



Mémoire de fin d'études

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

OPTION : IRRIGATION ET DRAINAGE

Etude du périmètre d'irrigation à l'aval de la STEP d'Aïn M'lila
(Wilaya d'Oum EL Bouaghi)

Présenté par :
BEDDAR Mahdi Yakine

Devant les membres du jury :

| Noms et prénoms | Grade | Qualité |
|----------------------|------------|--------------|
| RASSOUL Abdelaziz | Professeur | - Président |
| AZIEZ Ouahiba | M.C.B | - Membre |
| SAIL Nadhira | M.A.A | - Membre |
| KERID Rachid | M.C.A | - Membre |
| DJODAR HALLAL Dahbia | M.C.A | - Promotrice |

Session : 2022/2023

Dédicace

“

C'est tout à fait vrai, les moments importants de notre vie sont souvent marqués par les personnes qui les ont partagés avec nous. Ces personnes peuvent être des amis, des membres de la famille, des mentors ou d'autres proches. Les souvenirs que nous créons ensemble deviennent des trésors précieux qui nous accompagnent tout au long de notre vie.

Je souhaite dédier cet humble mémoire, qui symbolise l'aboutissement de nombreuses années de travail académique, en premier lieu :

À mon cher père Abd El Nour qui m'a soutenu et a su me donner courage.

À ma très chère mère Amel à qui Je suis redevable pour les sacrifices consentis, l'amour qu'elle m'a donné, l'aide précieuse et le soutien qu'elle m'a apporté.

À mon frère Anas, et à mes sœurs sarab et Loudjain et Line ainsi que mes chers grands parents et tantes .

À tous mes collègues tout au long de ma vie, j'ai eu la chance d'être entouré de personnes exceptionnelles qui ont généreusement donné le meilleur d'elles-mêmes sans rien attendre en retour.

*À tous et à toutes, je dédie ce travail,
Merci.*

”

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadrante Mme Djoudar Hallal Dahbia, qui a accepté de diriger mon travail. Elle s'est montrée compréhensive et particulièrement sensible aux divers problèmes que j'ai rencontrés. Pour l'aide compétente qu'elle m'a apportée, pour sa patience et son encouragement. Son œil critique m'a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers nos professeurs et enseignants de l'**ENSH** qui nous ont guidés tout au long de notre formation d'ingénieur, ainsi qu'à tous les membres du jury qui ont eu l'honneur d'évaluer ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à tous mes amis de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, je souhaite exprimer ma reconnaissance envers l'équipe pédagogique et administrative de l'école pour leurs efforts visant à nous offrir une formation d'excellence.

Merci beaucoup.

Résumé

Dans un contexte de changements climatiques et de la raréfaction des pluies, le présent travail a pour objectif principal la préservation de l'environnement et la santé public. Afin de renforcer le développement agricole de la région d'étude, nous avons entrepris une étude approfondie du projet d'irrigation du périmètre d'**Ain M'lila** pour valoriser les eaux traitées issues de la station d'épuration, ce qui permettra de limiter la sollicitation des eaux souterraines.

Pour ce faire, plusieurs critères ont été pris en considération, notamment l'analyse de la qualité des eaux usées traitées à la sortie de la station d'épuration, les conditions climatologiques spécifiques à la région et les caractéristiques des cultures adoptées.

Mots clés : Changement climatique, développement agricole, projet d'irrigation, conditions climatologiques.

Abstract

In the context of climate change and water scarcity, the main objective of this work is the preservation of the environment and public health. In order to strengthen the agricultural development of the study region, we have undertaken a comprehensive study of the irrigation project in the **Ain M'lila** perimeter to valorize the treated water from the wastewater treatment plant, this will help reduce the reliance on groundwater.

To achieve this, several criteria have been taken into consideration, including the analysis of the quality of treated wastewater at the outlet of the treatment plant, the specific climatic conditions of the region, and the characteristics of the adopted crops.

Keywords : Climate change, agricultural development, irrigation project, climatic conditions.

ملخص

في سياق التغيرات المناخية وندرة الأمطار، يهدف العمل الحالي في المقام الأول إلى الحفاظ على البيئة وصحة العامة. من أجل تعزيز التنمية الزراعية في منطقة الدراسة، قمنا بإجراء دراسة معمقة لمشروع الري في منطقة عين مليلة لثمين المياه المعالجة من محطة معالجة المياه العادمة. وسيساهم ذلك في تقليل الاعتماد على المياه الجوفية. ولتحقيق ذلك، تم اعتبار العديد من المعايير، بما في ذلك تحليل جودة مياه الصرف الصحي المعالجة عند مخرج محطة المعالجة، والظروف المناخية الخاصة بالمنطقة، وخصائص الزراعات المعتمدة.

كلمات مفتاحية :

التغيرات المناخية ، التنمية الزراعية، مشروع الري، الظروف المناخية.

Table des matières

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|
| Dédicace | I |
| Remerciements | II |
| Résumé | III |
| Abstract | IV |
| V | ملخص |
| Introduction générale | 1 |
| 1 Présentation de la zone d'étude | 3 |
| 1.1 Introduction | 4 |
| 1.2 Présentation de la wilaya d'Oum El Bouaghi | 4 |
| 1.3 Présentation de la commune d'Ain M'lila | 4 |
| 1.4 Localisation géographique | 4 |
| 1.4.1 Localisation du périmètre d'étude | 5 |
| 1.4.2 Données naturelles sur le site | 6 |
| 1.4.3 Hydrologie | 6 |
| 1.4.4 La géologie | 7 |
| 1.4.5 Conditions climatiques de la région | 7 |
| 1.4.5.1 Le climat | 7 |
| 1.4.5.2 Choix de la station météorologique | 7 |
| 1.4.5.3 La température | 7 |
| 1.4.5.4 Humidité de l'air | 8 |
| 1.4.5.5 Ensoleillement | 9 |
| 1.4.5.6 Le vent | 10 |
| 1.4.5.7 Précipitations | 11 |
| 1.4.6 L'évaporation | 11 |
| 1.4.7 Représentation du diagramme de Gaussen | 12 |
| 1.4.8 Indice climatique | 13 |
| 1.4.8.1 A-Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTONNE | 13 |
| 1.4.8.2 B- Diagramme d'EMBERGER | 14 |
| 1.4.9 Les phénomènes climatiques accidentels | 15 |
| 1.4.9.1 La Neige | 15 |
| 1.4.9.2 Les gelées | 16 |
| 1.4.9.3 Les Sirocos | 16 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.4.10 | Conclusion | 16 |
| 2 | Présentation de la Station d'épuration d'Ain M'lila. | 17 |
| 2.1 | Introduction | 18 |
| 2.2 | Données fondamentales de la STEP d'AIN MLILA | 18 |
| 2.2.1 | Paramètres physico-chimiques des eaux épurées | 19 |
| 2.2.2 | Présentation de la STEP : | 19 |
| 2.2.3 | Descriptif technique de la STEP | 20 |
| 2.3 | Description des ouvrages | 20 |
| 2.3.1 | Ligne de traitement des eaux | 20 |
| 2.3.2 | Ligne de traitement des boues | 23 |
| 2.4 | Les traitements tertiaires | 25 |
| 2.5 | Les impacts sur l'environnement et leurs incidences | 27 |
| 2.5.1 | Normes de la réutilisation des eaux usées | 27 |
| 2.5.2 | L'analyse des alternatives éventuelles des différentes options en expliquant et en fondant les choix retenus au plan économique, technologique et environnemental | 28 |
| 2.5.3 | Avantages environnementaux | 28 |
| 2.5.4 | Avantages économiques | 28 |
| 2.6 | Conclusion | 29 |
| 3 | Ressources en eau et en sol | 30 |
| 3.1 | Introduction | 31 |
| 3.2 | Ressources en eau | 31 |
| 3.2.1 | Les sources actuelles d'approvisionnement en eau pour l'irrigation. | 31 |
| 3.2.1.1 | Les eaux traitées par la station d'épuration de la ville d'Ain M'lila. | 31 |
| 3.2.2 | Évaluation de la qualité de l'eau. | 31 |
| 3.2.2.1 | Analyses physico-chimiques des eaux épurées selon les normes internationales des eaux épurées adéquates pour l'irrigation | 32 |
| 3.2.3 | La conductivité | 33 |
| 3.2.4 | Le coefficient d'adsorption du sodium S.A.R | 34 |
| 3.2.5 | Calcul de la pluie | 36 |
| 3.2.6 | Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique | 38 |
| 3.2.7 | Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss | 39 |
| 3.2.8 | Ajustement à la loi log-normale : | 40 |
| 3.2.9 | Le test d'adéquation Khi-deux : | 41 |
| 3.2.10 | Détermination de l'année de calcul : | 42 |
| 3.3 | Ressource en sol | 42 |
| 3.3.1 | Méthodologie d'approche | 42 |
| 3.3.2 | Étude analytique des sols | 43 |
| 3.3.3 | La classification de référence | 44 |
| 3.3.4 | Levé pédologique | 45 |
| 3.3.4.1 | Profil N°1 | 45 |
| 3.3.4.2 | Profil N°2 | 47 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.4.3 | Profil N°3 | 49 |
| 3.3.4.4 | Profil N°4 | 51 |
| 3.3.4.5 | Profil N°5 | 53 |
| 3.3.5 | Interprétation et valeur agronomique : | 55 |
| 3.3.5.1 | Travaux et aménagements nécessaires : labour profond . . | 56 |
| 3.3.6 | Les aptitudes culturales de terrain étudié | 56 |
| 3.3.6.1 | Critères de détermination des aptitudes | 56 |
| 3.3.7 | Aptitudes culturales en irriguée par type de sol | 57 |
| 3.4 | Conclusion | 57 |
| 4 | Estimation des besoins en eau d'irrigation | 59 |
| 4.1 | Introduction | 60 |
| 4.2 | Besoin en eau du périmètre | 60 |
| 4.3 | L'évapotranspiration potentielle (ET0) | 60 |
| 4.4 | Calcul de la pluie efficace : | 63 |
| 4.5 | La réserve facilement utilisable (RFU) | 63 |
| 4.6 | Calcul des besoins en eau des cultures | 64 |
| 4.6.1 | L'évapotranspiration maximale (ETM) | 64 |
| 4.7 | Répartition des cultures dans le périmètre : | 64 |
| 4.8 | Détermination de période de pointe : | 64 |
| 4.9 | Calcul des besoins d'irrigation : | 65 |
| 4.10 | Calcul du débit spécifique : | 69 |
| 4.11 | Evaluation du débit caractéristique : | 69 |
| 4.12 | Conclusion | 69 |
| 5 | -Dimensionnement de l'Adduction et du Réseau de distribution | 70 |
| 5.1 | Introduction | 71 |
| 5.2 | Etude des variantes d'aménagement : | 71 |
| 5.3 | Délimitation des zones à irriguer et allocation des eaux : | 71 |
| 5.4 | Principaux éléments de l'étude des schémas d'aménagement : | 72 |
| 5.5 | Réseau d'adduction : | 72 |
| 5.6 | Réseau d'amenée : | 72 |
| 5.6.1 | Caractéristiques du réseau d'amenée | 72 |
| 5.7 | Conduites : | 73 |
| 5.8 | Matériaux : | 73 |
| 5.9 | Calcul hydraulique : | 74 |
| 5.10 | Dimensionnement de la conduite de refoulement : | 74 |
| 5.11 | 1 .Calcul de la Hauteur manométrique : | 74 |
| 5.12 | Perte de charge | 75 |
| 5.13 | La rugosité : | 75 |
| 5.14 | Simulation du réseau d'adduction à l'aide du logiciel EPANET : | 76 |
| 5.15 | Découpage du périmètre en îlots d'irrigation : | 76 |
| 5.16 | Rôle et fonction de la borne d'irrigation : | 76 |
| 5.17 | Calcul des débits des ilots : | 77 |
| 5.18 | Détermination des débits de routes : | 78 |
| 5.19 | Détermination des débits de routes : | 79 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.20 | Choix du diamètre de la borne : | 79 |
| 5.21 | Calcul de la puissance de la pompe : | 80 |
| 5.22 | puissance du moteur : | 80 |
| 5.23 | Prix d'énergie : | 81 |
| 5.24 | Frais d'amortissement : | 82 |
| 5.25 | Protection de la conduite de refoulement contre le phénomène du coup de bélier : | 83 |
| 5.26 | Causes et conséquences : | 83 |
| 5.27 | Equipements et moyens de protection contre le coup de bélier : | 83 |
| 5.28 | Méthode de calcul | 84 |
| 5.29 | Les calculs hydrauliques du réseau de distribution | 85 |
| 5.30 | Conclusion | 86 |
| 6 | Etude socio-économique du projet | 87 |
| 6.1 | Introduction | 88 |
| 6.2 | Calcul du volume de terrassement | 88 |
| 6.3 | Calcul du volume de déblai | 89 |
| 6.4 | Calcul du volume de lit de sable : | 90 |
| 6.5 | Calcul du volume de remblai : | 90 |
| 6.6 | Estimation de cout total de projet : | 91 |
| 6.7 | 1 Estimation de cout de pose de canalisation du réseau : | 91 |
| 6.8 | 2 Estimation du cout des conduites du réseau : | 92 |
| 6.9 | 3 Estimation du cout des vannes | 92 |
| 6.10 | 4 Estimation du coût des bornes | 93 |
| 6.11 | 5 Estimation du coût des réservoirs | 93 |
| 6.12 | Devis du réseau d'irrigation localisée | 93 |
| 6.13 | : Estimation du coût des asperseurs : | 93 |
| 6.14 | : Estimation du coût des goûteurs : | 94 |
| 6.15 | Conclusion | 94 |
| 7 | conception d'un système d'irrigation intelligent | 95 |
| 7.1 | Introduction | 96 |
| 7.2 | La conception de système | 97 |
| 7.3 | Choix des composants électroniques | 98 |
| 7.4 | POMPE A EAU 3V : | 99 |
| 7.5 | Capteur de température et d'humidité de l'air | 99 |
| 7.6 | Capteur d'humidité | 100 |
| 7.7 | Capteur ultrason | 101 |
| 7.8 | Conception logicielle (software) | 101 |
| 7.9 | L'interface web | 101 |
| 7.10 | Les acteurs de notre système sont | 103 |
| 7.11 | Spécification des tâches | 103 |
| 7.12 | Les diagrammes UML de comportement | 103 |
| 7.13 | Présentation des logiciels utilisées | 104 |
| 7.14 | L'IDE Arduino : | 104 |
| 7.15 | Visuel studio : | 105 |

Table des matières

7.16 Organigramme générale : 105
7.17 Conclusion : 108
Conclusion générale 109
A 112

Table des figures

| | | |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Plan situation de la zone d'étude | 5 |
| 1.2 | Localisation de la zone d'étude | 6 |
| 1.3 | Tableau des caractéristiques de la station météorologique (ANRH) | 7 |
| 1.4 | Températures à la station (ONM) | 8 |
| 1.5 | Tableau des humidités relatives moyennes mensuelles (ANRH (2022)) | 9 |
| 1.6 | Distribution mensuelles de l'humidité moyenne (ANRH (2022)) | 9 |
| 1.7 | Insolation mensuelles (ANRH (2022)) | 9 |
| 1.8 | Distribution mensuelles de l'ensoleillement (ANRH (2022)) | 10 |
| 1.9 | Répartition des vitesses de vent en fonction des mois (ANRH 2022) | 10 |
| 1.10 | Diagramme des vitesses de vent en fonction des mois (ANRH 2022) | 11 |
| 1.11 | Tableau de Répartition mensuelle des précipitations (ANRH 2022) | 11 |
| 1.12 | Tableau d'évaporation nette (ANRH) | 12 |
| 1.13 | Distribution mensuelle de l'évaporation (ANRH) | 12 |
| 1.14 | Tableau de température et de précipitation | 12 |
| 1.15 | Représentation graphique du diagramme de Gaussen | 13 |
| 1.16 | Tableau de classification du climat selon Martonne | 14 |
| 1.17 | Climagramme d'Emberger | 15 |
| 1.18 | Tableau des moyennes mensuelles de Neige (ONM) | 15 |
| 1.19 | Tableau des moyennes mensuelles de gelée (ONM) | 16 |
| 1.20 | Tableau des moyennes mensuelles de siroco (ONM) | 16 |
| 2.1 | Tableau des variations des paramètres de pollution des échantillons (STEP d'AIN MLILA) | 19 |
| 2.2 | Tableau des Paramètres physico-chimiques des eaux épurées | 19 |
| 2.3 | Tableau des données de base de dimensionnement (STEP d'AIN MLILA) | 20 |
| 2.4 | dessablage / dégraissage | 22 |
| 2.5 | Décanteur primaire. | 22 |
| 2.6 | clarificateur / rejet d'eau épurée | 23 |
| 2.7 | traitement des boues | 24 |
| 2.8 | préparation et distribution | 25 |
| 2.9 | Schéma de la STEP d'AIN MLILA | 25 |
| 2.10 | vue dune lampe UV. | 27 |
| 3.1 | Tableau des résultats d'analyses physico-chimiques qui respectent les normes internationales pour les eaux usées recommandées par l'USEPA (l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis) en vue de leur utilisation pour l'irrigation.. . . . | 32 |
| 3.2 | Tableau des Classification des eaux en fonction de la conductivité | 33 |
| 3.3 | Tableau de classification en fonction du SAR. | 34 |

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4 | Diagramme de classification des eaux d'irrigation. | 35 |
| 3.5 | Tableau des Pluies mensuelles | 36 |
| 3.6 | Tableau de Test de Wilcoxon. | 38 |
| 3.7 | Tableau d'ajustement à la loi normale. | 39 |
| 3.8 | graphique d'ajustement des pluies annuelles à la loi normal. | 40 |
| 3.9 | Tableau d'ajustement à la loi log-normale. | 40 |
| 3.10 | Ajustement des pluies annuelles à la loi log normale. | 41 |
| 3.11 | Tableau des Résultats du test de Khi carré. | 41 |
| 3.12 | Implantation des profils. | 44 |
| 3.13 | Carte d'implantation des profils | 45 |
| 3.14 | Image de profil 1 | 46 |
| 3.15 | Tableau des résultats analytiques | 47 |
| 3.16 | Image de profil 2 | 48 |
| 3.17 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°02 | 49 |
| 3.18 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°02 | 49 |
| 3.19 | Image de profil 3 | 50 |
| 3.20 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°03 | 51 |
| 3.21 | Image de Profil N°04 | 52 |
| 3.22 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°04 | 53 |
| 3.23 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°04 | 53 |
| 3.24 | Image de Profil N°05 | 54 |
| 3.25 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°05 | 55 |
| 3.26 | Tableau des résultats analytiques de Profil N°05 | 55 |
| 3.27 | Tableau des aptitudes culturales | 57 |
| | | |
| 4.1 | Tableau de évapotranspiration potentielle | 61 |
| 4.2 | Tableau des évapotranspiration potentielle en mm/jour | 61 |
| 4.3 | Tableau des résultats donnés par le logiciel CROPWAT, sont les suivants | 62 |
| 4.4 | graphe d'évapotranspiration | 62 |
| 4.5 | Tableau des résultats obtenus sont résumés comme suit | 63 |
| 4.6 | tableau des Résultats de la t R.F.U. dans la zone d'étude | 64 |
| 4.7 | Tableau des Répartitions des cultures dans le périmètre | 64 |
| 4.8 | Tableau des resultats de période de pointe | 65 |
| 4.9 | Tableau des Besoins en eau d'irrigation des céréales. | 65 |
| 4.10 | Tableau des besoins en eau d'irrigation de la vigne | 66 |
| 4.11 | Tableau des Besoins en eau d'irrigation des maraichères. | 66 |
| 4.12 | Tableau des Besoins en eau d'irrigation des agrumes. | 67 |
| 4.13 | Tableau des Besoins en eau d'irrigation des oliviers. | 67 |
| 4.14 | Tableau des Besoins en eau d'irrigation des culture fourragères, luzerne, trèfle. | 68 |
| 4.15 | Tableau des Besoins en eau d'irrigation globaux du périmètre. | 68 |
| | | |
| 5.1 | Tableau des coefficients des pertes de charge | 75 |
| 5.2 | Tableau des pertes | 75 |
| 5.3 | Simulation du réseau d'adduction | 76 |
| 5.4 | Tableau des débits de routes | 78 |
| 5.5 | Tableau des débits des tronçons | 79 |

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.6 | Tableau de Choix du diamètre de la borne. | 79 |
| 5.7 | Tableau du puissance du moteur | 81 |
| 5.8 | Tableau du Prix d'énergie. | 82 |
| 5.9 | Tableau du Frais d'amortissement | 82 |
| 5.10 | Tableau de Détermination des diamètres et pression de service | 85 |
| 6.1 | Schéma d'une tranchée. | 89 |
| 6.2 | Tableau de Calcul du volume de déblai pour les canalisations du réseau. . . | 89 |
| 6.3 | Tableau de Calcul du volume de sable pour les canalisations du réseau. . . | 90 |
| 6.4 | Tableau dr Calcul du volume de remblai pour les canalisations de distribution. | 91 |
| 6.5 | Tableau d'estimation du cout de pose de canalisation du réseau. | 91 |
| 6.6 | Tableau d'estimation du coût des conduites du réseau. | 92 |
| 6.7 | Tableau d'estimation du coût des vannes. | 92 |
| 6.8 | Tableau d'estimation du coût des bornes. | 93 |
| 6.9 | Tableau d'estimation du coût des réservoirs. | 93 |
| 6.10 | Tableaux d'estimation du cout des asperseurs | 93 |
| 6.11 | Tableau d'estimation des goûteurs | 94 |
| 7.1 | Exemple d'un système d'irrigation intelligent | 96 |
| 7.2 | représente le schéma de notre système d'irrigation | 98 |
| 7.3 | POMPE A EAU 3V | 99 |
| 7.4 | Capteur de température et d'humidité de l'air | 99 |
| 7.5 | Capteur humidité de sol | 100 |
| 7.6 | Capteur humidité de sol | 100 |
| 7.7 | Capteur a ultra son | 101 |
| 7.8 | Principe de fonctionnement | 101 |
| 7.9 | L'interface web | 102 |
| 7.10 | Les diagrammes UML de comportement | 104 |
| 7.11 | Organigramme générale | 106 |
| 7.12 | Organigramme générale | 107 |
| 7.13 | Organigramme générale | 108 |
| 7.14 | page principale de site web | 108 |
| A.1 | Organigramme générale | 113 |
| A.2 | tableau des résultats des analyses physico-chimiques conformes aux normes internationales des eaux usées usées recommandées par l'USEPA (Agence de protection de l'environnement des États-Unis) pour l'irrigation sont les suivants | 114 |
| A.3 | qualité dune eau d'irrigation. | 115 |
| A.4 | | 116 |
| A.5 | PLAN SITUATION DU PÉRIMÈTRE D'IRRIGATION AIN M'LILA (Google Earth). | 117 |
| A.6 | Caractéristiques hydriques de quelques sols | 118 |
| A.7 | Caractéristiques de l'asperseur | 118 |
| A.8 | Tableau des Paramètres physico-chimiques des eaux épurées | 119 |

Introduction générale

Que ce soit au nord ou au sud, le problème des ressources en eau est très présent. **La croissance démographique**, l'activité humaine et les changements des **conditions climatiques** exercent une pression énorme sur les ressources « **en eau** ».

Cela est dû à l'exploitation excessive des eaux souterraines, de **la pollution** des lacs et des rivières, etc. Afin de répondre à la demande sans cesse croissante en eau pour l'industrie et fournir de l'eau potable, et surtout l'eau destinée à **l'irrigation**, cette dernière a besoin de près de **70%** de l'eau douce disponible. De ce fait, à travers le monde, la solution préconisée par de nombreux pays est : la réutilisation des eaux usées épurées qui répondent aux normes de l'organisation mondiale de la santé « **OMS** ».

Ces dernières peuvent apporter de l'engrais et de la matière organique nécessaires au développement des plantes et le renforcement des sols cultivables. Toutes les normes de l'**OMS** ont été élaborées pour préserver la santé des êtres vivants (humains, animaux) et l'environnement. Celles-ci sont contraignantes d'une part en raison de la difficulté à respecter par les pays en développement d'une part, mais aussi d'autre part l'acceptabilité sociale (image négative de l'eau traitée considérée comme dangereuse).

le présent travail porte sur le développement d'un outil d'aide à la décision qui, d'une part, intègre un nombre maximum de **systèmes de réutilisation** de l'eau usée traitée.

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

Dans ce contexte notre **système d'irrigation intelligent** vise à atteindre plusieurs objectifs : D'éviter le gaspillage de l'eau, D'optimiser la croissance des plantes, réduire les coûts d'exploitation ,Faciliter l'utilisation .

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

1.1 Introduction

Avant tout projet d'irrigation, il est nécessaire d'étudier le site de travail et de comprendre toutes les conditions caractéristiques environnementales, en particulier périmètre d'irrigation, et facteurs affectant la superficie irriguée.

La conception du projet nécessite les données climatiques, et les paramètres agronomiques de la zone d'étude, permettant de prendre les dispositions nécessaires lors de la mise en place des réseaux d'irrigation. Le site de recherche est situé dans la ville d'Ain M'lila qui est une zone agricole.

1.2 Présentation de la wilaya d'Oum El Bouaghi

La wilaya d'Oum El Bouaghi, dont fait partie notre zone d'étude est une région située à l'est de l'Algérie. Elle englobe **621 614** habitants qui occupent une superficie de **6 258 km²**. Cela se traduit par une densité de population d'environ **99,3** habitants par **km²** dans cette wilaya. Une région animée où la population est relativement concentrée sur chaque kilomètre carré.

D'un point de vue administratif, la wilaya d'Oum El Bouaghi est entourée par plusieurs autres wilayas délimitant ainsi ses frontières :

- Au nord, elle partage ses limites avec les wilayas de **Guelma** et **Constantine**.
- À sa frontière nord-est, c'est la wilaya de **Souk-Ahras** qui marque sa limite géographique.
- À l'est, on trouve la wilaya de **Tébessa**.
- Tandis qu'à l'ouest, la wilaya de **Mila** la frontière. Enfin, au sud-ouest, on retrouve les wilayas de Batna et Khenchela.
- Enfin, au sud-ouest, on retrouve les wilayas de **Batna** et **Khenchela**.

1.3 Présentation de la commune d'Ain M'lila

1.4 Localisation géographique

La commune occupe une position géographique intra-tellienne, la commune de de Ain M'lila est située à l'ouest du chef lieu de la Wilaya de **Oum El Bouaghi** et couvre une superficie de **532km²**. Elle est limitée Au Nord par la wilaya de **Constantine** dont elle faisait partie avant le dernier découpage administratif au à Nord-Est par les communes de **Sigus**, et **Ain Kercha**, Au Sud par la commune d'**Ouled Zoual** et à Au Sud Est par la commune de **Har Melia**. L'ouest par la commune de **Soug Naaman** et Au Nord Ouest par la commune d'**Ouled Hamla**.

1.4.1 Localisation du périmètre d'étude

La zone d'étude est située au nord de la commune d'**Ain m'lila**, les terres à irriguer sont localisées immédiatement à l'aval et au nord de la station d'épuration. qui est une région à double vocation agropastoral. trouve à une soixantaine (**60**) de kilomètres au Nord ouest du chef lieu de wilaya d'Oum El Bouaghi et à quatre cent (**400**) kilomètres à l'Est d'Alger.



FIG. 1.1 : Plan situation de la zone d'étude
(Google Earth)

1.4.2 Données naturelles sur le site

1.4.3 Hydrologie

Du point de vue hydrologique, il est intéressant de souligner que la région d'**Oum El Bouaghi** se trouve au sein des bassins versants des hauts plateaux constantinois. Cette situation géographique fait que le territoire de la commune dépend de l'agence et du bassin hydrographique du constantinois. C'est un élément important à prendre en compte en termes de gestion des ressources en eau dans la région.

La situation géographique de la commune **Aïn M'lila** dans les hautes plaines constantinoises, aux pieds des premières hauteurs du **Tell**, forme une barrière naturelle. Cette particularité géographique conduit à un endoréisme prédominant, où les cours d'eau convergent vers les chotts du Sud et du Sud-Est, à l'exception des oueds du **Douar Medfoun** qui font partie du bassin versant de la **Seybouse**.

La région bénéficie de ressources en eau souterraine provenant des nappes phréatiques, permettant ainsi à la population résidente de prélever de l'eau par puisement ou par pompage. Les flancs Est et Ouest du **Djebel Sidi R'ghiss** alimentent spécifiquement la nappe des calcaires aptiens de **Bir Djedida** à l'Ouest. L'exploitation des eaux souterraines se fait à travers des puits individuels et des forages.

