutte à goutte, qui sera utilisé pour l'arboriculture et les cultures maraichères.

## Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

### VI.1) Introduction :

Le choix du mode d'irrigation s'étant porté sur goutte à goutte, le présent chapitre va être consacré au dimensionnement du réseau d'irrigation goutte à goutte.

### VI.2) Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte

#### VI.2.1) Données générales

Le réseau d'irrigation sera installé sur la parcelle n°115 alimentée par la borne N 42 et dont la pression disponible est de l'ordre de 3,7 bars, ce qui est largement suffisant. La surface de l'exploitation est de l'ordre de 2.78ha. (138x201)

**Culture** : olivier

Espacement entre arbres : 4 m

Espacements entre rangs : 4 m

Besoins de pointe mensuelle (olivier) = 180,552 mm/mois

#### Caractéristiques du goutteur

Débit nominal : 4l/h

Pression nominal : 10 mce

Espacement des goutteurs : 4 m

Le nombre de goutteurs par arbre : 2.

### VI.2.2) Besoins d'irrigation en irrigation localisée :

#### Influence du taux de couverture du sol

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

Formule de Keller et Karmeli (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0.85} = 0.71$$

La formule de Freeman et Garzoli :

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

$$K_r = 0.8$$

Ainsi, les besoins en eau d'irrigation localisée sont déterminés comme suit :

$$B_{jl} = B_j * K_r$$

Sachant que :

$$B_j = ETM_c$$

Alors,  $ETM_c = (180,552/30) * 0.8 = 4,81 \text{ mm/j}$

### VI.2.3) Dose nette pratique :

La deuxième étape en micro-irrigation, est la détermination d'une fraction ou pourcentage d'humidification dans la zone racinaire.

La dose (RFU) étant définie par la hauteur d'eau P :

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

Tel que :

- $H_{cc} = 28\%$
- $H_{pf} = 16\%$
- $Y = (2/3)$
- $Z = 1500 \text{ mm}$  (profondeur des racines).
- P : Pourcentage du sol humidifié.

$$P\% = \frac{n \cdot Spd \cdot Sh}{Sa \cdot Sr}$$

P : Volume du sol humidifié.

N : Nombre de point (goutteurs) de distribution par arbre = 2.

Spd : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre = 2.

Sh : Largeur de la bande humidifiée = 1 m (arbres).

Sr : Ecartement entre rangs d'arbre = 4 m.

Sa : espacement des arbres sur les rangs = 4 m.

**A.N :**

$$P\% = \frac{2 * 2 * 1}{4 * 4} = 25\%$$

$$\checkmark D_p = \frac{28 - 16}{100} * (2/3) * 1500 * 1,52 * 0,25 = 45,6 \text{ mm}$$

### VI.2.3) Fréquence des arrosages (Fr jours)

La fréquence d'arrosage est donnée par la formule suivante :

$$Fr = \frac{\text{Dosenette}}{ETM_c} = \frac{45,6}{4,81} = 9,5 \text{ jours}$$

Donc on prend  $Tr = 10 \text{ jours}$ .

### VI.2.4) Calcul de la dose réelle (brute) :

On recalcule la nouvelle dose réelle :

#### VI.2.4.1) Dose réelle (Dr):

$$Dr = B_{jm} * Fr = 4,81 * 10 = 48,1 \text{ mm}$$

**VI.2.4.2) La dose brute réelle (Dbr) :**

$$D \text{ Brute} = D_r / (\text{Eff} * C_u)$$

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

Eff: efficacité du réseau d'irrigation  $\text{Eff}=90\%$ ,

$$\text{Dose brute} = \frac{D_r}{C_u * \text{Eff}} = \frac{48.1}{0.9 * 0.9} = \mathbf{59.38 \text{ mm}}$$

**VI.2.5) Durée de fonctionnement par d'arrosage (h)**

$$\Theta = \frac{D_{br} * S_d * S_r}{n * Q_g}$$

$S_r$  et  $S_d$  espacement entre rang et distributeur,  $n$  et  $Q_g$  nombre et débit du goutteur.

$$\Theta = \frac{59.38 * 2 * 4}{2 * 4} = 59 \text{ heures}$$

**VI.2.6) Durée d'arrosage journalier**

$$D_j = \frac{\text{durée d'arrosage}}{F_r} = \frac{59}{10} = 5.9$$

$D_j = 6$  heures / jour.

**VI.2.7) Calculs hydrauliques****VI.2.7.1) Conditions hydrauliques**

Les calculs hydrauliques consistent à déterminer les paramètres suivants :

- Les débits au niveau de chaque tronçon et à la tête du réseau.
- Les diamètres des conduites.
- Les vitesses d'écoulement de l'eau dans les conduites.
- Les pertes de charges totales.
- La variation maximale du débit entre goutteur ne doit pas dépasser 10% selon la règle de Christiansen
- $\frac{\Delta q}{q} = 10\%$

**VI.2.7.2) La variation maximale de la pression**

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

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

Avec:

Q (g):débit nominal du goutteur

H(n) pression nominal  $x=0.5$  pour les goutteurs (circuit court) et H(n) =10 mce (1 bar)

$$0.1 = 0.5 \left[ \frac{\Delta H_{\max}}{10} \right] \text{ d'où } \Delta H_{\max} = 2\text{mce}$$

Donc selon la règle de Christiansen 10%  $\Delta H$  singulières = 0.2 m

Et 1.8  $\Delta H$  linéaire = 1.8 m

Pour les rampes :  $2/3 \cdot 1.8 = 1.2$  m et pour le porte rampe =  $1/3 \cdot 1.8 = 0.6$  m

### VI.3) Calcul des débits :

$$Q_r = Q_g \cdot N_g / r$$

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

Avec :

$Q_r$  : Débit de rampe.

$Q_g$  : Débit de goutteur.

$N_g / r$  : Nombre des goutteurs par rampe.

$N_r$  : Nombre des rampes.

$Q_{pr}$  : Débit de porte rampe.