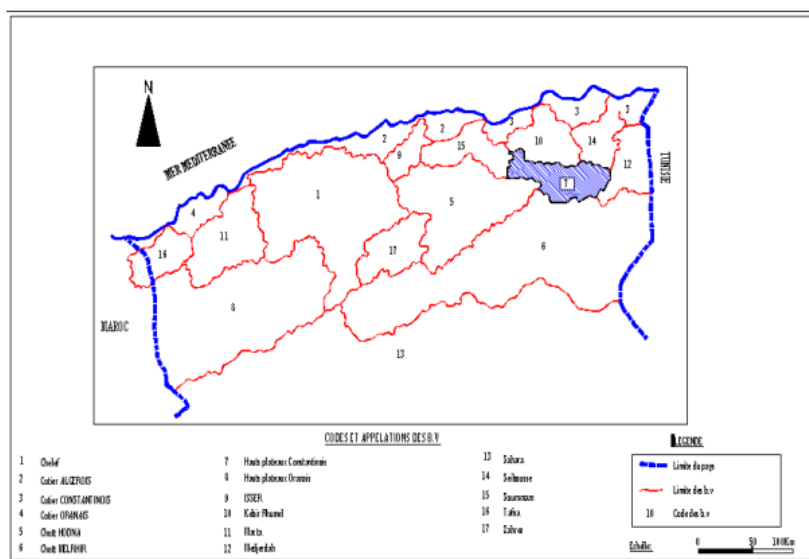


FIG. 1.2 : Localisation de la zone d'étude (Google)

1.4.4 La géologie

La région concernée est située dans le grand ensemble morphologique des hauts plateaux **Telliens**, elle se caractérise par un relief montagneux à latitude de **36° 14' 59"** Nord et la longitude **6° 17' 10"** Est.

Les formations géologiques qui constituent les terrains de l'aire d'études sont formées des dépôts quaternaires et des sédiments du miocène continental. Les dépôts quaternaires occupent les surface occidentale et septentrionale et sont représentés essentiellement par des alluvions actuelles et récentes. Ce sont des dépôts terriens formés de cailloux roulés, graviers et limons transportés par les eaux de surface. Les sédiments du miocène continental occupent la partie orientale et méridionale et sont représentés par des matériaux détritiques gréseux et sablonneux fins qui s'intercalent avec de minces niveaux argileux et argilo-sableux.

1.4.5 Conditions climatiques de la région

1.4.5.1 Le climat

Le climat de la zone d'étude peut être défini comme semi-aride avec des étés chauds et des hivers frais. L'étude de la climatologie est très importante car avant toute projection ou dimensionnement d'un aménagement ou d'un ouvrage hydraulique, il faut impérativement tenir compte des facteurs climatiques.

1.4.5.2 Choix de la station météorologique

Nous nous sommes basés donc sur la station météorologique Ain M'lila, qui est la plus porche et dont les données sont les plus complètes. Les caractéristiques de cette station sont affichés dans la figure suivante :

| CODE | NOM DES STATIONS | COORDONNEES | | |
|-------------|-------------------|----------------|--------------|------------|
| | | X | Y | Z |
| | | EN DEGRES | | EN METRE |
| 0507 | AIN M'LILA | 63402 E | 36024 | 773 |

FIG. 1.3 : Tableau des caractéristiques de la station météorologique (**ANRH**)

1.4.5.3 La température

En Algérie, on observe la présence du **Sirocco**, un vent chaud et sec qui provient du **Sahara**. Ce phénomène particulier est responsable des températures maximales élevées, tandis que l'humidité est considérablement réduite en raison de ce vent sec.

TAB. 1.1 : Caption

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| T_{min} °C | 15,84 | 11,52 | 6,22 | 2,35 | 1,36 | 1,57 | 3,60 | 5,65 | 10,81 | 14,86 | 17,01 | 17,83 | 8,22 |
| T_{ma} °C | 28,55 | 23,77 | 15,35 | 11,83 | 10,98 | 12,62 | 15,18 | 17,98 | 24,71 | 30,09 | 33,40 | 33,45 | 20,50 |
| T_{moy} °C | 22,24 | 15,44 | 10,84 | 7,09 | 6,17 | 7,09 | 9,39 | 11,82 | 17,76 | 22,47 | 25,202 | 25,64 | 16,2 |

[hbt !]

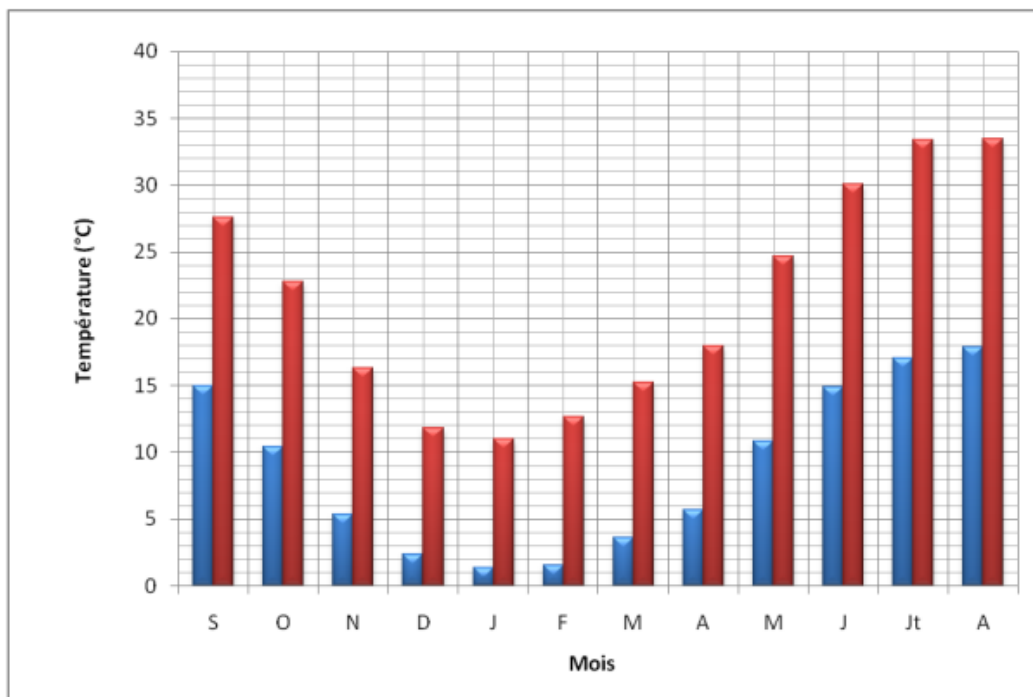


FIG. 1.4 : Températures à la station (ONM)

Température moyenne maximale : 21 degrés, point le plus chaud.

Température moyenne minimale : 8,22 degrés, la plus basse enregistrée.

Température moyenne : 16,2 degrés, moyenne sur la période.

Variabilité : L'amplitude entre la min et la max est de 12,78 degrés.

1.4.5.4 Humidité de l'air

| Mois | jan | fév | mar | avr | mai | juin | jull | aou | sept | oct | nov | dec | année |
|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| H(%) | 77.4 | 76.66 | 71.50 | 64.6 | 61.55 | 50.88 | 41.8 | 45.5 | 56.8 | 62.9 | 73.1 | 77.9 | 62.9 |

FIG. 1.5 : Tableau des humidités relatives moyennes mensuelles (ANRH (2022))

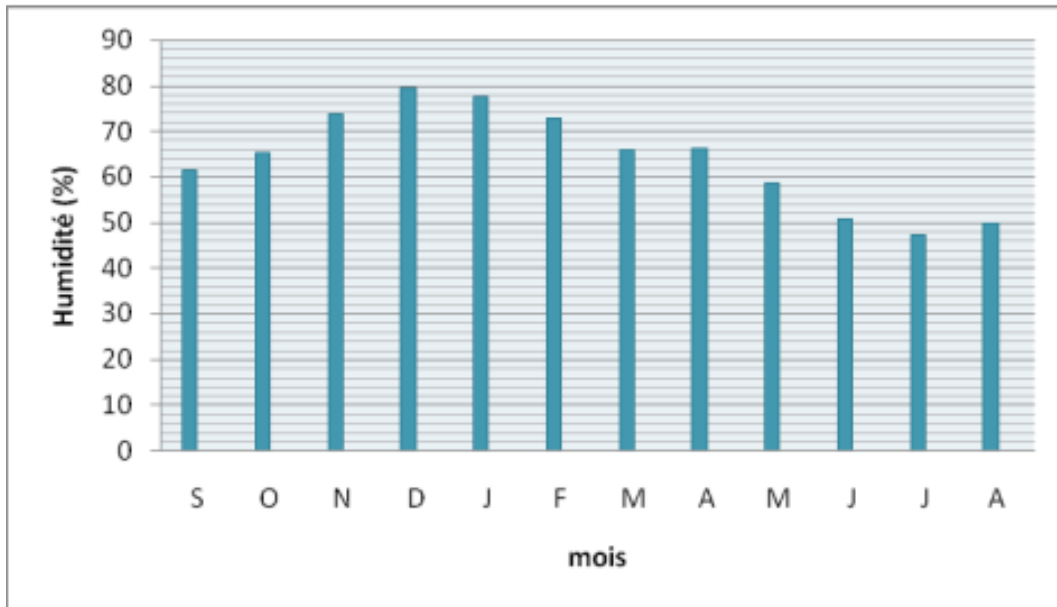


FIG. 1.6 : Distribution mensuelles de l'humidité moyenne (ANRH (2022))

l'humidité moyenne maximale : 78, point le plus chaud.

l'humidité moyenne minimale : 41.8 , la plus basse enregistrée.

l'humidité moyenne : 62.9, moyenne sur la période.

1.4.5.5 Ensoleillement

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-----------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-----|--------|--------|-------|
| L'ensoleillement total en 1 heure | 243,2 | 227,35 | 175,1 | 152,15 | 161,3 | 182,35 | 237,2 | 244,25 | 275 | 293,55 | 337,75 | 298,7 |

FIG. 1.7 : Insolation mensuelles (ANRH (2022))

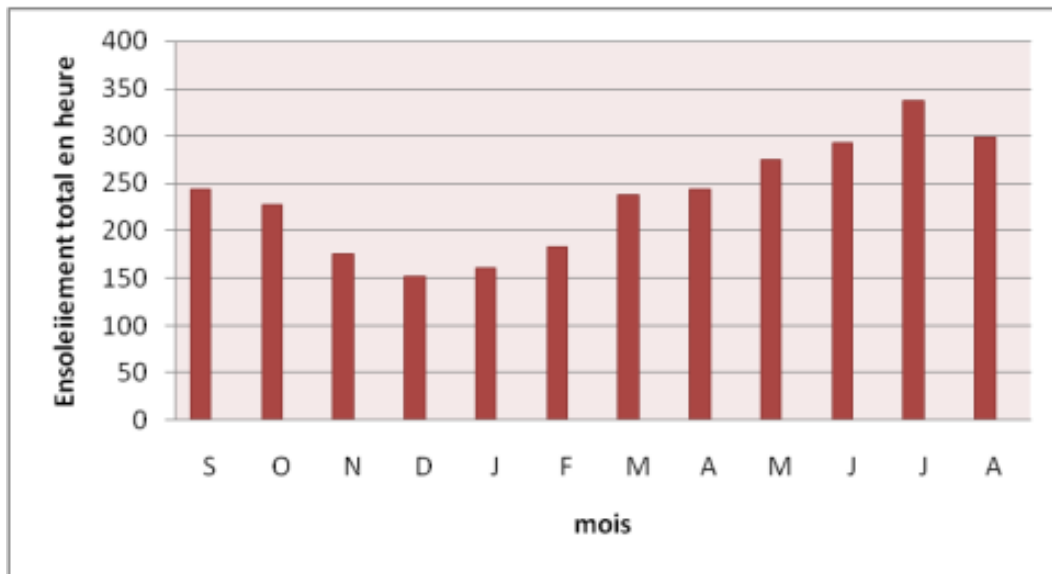


FIG. 1.8 : Distribution mensuelles de l'ensoleillement (ANRH (2022))

l'ensoleillement moyenne maximale : 337.75, point le plus chaud.

l'ensoleillement moyenne minimale : 152.15 , la plus basse enregistrée.

1.4.5.6 Le vent

La présence de vents constants et forts est un facteur essentiel à prendre en compte lors du choix d'un système d'irrigation dans de telles régions :

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy Ann |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| V (m/s) | 2,3 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,3 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 1,9 | 2,2 | 2,0 |

FIG. 1.9 : Répartition des vitesses de vent en fonction des mois (ANRH 2022)

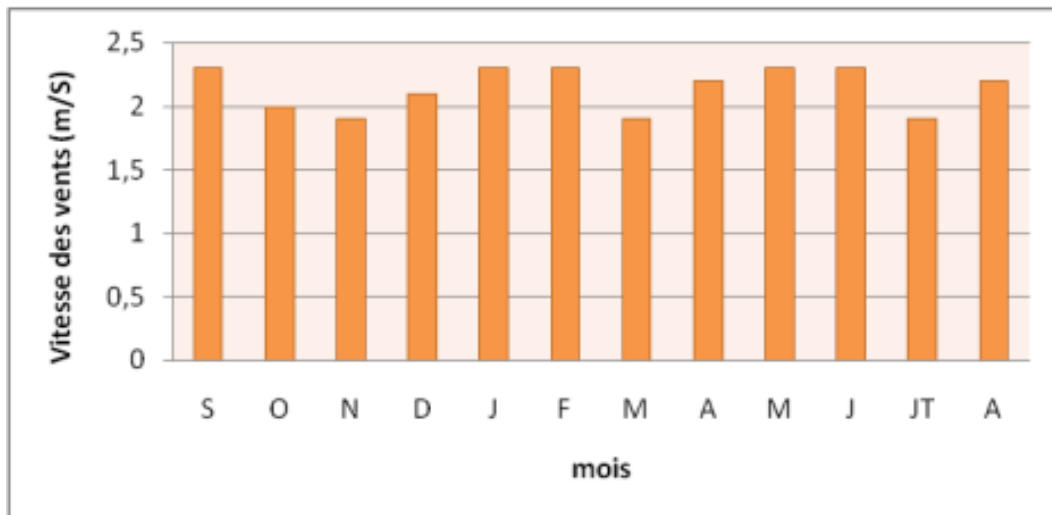


FIG. 1.10 : Diagramme des vitesses de vent en fonction des mois (ANRH 2022)

la vitesses de vent maximale : 2.3 m/s, point le plus chaud.

la vitesses de vent minimale : 1.9 m/s , la plus basse enregistrée.

la vitesses de vent moyenne : 2.0 m/s, moyenne sur la période.

1.4.5.7 Précipitations

Les précipitations regroupent toutes les formes de précipitations météorologiques, notamment la pluie, la neige.. etc. La quantité totale de précipitations correspond à la hauteur totale de pluie tombée sur une année. Il est essentiel de les connaître pour estimer les besoins en eau des cultures.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| P (mm) | 46,01 | 30,54 | 30,1 | 35,33 | 37,00 | 28,79 | 36,95 | 41,95 | 44,83 | 19,22 | 7,26 | 14,73 | 372,69 |

FIG. 1.11 : Tableau de Répartition mensuelle des précipitations (ANRH 2022)

Les précipitations dans la région sont sujettes à une irrégularité, avec des variations tout au long de l'année. La moyenne annuelle des précipitations s'élève à environ **372.69 mm**

1.4.6 L'évaporation

Les données disponibles sur l'évaporation apparaissent des mesures effectuées, qui indiquent une évaporation de **1502 mm**.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A | Total |
|--------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E (mm) | 133 | 121,5 | 58,5 | 40,8 | 49,6 | 61,6 | 102,4 | 101,4 | 133,9 | 207,2 | 259,2 | 233,1 | 1502 |
| E (%) | 8,85 | 8,09 | 3,89 | 2,72 | 3,30 | 4,10 | 6,82 | 6,75 | 8,91 | 13,79 | 17,25 | 15,52 | 100 |

FIG. 1.12 : Tableau d'évaporation nette (ANRH)

l'évaporation apparaissent des mesures effectuées, qui indiquent une évaporation moyenne de **125.16 mm**.

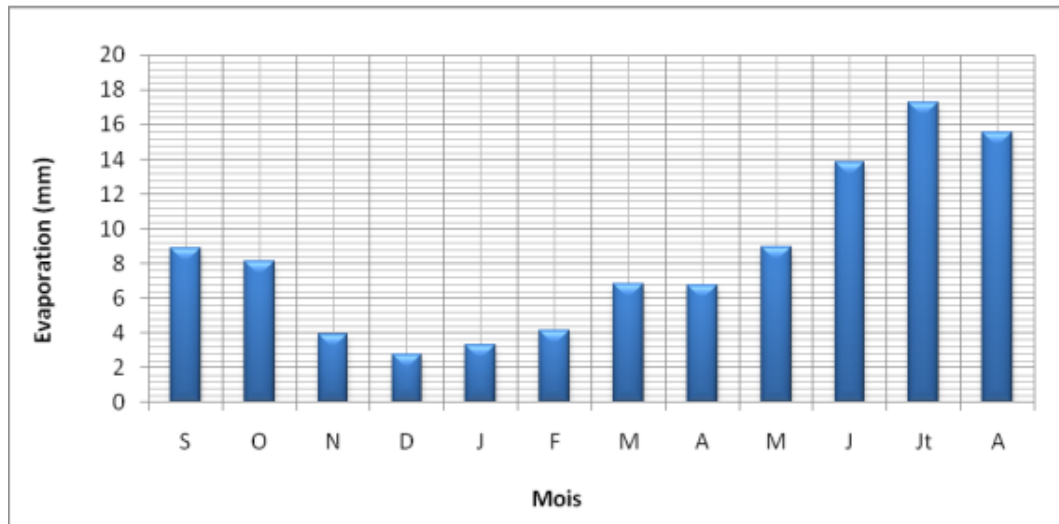


FIG. 1.13 : Distribution mensuelle de l'évaporation (ANRH)

1.4.7 Représentation du diagramme de Gaussen

Le diagramme de **Gaussen** est un outil graphique qui permet de visualiser la variation des précipitations et des températures en fonction du temps. Il nous aide à identifier la période sèche pendant laquelle l'irrigation devient indispensable.

| MOIS | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P (mm) | 37 | 28.29 | 36.95 | 41.95 | 44.83 | 19.22 | 7.26 | 14.73 | 46.01 | 30.54 | 30.1 | 35.33 |
| T _{mois} C° | 6.17 | 7.09 | 9.39 | 11.82 | 17.76 | 22.47 | 25.20 | 25.64 | 21.24 | 16.58 | 10.84 | 7.09 |

FIG. 1.14 : Tableau de température et de précipitation (ANRH 2022)

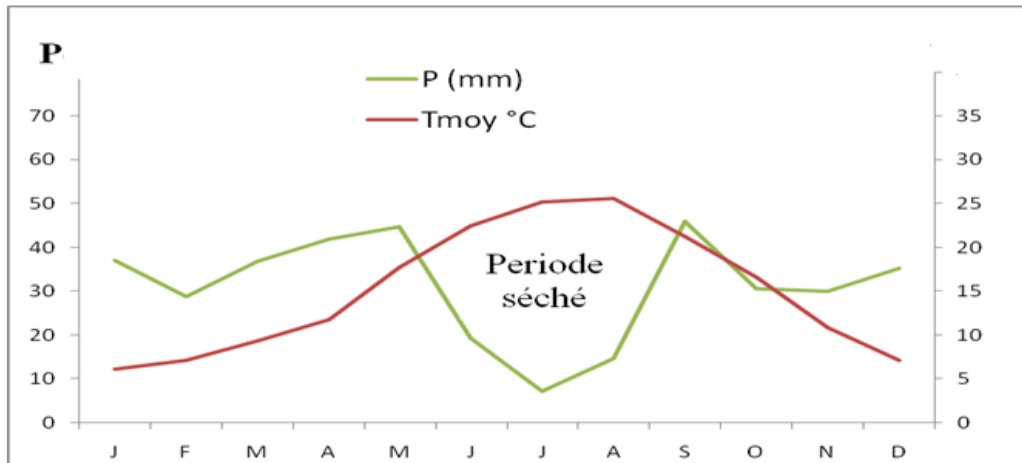


FIG. 1.15 : Représentation graphique du diagramme de Gausse

L'analyse du diagramme ombrothermique de la région révèle la présence d'une période sèche qui s'étend de mai à septembre. Par conséquent, il est essentiel de fournir l'eau par le biais de l'irrigation à la zone d'étude, en particulier pendant cette période.

1.4.8 Indice climatique

1.4.8.1 A-Classification du climat selon l'indice d'aridité de MARTONNE

Cet indice, connu sous le nom d'indice climatique (**I**), est utilisé pour évaluer le degré de sécheresse de la région, fournissant ainsi des informations sur l'indisponibilité de l'irrigation (MARTONNE, 1926). Il est calculé en utilisant la formule suivante :

$$I = P / (T + 10) = 14.3$$

où :

- I c'est l'indice climatique.
- P est la précipitation moyenne annuelle en millimètres (**mm**),
- T est la température moyenne annuelle en degrés Celsius (**°C**).

Notez que dans l'exemple donné, l'indice climatique est du **14.82**.

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

FIG. 1.16 : Tableau de classification du climat selon Martonne

$$I = 372.2 / (16.2 + 10) = 14.3$$

La valeur de l'indice climatique (**I**) de **14.3** indique que la région est caractérisée par un climat sec (**semi-aride**), ce qui suggère que l'irrigation est souvent indispensable. Dans un tel climat, les précipitations sont insuffisantes pour répondre aux besoins en eau des cultures, ce qui rend l'irrigation essentielle pour soutenir la croissance des plantes.

1.4.8.2 B- Diagramme d'EMBERGER

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

$$Q = 2000 * P / ((M + 273)^2 - (273 - m)^2)$$

Avec :

- $P = 372.69$ mm et ça signifie précipitations annuelles.
- $M = 33.40^\circ\text{C}$ est c'est la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud.
- $m = 1.37^\circ\text{C}$ et c'est la moyenne des minima de température du mois le plus froid.

La station de Ain M'lila aura un **Q = 39.99**, elle est située à la limite supérieure de l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais .

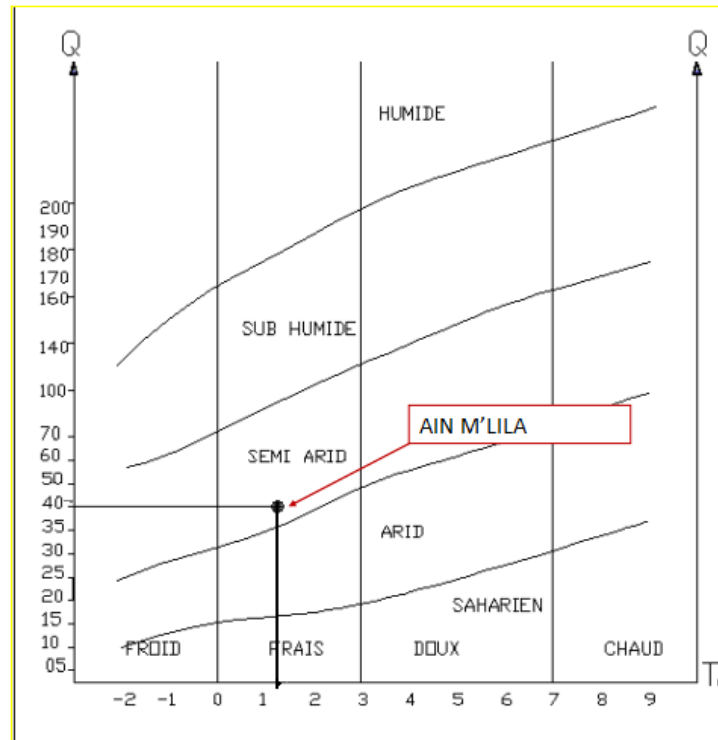


FIG. 1.17 : Climagramme d'Emberger

La région d'AIN M' LILA est soumise à l'influence du climat méditerranéen caractérisé par des précipitations irrégulières, et une longue période de sécheresse estivale, ce climat est marqué par sa continentalité car de Ain M'lila est située à **120 Km** de la mer.

Le climat de Ain M'lila est de type semi-aride à hiver frais, caractérisé par deux périodes distinctes :

- Une période sèche et chaude en été de **130 jours**.
- Une période humide et froide en hiver de **190 jours**.

1.4.9 Les phénomènes climatiques accidentels

1.4.9.1 La Neige

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | année |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Moyenne mensuelle | 0,17 | 0,08 | 0,21 | 1,23 | 2,69 | 2,27 | 0,82 | 0,38 | 0,15 | 0,18 | 0,07 | 0,09 | 8.34 |

FIG. 1.18 : Tableau des moyennes mensuelles de Neige (ONM)

La chute de neige est observée depuis le mois de novembre jusqu'au mois d'avril, le nombre de jours de neige maximum est au mois de janvier. Le nombre moyen de jours de neige est de **8.34** jours.

1.4.9.2 Les gelées

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | année |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Moyenne mensuelle | 0,0 | 0,1 | 2,0 | 7,1 | 10,8 | 8,0 | 4,9 | 1,3 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 34,5 |

FIG. 1.19 : Tableau des moyennes mensuelles de gelée (ONM)

Les gelées peuvent se manifester sur une période relativement longue (six mois : du mois de novembre au mois d'avril). Mais elles sont plus fréquentes du mois de décembre au mois de mars où on enregistre 30.5 jours de gelées sur 34.5 jours enregistrés annuellement soit pratiquement **93%**.

1.4.9.3 Les Sirocos

Il est important de noter que le **Sirocco** a un impact significatif sur le climat algérien et contribue aux conditions météorologiques caractéristiques de la région.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | ann ée |
|--------------------------|---|------|---|---|---|---|------|------|------|-----|-----|-----|-----------|
| Moyenne mensuelle | 0 | 0,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,07 | 0,07 | 0,33 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1,8 |

FIG. 1.20 : Tableau des moyennes mensuelles de siroco (ONM)

1.4.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé la situation géographique de la zone d'étude et relevé les principales caractéristiques climatiques .

Il est évident que la région d'étude est soumise à l'influence d'un climat méditerranéen semi-aride, caractérisé par une variabilité du régime pluviométrique. Cette constatation souligne l'importance vitale de l'irrigation dans tout projet agricole visant à assurer des conditions favorables pour les cultures.

Chapitre 2

Présentation de la Station d'épuration d'Ain M'lila.

2.1 Introduction

La station d'épuration d'Ain M'lila est idéalement située dans la partie nord-est de l'Algérie, au sein de la wilaya d'Oum El Bouaghi.

Il s'agit d'une installation moderne et essentielle qui a été conçue pour traiter les eaux usées provenant des villes environnantes. Elle joue un rôle crucial dans le processus d'épuration et de traitement des effluents. La station est équipée de technologies avancées et de procédés de pointe pour éliminer les contaminants et les polluants présents dans les eaux usées. Dans ce chapitre, nous fournissons une description détaillée de la station d'épuration des eaux usées d'Ain mlila.

2.2 Données fondamentales de la STEP d'AIN MLILA

| Paramètres physico- Chimiques examinés | Unités | 08h05 | 10h | 12h | 14h | Concentrât Moyennes |
|------------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------------|
| Température de l'air(*) | (C°) | 5 | 7,5 | 15 | 15 | 10,75 |
| Température de l'eau brute (*) | (C°) | 16,5 | 16,5 | 17 | 17,5 | 16,90 |
| PH | -- | 7,15 | 6,95 | 7,07 | 7,03 | 7,05 |
| Salinité | (‰) | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| Conductivité C25°C | (ms/cm) | 2,78 | 2,85 | 2,81 | 2,81 | 2,813 |
| Minéralisation | (mg/l) | 1,724 | 1,767 | 1,742 | 1,742 | 1,744 |
| Demande chimique en oxygène(DCO) | (mgO2/l) | 368 | 448 | 480 | 464 | 440 |
| Demande biochimique enoxygène (DBO5) | (mgO2/l) | 110 | 140 | 170 | 230 | 162,5 |
| Matières en suspension (MES (105°C)) | (mg/l) | 368 | 423 | 413 | 396 | 400 |
| Matières volatiles en suspension (MVS (66°C)) | (/) | 280 | 350 | 210 | 120 | 240 |
| Rapport (MVS/MES)% | -- | 76,10 | 82,75 | 50,85 | 30,30 | 60 |
| Azote | (mg/l) | 14,4 | 18,90 | 21,96 | 27,72 | 20,75 |
| Azote Kjeldahl Total(NTK) | / | 25,2 | 32,1 | 45,35 | 51,52 | 38,55 |
| Plomb(Pb) | mg/l) | -- | -- | 0,000 | -- | 0,000 |
| Cadmium(Cd) | (/) | -- | -- | 0,009 | -- | 0,009 |
| Chrome(Cr) | (/) | -- | -- | 0,000 | 2,02 | 0,000 |
| Rapport (DCO/DBO5) | - | 3,35 | 3,20 | 2,82 | 7,29 | 2,71 |
| Azote Nitrique (N-NO3) | mg N- | 4,91 | 5,29 | 7,36 | 1,36 | 6,20 |
| Azote Nitreux (N-NO2) | NO3/l) | 0,1 | 0,12 | 1,5 | 571,56 | 0,77 |
| Chlorures(CL) | mg N- | 582,8 | 639,00 | 440,20 | 27,72 | 558,65 |

FIG. 2.1 : Tableau des variations des paramètres de pollution des échantillons (STEP d'AIN MLILA)

À la sortie de la station, les eaux épurées présenteront les caractéristiques suivantes :

- M.E.S : inférieur à **30 mg/l** au bout de **24 heures**.
- D.B.O : inférieur à **30 mg/l** au bout de **24 heures**.
- D.C.O : inférieur à **90 mg/l** au bout de **24 heures** .

2.2.1 Paramètres physico-chimiques des eaux épurées

Du décret N° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles, arrêté interministériel du 02/01/2012 fixant les spécifications des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation :

| Paramètres | Unités | Valeurs Limitées maximales | |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------|
| Physique | Température | °c | 30 |
| | PH | - | 6,5-8,5 |
| | MES | mg/l | 30 |
| | CE | ds/m | 3 |
| | Infiltration le SAR= 0 - 3 CE | | 0,2 |
| | 3 - 6 | | 0,3 |
| | 6-12 | ds/m | 0,5 |
| | 12-20 | | 1,3 |
| | 20-40 | | 3 |
| | Chimiques | DBO ₅ | mg/l |
| DCO | | mg/l | 90 |
| Chlorure | | meq/l | 10 |
| Azote (NO ₃ -N) | | mg/l | 3 |
| Bicarbonate(HCO ₃) | | meq/l | 8.5 |

FIG. 2.2 : Tableau des Paramètres physico-chimiques des eaux épurées (la législation algérienne 2012)

2.2.2 Présentation de la STEP :

Le périmètre d'irrigation à aménager sera alimenté à partir des eaux usées de la station d'épuration de Ain M'lila destinée à épurer les effluents des villes de la région.

La station sera implantée à une cote terrain naturel de **756m NGA**. La base de dimensionnement de la **STEP** est fixée pour **2033**. Le procédé d'épuration envisagé consiste en un traitement par boues activées à faible charge en aération prolongée avec élimination du carbone, de l'azote et du phosphore par voie biologique.

Il est prévu deux chaînes de traitement de même capacité fonctionnant en parallèle à l'effet d'assurer l'opérationnalité continue de la station même pendant les périodes des entretiens des ouvrages de la station. La capacité d'épuration est arrêtée comme suit : capacité nominale de **25000 m³/j**.

| Horizon | 2033 |
|----------------------------------------------|-------------|
| Capacité de la station (E.H) | 16300 |
| Charges hydrauliques | |
| Q_j : débit journalier (m ³ /j) | 25000 |
| Q_h : débit horaire (m ³ /h) | 1041.67 |
| Q : débit (l/s) | 289.35 |

FIG. 2.3 : Tableau des données de base de dimensionnement (STEP d'AIN MLILA)

2.2.3 Descriptif technique de la STEP

La station d'épuration de d'Ain M'lila est composée de trois étapes de traitement. Chacune de ces étapes assure une fonction particulière :

- La première consiste en un pré-traitement composé d'un dégrilleur et d'un dessableur déshuileur.
- La deuxième assure le traitement biologique (Bassins d'aération fonctionnement par **BA** en aération prolongée).
- La troisième est responsable du traitement tertiaire en utilisant la désinfection.

De plus, ils existent d'autres équipements responsables de la gestion des excédents d'eau, comme le déversoir d'orage. D'autres assurent la distribution et le pompage des eaux usées et le stockage des eaux épurées, comme : les chambres de répartition, les stations de pompage intermédiaire et le bassin de stockage des eaux traitées. En ce qui concerne les boues générées par le processus de traitement, des lits de séchage ont été mis en place afin de récupérer les boues et de les faire sécher.

2.3 Description des ouvrages

2.3.1 Ligne de traitement des eaux

1. **Un déversoir d'orage** : Ce dispositif est conçu pour brasser et aérer les eaux lors d'épisodes de fortes pluies. Il est équipé de deux grilles grossières à nettoyage automatique, d'une largeur de **1 m** et d'un espacement des barreaux de **60 mm**. Les déchets sont récupérés par un convoyeur qui les transporte vers une benne d'une capacité de **5 m³**. Chaque grille est isolée par deux vannes batardeaux.
2. **Deux grilles fines** : Ces grilles, d'une largeur de **1 m** et d'un espacement des barreaux de **20 mm**, sont également équipées d'un système de nettoyage automatique. Les déchets sont repris par un convoyeur compacteur et dirigés vers une benne d'une capacité de **5 m³**. Chaque grille est également isolée par deux vannes batardeaux.

3. **Un dessableur-déshuileur** : Ce dispositif aéré se compose de deux canaux rectangulaires de section trapézoïdale, correspond à **30 m** de longueur chacun, avec une hauteur d'eau moyenne de **3,60 m**. Les sables qui se déposent au fond de l'ouvrage sont pompés du pont dessableur vers un chenal adjacent appelé collecte de sables, à l'aide d'un compresseur **Air lift**. Ils sont ensuite chargés dans un conteneur par une vis classificatrice. Par ailleurs, l'insufflation d'air effectuée par les sur-presseurs permet le passage des particules de graisses et d'huiles vers une goulotte longitudinale calme, délimitée par des cloisons de tranquillisation. Ces particules sont ensuite évacuées vers une fosse à graisse adjacente à l'ouvrage à l'aide d'un système de raclage fixé au pont roulant. Pour les transférer dans un conteneur de graisse, une pompe à flottants installée dans la fosse est utilisée. L'ensemble de l'ouvrage est isolé en amont par deux vannes batardeaux.
4. **Deux surpresseurs** : Ces sur-presseurs de type **Roots** trilobés sont responsables de l'alimentation des diffuseurs de fines bulles au fond des bassins. Ils assurent l'aération de la liqueur mixte contenue dans les bassins d'aération.
5. **Contrôle des eaux en entrée** : Pour le contrôle des eaux à l'entrée du système, un dispositif de mesure du débit est utilisé, qui repose sur un canal venturi. Ce canal est spécialement conçu pour mesurer le débit de l'eau de manière précise et fiable.
6. **Deux décanteurs primaires** : Il s'agit d'une séparation physique par simple gravité, des matières décantables contenues dans les eaux usées. Les effluents pré-traités sont orientés via un répartiteur, vers deux décanteurs primaires. Cette étape du traitement consiste à provoquer la sédimentation de la majorité des matières décantables contenues dans les eaux usées, en jouant sur la vitesse de passage et le temps de séjour des effluents dans ces décanteurs. Les eaux décantées, récupérées par sur-verse, sont ensuite orientées vers le traitement biologique. Les matières décantées, appelées boues primaires, sont extraites régulièrement pour être envoyées vers l'étape d'épaississement des boues.
7. **Deux bassins d'aération** : Les eaux décantées sont mises en contact avec une culture biologique, appelée « **boues activées** », riche en micro-organismes qui vont assurer l'élimination de la pollution biodégradable présente (**DBO**) ainsi qu'une partie des autres composés contenus dans l'eau décantées (azote, phosphore, etc...). Ces micro-organismes, aérobies, nécessitent un apport d'oxygène dans le milieu. Cette aération est assurée par **6** aérateurs de surface dont la fonction est double : aération et brassage des boues activées, afin d'éviter toute décantation de la biomasse.
8. **Répartiteur de débit** : Un répartiteur de débit est un dispositif utilisé dans les systèmes de traitement des eaux pour distribuer de manière équilibrée le flux d'eau entrant entre différentes unités de traitement ou canaux. Son rôle principal est de diviser le débit d'eau entrant en plusieurs voies, assurant ainsi une répartition uniforme du débit entre les différentes parties du système.



FIG. 2.4 : dessablage / dégraissage



FIG. 2.5 : Décanteur primaire.



Vue d'ensemble



Surverse d'un clarificateur



Vis de recirculation T_1



Rejet d'eau épurée T_1

FIG. 2.6 : clarificateur / rejet d'eau épurée

2.3.2 Ligne de traitement des boues

Une ligne de traitement des boues fait référence à un ensemble d'étapes et de processus utilisés pour traiter et gérer les boues rejetées lors du traitement des eaux usées. Les boues, qui sont les matières solides résiduelles provenant du processus de traitement des eaux, nécessitent une gestion appropriée pour réduire leur volume, éliminer les contaminants et les rendre plus sûres pour une élimination ou une réutilisation ultérieure.

Une ligne typique de traitement des boues peut inclure les étapes suivantes :

1. **Épaississement** : Les boues sont souvent réduites lors du processus de traitement initial. L'étape d'épaississement vise à réduire la quantité d'eau contenue dans les boues, ce qui permet de réduire leur volume et de faciliter leur manipulation ultérieure.
2. **Stabilisation** : Les boues peuvent être soumises à un processus de stabilisation pour réduire leur teneur en matières organiques et éliminer les microorganismes pathogènes. Les méthodes courantes de stabilisation comprennent la digestion anaérobie (production de biogaz) ou l'aération prolongée (oxydation biologique).
3. **Déshydratation** : L'étape de déshydratation vise à éliminer davantage d'eau des

boues épaisses. Cela permet de réduire davantage le volume des boues et de produire des boues plus solides, plus faciles à manipuler et à transporter.

4. **Séchage :** Dans certains cas, les boues déshydratées peuvent être soumises à un processus de séchage supplémentaire pour réduire davantage leur teneur en humidité. Cela peut être réalisé par l'exposition aux rayons du soleil, l'utilisation de séchoirs thermiques ou d'autres méthodes de séchage.
5. **Valorisation ou élimination :** Une fois traitées, les boues peuvent être réutilisées de différentes manières. Elles peuvent être utilisées comme engrais agricole, dans la production d'énergie (biogaz), ou encore supprimées de manière sûre conformément aux réglementations environnementales (BEN BOTT et al. 2012).

Il est important de souligner que les lignes de traitement des boues peuvent varier en fonction des caractéristiques spécifiques des boues et des réglementations locales. Les installations de traitement des eaux mettent en place des processus adaptés pour répondre aux exigences de gestion des boues de manière efficace et respectueuse de l'environnement.

6. **Station de préparation de polymère :** Une station de préparation de polymère est une installation utilisée dans le traitement des eaux et d'autres processus industriels où des polymères sont utilisés pour améliorer la floculation et la séparation des particules. (AMIRI 2011).



Répartition de la boue sur la toile



Raclage finale de la boue

FIG. 2.7 : traitement des boues



Unité complète de préparation



Jeu de vannes pour distribution

FIG. 2.8 : préparation et distribution

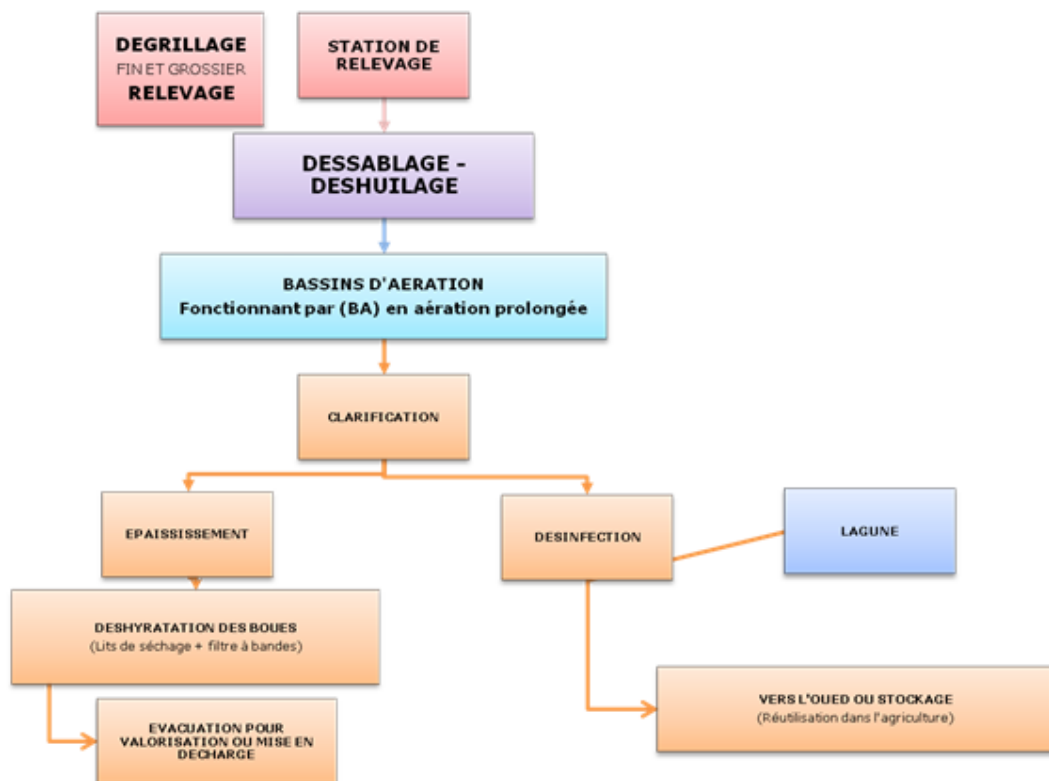


FIG. 2.9 : Schéma de la STEP d'AIN MLILA
(STEP d'AIN MLILA)

2.4 Les traitements tertiaires

Les traitements tertiaires font référence à la troisième étape du traitement des eaux usées, qui vise à éliminer les contaminants restants après les étapes primaires et secondaires. Ces traitements supplémentaires sont nécessaires lorsque les normes de qualité de l'eau sont plus strictes ou lorsque l'eau traitée doit être réutilisée à des fins spécifiques.

Voici quelques-uns des traitements tertiaires couramment utilisés :

1. **Filtration avancée** : Il s'agit de l'utilisation de filtres à sable, de filtres à charbon actif ou de membranes (comme l'osmose inverse) pour éliminer les particules, les matières organiques dissoutes, les micro-organismes et certains produits chimiques présents dans l'eau.
2. **Désinfection** : Cette étape vise à éliminer les micro-organismes pathogènes restants dans l'eau. Les méthodes couramment utilisées sont la spécification chimique avec des agents tels que le chlore, l'ozone ou les rayons ultraviolets (**UV**), ou la proposition par irradiation aux rayons ultraviolets.
3. **Élimination des nutriments** : Dans certaines régions, il est nécessaire d'éliminer les nutriments tels que l'azote et le phosphore des eaux usées avant de les rejeter dans l'environnement. Cela peut être réalisé par des procédés biologiques tels que la dénitrification ou la précipitation chimique.
4. **Élimination des produits chimiques** : Si l'eau contient des produits chimiques spécifiques, tels que des métaux lourds ou des composés organiques persistants, des méthodes spéciales peuvent être utilisées pour les éliminer. Par exemple, l'adsorption sur charbon actif peut être utilisée pour éliminer les contaminants organiques, et des réactifs chimiques peuvent être ajoutés pour précipiter les métaux lourds.
5. **Traitement par rayonnement ultraviolet avancé (UV avancé)** : Le traitement par rayonnement ultraviolet avancé (**UV avancé**) est une technique de désinfection de l'eau qui utilise des rayons ultraviolets à des longueurs d'onde spécifiques pour éliminer les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Cette méthode est souvent utilisée dans les traitements tertiaires des eaux usées et dans le traitement de l'eau potable pour garantir la sécurité micro-biologique de l'eau.

Voici quelques points importants concernant le traitement par rayonnement ultraviolet avancé :

- **Efficacité** : Le traitement par **UV avancé** est très efficace pour éliminer la plupart des micro-organismes pathogènes, y compris les bactéries, les virus et les protozoaires. Il est généralement plus efficace contre les bactéries que contre les parasites protozoaires tels que **Giardia** et **Cryptosporidium**.
- **Aucun produit chimique** : Contrairement à la spécification chimique (comme l'utilisation de chlore), le traitement par **UV avancé** ne nécessite pas l'ajout de produits chimiques à l'eau, ce qui élimine le risque de formation de sous-produits chimiques potentiellement dangereux.
- **Temps de contact court** : Le processus de demande par **UV** est rapide, ce qui signifie qu'un temps de contact prolongé n'est pas nécessaire pour une demande efficace.
- **Limitations** : Le traitement par **UV avancé** n'élimine pas les produits chimiques, les contaminants non biologiques ou les impuretés physiques de l'eau. Il est principalement destiné à éliminer les micro-organismes pathogènes.

- **Réutilisation de l'eau :** Le traitement par rayonnement ultraviolet avancé est souvent utilisé dans le contexte de la réutilisation de l'eau, où l'eau traitée est destinée à être réintroduite dans l'environnement ou utilisée à des ailettes non potables telles que l'irrigation agricole ou l'arrosage des espaces verts.

En résumé, le traitement par rayonnement ultraviolet avancé est une méthode efficace et respectueuse de l'environnement pour désinfecter l'eau en éliminant les micro-organismes pathogènes, assurant ainsi la sécurité de l'eau destinée à diverses utilisations.

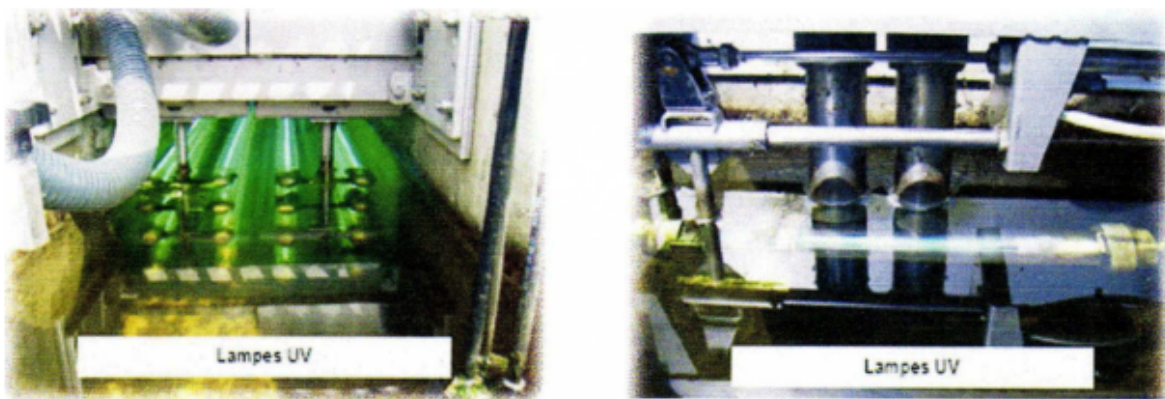


FIG. 2.10 : vue d'une lampe UV.

2.5 Les impacts sur l'environnement et leurs incidences

La réutilisation des eaux usées traitées peut constituer une alternative importante à l'usage des eaux propres et fraîches dans le secteur agricole, notamment dans une région, où l'irrigation utilise jusqu'à **90%** des eaux consommées. Cet essai a pour but d'évaluer l'impact de cette réutilisation. L'effluent de la station d'épuration de la commune d'Ain M'lila a été choisi pour cette étude. L'évaluation identifie les impacts positifs et négatifs de la réutilisation sur la société, l'économie et l'environnement. En effet, la réutilisation de l'effluent est un élément à évaluer. Plusieurs recommandations techniques et socio-économiques sont identifiées pour mieux favoriser tous les avantages soulevés pendant l'évaluation. Ensuite, les différents enjeux environnementaux, économiques et sociaux sont abordés. Cela permet de connaître les principaux avantages et inconvénients de cette pratique sur le milieu naturel et les ressources en eau, la rentabilité des agriculteurs, l'agriculture et sur la population.

2.5.1 Normes de la réutilisation des eaux usées

Les dispositions réglementaires de l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation sont énumérées dans le décret exécutif N°07-149 du **20 mai 2007** fixant les modalités de

concession d'utilisation des eaux usées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges (HANNACHI et al. 2014).

2.5.2 L'analyse des alternatives éventuelles des différentes options en expliquant et en fondant les choix retenus au plan économique, technologique et environnemental

L'évaluation d'impact sur l'environnement est devenue une étape primordiale avant la conception de chaque projet. Selon la réglementation La loi **03-10 du 19 juillet 2003**, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, Décret exécutif N° **06-198 du 31 mai 2006**, définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement et Décret exécutif n° **07-145 du 2 Joumada El Oula 1428** correspondant au **19 mai 2007** déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement. LAZAROVA 1999.

2.5.3 Avantages environnementaux

En ce qui concerne le critère environnemental, la réutilisation des eaux usées traitées présente des avantages significatifs pour la préservation des ressources en eau. Cette approche contribue à réduire les prélèvements d'eau à partir de la nappe souterraine, ce qui a pour effet de rendre l'eau plus abondante pour une utilisation agricole locale. Par conséquent, elle pourrait contribuer à inverser le bilan négatif résultant principalement des prélèvements excessifs d'eau lors de l'irrigation, alors que les apports en eau naturelle restent insuffisants.

De plus, les analyses de l'eau épurée ont révélé une teneur élevée en azote et en phosphore dans l'effluent final, ce qui lui confère une valeur nutritive pour les terres agricoles et les plantes. En effet, cette caractéristique pourrait contribuer à réduire le risque potentiel de contamination des nappes d'eau, qui sont souvent vulnérables à la pollution due à l'utilisation d'engrais minéraux en agriculture. De plus, cela pourrait avoir un impact positif sur la qualité et la préservation des sols agricoles en les enrichissant en éléments nutritifs essentiels.

la réutilisation des eaux usées traitées se présente comme une solution écologiquement responsable, favorisant à la fois la conservation des ressources en eau et la promotion de pratiques agricoles plus durables, tout en particulier les risques environnementaux associés à l'agriculture intensive.

2.5.4 Avantages économiques

D'un point de vue économique, l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation aurait un impact positif sur la situation financière des agriculteurs. En effet, la disponibilité de ces eaux permet d'atténuer le risque de sécheresse qui compromet souvent les récoltes dans l'agriculture traditionnelle, qui dépendent principalement du prélèvement.

Une autre conséquence bénéfique serait une augmentation significative des rendements agricoles, rendue possible par la disponibilité continue de l'eau tout au long de l'année, grâce à la production quotidienne d'eaux usées. Cette disponibilité augmenterait encouragerait les agriculteurs à intensifier l'irrigation et à diversifier les cultures, ce qui pourrait avoir un impact positif sur leurs revenus.

Un autre avantage économique important est lié à la réduction des coûts associés à l'achat d'engrais. L'analyse environnementale et économique a montré que l'utilisation des eaux usées permettrait aux agriculteurs de réaliser des économies significatives en remplaçant les engrais commerciaux par ces eaux traitées, car elles contiennent des éléments nutritifs équivalents à ceux des amendements agricoles. Cette substitution pourrait contribuer à réduire les dépenses globales des agriculteurs, renforçant ainsi leur viabilité économique.

En résumé, la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation présente un avantage économique considérable pour les agriculteurs en particulier les risques liés à la sécheresse, en augmentant les rendements, et en diminuant les coûts liés à l'achat d'engrais. Cette approche favorise donc la durabilité économique de l'agriculture tout en bénéficiant de ses répercussions positives sur l'environnement.

2.6 Conclusion

Le périmètre est irriguées à partir des eaux épurées de la station d'épuration située immédiatement à l'amont. Une adduction par refoulement est donc indispensable. Le projet est faisable techniquement dans la mesure où tous les paramètres de faisabilité présentent un indice positif.

La réalisation du périmètre ne présente pas d'impacts négatifs majeurs sur l'environnement. Le périmètre d'irrigation va contribuer à la valorisation des eaux usées de la zone, la fourniture à la demande de l'eau d'irrigation aux agriculteurs, la stabilisation de la population et la dynamisation de l'activité agricole et para agricole y afférente tout en créant de l'emploi permanent et saisonnier.

Chapitre 3

Ressources en eau et en sol

3.1 Introduction

La promotion du développement régional requiert une optimisation des activités existantes, ce qui nécessite une analyse approfondie des problèmes liés à l'eau. Dans cette région, l'eau constitue un facteur limitant pour le développement économique et principalement pour l'agriculture. Par conséquent, il est essentiel de comprendre et de maîtriser ce facteur.

Une évaluation préliminaire des ressources en eau et en sol serait pertinente dans cette perspective. L'étude des caractéristiques du sol permet de mieux comprendre les interactions entre l'eau et le sol. Sur le plan de l'irrigation, le sol joue le rôle d'un réservoir capable de stocker l'eau et de la fournir progressivement aux plantes en fonction de leurs besoins.

3.2 Ressources en eau

3.2.1 Les sources actuelles d'approvisionnement en eau pour l'irrigation.

En raison de la pénurie d'eau dans la zone examinée, l'irrigation est sévèrement restreinte, ce qui représente un défi considérable pour les exploitations agricoles à fort potentiel qui ne disposent pas d'une source d'approvisionnement en eau. En conséquence, les agriculteurs sont confrontés à la difficulté de voir leurs cultures se dessécher ou de utiliser à l'irrigation avec des eaux usées, malgré les risques inhérents à cette méthode.

Il est important de noter que la majorité des exploitants agricoles, en particulier dans la zone basse du périmètre concerné, ont recours à cette méthode d'irrigation pour faire face à la sécheresse qui sévit dans la région depuis plusieurs années.

3.2.1.1 Les eaux traitées par la station d'épuration de la ville d'Ain M'lila.

Le périmètre d'irrigation à aménager sera alimenté à partir des eaux usées de la station d'épuration de Ain m'lila destinée à épurer les effluents des villes de Ain m'lila.

Les terres à irriguer sont situées à l'aval de la station d'épuration et présentent des altitudes généralement supérieures à celle de la STEP.

3.2.2 Évaluation de la qualité de l'eau.

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation joue un rôle crucial dans le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la préservation de l'environnement. Les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure et sa perméabilité, sont fortement influencées par les ions éventuellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. Ainsi, la composition chimique de l'eau peut avoir un impact significatif sur le sol et, par conséquent, sur la croissance et la santé des cultures. Il est donc essentiel de prendre en compte ces facteurs lors de l'utilisation de l'eau d'irrigation afin de préserver

la qualité du sol et d'optimiser les rendements agricoles tout en minimisant les impacts environnementaux. BOUAROUJ et al. 2012.

3.2.2.1 Analyses physico-chimiques des eaux épurées selon les normes internationales des eaux épurées adéquates pour l'irrigation

| Paramètre | Unité | Concentration Maximale admissible |
|-------------------------------|-------|-----------------------------------|
| Conductivité (ms/cm) | ds/m | 3 |
| pH | - | 7.8 |
| T | °C | 30 |
| MES | Mg/l | 30 |
| DBO5 | Mg/l | 30 |
| DCO | Mg/l | 90 |
| Ca ²⁺ | Mg/l | |
| Infiltration du SAR : | | 0.2 |
| 0 - 3 CE | | 0.3 |
| 3 - 6 CE | | 0.5 |
| 6 - 12 CE | ds/m | 1.3 |
| 12 - 20 CE | | |
| 20 - 40 CE | | |
| Mg ²⁺ | Mg/l | 3 |
| Na ⁺ | Mg/l | 3-9 |
| Ca ²⁺ | Mg/l | 3 |
| Cl ⁻ | Mg/l | 4-10 |
| SO ₄ ²⁻ | Mg/l | |

Source : Journal Officiel 2013 de la République Algérienne N°41

FIG. 3.1 : Tableau des résultats d'analyses physico-chimiques qui respectent les normes internationales pour les eaux usées recommandées par l'USEPA (l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis) en vue de leur utilisation pour l'irrigation..