La longueur de la rampe (largeur de terrain): 138 m

La longueur de la porte rampe (longueur de terrain) : 201m

La longueur de la conduite secondaire : 100m (maximum)

#### Le nombre d'arbres par rampe:

$$N \text{ arbres} = L_r / E_a = 138 / 4 = \mathbf{35 \text{ arbres}}$$

#### a) Nombre des goutteurs par rampe :

$$N_g = N \text{ arbres} \cdot n = 35 \cdot 2 = \mathbf{70 \text{ goutteurs}}$$

#### b) Le nombre des rampes :

$$N \text{ rampe} = \frac{L_{pr}}{E_r} + 1 = \frac{201}{4} + 1 = \mathbf{51 \text{ rampes}}$$

#### VI.3.1) Débit de la rampe :

$$Q_r = N_g \cdot Q_g$$

$$Q_r = 70 \cdot 4 = \mathbf{280 \text{ l/h}}$$

#### VI.3.2) Débit de la porte rampe :

$$Q_{pr} = Q_r \cdot N_r = 280 \cdot 51 = \mathbf{14280 \text{ l/h}}$$

**VI.3.3) Débit de la conduite secondaire :**

$$Q_{Cs1} = Q_{pr} * N_{Pr} = 14280 * 1 = \mathbf{14280 \text{ l/h}}$$

**VI.4) Dimensionnement des canalisations du réseau :**

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

**VI.4.1) La conduite secondaire (conduite d'approche)**

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les diverses porte-rampes.

**VI.4.2) Porte-rampes :**

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

**VI.4.3) Les rampes :**

Qui sont toujours en PEHD (polyéthylène basse densité), à l'exception de quelques installations où l'on a utilisé du PVC rigide de petit diamètre.

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

$$\varnothing \text{ rampe} = \left[ \frac{\text{p.d.c}(r) * 2.75}{0.478 * (Q(r)^{1.75}) * L(r)} \right]^{-1/4.75}$$

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

Avec :

- Pdc(r) : la perte de charge dans la rampe
- Q(r) : le débit de la rampe en l/h
- L(r) : la longueur de la rampe en m
- Ør (cal) : le diamètre de rampes
- Øpr (cal) : le diamètre de porte rampe
- ✓ D rampe = 14.97 mm, on prend un diamètre normalisé : DN =16 mm
- ✓ Dpr= 79.85 mm, on prend un diamètre normalisé : DN =90 mm

**VI.5) Vérification des pertes de charges****Rampe:**

On recalcule les pertes de charges pour un D = 16 mm. Les Perte de charge selon la formule de « Tison »

$$i = 0.478 * D^{-4.75} * Q^{1.75} \text{ la perte de charge unitaire}$$

$$J = \frac{L}{2.75} i \quad \text{la perte de charge le long de la conduite en (m)}$$

Où :

- L : la longueur de la conduite ; (m)
- Q : débit (l/h)
- D : diamètre intérieur de la canalisation (mm)

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau :

**Tableau VI.1:** Diamètre de la rampe

| Culture | Lr<br>(m) | Ng | Qr<br>(l/h) | Dcal<br>(mm) | Dn<br>(mm) | Jcal<br>(m) |
|---------|-----------|----|-------------|--------------|------------|-------------|
| Olivier | 138       | 70 | 280         | 14.79        | 16         | 0.88        |

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

On applique le même procédé pour les portes rampes, et on trouve :

**Tableau VI.1:** Diamètre de la porte rampe

| Culture | Lpr<br>(m) | Npr | Qpr<br>(l/h) | Dcal<br>(mm) | Dn<br>(mm) | Jcal<br>(m) |
|---------|------------|-----|--------------|--------------|------------|-------------|
| Olivier | 201        | 51  | 14280        | 79,85        | 90         | 0,58        |

La valeur de la perte de charges calculée est inférieure à 0.6 mce (hpr max).

D'après les deux tableaux précédents, on voit que les pertes de charges totales n'ont pas dépassé la limite imposée par la règle de Christiansen ( $\Delta H < 1.8m$ )

**VI.6) Calcul des diamètres des conduites secondaires:**

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1.05 m/s tel que :

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

Avec :

- Q : débit de la conduite considérée (m<sup>3</sup>/s);
- V : vitesse d'écoulement (m/s).

Nous récapitulons les résultats de calcul dans le tableau suivant :

**Tableau VI.2 :** Caractéristiques de la Conduite secondaire :

| Culture | L(m) | Q<br>(l/h) | V<br>supposée<br>(m/s) | Dcal<br>(mm) | Dn<br>(mm) | Vcal<br>(m/s) | hcal (m) |
|---------|------|------------|------------------------|--------------|------------|---------------|----------|
| Olivier | 100  | 14280      | 1.05                   | 131.62       | 160        | 0.71          | 0.01     |

Tableau VI.3. Récapitulatif des caractéristiques des conduites

| Caractéristiques          | La rampe             | Porte rampe          | Conduite secondaire  |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Longueur (m)              | 138                  | 201                  | 100                  |
| Diamètre (mm)             | 16                   | 90                   | 160                  |
| Débit (m <sup>3</sup> /s) | $0.7 \times 10^{-5}$ | $3.9 \times 10^{-3}$ | $3.9 \times 10^{-3}$ |
| Pertes de charge (m)      | 0.88                 | 0,58                 | 0.01                 |