Pour l'irrigation il faut les satisfaire les conditions suivantes :

- **Paramètre pH** : Les eaux usées présentent un pH compris dans la plage recommandée par l'USEPA pour l'irrigation, ce qui indique qu'elles sont proches de la neutralité.
- **Matières en suspension** : Les eaux usées traitées sont conformes aux normes internationales en ce qui concernent les matières en suspension, ce qui signifie qu'elles contiennent une quantité acceptable de particules solides en suspension.
- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : Les eaux usées respectent les recommandations de l'USEPA en termes de DCO, ce qui indique qu'elles ont été suffisamment dégradées et ne contiennent pas de quantités excessives de matières organiques.

3.2.3 La conductivité

La conductivité de l'eau d'irrigation fait référence à la mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. Elle est utilisée comme indicateur de la concentration des sels dissous dans l'eau utilisée pour l'irrigation.

La conductivité de l'eau d'irrigation est généralement exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en millisiemens par centimètre (mS/cm). Elle peut varier en fonction de la source de l'eau, de sa qualité et de sa composition chimique

| Classe | CE (mmhos/cm) | Qualité des eaux |
|----------------|-----------------------|---------------------------|
| C ₁ | $CE \leq 0,25$ | Eau de risque faible |
| C ₂ | $0,25 < CE \leq 0,75$ | Eau de risque moyen |
| C ₃ | $0,75 < CE \leq 2,25$ | Eau de risque élevée |
| C ₄ | $CE > 2,25$ | Eau de risque très élevée |

FIG. 3.2 : Tableau des Classification des eaux en fonction de la conductivité .

L'eau provenant de la station d'épuration des eaux usées destinée à l'irrigation du périmètre présente une conductivité électrique moyenne (CE) de **0,033 mmhos/cm**. Cette valeur indique un faible risque de salinité de l'eau.

3.2.4 Le coefficient d'adsorption du sodium S.A.R

Le coefficient d'adsorption du sodium (**SAR**, Sodium Adsorption Ratio) est un indicateur utilisé pour évaluer le potentiel de salinité sodique d'un sol. Il est principalement utilisé dans le contexte de l'irrigation pour évaluer les effets du sodium sur la structure du sol

Le SAR est calculé en utilisant les concentrations de sodium (Na^+), de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) présentes dans l'eau d'irrigation. La formule générale pour calculer le SAR est la suivante :

“cour Maziez” p. d.

$$\text{SAR} = (\text{Na}^+ / \sqrt{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]}) \text{ exprimé en millimoles par litre (mmol/L)}$$

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

FIG. 3.3 : Tableau de classification en fonction du SAR.

$$\text{SAR} = (\text{Na}^+ / \sqrt{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]}) \text{ SAR} = 3.27$$

Selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation, si l'eau est caractérisée par une faible salinité et un faible degré d'alcalinité, elle peut être classée dans la catégorie **C1, S1**.

La catégorie s1 représente une faible alcalinité, ce qui signifie que la concentration de bicarbonates dans l'eau est relativement basse. La catégorie c1 indique un risque faible de salinité.

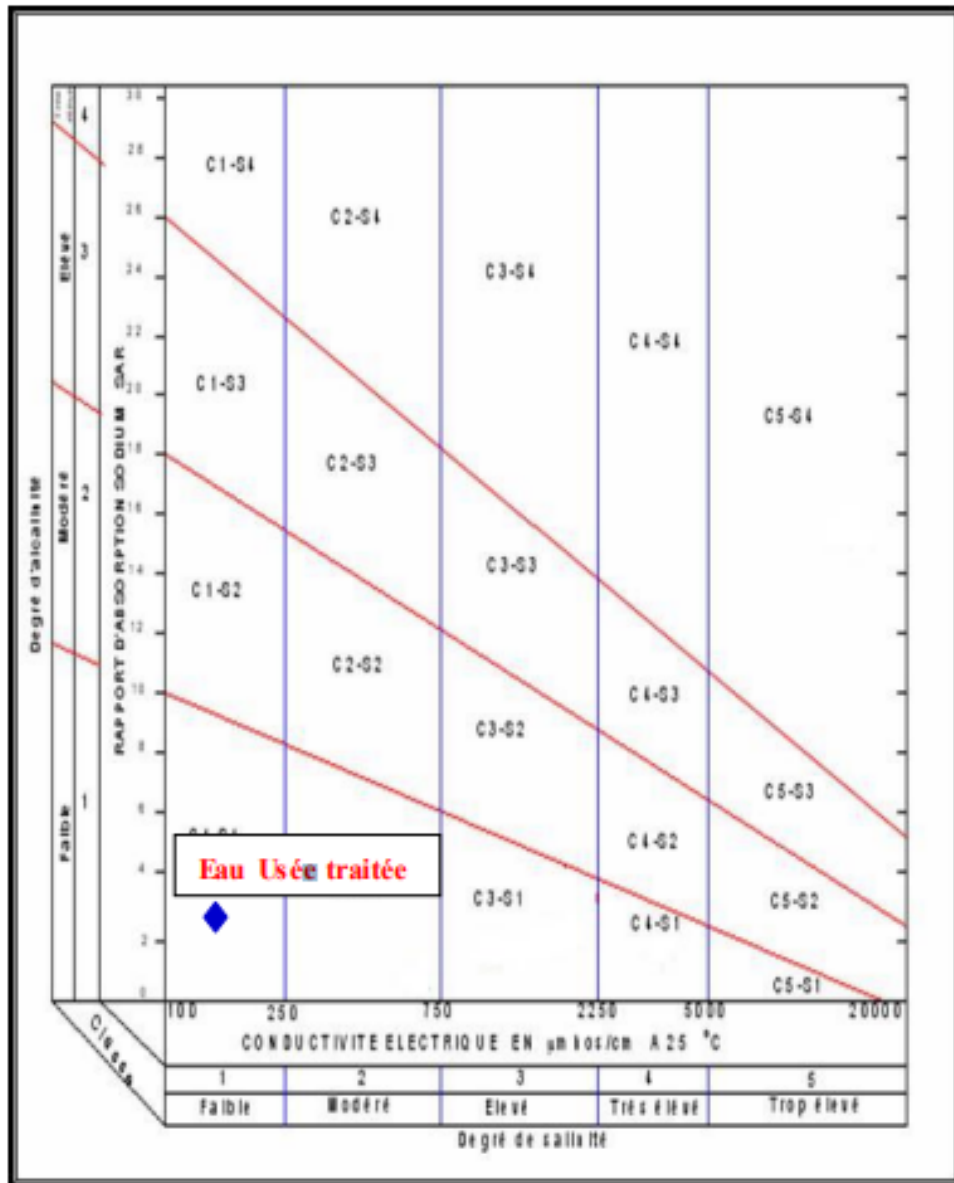


FIG. 3.4 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation.

3.2.5 Calcul de la pluie

| | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Tota |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 1982 | 62,3 | 73,3 | 15,5 | 42,6 | 26 | 10 | 25 | 72 | 44 | 0 | 0 | 0 | 367,7 |
| 1983 | 0 | 37,9 | 0 | 23,7 | 40,5 | 37,5 | 25 | 5,1 | 27,3 | 0 | 11,7 | 1,4 | 220,1 |
| 1984 | 150,3 | 44 | 27,7 | 16,4 | 79,7 | 23,2 | 35,2 | 72,8 | 43,4 | 10 | 3,8 | 23,9 | 530,2 |
| 1985 | 24,7 | 23,5 | 4,1 | 33,2 | 2,8 | 18,1 | 26 | 18 | 10,1 | 15 | 0 | 0 | 175,5 |
| 1986 | 14,5 | 27 | 23,3 | 12 | 14,5 | 47,7 | 49,5 | 14,9 | 64,5 | 0 | 0 | 7,3 | 275,2 |
| 1987 | 49,8 | 3,7 | 34,4 | 7,3 | 10 | 34 | 56,9 | 59,9 | 72,8 | 80,2 | 23 | 12,2 | 454,2 |
| 1988 | 3,2 | 53,6 | 6,8 | 8,1 | 14,2 | 57,3 | 32,2 | 145,9 | 21 | 23,5 | 4,6 | 0 | 370,4 |
| 1989 | 84,1 | 20,1 | 19,2 | 14,2 | 27,9 | 44,5 | 50,7 | 26,4 | 77,5 | 2,9 | 0 | 3 | 370,5 |
| 1990 | 3,8 | 43 | 48 | 46,4 | 6 | 5,2 | 23,9 | 1,6 | 10,3 | 4 | 1 | 19,2 | 208,4 |
| 1991 | 33,9 | 15 | 20 | 20,6 | 33,5 | 10,5 | 77,3 | 21,7 | 32,9 | 1,8 | 3 | 12 | 273,2 |
| 1992 | 108,1 | 20,8 | 34,6 | 36,1 | 18,3 | 67,1 | 46,9 | 16,4 | 48,5 | 2,7 | 18,2 | 2,7 | 420,4 |
| 1993 | 6,9 | 15,7 | 25,8 | 9,2 | 22 | 26,6 | 27,4 | 25,2 | 43,6 | 48,8 | 4,6 | 3,5 | 255,3 |
| 1994 | 33,4 | 3 | 65,4 | 41,5 | 10,1 | 20,5 | 71,9 | 60,4 | 77,4 | 8,9 | 10 | 1,6 | 404,1 |
| 1995 | 29 | 80 | 17,5 | 15,2 | 34,1 | 43 | 70,7 | 67,5 | 79,1 | 4 | 15,3 | 5 | 463,4 |
| 1996 | 7 | 11,5 | 9,3 | 81,2 | 32,5 | 20,3 | 13,2 | 31,4 | 14,4 | 0 | 0 | 6 | 224,8 |
| 1997 | 30,2 | 72,3 | 4,5 | 23 | 85 | 9 | 52,5 | 15,5 | 11,8 | 62 | 0 | 4 | 369,8 |
| 1998 | 188,7 | 37 | 32 | 22 | 122 | 136 | 46 | 58 | 66 | 35 | 34 | 15 | 791,7 |
| 1999 | 8 | 9 | 2,5 | 12 | 30,2 | 10 | 34 | 40,3 | 7 | 26,5 | 4 | 4,5 | 186 |
| 2000 | 35,6 | 50,8 | 72,6 | 50,2 | 3,3 | 23,9 | 28 | 47,8 | 48,7 | 23 | 0,6 | 17,7 | 402,2 |
| 2001 | 69 | 23,5 | 94 | 24 | 43,2 | 9,5 | 17 | 26 | 8 | 33,6 | 2,7 | 25,9 | 376,4 |
| 2002 | 54 | 12 | 17,8 | 18 | 7,6 | 5 | 15 | 13,7 | 87 | 39 | 0 | 44 | 314,1 |
| 2003 | 46,5 | 19,5 | 10,1 | 46,1 | 50,5 | 10,5 | 12 | 36,5 | 36 | 0 | 0 | 4 | 271,7 |
| 2004 | 50,1 | 17,2 | 35,7 | 8,8 | 57 | 10,4 | 12,7 | 20,8 | 44,4 | 0 | 0 | 2,9 | 250 |
| 2005 | 48,7 | 28,7 | 98,2 | 53,7 | 9,9 | 18,4 | 15,7 | 31,8 | 12,1 | 11,8 | 16,9 | 87,9 | 433,8 |
| 2006 | 22,9 | 60,5 | 16,8 | 82,9 | 151,9 | 37,3 | 37 | 103,6 | 21,2 | 29,3 | 14,6 | 10,2 | 588,2 |
| 2007 | 14,7 | 11,9 | 138,3 | 138,7 | 31,5 | 8,7 | 51 | 21 | 126,9 | 90 | 0 | 35,3 | 665 |
| 2008 | 33,4 | 5,8 | 13,9 | 38,1 | 25,2 | 39,4 | 15,3 | 25,3 | 2,2 | 19,5 | 11,2 | 10 | 239,9 |
| 2009 | 19,9 | 29,1 | 11,3 | 89,7 | 74,6 | 52,9 | 8,8 | 57,1 | 88,5 | 6,4 | 13,2 | 8 | 459,5 |
| 2010 | 53,1 | 30,4 | 14,3 | 24,8 | 11,1 | 14,8 | 59,5 | 48,3 | 38,3 | 4,7 | 0 | 14,4 | 313,7 |
| 2011 | 67,7 | 42,2 | 15,3 | 35,4 | 7,1 | 23 | 42,8 | 18,4 | 75,7 | 16 | 27,4 | 39,9 | 410,9 |
| 2012 | 73,9 | 24 | 4,2 | 20 | 78,8 | 19,1 | 66,4 | 97,2 | 51,1 | 1,1 | 5,2 | 34 | 475 |
| 2013 | 19,9 | 29,1 | 11,3 | 89,7 | 74,6 | 52,9 | 8,8 | 57,1 | 88,5 | 6,4 | 13,2 | 8 | 459,5 |
| 2014 | 53,1 | 30,4 | 14,3 | 24,8 | 11,1 | 14,8 | 59,5 | 48,3 | 38,3 | 4,7 | 0 | 14,4 | 313,7 |
| 2015 | 67,7 | 42,2 | 15,3 | 35,4 | 7,1 | 23 | 42,8 | 18,4 | 75,7 | 16 | 27,4 | 39,9 | 410,9 |
| 2016 | 73,9 | 24 | 4,2 | 20 | 78,8 | 19,1 | 66,4 | 97,2 | 51,1 | 1,1 | 5,2 | 34 | 475 |
| Total | 45,01 | 30,53 | 30,09 | 36,3 | 38,0 | 28,8 | 36,95 | 20,61 | 21,47 | 6,47 | 3,08 | 4,15 | |

FIG. 3.5 : Tableau des Pluies mensuelles .

L'analyse climatique a été réalisée en utilisant des données recueillies sur une période de **31 ans**, allant de **1982** à **2016**. Ces données ont été obtenues auprès de l'**ANRH** (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), la pluies moyenne interannuelle est de

377.75 mm

3.2.6 Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique

L'étude de l'homogénéité de la série pluviométrique consiste à évaluer si les données de précipitations collectées sur une période donnée présentent une cohérence et une stabilité temporelle. Elle vise à détecter les éventuels changements dans les schémas de précipitations qui pourraient être attribuables à des facteurs tels que le changement climatique.

“cour Maziez” p. d.

| Rang | Série d'origine | Série num x | Série num y | TRI | x union y |
|------|-----------------|-------------|-------------|-------|-----------|
| 1 | 367,7 | 367,7 | 369,8 | 175,5 | X |
| 2 | 210,1 | 210,1 | 791,7 | 187 | Y |
| 3 | 530,2 | 530,2 | 187 | 208,4 | X |
| 4 | 175,5 | 175,5 | 402,2 | 210,1 | X |
| 5 | 275,2 | 275,2 | 376,4 | 224,8 | X |
| 6 | 444,2 | 444,2 | 314,1 | 239,9 | Y |
| 7 | 370,4 | 370,4 | 271,7 | 255,3 | X |
| 8 | 370,5 | 370,5 | 260 | 260 | Y |
| 9 | 208,4 | 208,4 | 433,8 | 271,7 | Y |
| 10 | 273,2 | 273,2 | 588,2 | 273,2 | X |
| 11 | 420,4 | 420,4 | 665 | 275,2 | X |
| 12 | 255,3 | 255,3 | 239,9 | 313,7 | Y |
| 13 | 404,1 | 404,1 | 459,5 | 314,1 | Y |
| 14 | 463,4 | 463,4 | 313,7 | 368,7 | X |
| 15 | 224,8 | 224,8 | 410,9 | 369,8 | Y |
| 16 | 369,8 | | 475 | 370,4 | X |
| 17 | 791,7 | | | 370,5 | X |
| 18 | 187 | | | 376,4 | Y |
| 19 | 402,2 | | | 402,2 | Y |
| 20 | 376,4 | | | 404,1 | X |
| 21 | 314,1 | | | 410,9 | Y |
| 22 | 271,7 | | | 420,4 | X |
| 23 | 260 | | | 433,8 | Y |
| 24 | 433,8 | | | 444,2 | X |
| 25 | 588,2 | | | 459,5 | Y |
| 26 | 665 | | | 463,4 | X |
| 27 | 239,9 | | | 475 | Y |
| 28 | 459,5 | | | 530,2 | X |
| 29 | 313,7 | | | 588,2 | Y |
| 30 | 410,9 | | | 665 | Y |
| 31 | 475 | | | 791,7 | Y |

FIG. 3.6 : Tableau de Test de Wilcoxon.

Le test de **Wilcoxon** utilisé pour évaluer l'homogénéité d'une série de données, mais plutôt pour comparer les différences entre deux groupes : $W_{min} < W_x < W_{max}$

Selon les résultats des calculs, les valeurs obtenues sont les suivantes : $N_1 = 15$, $N_2 = 16$, $W_x = 208$, $W_{min} = 180,00$ et $W_{max} = 289,08$. On constate que la condition de **Wilcoxon**, c'est-à-dire $W_{min} < W_x < W_{max}$, est satisfaite.

Par conséquent, on peut conclure que la série des précipitations moyennes annuelles de la station d'ain mlila est homogène

3.2.7 Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss

L'ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss, également connue sous le nom de loi normale, est une méthode utilisée pour évaluer dans quelle mesure les données de précipitations annuelles suivent une distribution normale.

Pour effectuer cet ajustement, on utilise des techniques statistiques telles que l'estimation des paramètres de la distribution normale (moyenne et écart-type) à partir des données de précipitations annuelles.

On note que l'ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss n'est qu'une approche parmi d'autres pour analyser la distribution des précipitations et d'autres méthodes peuvent également être utilisées en fonction des caractéristiques spécifiques des données et de l'objectif de l'étude.

| T | q | XT | Ecart type | Interval de confiance 95% | |
|--------|--------|-------|------------|---------------------------|------|
| 10000 | 0.0001 | -127 | 65.3 | -254 | 1.45 |
| 2000 | 0.0005 | -68.5 | 58.7 | -184 | 46.7 |
| 1000 | 0.001 | -41.3 | 55.7 | -151 | 67.9 |
| 200 | 0.005 | 28.4 | 48.1 | -65 | 123 |
| 100 | 0.01 | 62.2 | 44.6 | -25.2 | 150 |
| 50 | 0.02 | 99.1 | 40.8 | 19.1 | 179 |
| 20 | 0.05 | 155 | 35.4 | 85.1 | 224 |
| 10 | 0.1 | 204 | 31.1 | 143 | 265 |
| 4.9 | 0.2 | 260 | 27 | 211 | 317 |
| 3.3 | 0.3 | 306 | 24.5 | 259 | 354 |
| 1.9 | 0.51 | 370 | 22 | 329 | 419 |
| 1.5 | 0.6667 | 436 | 24 | 389 | 483 |
| 1.25 | 0.8 | 492 | 26.8 | 439 | 544 |
| 1.1111 | 0.9 | 551 | 31.1 | 490 | 612 |
| 1.0526 | 0.95 | 600 | 35.4 | 531 | 670 |
| 1.0205 | 0.98 | 657 | 41 | 576 | 735 |

FIG. 3.7 : Tableau d'ajustement à la loi normale.

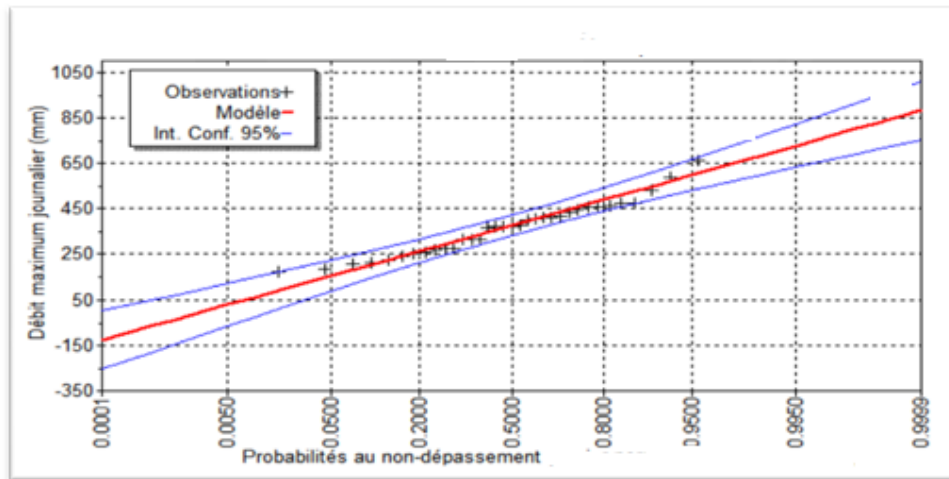


FIG. 3.8 : graphique d'ajustement des pluies annuelles à la loi normal.

3.2.8 Ajustement à la loi log-normale :

L'ajustement des pluies annuelles à la loi log-normale est une méthode alternative utilisée pour évaluer la distribution des données de précipitations annuelles.

Pour effectuer cet ajustement, on applique généralement une transformation logarithmique aux données de précipitations annuelles. Ensuite, on estime les paramètres de la distribution log-normale, tels que la moyenne et l'écart-type, à partir des valeurs transformées. HILLEL et al. 1974

| T | q | XT | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) | |
|--------|--------|------|------------|-------------------------------|-----|
| 10000 | 0.0001 | 94.4 | 16.2 | 62.6 | 125 |
| 2000 | 0.0005 | 110 | 17 | 76.7 | 143 |
| 1000 | 0.001 | 118 | 17.3 | 84.2 | 152 |
| 200 | 0.005 | 142 | 18 | 107 | 177 |
| 100 | 0.01 | 156 | 18.2 | 120 | 191 |
| 50 | 0.02 | 171 | 18.3 | 135 | 207 |
| 20 | 0.05 | 198 | 18.4 | 162 | 234 |
| 10 | 0.1 | 225 | 18.4 | 189 | 261 |
| 4.9 | 0.2 | 260 | 18.7 | 222 | 300 |
| 3.3 | 0.3 | 295 | 19 | 258 | 332 |
| 1.9 | 0.51 | 361 | 22 | 310 | 398 |
| 1.5 | 0.6667 | 414 | 26.1 | 363 | 465 |
| 1.26 | 0.8 | 479 | 33.7 | 413 | 545 |
| 1.1111 | 0.9 | 561 | 45.9 | 471 | 651 |
| 1.0527 | 0.95 | 638 | 59.5 | 522 | 755 |
| 1.0205 | 0.98 | 738 | 79.2 | 585 | 895 |

FIG. 3.9 : Tableau d'ajustement à la loi log-normale.

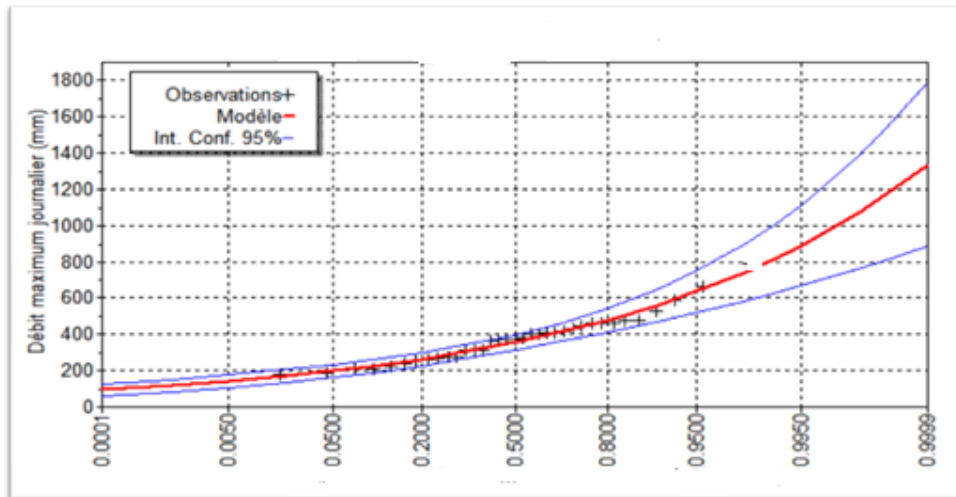


FIG. 3.10 : Ajustement des pluies annuelles à la loi log normale.

3.2.9 Le test d'adéquation Khi-deux :

Le test d'adéquation du chi-deux (²) est un test statistique utilisé pour évaluer si un ensemble de données convient à une distribution théorique donnée, telle que la distribution normale, la distribution log-normale

| | Loi Normale | Loi Log-Normale |
|-----------------------------------------|-------------|-----------------|
| Degré de liberté γ | 4 | 4 |
| $\chi^2_{calculé}$ | 4 | 2,22 |
| $\chi^2_{théorique}$ | 9.78 | 9.8 |
| $\chi^2_{calculé} < \chi^2_{théorique}$ | Vérifier | Vérifier |

FIG. 3.11 : Tableau des Résultats du test de Khi carré.

Selon le test du **chi-carré**, la condition d'ajustement est vérifiée, ce qui indique que la série des précipitations moyennes annuelles ajustée avec les deux lois, à la fois la loi normale et la loi log-normale. Cependant, sur la base d'une évaluation visuelle, il apparaît que la loi log-normale s'ajuste mieux aux pluies annuelles par rapport à la loi normale.

3.2.10 Détermination de l'année de calcul :

La détermination de l'année de calcul dans ce contexte vise à identifier la pluie mensuelle ayant une probabilité de **80%** d'être utilisée par la plante. Étant donné que la loi log-normale est considérée comme la plus appropriée pour modéliser les données de précipitations, nous l'utilisons pour estimer la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région.

Cette approche permet de fournir une estimation de la pluie mensuelle qui est susceptible de répondre aux besoins en eau de la plante dans **80%** des cas, en utilisant la distribution log-normale comme référence pour la variabilité des précipitations dans la région étudiée.

$P(80\%)_{sec} = P(\text{moy.i}) \times P(80\%) / P(50\%)$ avec :

- $P(50\%) = 361 \text{ mm.}$
- $P(80\%) = 479 \text{ mm.}$

3.3 Ressource en sol

L'étude des sources en sol est une étape primordiale qui précède toute opération de mise en valeur car elle permettra, d'une part, de connaître la répartition spatiale des sols sur support cartographique au 1/20.000m avec analyse de toutes les contraintes susceptibles de limiter le type d'utilisation des terres du périmètre, et d'autre part, la détermination des aptitudes culturales en irrigué, qui sont rattachées principalement aux résultats des caractéristiques physico-chimiques et hydrodynamiques des sols.

3.3.1 Méthodologie d'approche

Pour la cartographie des sols du périmètre Ain M'Lila prospecté, nous avons opté pour une technique très rigide qui semble la mieux adaptée et qui consiste en une implantation des profils aux nœuds d'une grille plus ou moins régulière de **400 m** de côté de telle manière à avoir **4** profils aux nœuds d'une maille de **16** hectares, cette technique nous a conduites à l'ouverture de **09** profils dont **05** profils décrits et échantillonnés et **04** profils prospectés avec **07** sondages à la tarière. Chaque unité cartographique a été représentée par au moins un profil type (décrit, analysé et interprété) les autres profils décrits et analysés, ainsi que les sondages ont servi beaucoup plus à la réalisation des contours des unités pédologiques. Les coordonnées du profil, déterminées à l'aide d'un **GPS** professionnel avec une projection **WGS 84**.

Une description de l'environnement du profil, à savoir :

- La lithologie.
- L'occupation.
- La pente.

- Le relief.
- L'aspect de surface (charge caillouteuse en %).
- L'épaisseur des profils en cm et de chaque horizon .
- La composition granulométrique (texture) appréciée au toucher et vérifiée selon le triangle de texture américain **USDA**, après réception des résultats du laboratoire.
- Les niveaux limitant s'ils existent (croûte, encroûtement calcaire, dalle etc.).
- La couleur des horizons selon le code **Mansell**.
- La réaction du sol au contact de l'**Hcl** dilué et les niveaux d'effervescence des carbonates (nulle, très faible, moyen, forte, très forte).
- La structure des sols ou le mode d'assemblage des particules avec une évaluation de la porosité du sol en fonction du volume des vides.
- La détermination de la matière organique, ainsi que le type d'enracinement.

3.3.2 Étude analytique des sols

L'étude analytique au laboratoire a porté sur la détermination de ce qui suit :

- La composition granulométrique (% Argiles, Limons et sables), classée selon le triangle de texture américain **USDA**.
- Le calcaire total et actif.
- La conductivité électrique en **mmhos /cm**.
- La capacité d'échange cationique **CEC**.
- Le **pH**.
- La matière organique.
- Les éléments fertilisants (**N, p, K**).



FIG. 3.12 : Implantation des profils.

3.3.3 La classification de référence

La structure de cette classification, dite morphogénétique, repose essentiellement sur la détermination des unités supérieures (classe, sous-classe, groupe, sous-groupe) ainsi que les unités inférieures (famille et série) et donne aux utilisateurs un outil commode pour l'évaluation des caractères fonctionnels.