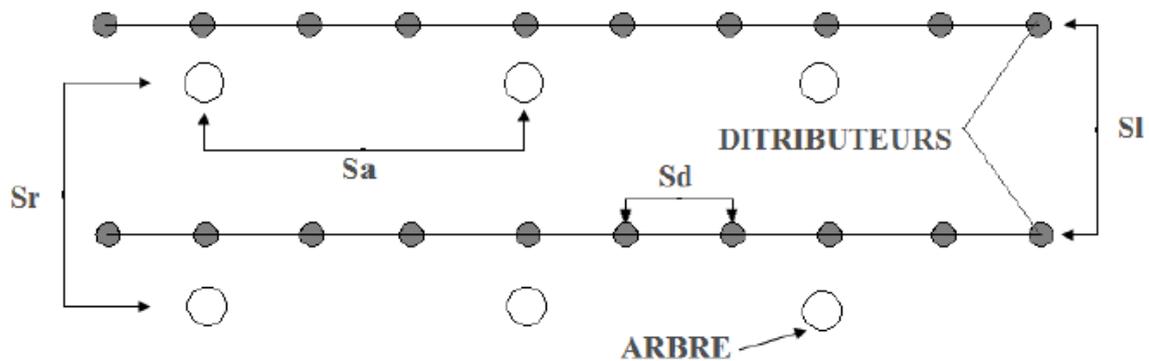


Figure VI.1 schéma représentative d'un réseau goutte à goutte

### VI.7) CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons dimensionné un réseau d'irrigation goutte à goutte.

Pour ce système, nous avons introduit l'irrigation de l'olivier, dont le but est d'assurer les besoins en eau des cultures et afin d'assurer une pression nécessaire au fonctionnement.

L'introduction de ces systèmes permet une revalorisation de l'agriculture par une augmentation des rendements.

## **Chapitre VII : Calcul technico-économique**

### **VII-1) Introduction :**

Le but de ce chapitre est de faire une estimation économique du coût de l'aménagement hydro-agricole, en fonction des différentes charges intervenant dans le projet.

### **VII.2) Différents travaux à entreprendre :**

#### **VII.2.1) Travaux concernant l'adduction et le réseau distribution**

Les tâches constituant les travaux à faire pour la mise en place de l'adduction et le réseau distribution sont :

##### **a. Exécution des tranchées**

C'est un processus de terrassement (déblais) qui consiste à effectuer des excavations. Ces excavations seront effectuées par une pelle hydraulique et les déblais seront posés à côté de la tranchée, tandis que l'autre côté étant réservé au bardage des conduites.

##### **b. pose du lit de sable**

Cette opération consiste à poser un lit de sable au fond de la tranchée, ce lit aura une épaisseur de 12 cm dans notre cas.

##### **c. Pose des conduites**

Avant la descente des conduites dans la fouille, on procède à un triage des conduites de façon à écarter celles qui ont subies des chocs ; et on les descend lentement à l'aide d'un engin de levage, dans le fond de la fouille. Au cours de la pose, on vérifie régulièrement l'alignement des tuyaux pour n'avoir pas des difficultés au raccordement des conduites.

##### **d. Epreuve de joint et de la canalisation**

Pour plus de sécurité, l'essai de pression des conduites et des joints se fait avant le remblaiement, on l'effectue à l'aide d'une pompe d'essai qui consiste au remplissage en eau de la conduite sous une pression de 1,8 fois la pression de service à laquelle sera soumise la conduite lors du fonctionnement.

##### **e. Remblayage des tranchées**

C'est un procédé de terrassement qui consiste à enfouir la conduite, en utilisant le remblai résultant de l'excavation.

##### **f. Nivellement et compactage**

Une fois le remblai effectué, on procède au nivellement qui consiste à étaler les terres qui sont en monticule, puis au compactage pour augmenter la densité des terres et d'éviter le tassement par la suite.

### VII.3) Calcul des volumes des travaux de l'adduction

#### VII.3.1) Calcul du volume de terrassement

##### a. Largeur du fond de la tranchée

La largeur d'ouverture de la tranchée est obtenue par la formule :

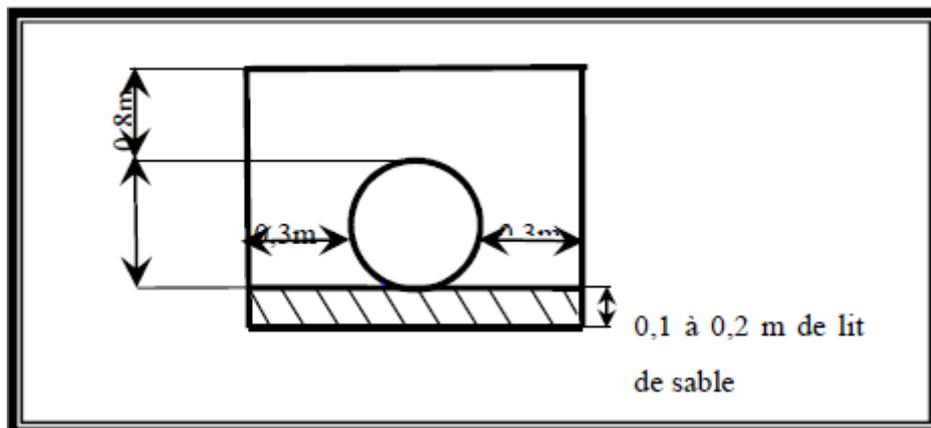
$$B = d + (0.6)$$

Avec : B : largeur de la tranchée (m)

d : diamètre de la conduite (m)

##### b. profondeur de la tranchée

La profondeur de la conduite doit permettre la réalisation correcte des branchements particuliers, et d'empêcher toute intercommunication avec les autres conduites.



**Figure VII.1** : Disposition de la conduite dans une tranchée

$$H = e + d + h \text{ (m)}$$

Avec : H : profondeur de la tranchée. (m)

e : hauteur du lit de pose. (m)

d : diamètre de la conduite. (m)

h : la hauteur du remblai au-dessus de la conduite.

#### VII.3.2) Calcul du volume de déblai

La surface à calculer est la surface rectangulaire :  $S = B * H$

Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau VII-1**

**Tableau VII.1** : calcul du volume de déblai

|                                      | <b>Diamètre<br/>(mm)</b> | <b>Longueur<br/>de la<br/>conduite (m)</b> | <b>largeur<br/>de la<br/>tranchée<br/>b :(m)</b> | <b>Hauteur de<br/>La<br/>tranchée(m)</b> | <b>Volume<br/>de déblai<br/>(m3)</b> |
|--------------------------------------|--------------------------|--|--|--|--------------------------------------|
| <b>La conduite de<br/>Refolement</b> | 600                      | 3725                                       | 1.1  | 1.2                                      | 4917                                 |

**VII.3.3) Calcul du volume de lit de sable**

Ce lit correspond à une couche de sable de 12cm sur le fond de la tranchée, donc c'est une surface constante le long de la tranchée, on calcule cette surface en utilisant la formule suivante :

$$V = e * b * L$$

**Tableau VII.2** : calcul du volume de sable

|                      | <b>Hauteur (m)</b> | <b>Longueur(m)</b> | <b>Largeur(m)</b> | <b>Volume (m 3)</b> |
|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| <b>C. refolement</b> | 0.2                | 3725               | 1.1               | 819.5               |

**VII.3.4) Calcul du volume de remblai**

Ce volume est déduit à partir du volume du déblai, c'est le volume qu'occupent la conduite et le volume occupé par le lit de sable.

$$V_r = V_d - (V + V_s)$$

$V_r$ : Volume du remblai compacté (m3)

$V_d$ : Volume du déblai (m3)

$V_s$  : Volume du sable

$V$  : Volume occupé par la conduite (m3) ;  $V = L * \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)$

$L$  : Longueur de la conduite

$D$  : Diamètre de la conduite.

Donc les volumes des travaux pour la conduite sont représentés dans le tableau VII-3.

**Tableau VII.3** : Calcul du volume de remblai

|  | <b>Diamètre<br/>(mm)</b> | <b>V(Déblai)<br/>(m3)</b> | <b>V(Conduite)<br/>(m3)</b> | <b>V(Sable)<br/>(m3)</b> | <b>V (Remblai)<br/>(m3)</b> |
|--|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>La conduite<br/>de<br/>refolement</b> | 600                      | 4917                      | 731,03                      | 819.5                    | 2551,75                     |

**VII.3.5) Estimation du cout de pose de conduites d'adduction****Tableau VII.4 :** Estimation du cout de pose de canalisation de l'adduction.

| Désignation des travaux | Unité | Quantité<br>m3 | Prix unitaire<br>DA | Montant DA        |
|-------------------------|-------|----------------|---------------------|-------------------|
| 1) déblai et remblai    | (m3)  | 7468.75        | 300                 | 2240625           |
| 2) lit de sable         | (m3)  | 819.5          | 800                 | 655600            |
| <b>Total (HT) 1</b>     |       |                |                     | 2896225           |
| <b>TVA (19%)</b>        |       |                |                     | 550282,75         |
| <b>Montant TTC (DA)</b> |       |                |                     | <b>3446507,75</b> |

**VII.4) Calcul des volumes des travaux de distribution :**

Pour les valeurs de (h, m) sont identiques à celles de l'adduction, il suffit juste de calculer les valeurs de b, pour les différentes gammes de diamètres constituant le réseau d'irrigation.

Le tableau ci-dessous nous renseignera sur le volume des travaux de distribution selon les différents diamètres existant dans le réseau : fixant **H=1.2 m**

**VII.4.1) Déblais d'excavation :**

Le **tableau VII.5** récapitule les résultats de calculs des volumes des déblais d'excavation

**Tableau.VII.5.** calcul du volume de déblai.

| Déblais       | H=1.2m |        |              |                       |
|---------------|--------|--------|--------------|-----------------------|
| Diamètre (mm) | B (m)  | S (m2) | Longueur (m) | Volume du déblai (m3) |
| 75            | 0,675  | 0,81   | 613,08       | 496,5948              |
| 90            | 0,69   | 0,828  | 2 052,34     | 1699,3375             |
| 110           | 0,71   | 0,852  | 6 337,57     | 5399,6096             |
| 160           | 0,76   | 0,912  | 136,07       | 124,09584             |
| 200           | 0,8    | 0,96   | 415,04       | 398,4384              |
| 250           | 0,85   | 1,02   | 707,63       | 721,7826              |
| 300           | 0,9    | 1,08   | 131,14       | 141,6312              |
| 315           | 0,915  | 1,098  | 294,58       | 323,44884             |
| 400           | 1      | 1,2    | 608,58       | 730,296               |
| 500           | 1,1    | 1,32   | 1 323,30     | 1746,756              |
| 600           | 1,2    | 1,44   | 1 526,80     | 2198,592              |
| 700           | 1,3    | 1,56   | 3 684,57     | 5747,9292             |

|              |                |  |  |  |
|--------------|----------------|--|--|--|
|              |                |  |  |  |
| <b>Somme</b> | 19728,512 (m3) |  |  |  |

#### VII.4.2) Pose du lit de sable

Le **tableau VII.6.** récapitule les résultats de calculs de volume de lit de sable pour les différents diamètres du réseau.

**Tableau. VII.6.** calcul du volume du lit de sable.

| Déblais       | H=0.2m        |        |              |           |
|---------------|---------------|--------|--------------|-----------|
| Diamètre (mm) | B (m)         | S (m2) | Longueur (m) | sable     |
| 75            | 0,675         | 0,135  | 613,08       | 82,7658   |
| 90            | 0,69          | 0,138  | 2 052,34     | 283,22292 |
| 110           | 0,71          | 0,142  | 6 337,57     | 899,93494 |
| 160           | 0,76          | 0,152  | 136,07       | 20,68264  |
| 200           | 0,8           | 0,16   | 415,04       | 66,4064   |
| 250           | 0,85          | 0,17   | 707,63       | 120,2971  |
| 300           | 0,9           | 0,18   | 131,14       | 23,6052   |
| 315           | 0,915         | 0,183  | 294,58       | 53,90814  |
| 400           | 1             | 0,2    | 608,58       | 121,716   |
| 500           | 1,1           | 0,22   | 1 323,30     | 291,126   |
| 600           | 1,2           | 0,24   | 1 526,80     | 366,432   |
| 700           | 1,3           | 0,26   | 3 684,57     | 957,9882  |
| <b>Somme</b>  | 3288,0853(m3) |        |              |           |

#### VII.4.3) Remblais compacté

Pour chaque diamètre du réseau, on conclue le volume du remblai compacté d'après les résultats des deux tableaux précédents

Le **tableau VII.7** récapitule les résultats de calculs de volume du remblai compacté pour les différents diamètres du réseau.