La prospection pédologique et l'analyse des paramètres physico-chimiques ont permis de reconnaître au niveau du périmètre une classe appartenant aux sols iso-humiques .

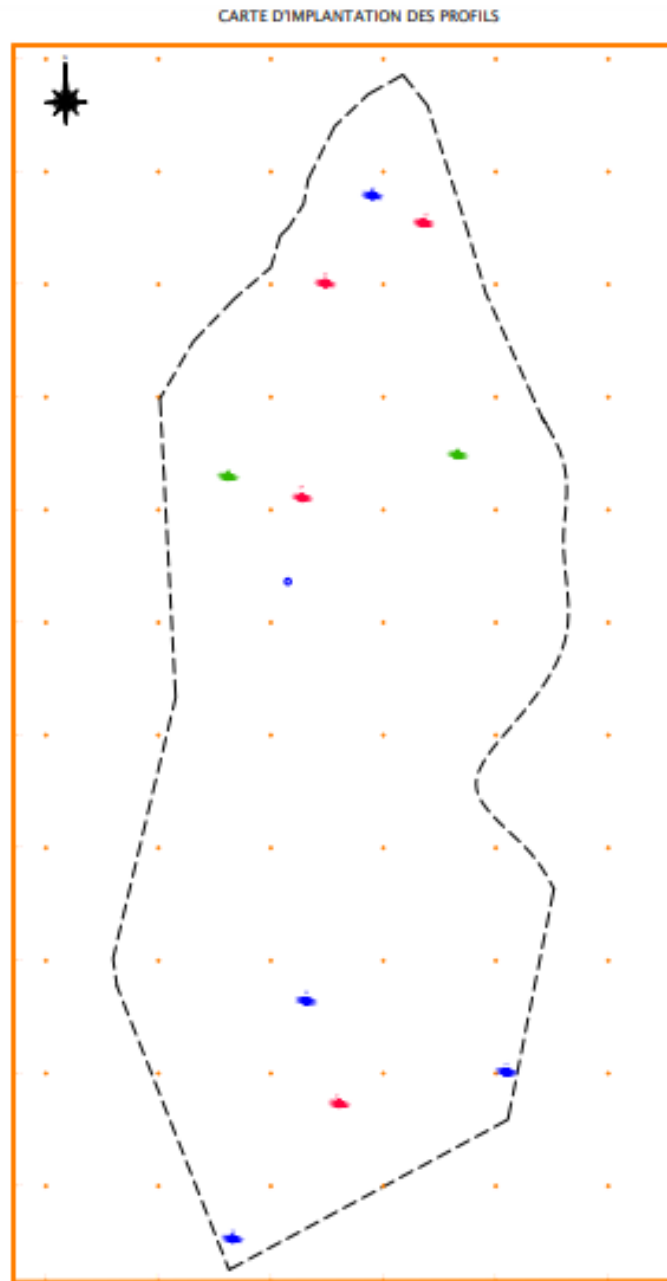


FIG. 3.13 : Carte d'implantation des profils

3.3.4 Levé pédologique

3.3.4.1 Profil N°1

- **Données générales :**
 - **Géomorphologie :** replat
 - **Pente :** 0-2%
 - **Occupation actuelle :** grande culture-jachère.
 - **Aspect de surface :** 0-1%
 - **Coordonnées :** X= 35 523.60, Y= 495 752.76

- **Classification :**

- **Classe :** Sols isohumiques
- **s/classe :** à complexe saturé en Ca^{++} , évoluant sous un pédo-climat frais pendant les saisons pluvieuses.
- **Groupe :** Sols marron.
- **s/groupe :** modaux.

- **Description morphologique du profil :**

- **0 - 30 cm :** sec, texture limono-argileuse, structure grumeleuse moyenne, nombreuses racines fines, bonne activité biologique, matière organique non directement décelable, poreux, moyennement friable, faible effervescence à l'HCl, transition peu nette et régulière.
- **30 - 60 cm :** sec, texture argileuse, structure polyédrique angulaire moyenne, présence d'environ **3%** de cailloux calcaires, pas de racines matière organique non directement décelable, activité biologique très faible, porosité moyenne, peu compact, légère effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
- **60 - 100 cm :** sec, texture argileuse, structure polyédrique grossière, présence d'environ **5%** de cailloux calcaires, pas de racines, activité biologique nulle, compact, faible porosité, effervescence moyenne à l'HCl, transition nette et régulière.



FIG. 3.14 : Image de profil 1

| Echantillons | Granulométrie (%) | A | L _F | L _G | S _F | S _G | Texture |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| E ₁ 0-30 cm | Méthode Internationale (Tamisage et sédimentation) (Norme internationale ISO, 11277) | 31.21 | 3.66 | 25.52 | 28.63 | 10.98 | Limono-Argileuse |
| E ₂ 30-60 cm | | 59.06 | 15.84 | 4.04 | 17.85 | 3.20 | Argileuse |
| E ₃ 60-100cm | | 52.57 | 30.62 | 0.17 | 13.57 | 3.07 | Argileuse |

| | PH a 25°C | CE mS/cm | Sal | TDS mg/L | MO% | Calcaire total % | Calcaire actif % | K2O ppm | P2O5 ppm |
|-------------------------|--------------|-------------|------|-------------|-------|---------------------|---------------------|------------|-------------|
| E ₁ 0-30 cm | 7.80 | 0.200 | 0.00 | 67 | 1.904 | 30.69 | 18 | 239.33 | 120.33 |
| E ₂ 30-60 cm | 8.02 | 0.314 | 0.00 | 94 | 2.750 | 22.77 | 20.87 | 146.98 | 133.33 |
| E ₃ 60-100cm | 8.24 | 0.389 | 0.00 | 140 | 1.692 | 24.75 | 19.87 | 144.58 | 37.40 |

Profil N° :01

| | Ca meq/100g | Mg meq/100g | Na meq/100g | K meq/100g |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| E ₁ 0-30 cm | 2.605 | 3.122 | 1.234 | 0.680 |
| E ₂ 30-60 cm | 2.364 | 3.271 | 1.698 | 0.516 |
| E ₃ 60-100cm | 1.910 | 3.350 | 1.726 | 0.500 |

FIG. 3.15 : Tableau des résultats analytiques (INSID)

3.3.4.2 Profil N°2

- Données générales :
 - Géomorphologie : replat
 - Pente : 0-1%
 - Occupation actuelle : grande culture.
 - Aspect de surface : environ 10% de cailloux calcaire
 - Coordonnées : X= 35034.55, y= 496448.58
- Classification :
 - Classe : Sols isohumiques
 - s/classe : à complexe saturé en ca++, évoluant sous un pédo-climat frais pendant les saisons pluvieuses.
 - Groupe : Sols marron.
 - s/groupe : encroûtés.
- Description morphologique du profil :

- **0 - 30 cm** : sec, texture limoneuse, structure grumeleuse, présence d'environ **10%** cailloux calcaires, quelques racines fines, activité biologique moyenne, matière organique non directement décelable, bonne porosité, friable , forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
- **30- 60 cm** : sec, texture limono-sableuse, structure angulaire moyen, présence d'environ **15 %** cailloux calcaires, quelques racines fines, activité biologique faible, bonne porosité, friable , forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
- **Plus que 60:** roche mère calcaire friable



FIG. 3.16 : Image de profil 2

| Echantillons | Granulométrie (%) | A | L_F | L_G | S_F | S_G | Texture |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| E₁ 0-30 cm | Méthode Internationale <i>(Tamisage et sédimentation)</i> <i>(Norme internationale ISO, 11277)</i> | 14.55 | 33.91 | 0.08 | 21.46 | 30.00 | limoneuse |
| E₂ 30-60 cm | | 10.87 | 19.57 | 2.71 | 20.38 | 46.77 | Limono-sableuse |

| | PH a 25°C | CE mS/cm | Sal | TDS mg/L | MO% | Calcaire total % | Calcaire actif % | K₂O ppm | P₂O₅ ppm |
|-------------------|---------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| P2H1 0-30 | 7.58 | 0.176 | 0.00 | 70 | 2.116 | 48 | 32.85 | 154.50 | 87.80 |
| P2H2 30-60 | 8.12 | 0.155 | 0.00 | 62 | 1.904 | 70.29 | 27.52 | 72.05 | 37.40 |

FIG. 3.17 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°02 (INSID)

| | Ca meq/100g | Mg meq/100g | Na meq/100g | K meq/100g |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| P2H1 0-30 | 2.253 | 2.856 | 1.230 | 0.519 |
| P2H2 30-60 | 1.789 | 2.543 | 1.287 | 0.369 |

FIG. 3.18 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°02 (INSID)

3.3.4.3 Profil N°3

- **Données générales :**

- **Géomorphologie :** replat
- **Pente :** 0-3%
- **Occupation actuelle :** grande culture
- **Aspect de surface :** environ 15% de cailloux calcaire
- **Coordonnées :** X= 35 034.55, y= 497 697.58

- **Classification :**

- **Classe :** Sols isohumiques
- **s/classe :** à complexe saturé en ca⁺⁺, évoluant sous un pédo-climat frais pendant les saisons pluvieuses.
- **Groupe :** Sols marron

- s/groupe : encroûtés.
- Description morphologique du profil :
 - **0 - 30 cm** : sec, couleur 7,5 YR 4/3, texture Argilo-sableuse, structure grumeleuse, quelques racines fines, activité biologique moyenne, matière organique non directement décelable, bonne porosité, friable, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
 - **30 - 60 cm** : sec, texture limono-argileuse, structure angulaire moyen, présence d'environ **15%** cailloux calcaires, quelques racines fines, activité biologique faible, bonne porosité, friable, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
 - **60 - 70 cm** : sec, texture argilo-sableuse, structure angulaire grossier, présence d'environ **25%** cailloux calcaires, quelques racines fines, activité biologique faible, bonne porosité, friable, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière. Plus que 70 roche mère calcaire friable.



FIG. 3.19 : Image de profil 3

| Echantillons | Granulométrie (%) | A | L_F | L_G | S_F | S_G | Texture |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| E₁0-30 cm | <i>Méthode International</i> <small>(Tamisage et sédimentation) (Norme internationale ISO, 11277)</small> | 45.86 | 2.77 | 5.85 | 29.24 | 16.27 | Argilo-sableuse |
| E₂ 30-60 cm | | 32.54 | 18.07 | 9.48 | 26.90 | 13.01 | Limono-argileuse |
| E₃ 60-100cm | | 43.88 | 1.64 | 8.61 | 17.73 | 28.14 | Argilo-sableuse |

| | PH a 25°C | CE mS/cm | Sal | TDS mg/L | MO% | Calcaire total % | Calcaire actif % | K2O ppm | P2O5 ppm |
|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------|-------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| E₁0-30 cm | 7.92 | 0.140 | 0.00 | 38 | 3.385 | 14.85 | 13.25 | 169.75 | 202.44 |
| E₂ 30-60 cm | 7.97 | 0.195 | 0.00 | 66 | 2.962 | 45 | 22 | 120.48 | 134.96 |
| E₃ 60-70cm | 8.09 | 0.215 | 0.00 | 81 | 1.692 | 55.44 | 29.12 | 107.59 | 107.32 |

| | Ca meq/100g | Mg meq/100g | Na meq/100g | K meq/100g |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| E₁0-30 cm | 2.312 | 2.995 | 1.302 | 0.634 |
| E₂ 30-60 cm | 2.224 | 2.986 | 1.370 | 0.652 |
| E₃ 60-70cm | 2.203 | 2.860 | 1.163 | 0.538 |

FIG. 3.20 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°03 (INSID)

3.3.4.4 Profil N°4

- **Données générales :**

- **Géomorphologie :** Terras Alluviale
- **Pente :** 2-3%
- **Occupation actuelle :** grande culture.
- **Aspect de surface :** 2%.
- **Coordonnées :** X= 34 914.73 , Y= 495 382.56

- **Classification :**

- **Classe :** Sols isohumiques
- **s/classe :** à complexe saturé en ca++, évoluant sous un pédo-climat frais Pendant les saisons pluvieuses.
- **Groupe :** Sols marron
- **s/groupe :** modaux.

- Description morphologique du profil :

- **0 - 30 cm** : sec, texture argileuse, structure grumeleuse moyenne, nombreuses racines fines, bonne activité biologique, matière organique non directement décelable, poreux, moyennement friable, faible effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
- **30 - 60 cm** : sec, texture argileuse, structure polyédrique angulaire moyenne, présence d'environ 5% de cailloux calcaires, pas de racines matière organique non directement décelable, activité biologique très faible, porosité moyenne, peu compact, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
- **60 - 100 cm** : sec, texture argileuse, structure polyédrique grossière, présence d'environ 8% de cailloux calcaires, pas de racines, activité biologique nulle, compact, faible porosité, effervescence fort à l'HCl, transition nette et régulière.



FIG. 3.21 : Image de Profil N°04

| <i>Echantillons</i> | <i>Granulométrie (%)</i> | <i>A</i> | <i>L_F</i> | <i>L_G</i> | <i>S_F</i> | <i>S_G</i> | <i>Texture</i> | | |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|--|--|
| <i>E₁0-30 cm</i> | <i>Méthode Internationale (Tamisage et sédimentation) (Norme internationale ISO, 11277)</i> | 59.63 | 22.81 | 3.40 | 11.48 | 2.67 | Argileuse | | |
| <i>E₂30-60 cm</i> | | 61.62 | 12.64 | 11.72 | 10.71 | 3.30 | Argileuse | | |
| <i>E₃60-100cm</i> | | 63.39 | 10.78 | 15.44 | 7.64 | 2.76 | Argileuse | | |

| | <i>PH a 25° c</i> | <i>CE mS/cm</i> | <i>Sal</i> | <i>TDS mg/L</i> | <i>MO%</i> | <i>Calcaire total %</i> | <i>Calcaire actif %</i> | <i>K2O ppm</i> | <i>P2O5 ppm</i> |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------|---------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|
| <i>E₁0-30 cm</i> | 8.06 | 0.182 | 0.00 | 82 | 1.904 | 21 | 18.87 | 254.95 | 64.23 |
| <i>E₂30-60 cm</i> | 8.25 | 0.322 | 0.00 | 131 | 2.116 | 28 | 17 | 228.27 | 35.59 |
| <i>E₃60-100cm</i> | 8.54 | 0.440 | 0.00 | 173 | 0.634 | 29 | 17.62 | 245.96 | 39.84 |

FIG. 3.22 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°04 (INSID)

| | <i>Ca meq/100g</i> | <i>Mg meq/100g</i> | <i>Na meq/100g</i> | <i>K meq/100g</i> |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| <i>E₁0-30 cm</i> | 2.510 | 3.302 | 1.487 | 1.065 |
| <i>E₂30-60 cm</i> | 1.757 | 3.293 | 1.694 | 1.026 |
| <i>E₃60-100cm</i> | 1.818 | 3.338 | 1.879 | 1.077 |

FIG. 3.23 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°04 (INSID)

3.3.4.5 Profil N°5

- **Données générales :**

- **Géomorphologie :** replat
- **Pente :** 0-3%
- **Occupation actuelle :** grande culture.
- **Aspect de surface :** 5%.
- **Coordonnées :** X= 35078.62, Y= 495910.27

- **Classification :**

- **Classe :** Sols isohumiques
- **s/classe :** à complexe saturé en ca++, évoluant sous un pédo-climat frais pendant les saisons pluvieuses.

- **Groupe** : Sols marron
- **s/groupe** : modaux.
- **Description morphologique du profil** :
 - **0 - 30 cm** : sec, texture argileuse, structure polyédrique sub angulaire fine, nombreuses racines fines, bonne activité biologique, matière organique non directement décelable, poreux, moyennement friable, faible effervescence à l'HCl, transition peu nette et régulière.
 - **30 - 60 cm** : sec, texture argileuse, structure polyédrique angulaire moyenne, présence d'environ 3% de cailloux calcaires pas de racines matière organique non directement décelable, activité biologique très faible, porosité moyenne, peu compact, légère effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
 - **60 - 100 cm** : sec, texture argileuse, structure polyédrique grossière, présence d'environ 5% de cailloux calcaires, pas de racines, activité biologique nulle, compact, faible porosité, effervescence moyenne à l'HCl, transition nette et régulière.



FIG. 3.24 : Image de Profil N°05

| Echantillons | Granulométrie (%) | A | L _F | L _G | S _F | S _G | Texture |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| E ₁ 0-30 cm | <i>Méthode Internationale</i> (Tamisage et sédimentation) (Norme internationale ISO, 11277) | 66.97 | 11.77 | 4.76 | 14.18 | 2.33 | Argileuse |
| E ₂ 30-60 cm | | 64.26 | 8.54 | 17.18 | 8.08 | 1.93 | Argileuse |
| E ₃ 60-100cm | | 62.37 | 8.23 | 20.85 | 7.24 | 1.31 | Argileuse |

| | PH a 25°C | CE mS/cm | Sal | TDS mg/L | MO% | Calcaire total % | Calcaire actif % | K2O ppm | P2O5 ppm |
|-------------------------|-----------|----------|------|----------|-------|------------------|------------------|---------|----------|
| E ₁ 0-30 cm | 8.11 | 0.202 | 0.00 | 68 | 1.269 | 24 | 18.75 | 250.62 | 63.41 |
| E ₂ 30-60 cm | 8.56 | 0.349 | 0.00 | 142 | 1.269 | 31 | 20.12 | 178.24 | 24.39 |
| E ₃ 60-100cm | 8.50 | 0.430 | 0.00 | 160 | 0.632 | 39.6 | 21.25 | 182.62 | 32.52 |

FIG. 3.25 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°05 (INSID)

| | Ca meq/100g | Mg meq/100g | Na meq/100g | K meq/100g |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| E ₁ 0-30 cm | 2.240 | 3.277 | 1.453 | 1.061 |
| E ₂ 30-60 cm | 1.689 | 3.339 | 1.854 | 0.888 |
| E ₃ 60-100cm | 2.118 | 3.302 | 1.945 | 0.943 |

FIG. 3.26 : Tableau des résultats analytiques de Profil N°05 (INSID)

3.3.5 Interprétation et valeur agronomique :

Ces sols situés sur pente variant entre 1 et 3% présentent des caractéristiques très favorables à leur utilisation qui s'articulent autour de :

- Une profondeur adéquate permettant l'introduction d'une très large gamme de cultures.
- Une texture légèrement dominée par la fraction fine dans les horizons de surface avec une bonne structure et une bonne porosité des agrégats entre 0 et 70 cm.
- Une fertilité chimique adéquate exprimée par une bonne répartition de la matière organique du haut en bas et une bonne capacité d'échange cationique.
- Absence du risque de salinité traduit par des teneurs en conductivité Électrique inférieurs à 0,5 ms.

- Un Ph légèrement alcalin à alcalin favorable à la nutrition des cultures.

Ces sols sans aucune contrainte majeure à leur utilisation peuvent convenir parfaitement aux grands cultures (blé dur, blé tendre, orge) aux cultures fourragères (vesce avoine, luzerne, sorgo, tec...) à toutes les cultures maraichères sans exception, aux légumineuses et à l'arboriculture fruitière. Toutefois il est conseillé de procéder à des amendements minéraux bien évalués en quantité en fonction des besoins des cultures suivant leur cycle végétatif pour que les rendements soient maximaux.

3.3.5.1 Travaux et aménagements nécessaires : labour profond

Deux sous groupes des sols iso humiques, sols marron encroûtés : profils N°2 et 3.

Ces sols les plus répandus au niveau de périmètre se caractérisent principalement par :

- Des profondeurs moyennes à bonnes variant entre 70 à 90 cm
- Des teneurs en matière organiques bien incorporées en profondeur
- Une légère décarbonatation de l'horizon de surface avec accumulation calcaire en profondeur sous forme d'encroûtement.

C'est cette accumulation Calcaire sous forme de croûte ou d'encroûtement qui a rangé ces sols dans le sous groupe des sols marrons encroûtés.

3.3.6 Les aptitudes culturales de terrain étudié

Ce volet de l'étude consiste en la détermination de l'aptitude culturale des sols du périmètre AIN MLILA, qui se définit par la capacité par laquelle un sol est apte à produire une culture bien déterminée. Cette capacité est fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol en question, du climat et de la qualité des eaux d'irrigation.

3.3.6.1 Critères de détermination des aptitudes

- Profondeur.
- Texture.
- Structure.
- Éléments grossiers.
- Conductivité électrique (salure).
- Taux de calcaire actif.
- pH.

3.3.7 Aptitudes culturales en irriguée par type de sol

Tableau des aptitudes culturales possibles au niveau du périmètre se résument dans le tableau suivant

| Type du Sols | constraints | categories | Bonne | <u>Moyenne</u> | superficies |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Sols <u>isohumique</u> , sols marron modaux | Texture fine | Catégorie I | Céréales, fourrage, légumineuses maraichage arboriculture fruitière | | 58 Ha |
| sols <u>isohumique</u> , sols marron encrouté | encroûtement calcaire, Fertilité | Catégorie II | Céréales, fourrage, légumineuses maraichage, | arboriculture fruitière | 62 Ha |
| Bâtis | | | | | 8740 m ² |

FIG. 3.27 : Tableau des aptitudes culturales

Dans la catégorie **I** qui regroupent les sols isohumique, sols marron modaux, toutes les cultures peuvent convenir sans aucune restriction, néanmoins certains travaux sont nécessaires pour espérer des hauts rendements. Parmi ces travaux on cite :

- Le défoncement pour permettre une aération des sols et une bonne infiltration des eaux d'irrigation et aussi empêcher la formation des semelles de labour.

Dans la catégorie **II** à légères contraintes au niveau de la texture, de la présence d'un encroûtement à moyenne profondeur et de la fertilité chimique, toutes les cultures à enracinement non profond (céréales, fourrages, légumineuses, maraichage) peuvent y convenir parfaitement sauf que l'arboriculture fruitière aura une convenance moyenne en raison de l'encroûtement à moyenne profondeur.

Au niveau de cette catégorie, il est Conseillé de procéder à un sous solage, à un labour profond et à des apports des engrais organiques et minéraux

3.4 Conclusion

La prospection pédologique et l'analyse des paramètres physico chimiques, ont permis de reconnaître au niveau du périmètre Ain M'lila une classe appartenant aux sols isohumiques.

Ces sols se caractérisent par une répartition profonde et progressivement décroissante de la matière organique dans le profil et une teneur régulièrement croissante du calcaire de la surface jusqu'en profondeur avec parfois accumulation calcaire sous forme d'encroûtement ou de croûte. Selon la présence ou l'absence des certains traits pédogénétiques secondaires (croûte et encroûtement).

Nous avons distingués deux sous groupes à savoir :

- Sous groupe des sols iso humiques, sols marron modaux
- Sous-groupe des sols iso humiques encroûté

Sur la base de l'évaluation des paramètres de faisabilité, il est conclu que le projet est techniquement réalisable car tous les indicateurs de faisabilité présentent un indice positif.

Chapitre 4

Estimation des besoins en eau d'irrigation

4.1 Introduction

Chez les plantes, comme chez tous les organismes vivants, la vie se traduit par un certain nombre de phénomènes qui concourent à leur évolution et à leur développement. Parmi les phénomènes fondamentaux de la vie chez les plantes nous retiendrons leur respiration, leur transpiration et leur nutrition.

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme les doses apportées à la plante dans des moments propices, afin de mettre celles-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises pour obtenir un rendement agricole maximal.

4.2 Besoin en eau du périmètre

Les besoins en eau d'irrigation font référence à la quantité d'eau nécessaire pour répondre aux exigences en eau des cultures lors de leur croissance et de leur développement. Ces besoins en eau varient en fonction du type de culture, de son stade de développement, des conditions climatiques et des caractéristiques du sol.

$$.B = ETM - (P_{eff} + RFU)$$

4.3 L'évapotranspiration potentielle (ET0)

L'évapotranspiration potentielle (ET0) est une mesure de la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée par une culture spécifique sous des conditions climatiques optimales

. Elle représente l'évaporation de l'eau à partir du sol combinée à la transpiration des plantes lorsqu'il n'y a pas de limitation en eau.

Le plus souvent l'évapotranspiration est calculée par des formules à partir des données climatiques mesurées mais ces formules (Turc, Penman, Blaney-criddle,...)

1.METHODE DE BLENY- CRIDDEL :

$$\text{On a : } ETP = P(0,46t + 8,13)$$

Tel que :

ETP : évapotranspiration potentielle en mm/jour.

P : Pourcentage d'heurs de la période mensuelle considérée par rapport au total des heures d'année.

t :Température mensuelle moyenne .

“cour Mbekaci” p. d.

| mois | J | F | M | AV | MAI | J | Jll | A | S | O | N | D |
|------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| <u>Tmoy</u> | 6,2 | 7,3 | 9,9 | 13,3 | 18,1 | 25 | 32,6 | 27 | 22,2 | 17,1 | 11,1 | 7,3 |
| <u>P%</u> | 0,65 | 0,86 | 0,99 | 1,05 | 1,15 | 1,22 | 1,44 | 1,24 | 1,02 | 0,9 | 0,77 | 0,67 |
| ETP (mm/mois) | 7,13 | 9,88 | 12,56 | 14,96 | 18,92 | 23,95 | 33,30 | 25,48 | 18,71 | 14,39 | 10,19 | 7,70 |
| ETP (mm/j) | 0,23 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,61 | 0,80 | 1,07 | 0,82 | 0,62 | 0,46 | 0,34 | 0,25 |

FIG. 4.1 : Tableau de évapotranspiration potentielle

2.Méthode d'IVANOV :

On a : $ETP = 0.0018(t + 25)^2(100-Hr)$

Tel que : Hr : Humidité relative en pourcentage.

t : Température mensuelle moyenne

| mois | J | F | M | AV | MAI | J | Jll | A | S | O | N | D |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| <u>Tmoy</u> | 6,2 | 7,3 | 9,9 | 13,3 | 18,1 | 25 | 32,6 | 27 | 22,2 | 17,1 | 11,1 | 7,3 |
| <u>rH%</u> | 75.3 | 70.8 | 67.5 | 62.3 | 58 | 47.1 | 48.9 | 41.3 | 57.7 | 63.4 | 72.5 | 77.3 |
| ETP (mm/mois) | 43,2 8 | 54,8 3 | 71,2 5 | 99,5 4 | 140,4 3 | 238,0 5 | 305,1 6 | 285,7 0 | 169,6 3 | 116,7 6 | 64,5 1 | 42,6 3 |
| ETP (mm/j) | 1,39 | 1,96 | 2,30 | 3,32 | 4,53 | 7,95 | 9,84 | 9,22 | 5,65 | 3,77 | 2,15 | 1,36 |

FIG. 4.2 : Tableau des évapotranspiration potentielle en mm/jour

3.Méthode de PENman par le logiciel cropWat

Dans cette méthode Pour calculer l'ETP au pas de temps journalier,
due au vent.

on a besoin de :

coordonnées géographique du site a étudier(la latitude, longitude et la cote géodésique)

La température moyenne mensuelle(°C). L'humidité relative .

La vitesse du vent(km/s).

L'insolation (h/j).

| | T Min C° | T Max C° | Humidité % | Vent (km/j) | Isolation (h) | Ray (Mj/m2/j) | ETP (mm/j) | ETP (mm/mois) |
|-----------|-------------|-------------|---------------|----------------|------------------|------------------|---------------|------------------|
| Janvier | 2,4 | 10,6 | 75 | 116 | 5,2 | 9,1 | 1,05 | 32,55 |
| Février | 4,5 | 12,8 | 71 | 146 | 6,8 | 12,9 | 1,67 | 46,76 |
| Mars | 3,5 | 16,2 | 68 | 166 | 7,8 | 17 | 2,53 | 78,43 |
| Avril | 7,9 | 19,2 | 62 | 145 | 8,3 | 20,4 | 3,36 | 100,80 |
| Mai | 14,5 | 24,9 | 58 | 125 | 9,1 | 23 | 4,4 | 136,40 |
| Juin | 20,8 | 30,2 | 47 | 147 | 9,6 | 24,3 | 5,7 | 171,00 |
| Juillet | 24,1 | 33,8 | 49 | 140 | 11,4 | 26,5 | 6,47 | 200,57 |
| août | 27,7 | 31,3 | 41 | 121 | 9,8 | 23 | 5,61 | 173,91 |
| Septembre | 20,5 | 29,1 | 58 | 116 | 8,1 | 18,2 | 4,26 | 127,80 |
| Octobre | 10,6 | 23 | 63 | 103 | 8,1 | 14 | 2,7 | 83,70 |
| Novembre | 8 | 16,5 | 73 | 117 | 6,1 | 10,4 | 1,6 | 48,00 |
| Décembre | 2,8 | 12,1 | 77 | 121 | 5,3 | 8,6 | 1,07 | 33,17 |

FIG. 4.3 : Tableau des résultats donnés par le logiciel CROPWAT, sont les suivants

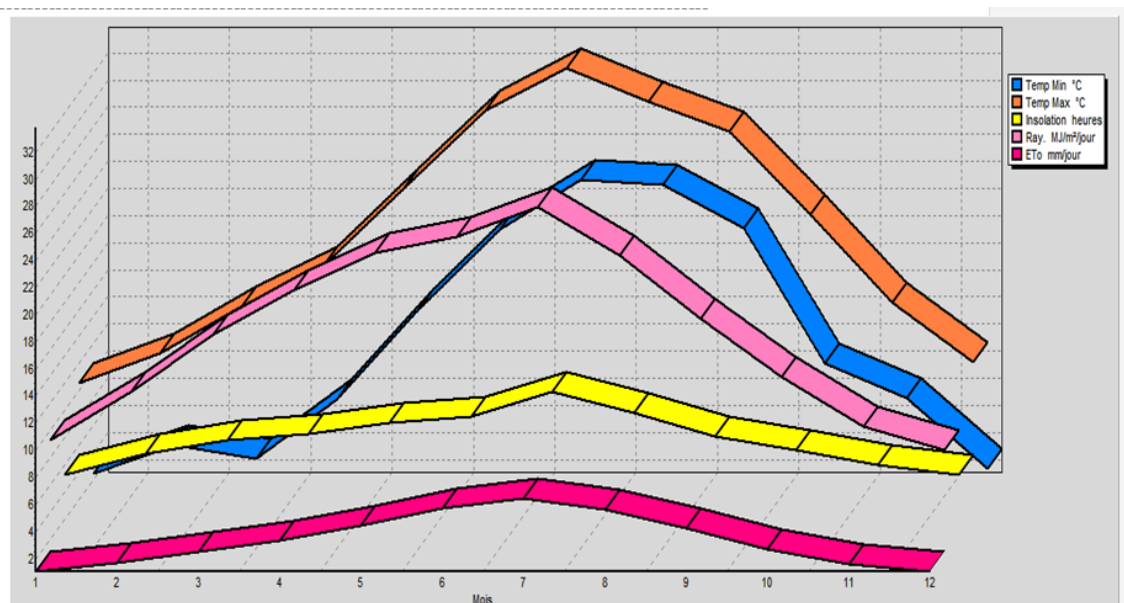


FIG. 4.4 : graphe d'évapotranspiration

.Commentaire du tableau :

En se référant au graphe , il est observé que l'évapotranspiration de référence est élevée pendant la période estivale (200.57 mm/mois).

4.4 Calcul de la pluie efficace :

La pluie efficace également appelée pluie utile ou efficacité de la pluie, est la partie de la précipitation qui pénètre dans le sol et est disponible pour les plantes. Elle représente la quantité d'eau qui contribue réellement à l'humidification et à la recharge du sol, en tenant compte des pertes par ruissellement, évaporation et autres processus.

$$\text{Pluies efficaces (en mm/mois)} = 0.75 \times \text{Pluies totales (mm/mois)}$$

| Mois | jan | fév | mar | avr | mai | juin | Juil | Août | Sept | Oct | Nov | Déc | ΣA (mm) |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| P_{80%} | 16.52 | 15.61 | 19.42 | 20.70 | 22.35 | 9.04 | 3.67 | 4.40 | 23.78 | 16.20 | 11.71 | 14.60 | 178,00 |
| Pluie eff | 12.39 | 11.70 | 14.56 | 15.52 | 16.76 | 6.87 | 2.75 | 3.3 | 17.83 | 12.15 | 8.81 | 10.75 | 133.5 |

FIG. 4.5 : Tableau des résultats obtenus sont résumés comme suit

4.5 La réserve facilement utilisable (RFU)

La réserve en eau du sol fait référence à la quantité d'eau disponible dans le sol pour les plantes après que l'eau d'infiltration de la pluie ou de l'irrigation a pénétré dans le sol et que l'excès d'eau a été drainé.

$$\text{RFU} = Y \times (\text{Hcc} - \text{Hpf}) \times \text{Da} \times Z$$

Hcc : humidité à la capacité au champ (25%)

Hpf : humidité au point de flétrissement (16%)

Y : degré de tarissement généralement égal à 2/3.

Da : densité apparente. on prend Da=1.4

Z : profondeur d'enracinement (mm).

La réserve en eau du sol dépend de plusieurs facteurs notamment de la capacité de rétention en eau du sol.

de la texture du sol, de la structure du sol, de la profondeur du sol et des pratiques de gestion de l'eau.

La capacité de rétention en eau du sol est la quantité d'eau que le sol peut retenir après que l'eau d'infiltration ait rempli les pores du sol

| | Agrume | Vigne | Olivier | Maraichère | Céréale | Fourragères |
|--------------------|--------|-------|---------|------------|---------|-------------|
| <u>Rfu</u> (mm) | 89,10 | 59,40 | 89,10 | 44,55 | 34,65 | 44,55 |

FIG. 4.6 : tableau des Résultats de la t R.F.U. dans la zone d'étude

4.6 Calcul des besoins en eau des cultures

4.6.1 L'évapotranspiration maximale (ETM)

L'évapotranspiration maximale (ETM) est une mesure de la quantité maximale d'eau qui peut être évaporée et transpirée par une culture ou une surface végétale dans des conditions climatiques optimales. BENZIANE 2018.

Elle représente le niveau d'évaporation et de transpiration le plus élevé possible dans des conditions sans limitation en eau.

$$ETM = K_c \times ET_0$$

.Kc : coefficient cultural.

.Et0 : évapotranspiration potentielle ou de référence.

4.7 Répartition des cultures dans le périmètre :

six types de cultures (céréale, olivier, agrumes, maraichère, vigne et fourragères) seront pratiquées dans le périmètre d'étude et ces cultures seront retenues.

| Culture | Agrume | Vigne | Olivier | Maraichère | Céréale | Fourragères |
|------------------------------|--------|-------|---------|------------|---------|-------------|
| Surface nette occupée en (%) | 5 | 5 | 10 | 10 | 50 | 20 |
| Surface nette en (ha) | 5,45 | 5,45 | 10,9 | 10,9 | 54,5 | 21,8 |

FIG. 4.7 : Tableau des Répartitions des cultures dans le périmètre

4.8 Détermination de période de pointe :

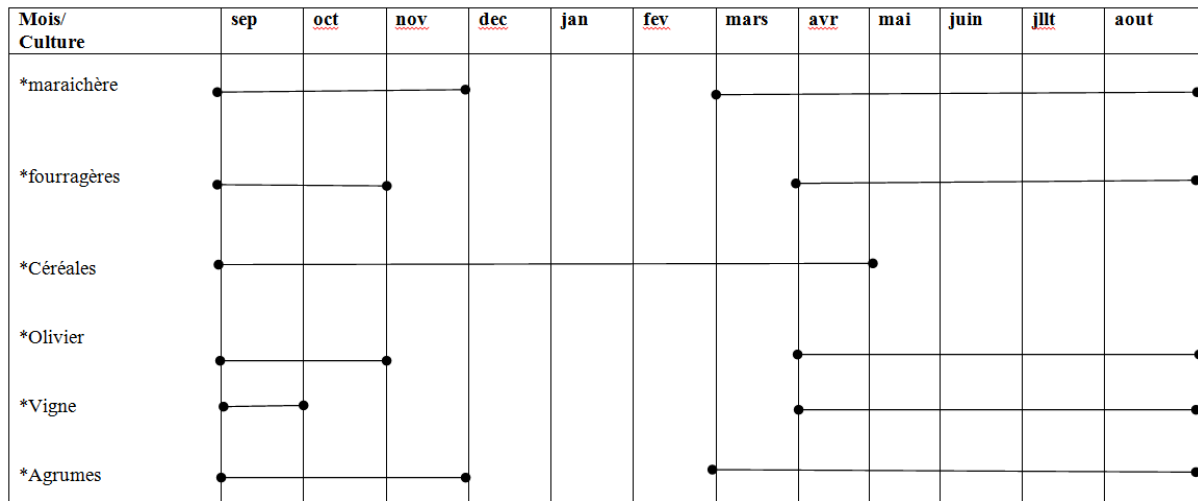


FIG. 4.8 : Tableau des résultats de période de pointe

4.9 Calcul des besoins d'irrigation :

Le calcul des besoins d'irrigation est une étape importante pour déterminer la quantité d'eau nécessaire pour irriguer les cultures. Ces besoins d'irrigation dépendent de plusieurs facteurs tels que le type de culture, la surface cultivée, le stade de développement de la culture et les conditions climatiques locales.

BOUZOU et al. 2018.

| Céréale | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | Jui | juil | aout |
| $p(80\%)$ | 23,78 | 16,20 | 11,71 | 14,60 | 16,52 | 15,61 | 19,42 | 20,70 | 22,35 | 9,04 | 3,67 | 4,40 |
| $P_u(mm)$ | 22,9 | 15,8 | 11,5 | 14,3 | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 20,0 | 21,6 | 8,9 | 3,7 | 4,4 |
| $E_{tp}(mm)$ | 127,8 | 83,7 | 48,0 | 33,2 | 32,5 | 46,7 | 78,4 | 100,8 | 136,4 | 171,0 | 200,6 | 173,9 |
| K_c | 0,45 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 |
| $R_{fu}(mm)(D_p)$ | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 | 34,65 |
| $ETM=E_{tp} \cdot K_c$ | 57,51 | 66,96 | 43,20 | 29,88 | 29,25 | 42,03 | 70,56 | 90,72 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $ETM-P_u$ | 34,61 | 51,16 | 31,7 | 15,38 | 13,15 | 26,83 | 51,76 | 70,72 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| stock d'eau avant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(mm) | 34,61 | 51,16 | 31,7 | 15,38 | 13,15 | 26,83 | 51,76 | 70,72 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| stock après | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoin(m ³ /ha) | 346,10 | 511,60 | 317,00 | 155,80 | 131,50 | 268,30 | 517,60 | 707,20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $D_{fc}(l/s/ha)$ | 0,13 | 0,19 | 0,12 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,19 | 0,273 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $D_p(m^3/ha)$ | 346,50 | 346,50 | 346,50 | 346,50 | 346,50 | 346,50 | 346,50 | 346,50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N | 0,99 | 1,48 | 0,91 | 0,45 | 0,38 | 0,77 | 1,49 | 2,04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N arrondi | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $D_r(m^3/ha)$ | 346,10 | 255,80 | 317,00 | 155,80 | 131,50 | 268,30 | 258,80 | 353,60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $B_{brute}(m^3/ha) = D_r/0.803$ | 431,00 | 318,55 | 394,77 | 194,02 | 163,76 | 334,12 | 322,30 | 440,35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoin nette(m ³ /ha/an) | 2955,10 | | | | | | | | | | | |
| Besoin brute(m ³ /ha/an) | 3680,07 | | | | | | | | | | | |
| $d_{fc}(mois\ de\ pointe)$ | | avr | 0,273l/s/ha | | | | | | | | | |

FIG. 4.9 : Tableau des Besoins en eau d'irrigation des céréales.

Chapitre 4. Estimation des besoins en eau d'irrigation

| Vigne | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | jui | juil | aout |
| p(80%) | 23,78 | 16,20 | 11,71 | 14,60 | 16,52 | 15,61 | 19,42 | 20,70 | 22,35 | 9,04 | 3,67 | 4,40 |
| pu(mm) | 22,9 | 15,8 | 11,5 | 14,3 | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 20,0 | 21,6 | 8,9 | 3,7 | 4,4 |
| Etp(mm) | 127,8 | 83,7 | 48,0 | 33,2 | 32,5 | 46,7 | 78,4 | 100,8 | 136,4 | 171,0 | 200,6 | 173,9 |
| Kc | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0,6 | 0,85 | 0,8 | 0,8 |
| Rfu(mm) | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 | 59,40 |
| ETM | 89,46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,32 | 81,84 | 145,35 | 160,48 | 139,12 |
| ETM-Pu | 66,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,32 | 60,24 | 136,45 | 156,78 | 134,72 |
| stock d'eau avant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(mm) | 66,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,32 | 60,24 | 136,45 | 156,78 | 134,72 |
| stock après | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(m3/ha) | 665,60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 203,20 | 602,40 | 1364,50 | 1567,80 | 1347,20 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,08 | 0,23 | 0,53 | 0,59 | 0,50 |
| Dp(m3/ha) | 594,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 594,00 | 594,00 | 594,00 | 594,00 | 594,00 |
| N | 1,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,342 | 1,01 | 2,29 | 2,64 | 2,27 |
| N | 2,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 | 1,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Dr (m3/ha) | 332,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 203,20 | 602,40 | 454,84 | 522,60 | 449,07 |
| B brute(m3/ha) =Dr/0.803 | 414,45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 253,05 | 750,19 | 566,43 | 650,81 | 559,24 |
| Besoin nette(m3/ha/an) | 5750,70 | | | | | | | | | | | |
| Besoin brute(m3/ha/an) | 7161,52 | | | | | | | | | | | |
| dfc(mois de pointe) | | juillet | 0,59/s/ha | | | | | | | | | |

FIG. 4.10 : Tableau des besoins en eau d'irrigation de la vigne

| Maraichère | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | Jui | juil | aout |
| p (80%) | 23,78 | 16,20 | 11,71 | 14,60 | 16,52 | 15,61 | 19,42 | 20,70 | 22,35 | 9,04 | 3,67 | 4,40 |
| Pu(mm) | 22,9 | 15,8 | 11,5 | 14,3 | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 20,0 | 21,6 | 8,9 | 3,7 | 4,4 |
| Etp(mm) | 127,8 | 83,7 | 48,0 | 33,2 | 32,5 | 46,7 | 78,4 | 100,8 | 136,4 | 171,0 | 200,6 | 173,9 |
| Kc | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,65 | 0,65 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Rfu(mm) | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 |
| ETM | 89,46 | 58,59 | 33,60 | 15,54 | 21,125 | 30,355 | 54,88 | 70,56 | 95,48 | 119,70 | 140,42 | 121,73 |
| ETM-Pu | 66,56 | 42,79 | 22,10 | 1,24 | 5,025 | 15,155 | 36,08 | 50,56 | 73,88 | 110,80 | 136,72 | 117,33 |
| Stock d'eau avant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(mm) | 66,56 | 42,79 | 22,10 | 0 | 0 | 0 | 36,08 | 50,56 | 73,88 | 110,80 | 136,72 | 117,33 |
| Stock après | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(m3/ha) | 665,60 | 427,90 | 210,00 | 0 | 0 | 0 | 360,80 | 505,60 | 738,80 | 1108,00 | 1367,20 | 1173,30 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,26 | 0,16 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,13 | 0,20 | 0,28 | 0,43 | 0,51 | 0,44 |
| Dp(m3/ha) | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 |
| n | 1,49 | 0,96 | 0,47 | 0 | 0 | 0 | 0,81 | 1,13 | 1,66 | 2,49 | 3,07 | 2,63 |
| N | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| Dr (m3/ha) | 332,80 | 427,90 | 210,00 | 0 | 0 | 0 | 360,80 | 252,80 | 369,40 | 369,34 | 341,80 | 391,10 |
| B brute(m3/ha) =Dr/0.803 | 414,44 | 532,88 | 261,52 | 0 | 0 | 0 | 449,32 | 314,82 | 460,02 | 459,95 | 425,65 | 487,05 |
| Besoin nette(m3/ha/an) | 6557,20 | | | | | | | | | | | |
| Besoin brute(m3/ha/an) | 8165,88 | | | | | | | | | | | |
| dfc(mois de pointe) | | juillet | 0,51l/s/ha | | | | | | | | | |

FIG. 4.11 : Tableau des Besoins en eau d'irrigation des maraichères.

Chapitre 4. Estimation des besoins en eau d'irrigation

| Agrumes | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | Jui | juil | aout |
| p (80%) | 23,78 | 16,20 | 11,71 | 14,60 | 16,52 | 15,61 | 19,42 | 20,70 | 22,35 | 9,04 | 3,67 | 4,40 |
| Pu(mm) | 22,9 | 15,8 | 11,5 | 14,3 | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 20,0 | 21,6 | 8,9 | 3,7 | 4,4 |
| Etp(mm) | 127,8 | 83,7 | 48,0 | 33,2 | 32,5 | 46,7 | 78,4 | 100,8 | 136,4 | 171,0 | 200,6 | 173,9 |
| Kc | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,65 | 0,65 |
| Rfu(mm) | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 |
| ETM | 89,46 | 58,59 | 33,60 | 23,24 | 22,75 | 32,69 | 55,88 | 70,56 | 95,48 | 119,70 | 130,39 | 113,04 |
| ETM-Pu | 66,56 | 42,79 | 22,10 | 0 | 0 | 0 | 37,07 | 50,56 | 73,88 | 110,80 | 126,69 | 108,64 |
| Stock d'eau avant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(mm) | 66,56 | 42,79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37,07 | 50,56 | 73,88 | 110,80 | 126,69 | 108,64 |
| Stock après | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(m3/ha) | 665,60 | 427,90 | 221,00 | 0 | 0 | 0 | 370,70 | 505,60 | 738,80 | 1108,00 | 1266,90 | 1086,40 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,26 | 0,16 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 0,20 | 0,28 | 0,43 | 0,47 | 0,41 |
| Dp(m3/ha) | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 |
| n | 0,75 | 0,48 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,42 | 0,57 | 0,83 | 1,24 | 1,42 | 1,22 |
| N | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Dr (m3/ha) | 665,60 | 427,90 | 221,00 | 0 | 0 | 0 | 370,70 | 505,60 | 738,80 | 554,00 | 633,45 | 543,20 |
| B brute(m3/ha) =Dr/0.855 | 828,89 | 532,87 | 275,21 | 0 | 0 | 0 | 461,64 | 629,64 | 920,05 | 689,91 | 788,45 | 676,46 |
| Besoin nette(m3/ha/an) | 6390,90 | | | | | | | | | | | |
| Besoin brute(m3/ha/an) | 7958,78 | | | | | | | | | | | |
| dfc(mois de pointe) | | juil | 0,47l/s/ha | | | | | | | | | |

FIG. 4.12 : Tableau des Besoins en eau d'irrigation des agrumes.

| Olivier | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-------------|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | jui | juil | aout |
| p (80%) | 23,78 | 16,20 | 11,71 | 14,60 | 16,52 | 15,61 | 19,42 | 20,70 | 22,35 | 9,04 | 3,67 | 4,40 |
| Pu(mm) | 22,9 | 15,8 | 11,5 | 14,3 | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 20,0 | 21,6 | 8,9 | 3,7 | 4,4 |
| Etp(mm) | 127,8 | 83,7 | 48,0 | 33,2 | 32,5 | 46,7 | 78,4 | 100,8 | 136,4 | 171,0 | 200,6 | 173,9 |
| Kc | 0,9 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,8 |
| Rfu(mm) | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 | 89,10 |
| ETM | 115,02 | 50,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60,48 | 81,84 | 102,60 | 160,48 | 139,12 |
| ETM-Pu | 92,12 | 34,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,48 | 60,24 | 93,70 | 156,78 | 134,72 |
| Stock d'eau avant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(mm) | 92,12 | 34,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,48 | 60,24 | 93,70 | 156,78 | 134,72 |
| Stock après | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(m3/ha) | 921,20 | 344,20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 404,80 | 602,40 | 937,00 | 1567,80 | 1347,20 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,36 | 0,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,25 | 0,36 | 0,59 | 0,50 |
| Dp(m3/ha) | 891,00 | 891,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 | 891,00 |
| n | 1,03 | 0,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,45 | 0,68 | 1,05 | 1,76 | 1,51 |
| N | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Dr (m3/ha) | 460,60 | 344,20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 404,80 | 602,40 | 468,50 | 783,90 | 673,60 |
| B brute(m3/ha) =Dr/0.803 | 573,60 | 428,64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 504,11 | 750,19 | 583,44 | 976,21 | 838,85 |
| Besoin nette(m3/ha/an) | 6124,60 | | | | | | | | | | | |
| Besoin brute(m3/ha/an) | 7627,15 | | | | | | | | | | | |
| dfc(mois de pointe) | | juil | 0,59/s/ha | | | | | | | | | |

FIG. 4.13 : Tableau des Besoins en eau d'irrigation des oliviers.

Chapitre 4. Estimation des besoins en eau d'irrigation

| Fourragères, luzerne, trèfle | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------|----------------|-------------|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | juin | juil | aout |
| p (80%) | 23,78 | 16,20 | 11,71 | 14,60 | 16,52 | 15,61 | 19,42 | 20,70 | 22,35 | 9,04 | 3,67 | 4,40 |
| Pu(mm) | 22,9 | 15,8 | 11,5 | 14,3 | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 20,0 | 21,6 | 8,9 | 3,7 | 4,4 |
| Etp(mm) | 127,8 | 83,7 | 48,0 | 33,2 | 32,5 | 46,7 | 78,4 | 100,8 | 136,4 | 171,0 | 200,6 | 173,9 |
| Kc | 0,5 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Rfu(mm) | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,55 | 44,5 |
| ETM | 63,90 | 41,85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60,48 | 95,48 | 119,70 | 140,42 | 121,73 |
| ETM-Pu | 41,00 | 26,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,48 | 73,88 | 110,80 | 136,72 | 117,33 |
| Stock d'eau avant | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(mm) | 41,00 | 26,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,48 | 73,88 | 110,80 | 136,72 | 117,33 |
| Stock après | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Besoins(m ³ /ha) | 410,00 | 260,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 404,80 | 738,80 | 1108,00 | 1367,20 | 1173,30 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,16 | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,28 | 0,43 | 0,51 | 0,49 |
| Dp(m ³ /ha) | 445,50 | 445,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 | 445,50 |
| n | 0,92 | 0,58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,91 | 1,66 | 2,49 | 3,07 | 2,63 |
| N | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Dr (m ³ /ha) | 410,00 | 260,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 404,80 | 369,40 | 369,34 | 455,74 | 391,10 |
| B brute(m ³ /ha) =Dr/0.803 | 510,59 | 324,41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 504,11 | 460,02 | 459,95 | 567,55 | 487,05 |
| Besoin nette(m ³ /ha/an) | 5462,60 | | | | | | | | | | | |
| Besoin brute(m ³ /ha/an) | 6802,74 | | | | | | | | | | | |
| dfc(mois de pointe) | | juil | 0,51/s/ha | | | | | | | | | |

FIG. 4.14 : Tableau des Besoins en eau d'irrigation des culture fourragères, luzerne, trèfle.

| Mois | sep | oct | nov | déc | jan | fev | mars | avr | mai | juin | juil | aout |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Dfc(l/s/ha) Céréale | 0,13 | 0,19 | 0,12 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,19 | 0,273 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dfc(l/s/ha) vigne | 0,26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,08 | 0,23 | 0,53 | 0,59 | 0,50 |
| Dfc(l/s/ha) maraichere | 0,26 | 0,16 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,13 | 0,20 | 0,28 | 0,43 | 0,51 | 0,44 |
| Dfc(l/s/ha) agrumes | 0,26 | 0,16 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 0,20 | 0,28 | 0,43 | 0,47 | 0,41 |
| Dfc(l/s/ha) olivier | 0,36 | 0,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,25 | 0,36 | 0,59 | 0,50 |
| Dfc(l/s/ha) fourragères | 0,16 | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,28 | 0,43 | 0,51 | 0,49 |
| Dfc Total net (l/s/ha) | 0,24 | 0,15 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,15 | 0,18 | 0,26 | 0,44 | 0,53 | 0,47 |
| Q besoins net (l/s) | 24,48 | 15,3 | 9,18 | 6,12 | 5,1 | 11,22 | 15,3 | 18,36 | 26,52 | 44,88 | 54,06 | 47,94 |
| ηG | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 | 0,803 |
| Q besoins brut (l/s) | 30,49 | 19,05 | 11,43 | 7,62 | 3,35 | 14,00 | 19,05 | 22,86 | 33,03 | 55,89 | 67,32 | 59,70 |
| Dfc Total brut (l/s/ha) | 0,30 | 0,19 | 0,11 | 0,075 | 0,06 | 0,14 | 0,19 | 0,22 | 0,32 | 0,55 | 0,66 | 0,59 |

FIG. 4.15 : Tableau des Besoins en eau d'irrigation globaux du périmètre.

4.10 Calcul du débit spécifique :

Le débit spécifique est une mesure de la quantité d'eau qui peut être extraite d'un puits par unité de surface . Il est souvent exprimé en litres par seconde par hectare (l/s/ha) ou en mètres cubes par heure par hectare (m³/h/ha).

le mois de pointe est juillet avec un débit fictif continu qui égale 0,66 l/s/ha, ce débit est dit débit spécifique du périmètre de Ain M'lila

C'est un paramètre très important car le calcul et le dimensionnement du réseau d'irrigation sera basé sur ce dernier

$$qs = (B_{\text{pointe}} \times 10 \times 1000) / (N_h \times N_j \times 3600)$$

B_{pointe} : Besoins de pointe (mm/mois).

qs Débit spécifique (l/s/ha).

N_j : nombre de jours par mois = 30 jours.

cour

4.11 Evaluation du débit caractéristique :

Le débit caractéristique fait référence à une valeur spécifique du débit d'eau dans un cours d'eau ou une source d'eau souterraine qui est représentative des conditions hydrologiques dominantes dans cette zone Le débit caractéristique = 0,66 x 10⁷ = 70.33 l/s

4.12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les besoins en eau de notre périmètre d'étude, Ces besoins en eau sont essentiels pour soutenir les activités agricoles et assurer la croissance et le développement des cultures. Nous avons examiné divers aspects liés aux besoins en eau tels que les exigences spécifiques des cultures, les conditions climatiques, la réserve en eau du sol et les pratiques d'irrigation.

le mois de pointe est juillet avec un débit fictif continu qui égale 0,66 l/s/ha, ce débit est dit débit caractéristique du périmètre de Ain M'lila

C'est un paramètre très important car le calcul et le dimensionnement du réseau d'irrigation sera basé sur ce dernier.

Chapitre 5

-Dimensionnement de l'Adduction et du Réseau de distribution

5.1 Introduction

Le réseau d'adduction et de distribution fait référence à l'infrastructure physique utilisée pour acheminer l'eau depuis la source d'approvisionnement jusqu'aux utilisateurs finaux.

Il s'agit d'un système de canalisations de conduites et d'équipements qui assurent le transport de l'eau de manière efficace et fiable

Dans le cadre de notre étude, nous examinerons les spécificités du réseau d'adduction et de distribution de notre périmètre en prenant en compte les ressources en eau disponibles, les contraintes géographiques, les exigences de l'irrigation et les besoins des utilisateurs. Cela nous permettra de proposer des recommandations appropriées pour optimiser le fonctionnement et la gestion de ce réseau afin de répondre aux besoins en eau de manière efficace et durable.

5.2 Etude des variantes d'aménagement :

5.3 Délimitation des zones à irriguer et allocation des eaux :

La délimitation du périmètre avec une superficie de 120 hectares a été réalisée en tenant compte de plusieurs facteurs :

.La ressource disponible produite par la STEP : Le périmètre a été établi en fonction de la disponibilité de l'eau traitée provenant de la station d'épuration de Ain M'lila . Cette ressource constitue la principale source d'eau pour l'irrigation dans cette zone. Le débit de rejet qui arrive au niveau de la station $Q=289,35$ l/s

Noter bien qu'on peut irriguer 4 fois la surface (120 ha) à partir des eaux épurées de la station de Ain M'lila.

.La situation géographique du périmètre à l'aval par rapport à la ressource La localisation du périmètre a été déterminée en tenant compte de sa position géographique par rapport à la source d'eau. Étant situé en aval de la STEP, le périmètre bénéficie d'un accès facilité à cette ressource.

.La topographie imposée : La topographie de la région a été prise en compte lors de la délimitation du périmètre.

La configuration du terrain, y compris les pentes, les dénivelés et les caractéristiques du sol a influencé la sélection de la superficie de 120 hectares.

.Critères socio-économiques : Les considérations socio-économiques ont également joué un rôle dans la délimitation du périmètre. Les besoins de la population locale, les activités agricoles existantes et les perspectives de développement économique ont été pris en compte pour déterminer la taille appropriée du périmètre.