**Tableau.VII.7.** calcul du volume du remblai compacté

| Diamètre (mm) e | Section du conduite | Longueur(m) | Volume de la conduite (m3) | Volume du lit de sable | Volume du déblai (m3) | Volume du remblai compacté (m3) |
|-----------------|---------------------|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 75              | 0,00441563          | 613,08      | 2,70713444                 | 82,7658                | 496,5948              | 411,121866                      |

|       |            |                               |            |            |            |            |
|-------|------------|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 90    | 0,0063585  | 2 052,34                      | 13,0498039 | 283,22292  | 1699,33752 | 1403,0648  |
| 110   | 0,0094985  | 6 337,57                      | 60,1974086 | 899,93494  | 5399,60964 | 4439,47729 |
| 160   | 0,020096   | 136,07                        | 2,73446272 | 20,68264   | 124,09584  | 100,678737 |
| 200   | 0,0314     | 415,04                        | 13,032256  | 66,4064    | 398,4384   | 318,999744 |
| 250   | 0,0490625  | 707,63                        | 34,7180969 | 120,2971   | 721,7826   | 566,767403 |
| 300   | 0,07065    | 131,14                        | 9,265041   | 23,6052    | 141,6312   | 108,760959 |
| 315   | 0,07789163 | 294,58                        | 22,9453164 | 53,90814   | 323,44884  | 246,595384 |
| 400   | 0,1256     | 608,58                        | 76,437648  | 121,716    | 730,296    | 532,142352 |
| 500   | 0,19625    | 1 323,30                      | 259,697625 | 291,126    | 1746,756   | 1195,93238 |
| 600   | 0,2826     | 1 526,80                      | 431,47368  | 366,432    | 2198,592   | 1400,68632 |
| 700   | 0,38465    | 3 684,57                      | 1417,26985 | 957,9882   | 5747,9292  | 3372,67115 |
| Somme | 1,25847276 | <del>17830,7</del><br>17830,7 | 2343,52832 | 3288,08534 | 19728,512  | 14096,8984 |

Le **tableau VII.8** récapitule les résultats de calculs de volume des travaux de terrassement du réseau d'irrigation :

**Tableau VII.8:** Estimation du cout de pose de canalisation de la partie distribution

| Désignation des travaux | Unité | Quantité M3 | Prix unitaire DA | Montant DA        |
|-------------------------|-------|-------------|------------------|-------------------|
| 1) déblai               | m3    | 19728,512   | 300              | 5918553,61        |
| 2) lit de sable         | m3    | 3288,08534  | 800              | 2630468,27        |
| 3) remblai              | m3    | 14096,8984  | 300              | 4229069,5         |
| <b>TOTAL (HT)</b>       |       |             |                  | 12778091,4        |
| <b>TVA (19%)</b>        |       |             |                  | 2427837,36        |
| <b>Montant TT</b>       |       |             |                  | <b>15205928,7</b> |

#### VII.4.5) Estimation du cout du réseau de distribution

**Tableau VII.9 :** Factures pro-forma des pièces du réseau distribution

| Pièces        | Unité de Mesure | Quantité (m) | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|---------------|-----------------|--------------|--------------------|--------------|
| Tube Ø PEHD75 | m/l             | 613,08       | 201,91             | 123786,983   |
| TubeØ90 PEHD  | m/l             | 2052,34      | 361,91             | 742762,369   |
| TubeØ110      | m/l             | 6337,57      | 554,07             | 3511457,41   |

|                                  |     |         |                             |                  |
|----------------------------------|-----|---------|-----------------------------|------------------|
| PEHD                             |     |         |                             |                  |
| TubeØ160<br>PEHD                 | m/l | 136,07  | 1361,17                     | 185214,402       |
| TubeØ200<br>PEHD                 | m/l | 415,04  | 1808,95                     | 750786,608       |
| TubeØ250<br>PEHD                 | m/l | 707,63  | 3519,72                     | 2490659,46       |
| TubeØ300<br>PEHD                 | m/l | 131,14  | 4020,87                     | 527296,892       |
| TubeØ315<br>PEHD                 | m/l | 294,58  | 4 478,10                    | 1319158,7        |
| TubeØ400<br>PEHD                 | m/l | 608,58  | 6007,06                     | 3655776,57       |
| TubeØ500<br>PEHD                 | m/l | 1323,3  | 10 674,30                   | 14125301,2       |
| TubeØ600<br>PEHD                 | m/l | 1526,8  | 11980,53                    | 18291873,2       |
| TubeØ700<br>PEHD                 | m/l | 3684,57 | 15730,2                     | 57959023         |
| bornes<br>d'irrigation<br>100 mm | U   |         | 50000                       | 2200000          |
| filtres à sable                  | U   | 1       | 20000                       | 20000            |
|                                  |     |         | TVA (19%)                   | 20144412,6       |
|                                  |     |         | <b>Montant TTC<br/>(DA)</b> | <b>126167637</b> |

Le **tableau VII.10** récapitule Le détail estimatif des travaux de réservoir :

**Tableau VII.10** : Le détail estimatif des travaux de réservoir :

| Désignation des travaux       | unité          | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|-------------------------------|----------------|----------|--------------------|--------------|
| <b>*Terrassements</b>         |                |          |                    |              |
| Décapage de la terre végétale | M <sup>3</sup> | 150      | 550,00             | 82500        |
| Déblai                        | M <sup>3</sup> | 200      | 600,00             | 120000       |

|   |                |     |                 |         |
|---|----------------|-----|-----------------|---------|
| Remblai                                 | M <sup>3</sup> | 120 | 600,00          | 72000   |
| <b>*Béton arme</b>                      | M <sup>3</sup> | 150 | 50000,00        | 7500000 |
| <b>*Aménagement extérieur et Divers</b> |                |     |                 |         |
| Portail métallique                      | U              | 1   | 180000,00       | 180000  |
| Electricités                            | U              | 30  | 10000,00        | 300000  |
| Peinture                                | M <sup>2</sup> | 350 | 1200,00         | 420000  |
| Mur de clôture                          | MI             | 70  | 4000,00         | 280000  |
| Revêtement                              | M <sup>2</sup> | 50  | 30000,00        | 1500000 |
| <b>TOTAL (DA) :</b>                     |                |     | <b>10454500</b> |         |

Le **tableau VII.11** récapitule Le détail estimatif des travaux de système de pompage

**Tableau VII.11** récapitule Le détail estimatif des travaux de système de pompage

| Désignation des travaux                | unité          | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|--|----------------|----------|--------------------|--------------|
| <b>I- Génie civil</b>                  |                |          |                    | 970000       |
| <b>*Terrassements</b>                  |                |          |                    |              |
| Décapage de la terre végétale          | M <sup>3</sup> | 400      | 550                | 220000       |
| Déblai                                 | M <sup>3</sup> | 650      | 600                | 390000       |
| Remblai                                | M <sup>3</sup> | 350      | 600                | 210000       |
| <b>*Maçonnerie</b>                     | M <sup>3</sup> |          |                    |              |
| Béton arme                             | M <sup>3</sup> | 100      | 50000              | 5000000      |
| Maçonnerie en brique                   | M <sup>3</sup> | 110      | 3500               | 385000       |
| Revêtement                             | M <sup>3</sup> | 40       | 30000              | 1200000      |
| Peinture                               | M <sup>3</sup> | 200      | 1200               | 240000       |
| <b>*Divers</b>                         |                |          |                    |              |
| Portail métallique                     | U              | 1        | 180000             | 180000       |
| Fenêtre en pvc                         | U              | 4        | 30000              | 120000       |
| Porte                                  | U              | 4        | 45000              | 180000       |
| Electricités                           | U              | 100      | 10000              | 1000000      |
| <b>*Aménagement extérieur</b>          |                |          |                    |              |
| Mur de clôture                         | ML             | 200      | 4000               | 800000       |
| Loge de gardien                        | U              | 1        | 300000.00          | 300000       |
| Revêtement                             | ML             | 200      | 30000              | 6000000      |
| <b>II- Equipements hydromécaniques</b> |                |          |                    |              |

|   |                |      |                  |           |
|---|----------------|------|------------------|-----------|
| f/p de conduite d'aspiration en acier y compris coude cône de réduction   | ML             | 14   | 50000            | 700000    |
| f/p de conduite de refoulement en acier y compris coude cône de réduction | ML             | 14   | 50000            | 700000    |
| f/Pose des vannes   | U              | 2    | 250000           | 500000    |
| f/Pose clapet anti retour   | U              | 2    | 100000           | 200000    |
| f/Pose de crépine   | U              | 1    | 170000           | 170000    |
| f/p ventouse  | U              | 1    | 60000            | 60000     |
| <b>III- Bâche d'aspiration</b>  |                |      |                  |           |
| Terrassements   | M <sup>3</sup> | 600  | 700              | 420000    |
| Béton arme  | M <sup>3</sup> | 10   | 50000            | 500000    |
| Etanchéité  | M <sup>3</sup> | 100  | 3000             | 300000    |
| Divers  |                | 10   | 10000            | 100000    |
| <b>IV- conduite de refoulement en acier DN 500</b>                        |                |      |                  |           |
| F/pose de conduite  | ML             | 3725 | 50000            | 186250000 |
| <b>TOTAL (DA) :</b>   |                |      | <b>207095000</b> |           |

### VII.5) Conclusion

En examinant toutes les étapes, en calculant le volume et en estimant le coût des tâches,

Connaissant le volume de travaux de chaque tâche et le prix unitaire de cette dernière, nous avons estimé le coût total du projet à 362369573 dinars algériens.

## **Conclusion générale**

A travers ce mémoire dont l'objectif visé a été l'étude de l'aménagement hydro-agricole du périmètre d'El Asnam (Secteur C) dans la wilaya de Bouira, avec un réseau d'adduction sous pression alimenté à partir du barrage de Tilesdit.

En raison de sa situation, le périmètre El-Asnam est caractérisé par une température moyenne de l'ordre de 17.42°C et Une pluviométrie annuelle de 356,7mm. Notre région est soumise à un climat semi-aride où l'irrigation est nécessaire.

Suivant les résultats caractérisant la région, nous avons choisi des cultures adaptée avec les donnés climatiques, agro pédologiques et ne nécessitant pas beaucoup d'eau.

L'estimation des besoins en eau d'irrigation s'est estimée à partir de la détermination de l'évapotranspiration par la méthode de Penman. Ainsi, le volume total des besoins en eau des cultures est évalué à 2527086,46m<sup>3</sup>.

Le réseau d'adduction projeté est par pompage, commençant par une station équipée de cinq pompes principales centrifuges et à axe horizontal. Le bassin d'accumulation reçoit les eaux d'irrigation au moyen d'une conduite de refoulement sur une longueur de 3725m avec un diamètre de 600 mm. Après avoir estimé les besoins en eau de chaque ilot, nous avons opté pour un système de distribution qui assure l'alimentation des parcelles par une desserte gravitaire à partir d'un bassin d'accumulation.

Nous avons procédé au dimensionnement d'un système d'irrigation goutte à goutte, car L'introduction de ce système permet une revalorisation de l'agriculture par une augmentation des rendements des cultures.