.Manque de ressources en eau disponibles en dehors de cette nouvelle ressource : La disponibilité limitée d'autres sources d'eau dans la région a également été un facteur

important dans la décision de créer ce périmètre. La nouvelle ressource provenant de la STEP constitue une solution pour répondre aux besoins en eau dans une zone où les autres ressources sont insuffisantes.

5.4 Principaux éléments de l'étude des schémas d'aménagement :

L'étude des schémas d'aménagement comprend l'analyse et la conception de plans et de stratégies pour le développement et l'utilisation efficace du territoire.

5.5 Réseau d'adduction :

Le réseau d'adduction fait référence à l'ensemble des installations et des infrastructures utilisées pour transporter l'eau depuis sa source jusqu'aux points de distribution ou de consommation. C'est un système de canalisations, de pompes, de réservoirs et d'autres équipements qui assurent le déplacement efficace et contrôlé de l'eau sur de longues distances.

Le terme adduction s'applique à l'ensemble des installations reliant la prise d'eau au point d'utilisations ou au réservoir de stockage. Dans la présente étude le lieu de captage est situé à un niveau inférieur (STEP) à celui du réservoir, donc il y a lieu à une adduction par refoulement dans une conduite qui doit répondre aux conditions Technico – économiques.

5.6 Réseau d'amenée :

Le réseau d'amenée est une composante essentielle des systèmes de distribution d'eau. Il fait référence à l'ensemble des installations et des canalisations qui transportent l'eau depuis réservoirs de stockage jusqu'aux périmètre

5.6.1 Caractéristiques du réseau d'amenée

En vue d'établissement de la conduite d'adduction on est tenu à respecter certaines conditions :

Un profil aussi régulier que possible devrait être recherché.

Il faut éviter les contres pentes pour ne pas avoir les points hauts des contentements d'air difficile à évacuer.

Eviter le plus au moins possible les singularités (coudes vifs).

Le tracé doit suivre si possible l'accotement des routes ou piste s'il y a lieu tout en évitant les coudes fermés afin de se débarrasser des butées importantes.

Dans le cas de notre étude la prise d'eau (à l'aval de la STEP) vers le réservoir projeté 2x1000 m³.

5.7 Conduites :

Les conduites font partie intégrante du réseau d'adduction et de distribution de l'eau. Elles sont utilisées pour transporter l'eau depuis la source d'approvisionnement jusqu'aux points de consommation ou de distribution.

1. transporter l'eau de la station d'épuration des eaux usées (STEP) vers les réservoirs de stockage.

2. transport de l'eau depuis les réservoirs de stockage vers le périmètre à irriguer

3. un réseau de distribution est un ensemble de canalisations, de branchements et de dispositifs de régulation qui permettent de distribuer l'eau aux différents utilisateurs finaux tels que les exploitations agricoles

5.8 Matériaux :

a) choix des types de conduites :

Le choix des types de conduites dépend de plusieurs facteurs tels que les conditions du site, les caractéristiques de l'eau à transporter, les contraintes de pression, les exigences de durabilité, les coûts et la disponibilité des matériaux.

1. PVC (chlorure de polyvinyle) :

Le PVC est largement utilisé pour les conduites d'eau potable et d'irrigation. Il présente l'avantage d'être économique, léger, résistant à la corrosion et facile à installer. Le PVC convient aux pressions modérées et aux applications souterraines.

2. PEHD (polyéthylène haute densité) :

Le PEHD est un matériau populaire pour les conduites d'eau. Il est résistant à la corrosion, aux produits chimiques, aux chocs et à l'abrasion. Le PEHD est flexible ce qui facilite son installation et convient aux applications souterraines et aériennes.

3. Fonte ductile :

La fonte ductile est utilisée pour les conduites de grande taille et à haute pression. Elle offre une grande résistance mécanique, une durabilité et une résistance à la corrosion. Les conduites en fonte ductile sont souvent utilisées pour les réseaux d'eau potable et d'irrigation à longue distance.

4. Acier :

Les conduites en acier sont robustes, durables et adaptées aux applications à haute pression. Elles sont utilisées pour les grandes installations de distribution d'eau les réseaux industriels et les projets nécessitant une résistance supérieure.

Le choix entre les différents types de conduites est établi sur des critères d'ordres

techniques à savoir le diamètre, la pression de service, les conditions de pose et sur des critères économiques qui englobent le prix de fourniture et le transport

Dans le présent projet on a opté pour le choix des conduites en PEHD pour les avantages qu'elle présente : - La longévité – la légèreté - la résistance aux pressions élevées – facilité d'usage – la résistance au mouvement du terrain - disponibilité sur le marché national.

5.9 Calcul hydraulique :

5.10 Dimensionnement de la conduite de refoulement :

5.11 1 .Calcul de la Hauteur manométrique :

$$HMT = H_g + \Delta H + h$$

ΔH : pertes de charge totale.

H_g : Hauteur géométrique (m).

H_{mt} : Hauteur manométrique total (m)

$$H_g = 788 - 732 = 56 \text{ m}$$

$$H_g = 56,0 \text{ m}$$

Pour $\Delta H = J_0 \cdot L$,

$\sqrt{\quad}$

. La longueur de refoulement. $L = L_r \cdot f$

$$L_r \cdot f = 1400,0 \text{ m.}$$

Pour le choix de diamètre économique on se fixe sur une série des diamètres calculés par la formule de

BONNIN et BRESSE.

Pour un débit = 70 l/s Formule de BONNIN : $D = \sqrt{Q} = 0.2683 \text{ m} = 268,30 \text{ mm}$

On prend le diamètre intérieur = 277,6 mm qui correspond au diamètre 315 mm

Le diamètre intérieur est de 277,6 mm

On dispose de l'équation de continuité : Pour un diamètre de $D = 277,6 \text{ mm}$

$$Q = V \cdot S \quad V = 1.19 \text{ m/s}$$

Formule de BRESSE $D = 1,5 \cdot \sqrt{Q}$ donc $D = 0.40249 \text{ m}$

On prend le diamètre 500 mm

Pour un diamètre intérieur DN = 402,5 mm $V = 0,57 \text{ m/s}$

Le diamètre économique sera choisi suivant une étude technico-économique sur une

gamme des

diamètres extérieurs 315, 400 et 500mm PN 10 Bar

5.12 Perte de charge

permet de calculer les pertes de charge linéaires en fonction de la longueur de la conduite, du diamètre, de la vitesse d'écoulement et des propriétés du fluide.

Les pertes de charge linéaires se produisent en raison des frottements de l'eau contre les parois de la canalisation.

En plus des pertes de charge linéaires, il existe également des pertes de charge singulières qui sont dues à des changements brusques de direction, des étranglements, des vannes, des coudes, etc.

| Diamètre Intérieur (mm) | Diamètre Extérieur (mm) | Rayon Hydraulique (m) | Coefficient De Chézy | Coefficient de pertes de charge λ |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| 440,6 | 500 | 0,11015 | 73,09 | 0,01469072 |
| 352,6 | 400 | 0,08815 | 70,42 | 0,0158258 |
| 277,6 | 315 | 0,0694 | 67,67 | 0,0171382 |

Tableau Récapitulatif: $J_0 = \frac{\lambda V^2}{2gD}$

FIG. 5.1 : Tableau des coefficients des pertes de charge

| Q (l/s) | \varnothing int _{ér} (mm) | \varnothing ext _{ér} (mm) | V (m/s) | λ | L (m) | J ₀ (m) | J _{linéaire} = J ₀ L (m) | 1,15 J _{total} (m) |
|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|-------|--------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| 70 | 440,6 | 500 | 0,47 | 0,01469072 | 1400 | 0,000375 | 0,525 | 0,604 |
| | 352,6 | 400 | 0,74 | 0,0158258 | | 0,001252 | 1,75 | 2,01 |
| | 277,6 | 315 | 1,19 | 0,0171382 | | 0,004456 | 6,24 | 7,18 |

FIG. 5.2 : Tableau des pertes

5.13 La rugosité :

La rugosité est une caractéristique importante des parois des conduites et des canalisations. Elle représente la rugosité relative de la surface interne de la conduite et peut avoir un impact significatif sur le débit, les pertes de charge, et l'efficacité hydraulique du système.

D = 200 mm, est de 0,02 mm

D > 200 mm, est de 0,04 mm

5.14 Simulation du réseau d'adduction à l'aide du logiciel EPANET :

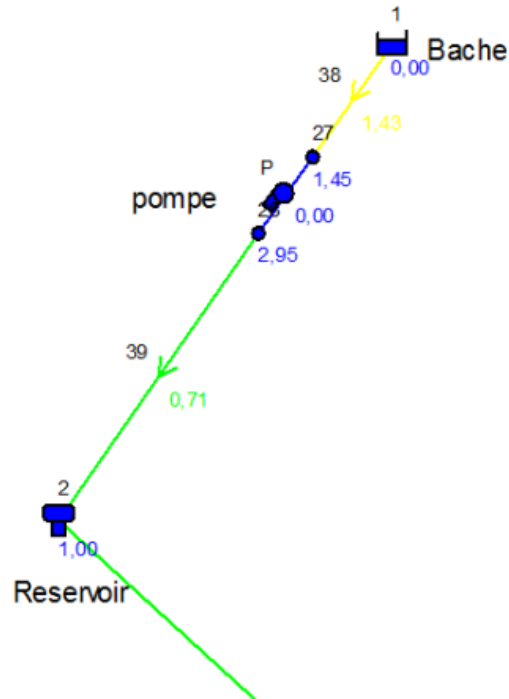


FIG. 5.3 : Simulation du réseau d'adduction .

5.15 Découpage du périmètre en îlots d'irrigation :

Le découpage du périmètre en îlots d'irrigation consiste à diviser la zone à irriguer en unités plus petites et gérables appelées îlots. Cela permet une gestion plus efficace de l'eau et une adaptation plus précise des besoins d'irrigation à chaque îlot en fonction des caractéristiques spécifiques du sol, des cultures, et des conditions climatiques.

5.16 Rôle et fonction de la borne d'irrigation :

1. La borne d'irrigation est une infrastructure essentielle dans les systèmes d'irrigation agricole. Elle joue un rôle clé dans la distribution de l'eau d'irrigation aux différentes parcelles ou îlots du périmètre.

2. Régulation du débit : La borne d'irrigation permet de contrôler le débit de l'eau qui est distribuée aux différentes parcelles ou îlots. Elle peut être équipée de vannes, de régulateurs de pression ou d'autres dispositifs de contrôle pour ajuster le débit en fonction des besoins spécifiques de chaque zone d'irrigation.

3. Distribution de l'eau : La borne d'irrigation sert de point de départ pour la distribution de l'eau aux différentes canalisations ou systèmes d'irrigation utilisés sur le terrain. Elle permet de connecter les conduites principales du réseau d'irrigation aux conduites secondaires qui alimentent les parcelles individuelles.

4. Répartition équitable de l'eau : La borne d'irrigation est conçue pour assurer une répartition équitable de l'eau entre les différentes parcelles ou îlots. Elle peut être équipée de dispositifs tels que des compteurs d'eau ou des systèmes de mesure pour suivre la quantité d'eau distribuée à chaque zone, ce qui permet de garantir une utilisation équitable des ressources.

5. Maintenance et entretien : La borne d'irrigation facilite également la maintenance et l'entretien du système d'irrigation. Elle peut être équipée de vannes d'arrêt pour isoler certaines sections du réseau ce qui permet de réaliser des réparations ou des travaux d'entretien sans interrompre complètement l'approvisionnement en eau des autres parcelles.

5. Contrôle et surveillance : Certains types de bornes d'irrigation peuvent être équipés de dispositifs de contrôle et de surveillance avancés tels que des capteurs de débit, des compteurs d'eau intelligents ou des systèmes de télégestion. Cela permet de surveiller en temps réel la consommation d'eau, d'optimiser les performances du système et de détecter rapidement d'éventuels problèmes ou fuites.

5.17 Calcul des débits des îlots :

Effectivement, pour répondre à la demande en eau des cultures, il est essentiel de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation

$$Q_b = q_s \cdot S$$

Q_b : Débit de chaque îlot (l/s)

q_s : Débit spécifique (l/s/ha)

S : Superficie de l'îlot (ha)

5.18 Détermination des débits de routes :

| Désignation des tronçons | hydro module (l/s/ha) | Surface desserte par tronçon (ha) | débit de routes (l/s) |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| g-h | 0,66 | 5.7322 | 3.78 |
| e-g | 0,66 | 0 | 0.00 |
| e-f | 0,66 | 13.8298 | 9.13 |
| c-e | 0,66 | 0 | 0.00 |
| c-d | 0,66 | 21.9432 | 14.48 |
| a-c | 0,66 | 0 | 0.00 |
| a-b | 0,66 | 14.7364 | 9.73 |
| R-a | 0,66 | 0 | 0.00 |
| 9-6 | 0,66 | 7.0398 | 4.65 |
| 6-7 | 0,66 | 4.031 | 2.66 |
| 6-8 | 0,66 | 6.7606 | 4.46 |
| 6-3 | 0,66 | 0 | 0.00 |
| 3-5 | 0,66 | 9.5037 | 6.27 |
| 3-4 | 0,66 | 8.9015 | 5.87 |
| 3-1 | 0,66 | 5.9136 | 3.90 |
| 1-2 | 0,66 | 10.6082 | 7.00 |
| 1-R | 0,66 | 0 | 0.00 |
| total | 0,66 | 109 | 70 |

FIG. 5.4 : Tableau des débits de routes

5.19 Détermination des débits de routes :

| désignation des tronçons | débits | | |
|--------------------------|----------------------|------------|------------------------|
| | débit de route (l/s) | Aval(l/s) | débit du tronçon (l/s) |
| g-h | 3.78 | 0 | 3,78 |
| e-g | 0.00 | 3,78 | 3,78 |
| e-f | 9.13 | 0 | 9,13 |
| c-e | 0.00 | 12,91 | 12,91 |
| c-d | 14.48 | 0 | 14,48 |
| a-c | 0.00 | 27,39 | 27,39 |
| a-b | 9.73 | 0 | 9,73 |
| R-a | 0.00 | 37,12 | 37,12 |
| 9-6 | 4.65 | 0 | 4,65 |
| 6-7 | 2.66 | 0 | 2,66 |
| 6-8 | 4.46 | 0 | 4,46 |
| 6-3 | 0.00 | 11,77 | 11,77 |
| 3-5 | 6.27 | 0 | 6,27 |
| 3-4 | 5.87 | 0 | 5,87 |
| 3-1 | 3.90 | 23,91 | 27,81 |
| 1-2 | 7.00 | 0 | 7,00 |
| 1-R | 0.00 | 34,81 | 34,81 |

FIG. 5.5 : Tableau des débits des tronçons

5.20 Choix du diamètre de la borne :

| Débit fourni | Diamètre de la borne |
|---------------------------------------------|----------------------|
| $Q < 11,11 \text{ l/s}$ | D = 65 mm |
| $11,11 \text{ l/s} < Q < 22,22 \text{ l/s}$ | D = 100 mm |
| $22,22 \text{ l/s} < Q < 33,33 \text{ l/s}$ | D = 150 mm |
| $Q > 33,33 \text{ l/s}$ | D = 200 mm |

FIG. 5.6 : Tableau de Choix du diamètre de la borne.

5.21 Calcul de la puissance de la pompe :

Le calcul de la puissance de la pompe est crucial pour assurer un fonctionnement efficace du système d'irrigation.

Puissance (P) = (Débit * hauteur manométrique * accélération) / (Rendement de la pompe).

P : puissance absorbée en (K W).

Q : débit en (m³/s) Q = 70.10⁻³ m³/s

H_{mt} : hauteur manométrique total (m).

g : accélération de la pesanteur g = 9,81 m/s².

5.22 puissance du moteur :

La puissance du moteur sera celle de la pompe majorée par un coefficient qui se calcule d'après les conditions suivantes :

.Pa < 4 K W : coefficient de majoration = 1,3

.4 < Pa < 20 KW : coefficient de majoration = 1,2.

Pa > 20 K W : coefficient de majoration = 1,1

| ϕ_{int} (mm) | ϕ_{ext} (mm) | V (m/s) | L (m) | 1,15 J _{CR} (m) | H _g (m) | H _{mt} (m) | H _{mt} majoré de 5%y compris (conduite d'aspiration) (m) |
|----------------------|----------------------|------------|----------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 440,6 | 500 | 0.47 | 1400 | 0,604 | 56,0 | 56,60 | 59,43 |
| 352,6 | 400 | 0.74 | | 2,01 | | 58,01 | 60,91 |
| 277,6 | 315 | 1.19 | | 7,18 | | 63,18 | 66,34 |

| ϕ (mm) | Q (m ³ /s) | H _{mt} (m) | η (%) | $P_a = \frac{g \cdot Q \cdot H_{mt}}{\eta}$ (KW) | $P_m = P_a \cdot \eta$ (KW) |
|-------------|--------------------------|------------------------|---------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|
| 440,6 | 0,070 | 59,43 | 75 | 55,97 | 61,57 |
| 352,6 | | 60,91 | | 57,36 | 63,10 |
| 277,6 | | 66,34 | | 62,5 | 68,75 |

FIG. 5.7 : Tableau du puissance du moteur .

5.23 Prix d'énergie :

Le prix unitaire d'énergie est égale $P_u=5,00$ DA/Kw.h.

Le temps de pompage est égal à, $T= Q_{maxj}/Q_{exp} \cdot 24H$

$T=35/70 \times 24 = 12$ heure on prend : $T=12h$.

La quantité d'énergie consommée par la pompe durant une année est donnée par la formule suivante :

$$E = P_m \cdot T \cdot 365$$

E : énergie consommée par la pompe pendant une année.

P_m : puissance du moteur.

T : temps de pompage est donné par l'expression ci-dessus

| \varnothing (mm) | P_m (Kw) | $E=P_m \cdot T \cdot 365$ Kw/h | P_U (DA/Kw) | Coût total d'énergie (DA) |
|-----------------------|---------------|-----------------------------------|------------------|------------------------------|
| 440,6 | 61,57 | 269.676,6 | 5,00 | 1.348.383,00 |
| 352,6 | 63,10 | 276.378 | | 1.381.890,00 |
| 277,6 | 68,75 | 301.125 | | 1.505.625,00 |

FIG. 5.8 : Tableau du Prix d'énergie.

5.24 Frais d'amortissement :

$(i/(i+1))^{n-1} + i$ Avec : A : annuité

i : taux de l'annuité en Algérie $i = 8\%$ n : L'horizontal de projection

n = 20ans

$$A = (0.08 / ((0.08 + 1)^{20} - 1)) + 0.008$$

$$A = 0.102$$

| \varnothing (mm) | Frais d'amortisse ment total(DA) | Frais d'exploitation (DA) | TOTAL (DA) |
|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 440,6 | 25.027.486, 74 | 1.348.383,00 | 26.375.869.74 |
| 352,6 | 16.258.196, 11 | 1.381.890,00 | 17.640.086.11 |
| 277,6 | 10.088.045, 21 | 1.505.625,00 | 11.593.670.21 |

FIG. 5.9 : Tableau du Frais d'amortissement

Au terme du calcul effectué ci-dessus nous devons choisir le diamètre DN=277,6 mm qui correspond au diamètre extérieur 315 mm et ce du moment qu'il répond au coût le plus économique donc nous jugeons utile d'opter pour le diamètre 277,6/315 mm PN 10 Bar. Le diamètre économique retenue est : 277,6/315 mm PN 10 Bar avec une hauteur manométrique Hmt= 66,34 m.

La vitesse d'écoulement est : $V = 1,19$ m/s

$$1 < 1,19 < 2,5 \text{ (m/s)}$$

5.25 Protection de la conduite de refoulement contre le phénomène du coup de bélier :

Le coup de bélier est un phénomène oscillatoire provoquée par une variation du régime d'écoulement et se propageant dans le milieu constitue qui la contient. Elle engendre ainsi déformations élastiques de la conduite et du liquide

5.26 Causes et conséquences :

1 Causes :

Plusieurs causes peuvent être à l'origine du phénomène de coup de bélier. Les principales sont :

Arrêt brusque par disjonction d'un ou plusieurs groupes électropompe. Fermeture ou ouverture instantanée d'une vanne, notamment dans le cas d'une conduite à écoulement gravitaire.

Démarrage simultané ou séparé d'un ou de plusieurs groupes électropompes

2 Conséquences :

En raison des valeurs très élevées par rapport à la pression de service, des dépressions et des surpressions alternatives qui caractérisent le coup de bélier celui-ci peut entraîner des conséquences négatives pour les installations hydrauliques.

Rupture de la conduite par implosion.

Déboîtement des conduites suite à la rupture et la détérioration des joints.

Endommagement des pompes.

5.27 Equipements et moyens de protection contre le coup de bélier :

Face au danger potentiel que représente le coup de bélier pour la longévité des conduites hydrauliques en charge, leur préservation contre ce phénomène est une nécessité absolue pratiquement.

Il n'est pas possible de supprimer intégralement les effets du coup de bélier mais de les réduire à une valeur compatible avec la résistance des installations grâce à dispositifs appropriés Comme dispositifs nous avons :

.Les soupapes de décharges

Elles n'interviennent que pour limiter les surpressions leur utilisation est souvent plus économique du point de vue investissement mais elles engendrent des pertes considérables de volumes d'eau.

Les valant d'inertie

Ils permettant l'arrêt progressif de la pompe en empêchant la rupture brutale du refoulement, ils luttent contre les dépressions provoquées par l'arrêt du groupe.

Les cheminées d'équilibre

Elles interviennent pour lutter à la fois contre les dépressions et les surpressions. Ce sont des réservoirs ouverts à l'air libre dans la cote dépasse la surpression maximale. Elles reçoivent l'eau en cas de suppression et la restituent en cas de dépression.

Les réservoirs d'air

Ils protègent les conduites à la fois contre les dépressions et les surpressions. Ce sont des réservoirs renfermant de l'air et une certaine hauteur d'eau, ainsi en cas de dépression. L'eau descend du réservoir et remplit la conduite tandis qu'en cas de suppression. Le réservoir reçoit de l'eau qui se trouvera amortie par la pression de l'air dans le réservoir

5.28 Méthode de calcul

-longueur de la conduite; $L=1400$ m

-type de la canalisation : PEHD. ;PN 10bar

-diamètre de la conduite 315/277,6 mm

-épaisseur ; $e=18,7$ mm

-débit d'eau ; $Q= 0.072$ m³ /s

-vitesse $V_0 =1,19$ m/s

-section de la canalisation ; $S=0,060493$ m²

-hauteur géométrique de refoulement (H_g (m) $H_g= 56$ m

Volume d'eau dans la conduite le long du parcours ; $V = S*L = 84,69$ m³

Calcul :

Valeur de la célérité (propagation de l'onde) est donnée par la relation suivante :

$$a = 9900 / \text{racine carré} (48,3 + K * D_{int} / e)$$

Où

a -célérité de l'onde; m/s

K -coefficient qui dépend de l'élasticité de la canalisation dans notre cas la PEHD =377.

D_{int} -diamètre intérieur de la canalisation =277,6 mm

e -épaisseur de la canalisation =18,7 mm

$$a= 9900 / \text{racine carré} (48,3 + 377*277,6 / 18,7)$$

$$a= 131,76 \text{ m / s}$$

Valeur du coup de bélier

$$B = a*V_0 / g$$

Ou : a- célérité de l'onde = 131,76 m / s

$$V_0 = 1,19 \text{ m / s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$B = 131,76 * 1,16 / 9,81 = 15,98 \text{ m on prend } B = 16 \text{ m}$$

$$\text{La surpression} = H_g + B = 56 + 16 = 72,0 \text{ m}$$

$$\text{La dépression} = H_g - B = 56 - 16 = 40,0 \text{ m}$$

La canalisation de refoulement est de diamètre 315/277,6 mm PN 10 Bars.

La valeur de la surpression = 7,2 Bars. Ce qui montre qu'elle est inférieure à la pression nominale de la conduite 10 Bars donc il n'y a pas de risque d'éclatement de la canalisation,

d'une part d'autre part la valeur de la dépression est supérieur à zéro et égal 4,0 Bars donc il n'y a pas risque d'aplatissement de la conduite ou d'aspiration des joints.

On conclut qu'il n'est pas nécessaire de placé aucun équipement d'anti bélier.

5.29 Les calculs hydrauliques du réseau de distribution

| N° du tronçon | Débit (l/s) | vitesse (m/s) | ΔH unit(m/m) | longueur (m) | ΔH . Lineaire (m) | H. total (m) | côte de terrain naturel | | côte piezométrique | | pression (m.col d'eau) | Diamètre intérieur (mm) | Diamètre extérieur (mm) |
|---------------|-------------|---------------|----------------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------------------|--------|--------------------|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | amont | aval | amont | aval | | | |
| R-a | 37.12 | 0.97 | 0.0040551 | 364.00 | 1.48 | 1.70 | 770 | 750.6 | 788.00 | 786.30 | 35.70 | 220.4 | 250 |
| a-b | 9.73 | 0.6 | 0.0026977 | 600.00 | 1.62 | 1.86 | 750.6 | 744.3 | 786.30 | 784.44 | 40.14 | 144 | 160 |
| a-c | 27.39 | 0.72 | 0.0022079 | 278.00 | 0.61 | 0.71 | 750.6 | 739.3 | 786.30 | 785.60 | 46.30 | 220.4 | 250 |
| c-d | 14.48 | 0.89 | 0.0020362 | 790.00 | 1.61 | 1.85 | 739.3 | 738.32 | 785.60 | 783.75 | 45.43 | 176.2 | 200 |
| c-e | 12.91 | 0.53 | 0.0016186 | 314.00 | 0.51 | 0.58 | 739.3 | 731.67 | 785.60 | 785.01 | 53.34 | 176.2 | 200 |
| e-f | 9.13 | 0.56 | 0.0023753 | 688.00 | 1.63 | 1.88 | 731.67 | 732.2 | 785.01 | 783.13 | 50.93 | 144 | 160 |
| e-g | 3.78 | 0.76 | 0.0094881 | 231.00 | 2.19 | 2.52 | 731.7 | 731.37 | 783.13 | 780.61 | 49.24 | 79.8 | 90 |
| g-h | 3.78 | 0.76 | 0.0094881 | 300.00 | 2.85 | 3.27 | 731.37 | 731.5 | 780.61 | 777.34 | 45.84 | 79.8 | 90 |
| R-1 | 34.81 | 0.91 | 0.0035661 | 145.00 | 0.52 | 0.59 | 770 | 759.95 | 788.00 | 787.41 | 27.46 | 220.4 | 250 |
| 1-2 | 7 | 0.73 | 0.0058167 | 386.00 | 2.25 | 2.58 | 759.95 | 753.93 | 787.41 | 784.82 | 30.89 | 110.2 | 125 |
| 1-3 | 27.81 | 0.73 | 0.0022761 | 414.00 | 0.94 | 1.08 | 759.95 | 747.08 | 787.41 | 786.32 | 39.24 | 220.4 | 250 |
| 3-4 | 5.87 | 0.8 | 0.0081676 | 200.00 | 1.63 | 1.88 | 747.08 | 744.3 | 786.32 | 784.44 | 40.14 | 96.8 | 110 |
| 3-5 | 6.27 | 0.85 | 0.0093187 | 200.00 | 1.86 | 2.14 | 747.08 | 746 | 786.32 | 784.18 | 38.18 | 96.8 | 110 |
| 3-6 | 11.77 | 0.72 | 0.0039475 | 300.00 | 1.18 | 1.36 | 747.08 | 743.5 | 786.32 | 784.96 | 41.46 | 144 | 160 |
| 6-8 | 4.46 | 0.61 | 0.0047151 | 300.00 | 1.41 | 1.63 | 743.5 | 744.43 | 784.96 | 783.33 | 38.90 | 96.8 | 110 |
| 6-7 | 2.66 | 0.53 | 0.0046985 | 200.00 | 0.94 | 1.08 | 743.5 | 749.79 | 784.96 | 783.88 | 34.09 | 79.8 | 90 |
| 6-9 | 4.65 | 0.63 | 0.0051254 | 400.00 | 2.05 | 2.36 | 743.5 | 743.75 | 784.96 | 782.60 | 38.85 | 96.8 | 110 |

FIG. 5.10 : Tableau de Détermination des diamètres et pression de service

5.30 Conclusion

Dans cette section, nous avons examiné le système d'adduction de la zone d'étude à partir de la station d'épuration vers deux réservoirs.

Ensuite nous avons étudié la distribution de l'eau à partir de ces réservoirs vers le réseau d'irrigation qui alimente les différentes parcelles ou îlots du périmètre.