En dernier, nous avons établi un du devis quantitatif et estimatif de la réalisation de notre projet d'irrigation projeté et qui s'est révélé de trois cent cinquante-quatre millions cinq cent vingt-quatre mille quatre cents sept dinars algériens.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **LEBOURGEOIS François, 2010**: Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers Equipe Ecologie Forestière, ENGREF – 14 rue Girardet – 54042 Nancy Cedex.
2. **ADE (2008)** : *manuel de description du fonctionnement et de l'exploitation de l'unité de production et de transfert des eaux « Tilesdit »* W.Bouira. Document technique.
3. **TOUAIBIA B, 2014** : Manuel d'Hydrologie.
4. **FAO 1975**. Les besoins en eau des cultures. Bull Fao n° 24. BULLTIN DE FAO N° 36, L'irrigation localisée (Calcul, mise en place exploitation, contrôle du fonctionnement).FAO 1983.
5. **Ollée et Poirée (1981)** : *Irrigation (les réseaux d'irrigation, théorie, Technique économie des arrosages)* .Ed Eyrolles, Paris.
6. **Mémoire de master : M elle KHALDI Nessrine ,2011/2012** : CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA COMMUNE D'EL ASNAM (BOUIRA) A PARTIR DE BARRAGE DE TILES DIT. À l'UMMTO

# Annexe

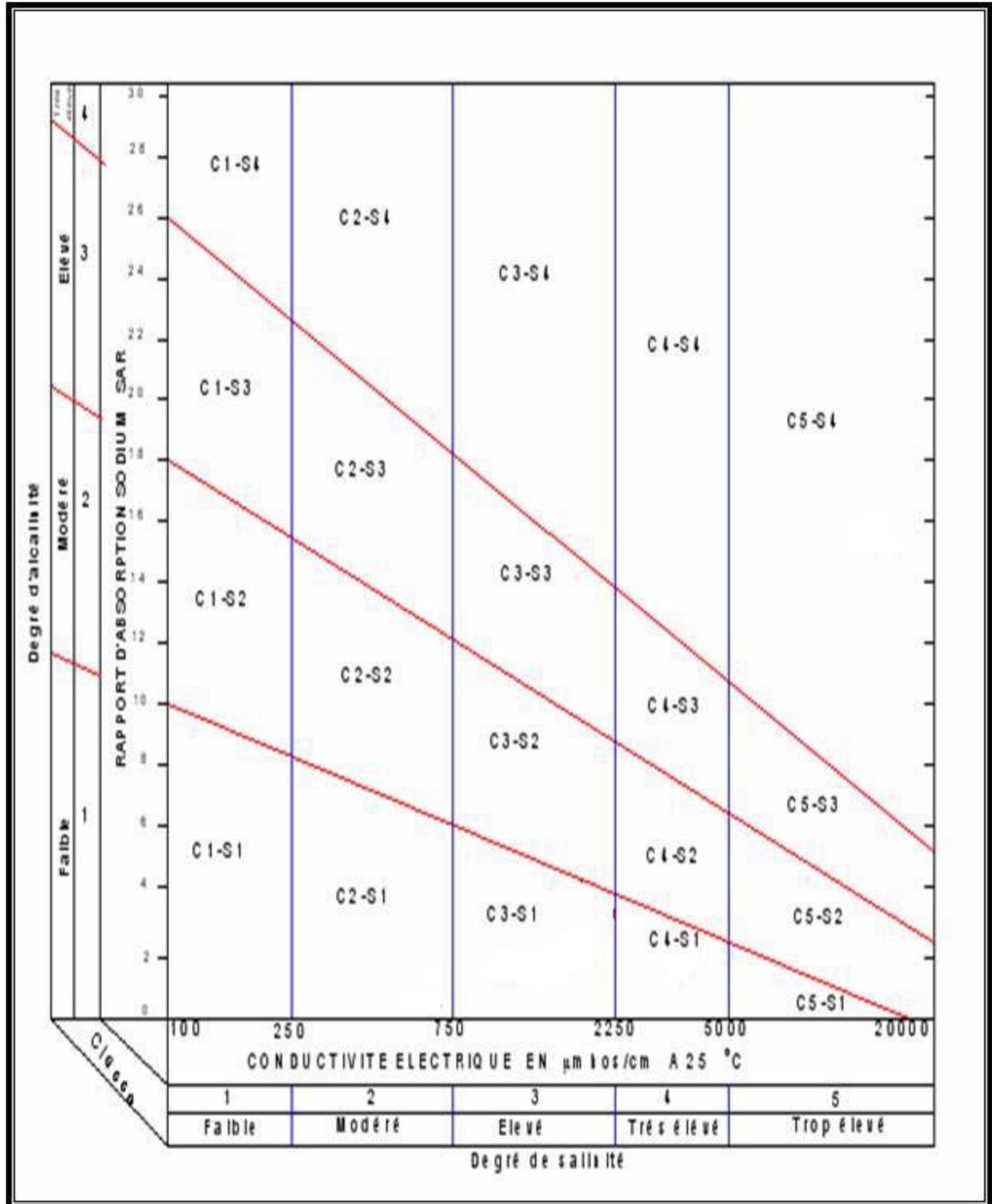
## Annexe 1

### Caractéristiques hydriques de quelques sols

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

## Annexe 2

### Diagramme de classification des eaux d'irrigation



### Annexe 3

#### Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures

| Cultures                             | Z<br>m    |
|--------------------------------------|-----------|
| Tomates                              | 1 - 1,2   |
| Cultures maraichères                 | 0,3 - 0,6 |
| Agrumes                              | 1 - 1,2   |
| Arbres fruitiers à feuilles caduques | 1 - 2     |
| Vigne                                | 1 - 3     |

### Annexe 4

#### Coefficients culturaux (Kc)

2. COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc)

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

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

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

## **Annexe 5**

### **Les précipitations moyennes annuelles**

| Années | sep  | oct  | Nov   | Dec   | Jan   | fev   | mar   | Avr   | mai   | Jun  | Jul  | aou  | Annuel |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| 1985   | 20,4 | 59,9 | 58,8  | 20,5  | 42,4  | 45,1  | 131,4 | 9,9   | 1,2   | 20,6 | 0    | 8,3  | 418,5  |
| 1986   | 44,3 | 23,5 | 18,2  | 131,5 | 63,2  | 134,2 | 50,2  | 1     | 8,7   | 0    | 2,2  | 2,5  | 479,5  |
| 1987   | 59   | 27,7 | 55,4  | 22,9  | 16,5  | 7,1   | 54,4  | 49,1  | 11,9  | 14,6 | 4,3  | 0    | 322,9  |
| 1988   | 4,4  | 3,1  | 62,5  | 171   | 13,6  | 31,3  | 35,5  | 131,2 | 14,3  | 11   | 5,9  | 10,1 | 493,9  |
| 1989   | 61,6 | 32,4 | 27,1  | 3,4   | 37,4  | 0     | 30,9  | 53,3  | 60,1  | 15,1 | 23,7 | 0    | 345    |
| 1990   | 3    | 8,5  | 40,9  | 91,9  | 38,9  | 64,2  | 64,8  | 16,8  | 27    | 0    | 0    | 6,8  | 362,8  |
| 1991   | 35,4 | 40,4 | 9,4   | 8,2   | 56,1  | 0     | 33,5  | 114,4 | 70,5  | 0    | 0    | 0    | 367,9  |
| 1992   | 35,4 | 0    | 42,4  | 71,4  | 22,7  | 3,2   | 7,7   | 29,7  | 41,9  | 3,8  | 0    | 4,5  | 227,3  |
| 1993   | 35,4 | 4,2  | 52,7  | 49,9  | 26    | 65,2  | 3     | 20,4  | 0     | 1    | 0    | 0    | 281,3  |
| 1994   | 35,4 | 43,6 | 15,4  | 26    | 158,2 | 17,9  | 85,2  | 11,3  | 0     | 42,4 | 0    | 1,6  | 460    |
| 1995   | 35,4 | 36,3 | 12,2  | 15,8  | 89,5  | 116,8 | 29,7  | 34,9  | 24,7  | 0,9  | 0    | 6,7  | 370,5  |
| 1996   | 35,4 | 0    | 21,5  | 45,3  | 28,5  | 7,5   | 10,9  | 35,5  | 19,3  | 19,6 | 0    | 18,2 | 226,3  |
| 1997   | 35,4 | 40,5 | 98,2  | 45    | 34    | 42,4  | 8,5   | 66,3  | 102,3 | 9,8  | 0    | 3,6  | 512,8  |
| 1998   | 35,4 | 23,2 | 26,9  | 9,6   | 53,2  | 21,4  | 36,3  | 23    | 21    | 0    | 0    | 1,5  | 251,5  |
| 1999   | 35,4 | 9,5  | 25,9  | 74,7  | 0     | 0     | 0     | 12,5  | 34,9  | 0    | 0    | 0    | 184    |
| 2000   | 35,4 | 40,5 | 49    | 50,2  | 116,1 | 14,5  | 4     | 32,9  | 7     | 0    | 0    | 6    | 355,6  |
| 2001   | 35,4 | 3,8  | 22,1  | 8,4   | 36,8  | 20,4  | 14,8  | 8,5   | 0     | 2,1  | 0    | 46,6 | 191,8  |
| 2002   | 35,4 | 9    | 122,3 | 100,6 | 156,8 | 41,2  | 20,4  | 93,1  | 1     | 2,1  | 0    | 62   | 643,9  |
| 2003   | 35,4 | 67,2 | 43,7  | 107,6 | 28,8  | 14,7  | 14,7  | 60    | 1,5   | 0    | 0    | 0    | 373,6  |
| 2004   | 35,4 | 34,5 | 61,4  | 103,4 | 118,6 | 68,2  | 11    | 5,1   | 0     | 1,7  | 0    | 0    | 427,6  |

|      |      |      |      |      |      |      |           |           |      |      |          |      |       |
|------|------|------|------|------|------|------|-----------|-----------|------|------|----------|------|-------|
| 2005 | 35,4 | 39,5 | 47,4 | 29,8 | 47,2 | 55,5 | 27,1      | 18,9      | 56,7 | 0    | 0        | 0    | 357.5 |
| 2006 | 35,4 | 30   | 16,9 | 46,2 | 9,2  | 26,7 | 145,<br>1 | 108,<br>5 | 19   | 0    | 0        | 8,2  | 445.2 |
| 2007 | 35,4 | 35   | 43   | 42.8 | 44   | 40,6 | 54,1      | 27,2      | 43,8 | 13,7 | 0        | 0    | 379.6 |
| 2008 | 35,4 | 35   | 42,9 | 85,4 | 94,3 | 20,8 | 51,4      | 72        | 5,2  | 0    | 0        | 7,5  | 449.9 |
| 2009 | 35,4 | 14,5 | 80,1 | 56,3 | 54,6 | 68,8 | 57,2      | 15,7      | 33,3 | 22,4 | 6        | 10   | 454.3 |
| 2010 | 35,4 | 35   | 36   | 34.8 | 22,5 | 47.8 | 68,7      | 45,6      | 59,2 | 18   | 20,<br>5 | 0    | 423.5 |
| 2011 | 35,4 | 29,1 | 54,2 | 54   | 33,6 | 50,6 | 39,6      | 1         | 17,1 | 0    | 2,5      | 13,7 | 330.8 |
| 2012 | 35,4 | 69,5 | 60   | 69,3 | 78,7 | 56   | 45,6      | 37,8      | 41,9 | 4    | 5,3      | 3    | 506.5 |
| 2013 | 35.4 | 45.7 | 56.8 | 61   | 58.7 | 59   | 47        | 45.9      | 40   | 0    | 0        | 0    | 449.5 |
| 2014 | 35.4 | 40.4 | 46   | 46.9 | 50.7 | 51   | 47        | 45.5      | 41.1 | 0    | 0        | 0    | 404   |
| 2015 | 35,4 | 46.4 | 47   | 20   | 15,1 | 43,3 | 67,8      | 23,7      | 63,6 | 0    | 1,5      | 0    | 363.8 |
| moy  | 35,2 | 27,4 | 44,3 | 56,4 | 52,9 | 39,5 | 41,8      | 39,9      | 28,4 | 6,5  | 2,3      | 7,2  | 356,7 |