Après avoir effectué les calculs il a été déterminé que le diamètre économique le plus approprié pour le système d'adduction est de 277,6 mm, correspondant à un diamètre extérieur de 315 mm. Ce choix a été fait en considérant le coût le plus économique. Le diamètre sélectionné est de 277,6/315 mm PN 10 Bar.

La hauteur manométrique totale (Hmt) pour ce diamètre est estimée à 66,34 m, ce qui représente la pression nécessaire pour transporter l'eau sur cette distance.

La vitesse d'écoulement (V) à travers la conduite de ce diamètre est calculée à 1,19 m/s. Cette valeur se situe dans la plage recommandée de 1 à 2,5 m/s pour assurer un écoulement efficace et éviter les problèmes de turbulence ou de cavitation

Ces paramètres ont été calculés pour assurer un fonctionnement optimal et économique du réseau d'adduction.

Chapitre 6

Etude socio-économique du projet

6.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de fournir une estimation économique du coût de développement de la méthode Nécessaires à la réalisation et à l'exécution des travaux dans des conditions optimales

Notre projet d'irrigation est le projet de canalisation de transmission et de réseau de distribution et réseau d'irrigation (goutte à goutte et aspersion)

Pour estimer le coût de développement de notre projet d'irrigation il est nécessaire de prendre en compte plusieurs éléments clés tels que la taille du projet, la complexité du système d'irrigation, les matériaux utilisés, le terrain et les conditions locales, ainsi que les coûts de main-d'œuvre.

6.2 Calcul du volume de terrassement

.Largeur du fond de la tranchée :

$$.B = d + 2a$$

B : largeur de tranchée (m).

d : diamètre de conduite (m).

a : dis entre la conduite et le fruit de talus

DN 200 »> largeur de tranchée = DN + 2 x 21 cm

DN > 200 »> largeur de tranchée = DN + 2 x 31 cm.

Profondeur de la tranché :

Lors de la conception de votre réseau de conduites pour l'irrigation, il est important de prendre en compte la profondeur adéquate pour assurer la réalisation correcte des branchements particuliers et éviter toute intercommunication avec les autres conduites.

Branchements particuliers :

Les branchements particuliers font référence aux connexions spécifiques nécessaires pour distribuer l'eau vers des zones spécifiques ou des équipements tels que les goutteurs ou les asperseurs.

Ces branchements doivent être réalisés à des profondeurs appropriées pour garantir un fonctionnement efficace et éviter les interférences avec d'autres conduites.

$$H = e + d + h$$

H : profondeur de tranchée (m).

e : hauteur du lit de pose (m) = 0,1 m.

d : diamètre du la conduite (m).

h : la hauteur de remblai au-dessus de la conduit

“cour Mkahlerrase” p. d.

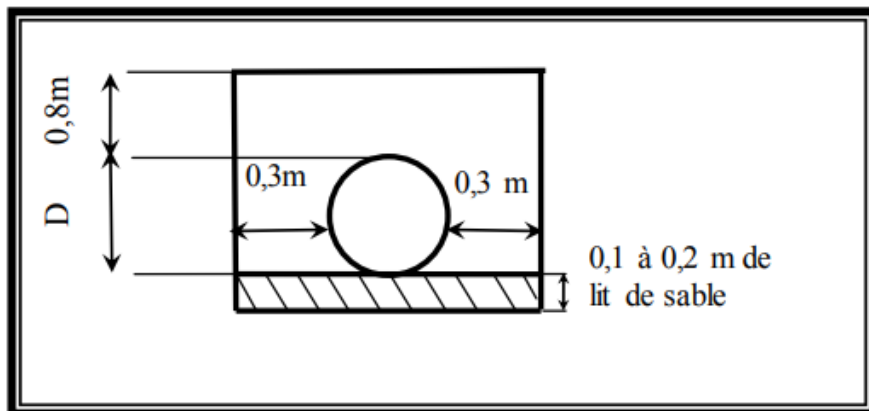


FIG. 6.1 : Schéma d'une tranchée.

6.3 Calcul du volume de déblai

$$V_d = L \cdot b \cdot H$$

V_d : Volume des déblais de la tranchée en (m³).

L : Longueur de la tranchée en (m).

H : profondeur de la tranchée (m).

| D (mm) | Longueur (m) | Hauteur (m) | Largeur (m) | V déblai (m ³) |
|--------|--------------|-------------|-------------|----------------------------|
| 90 | 731 | 0,990 | 0,490 | 354.6 |
| 110 | 1100 | 1,010 | 0,510 | 566.61 |
| 125 | 386 | 1,025 | 0,525 | 207.71 |
| 160 | 1588 | 1,060 | 0,560 | 942.63 |
| 200 | 1104 | 1,100 | 0,600 | 728.64 |
| 250 | 1201 | 1,150 | 0,850 | 1173.97 |
| 315 | 1400 | 1,215 | 0,915 | 1556.41 |

FIG. 6.2 : Tableau de Calcul du volume de déblai pour les canalisations du réseau.

Donc le volume total du déblai est : $V_d = 5530.57 \text{ m}^3$

6.4 Calcul du volume de lit de sable :

Ce calcul nous donne le volume total du sable nécessaire pour créer une couche de 10 cm d'épaisseur constante le long de la tranchée. il faut disposer de suffisamment de sable pour couvrir toute la surface de la tranchée conformément à vos besoins et spécifications de construction.

$$V_s = e \cdot b \cdot L$$

V_s : Volume du sable en (m³).

e : Epaisseur du sable, $e = 10$ cm.

| D (mm) | Longueur (m) | Epaisseur (m) | Largeur (m) | V sable (m ³) |
|--------|--------------|---------------|-------------|---------------------------|
| 90 | 731 | 0.1 | 0,490 | 35.819 |
| 110 | 1100 | 0.1 | 0,510 | 56.1 |
| 125 | 386 | 0.1 | 0,525 | 20.26 |
| 160 | 1588 | 0.1 | 0,560 | 88.92 |
| 200 | 1104 | 0.1 | 0,600 | 66.24 |
| 250 | 1201 | 0.1 | 0,850 | 102.08 |
| 315 | 1400 | 0.1 | 0,915 | 128.1 |

FIG. 6.3 : Tableau de Calcul du volume de sable pour les canalisations du réseau.

Donc le volume total du sable est $v_s = 497.51$ m³

6.5 Calcul du volume de remblai :

ce volume correspond au volume occupé par la conduite et au volume occupé par le lit de sable dans la tranchée. Il s'agit essentiellement du volume qui est rempli par les éléments présents dans la tranchée.

$$V_r = V_d - (V + V_s)$$

V_r : Volume du remblai compacte (m³)

V_d : Volume du déblai (m³)

V_s : Volume du sablee

V : Volume occupé par la conduite (m³)

“cour Mkahlerrase” p. d.

| D (mm) | V déblais (m) | V conduites (m) | V de sable (m) | V remblais (m3) |
|--------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 90 | 354.6 | 16.83 | 35.81 | 301.96 |
| 110 | 566.61 | 60.94 | 56.1 | 449.57 |
| 125 | 207.71 | 13.5 | 20.26 | 173.95 |
| 160 | 912.63 | 37.12 | 88.92 | 786.59 |
| 200 | 728.64 | 64.2 | 66.24 | 598.2 |
| 250 | 1173.97 | 527.75 | 102.08 | 544.14 |
| 315 | 1556.41 | 653.94 | 128.1 | 774.37 |

FIG. 6.4 : Tableau de Calcul du volume de remblai pour les canalisations de distribution.

Donc le volume total du remblais est $V_r = 3642.64 \text{ m}^3$

6.6 Estimation de cout total de projet :

6.7 1 Estimation de cout de pose de canalisation du réseau :

| Designation des travaux | Quantité(m3) | Prix unitaire DA | Montant DA |
|-------------------------|--------------|------------------|------------|
| Déblai en terrain | 5530.57 | 400 | 2212228 |
| Lit de sable | 497.51 | 1100 | 547261 |
| Remblai | 3642.64 | 350 | 1274924 |
| total (HT) 1 | | | 4034413 |
| TVA (19%) 1 | | | 766538 |
| montant TTC 1 | | | 4800952 |

FIG. 6.5 : Tableau d'estimation du cout de pose de canalisation du réseau.

6.8 2 Estimation du cout des conduites du réseau :

| D (mm) | Unité de mesure | Quantité | Prix unitaire TTC (DA/m) | Montant (DA) |
|--------|-----------------|----------|--------------------------|--------------|
| 90 | m/l | 731 | 445 | 325295 |
| 110 | m/l | 1100 | 666 | 732600 |
| 125 | m/l | 386 | 844 | 325784 |
| 160 | m/l | 1588 | 1383 | 2196204 |
| 200 | m/l | 1104 | 2163 | 2387952 |
| 250 | m/l | 1201 | 3358 | 4032958 |
| 315 | m/l | 1400 | 5056 | 7078400 |

FIG. 6.6 : Tableau d'estimation du coût des conduites du réseau.

6.9 3 Estimation du cout des vannes

| Vannes | | | | |
|-------------|----------|--------------------|-----------------|------------------|
| Désignation | Quantité | prix unitaire (DA) | prix total (DA) | |
| Vanne DN90 | 2 | 8 925 | 17850 | |
| Vanne DN110 | 4 | 9 877 | 39508 | |
| Vanne DN125 | 1 | 14 875 | 14875 | |
| Vanne DN250 | 2 | 190 400 | 380800 | |
| Vanne DN160 | 2 | 17000 | 34000 | totale |
| Vanne DN200 | 1 | 120000 | 120000 | 607033 DA |

FIG. 6.7 : Tableau d'estimation du coût des vannes.

6.10 4 Estimation du coût des bornes

| Pièces | Quantité | Prix (DA) | Montant (DA) |
|--------------------|----------|-----------|--------------|
| borne d'irrigation | 45 | 18500 | 855000 |

FIG. 6.8 : Tableau d'estimation du coût des bornes.

6.11 5 Estimation du coût des réservoirs

| Désignation | Unité | Capacité | Quantité | Prix unitaire (DA) | Prix total (DA) |
|-------------|-------|---------------------|----------|--------------------|-----------------|
| Réservoir | U | 1000 m ³ | 2 | 20 000 000 | 20 000 000 |

FIG. 6.9 : Tableau d'estimation du coût des réservoirs.

6.12 Devis du réseau d'irrigation localisée

Les équipements à l'aval de la borne d'irrigation font référence aux installations qui se trouvent en aval du point où l'eau est prélevée du réseau de distribution collectif ou individuel

Ces équipements sont la propriété de chaque exploitant agricole ou utilisateur d'eau, pour transporter l'eau depuis la borne d'irrigation jusqu'aux zones d'irrigation spécifiques.

“Irrigation par aspersion” p. d.

6.13 : Estimation du coût des asperseurs :

| Caractéristique d'appareil | Unité | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|----------------------------|-------|----------|--------------------|--------------|
| Asperseurs | U | 60 | 6 900 | 414000 |

FIG. 6.10 : Tableaux d'estimation du coût des asperseurs

6.14 : Estimation du coût des goûteurs :

| Caractéristique d'appareil | Unité | Quantité | Longueur de rampe | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|----------------------------|-------|----------|-------------------|--------------------|--------------|
| Goutteurs | U | 140 | 58 | 9 | 73080 |

FIG. 6.11 : Tableau d'estimation des goûteurs

6.15 Conclusion

Dans le présent chapitre présente une estimation des coûts associés à chaque élément utilisé dans notre projet.

Nous avons commencé par évaluer les coûts des matériaux tels que le sable, les déblais et les remblais. Ensuite nous avons calculé les coûts des différentes conduites utilisées, notamment les conduites d'adduction, les conduites d'amenée et les conduites du réseau.

Une fois ces coûts établis, nous avons occasionné les dépenses liées au réservoir aux bornes et aux vannes. Enfin nous avons évalué les coûts des systèmes d'irrigation goutte à goutte et par aspersion.

Le coût estimatif du projet est de l'ordre de 43829258 DA

Chapitre 7

conception d'un système d'irrigation intelligent

7.1 Introduction

L'irrigation autonome est une méthode de plus en plus courante dans l'agriculture moderne, qui permet aux agriculteurs de contrôler l'irrigation de leurs cultures sans avoir besoin d'une intervention humaine constante. Bien que cette méthode puisse être très efficace pour économiser l'eau et améliorer la croissance des cultures, elle pose également des problèmes importants.

L'un des principaux problèmes liés à l'irrigation autonome est le risque de surutilisation de l'eau.

Si les systèmes d'irrigation ne sont pas correctement conçus ou régulés, ils peuvent entraîner une utilisation excessive de l'eau, ce qui peut non seulement gaspiller des ressources précieuses mais aussi causer des dommages à l'environnement local.

Face à ces défis la question se pose de savoir comment maximiser l'efficacité de l'irrigation autonome tout en minimisant ses impacts négatifs sur l'environnement et les coûts pour les agriculteurs.

C'est une problématique complexe et multidimensionnelle qui nécessite une réflexion approfondie et des solutions innovantes.

AMMAR et al. 2021



FIG. 7.1 : Exemple d'un système d'irrigation intelligent

7.2 La conception de système

La conception du système repose sur l'utilisation de l'ESP32 c'est une carte de développement basée sur le microcontrôleur ESP32 qui joue un rôle central dans le contrôle intelligent de l'irrigation. L'ESP32 est choisi pour sa puissance de calcul sa connectivité WiFi intégrée et sa capacité à interagir avec différents périphériques.

Le système comprend également des capteurs d'humidité du sol qui permettent de collecter des informations sur l'état hydrique du sol .

Ces capteurs sont connectés à l'ESP32 qui effectue des mesures régulières pour obtenir des données en temps réel En utilisant les données collectées, l'ESP32 prend des décisions de contrôle en fonction des seuils prédéfinis.

Par exemple si le niveau d'humidité du sol est inférieur à un seuil critique, l'ESP32 active les vannes d'irrigation pour fournir de l'eau aux plantes.

L'ESP32 communique également avec un site web dédié qui joue le rôle d'interface utilisateur. Il transmet les données collectées aux utilisateurs via le site web, offrant ainsi une visualisation claire de l'état de l'irrigation.

De plus, le site web permet aux utilisateurs de configurer les seuils d'humidité, desurveiller les données en temps réel et de contrôler manuellement les vannes d'irrigation si nécessaire.

L'architecture du système met en évidence la collaboration harmonieuse entre l'ESP32 et le site web, permettant ainsi une irrigation intelligente et un contrôle facilement accessible pour les utilisateurs.

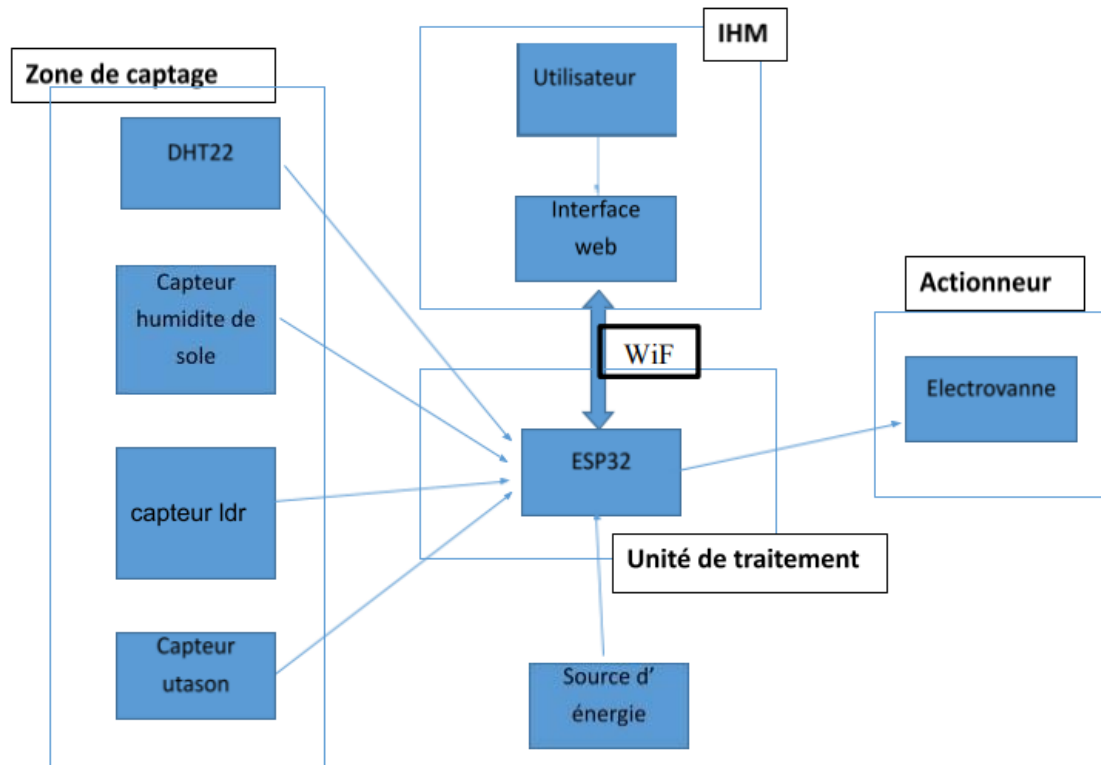


FIG. 7.2 : représente le schéma de notre système d'irrigation (A SENOUSI MFE)

SNOUCI Conception et réalisation d'un système d'irrigation intelligent

7.3 Choix des composants électroniques

Une fois que les besoins en eau des cultures ont été déterminés, il est temps de sélectionner les composants électroniques nécessaires pour le système d'irrigation autonome. Cela peut inclure une

- .pompe
- .des capteurs d'humidité du sol
- .des capteurs de température et d'humidité de l'air,
- .des capteurs de niveau d'eau.

Il est important de sélectionner des composants de haute qualité pour assurer le bon fonctionnement du système d'irrigation autonome.

Les agriculteurs peuvent choisir des composants de différents fournisseurs, en fonction de leurs préférences et de leur budget.

7.4 POMPE A EAU 3V :

La pompe doit être amorcée avant utilisation et doit rester entièrement immergée pendant le fonctionnement, car elle ne peut pomper que de l'eau pas de l'air.

Elle ne peut pomper que dans une seule direction et ne peut être inversée pour déplacer l'eau dans la direction opposée.



FIG. 7.3 : POMPE A EAU 3V

7.5 Capteur de température et d'humidité de l'air

Le capteur DHT (Digital Humidity and Temperature) Il utilise une technique exclusive de collecte de signal numérique et d'humidité technologie de détection, assurant sa fiabilité et sa stabilité.

Ses éléments de détection sont connectés à une puce unique 8 bits ordinateur lorsque le capteur détecte, il citera coefficient de mémoire. La petite taille et la faible consommation et la longue distance de transmission (20 m) .



FIG. 7.4 : Capteur de température et d'humidité de l'air

7.6 Capteur d'humidité



FIG. 7.5 : Capteur humidité de sol

un simple capteur d'humidité du sol qui est utilisé dans les systèmes d'irrigation automatique des cultures pour déterminer le taux d'humidité du sol.

composé d'une sonde avec deux conducteurs ouverts (la sonde est immergée dans le sol) et d'un module électronique avec des sorties numériques et analogiques.

Le stylet à deux électrodes agit comme une résistance variable dont la résistance varie en fonction de la teneur en eau du sol

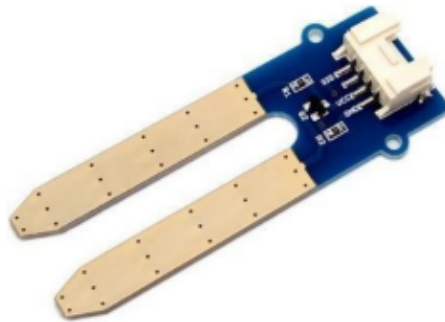


FIG. 7.6 : Capteur humidité de sol

7.7 Capteur ultrason

un capteur à ultrason à bas prix. Ce capteur fonctionne avec une tension d'alimentation de 5 volts, dispose d'un angle de mesure de 15° environ et permet de faire des mesures de distance entre 2 centimètres et 4 mètres avec une précision de 3mm



FIG. 7.7 : Capteur a ultra son

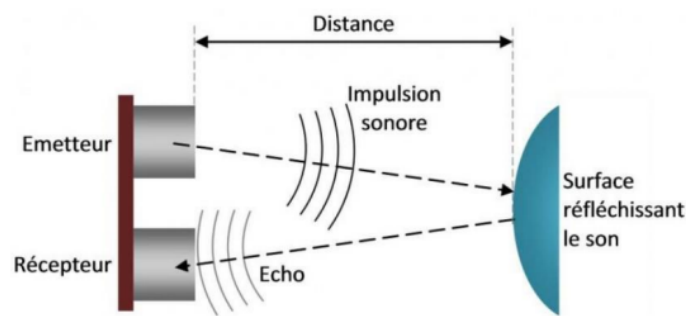


FIG. 7.8 : Principe de fonctionnement

7.8 Conception logicielle (software)

7.9 L'interface web

Notre projet utilise une interface web pour faciliter l'interaction avec notre système basé sur ESP32.

L'interface web permet aux utilisateurs de surveiller et de contrôler divers aspects du système à partir de n'importe quel navigateur web.

L'interface web fournit une visualisation claire des données collectées par les capteurs intégrés dans notre système.

Les utilisateurs peuvent accéder à des informations telles que la température, l'humidité de l'air, l'humidité du sol, la distance mesurée par un capteur à ultrasons, ainsi que l'intensité lumineuse captée par un capteur de lumière.

Ces données sont affichées de manière conviviale, sous forme de graphiques ou de tableaux, permettant aux utilisateurs de comprendre rapidement les conditions actuelles.

En plus de la visualisation des données l'interface web permet également de contrôler le système à distance. Par exemple, les utilisateurs peuvent activer ou désactiver la vanne d'arrosage à l'aide d'un bouton virtuel sur l'interface.

Cette fonctionnalité permet une automatisation flexible du système, en donnant aux utilisateurs la possibilité de basculer entre le mode automatique et le mode manuel

L'interface web est conçue de manière conviviale et réactive offrant une expérience utilisateur agréable sur les appareils mobiles et les ordinateurs de bureau.

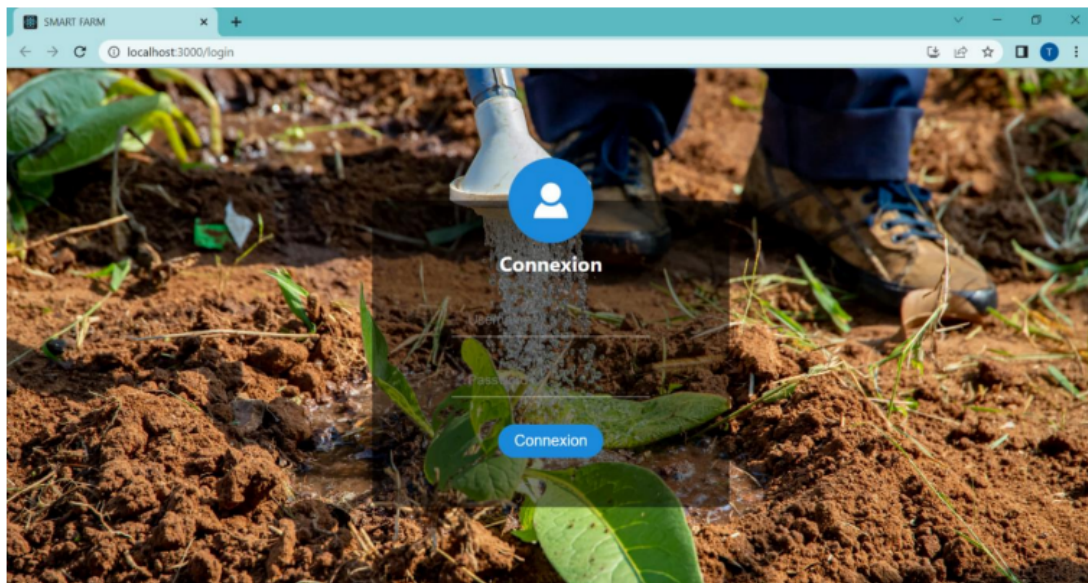


FIG. 7.9 : L'interface web

Présentation du site web (interface)

L'interface web fournit une visualisation claire des données collectées par les capteurs intégrés dans notre système.

Les utilisateurs peuvent accéder à des informations telles que la température, l'humidité de l'air, l'humidité du sol, la distance mesurée par un capteur à ultrasons, ainsi que l'intensité lumineuse captée par un capteur de lumière

Par exemple, les utilisateurs peuvent activer ou désactiver la pompe à l'aide d'un bouton virtuel sur l'interface.

7.10 Les acteurs de notre système sont

- Le simple visiteur du système : considéré comme une personne qui veut satisfaire sa curiosité.
- L'agriculteur : il bénéficie des différents services offerts par le WEB.
- L'ESP32 : qui contribue à synchroniser le site par fournir les données collectées par déférente capteur et par le contrôle de la pompe .
- Développeur : personne ne qui a pour rôle principal de gérer toutes les tables de la base de données.

7.11 Spécification des tâches

L'agriculteur :

Contrôler la pompe

Consulté l'état de la plante

S'inscrire

Changer le mode de du système

Développeur :

Modifier les fonctionnalités

Modifier le mot de passe

Contrôle tous le système.

7.12 Les diagrammes UML de comportement

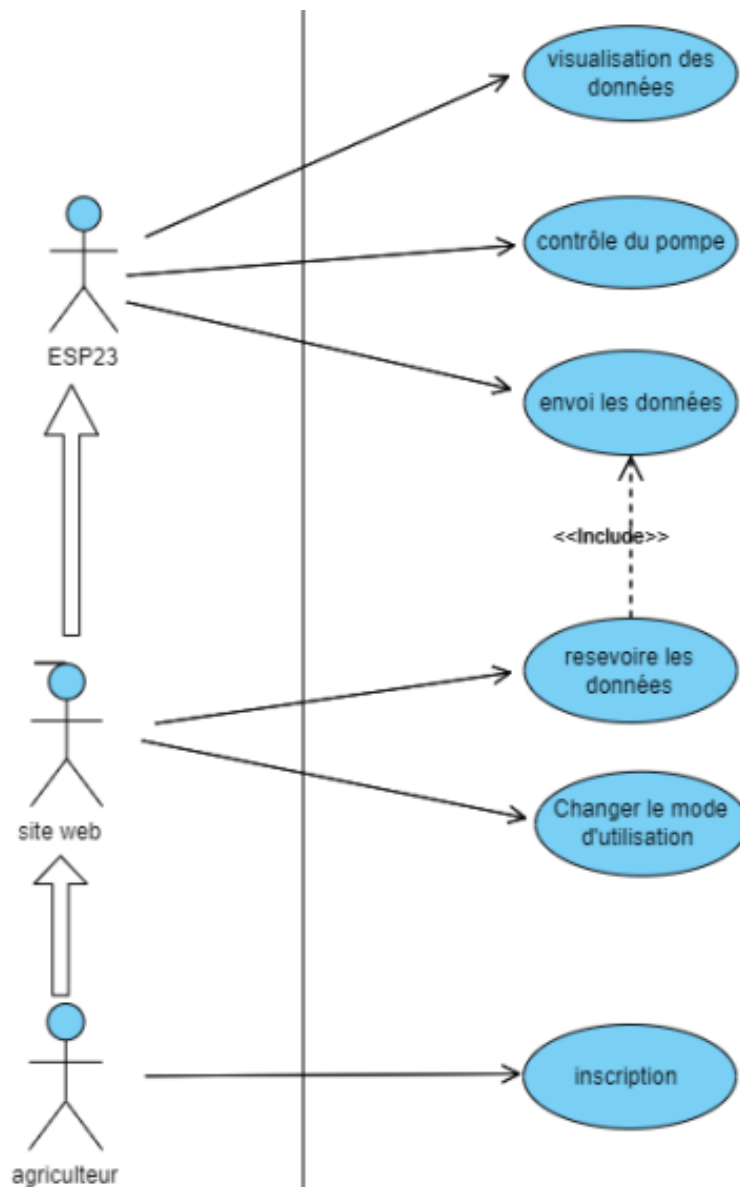


FIG. 7.10 : Les diagrammes UML de comportement
(A SENOUSI MFE)

7.13 Présentation des logiciels utilisés

7.14 L'IDE Arduino :

IDE signifie "Integrated Development Environment" : c'est un logiciel officiel introduit par Arduino.cc qui est principalement utilisé pour éditer, compiler et télécharger le code dans le périphérique Arduino, ESP32, ect...

7.15 Visuel studio :

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications web ASP.NET, des services web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles

7.16 Organigramme générale :

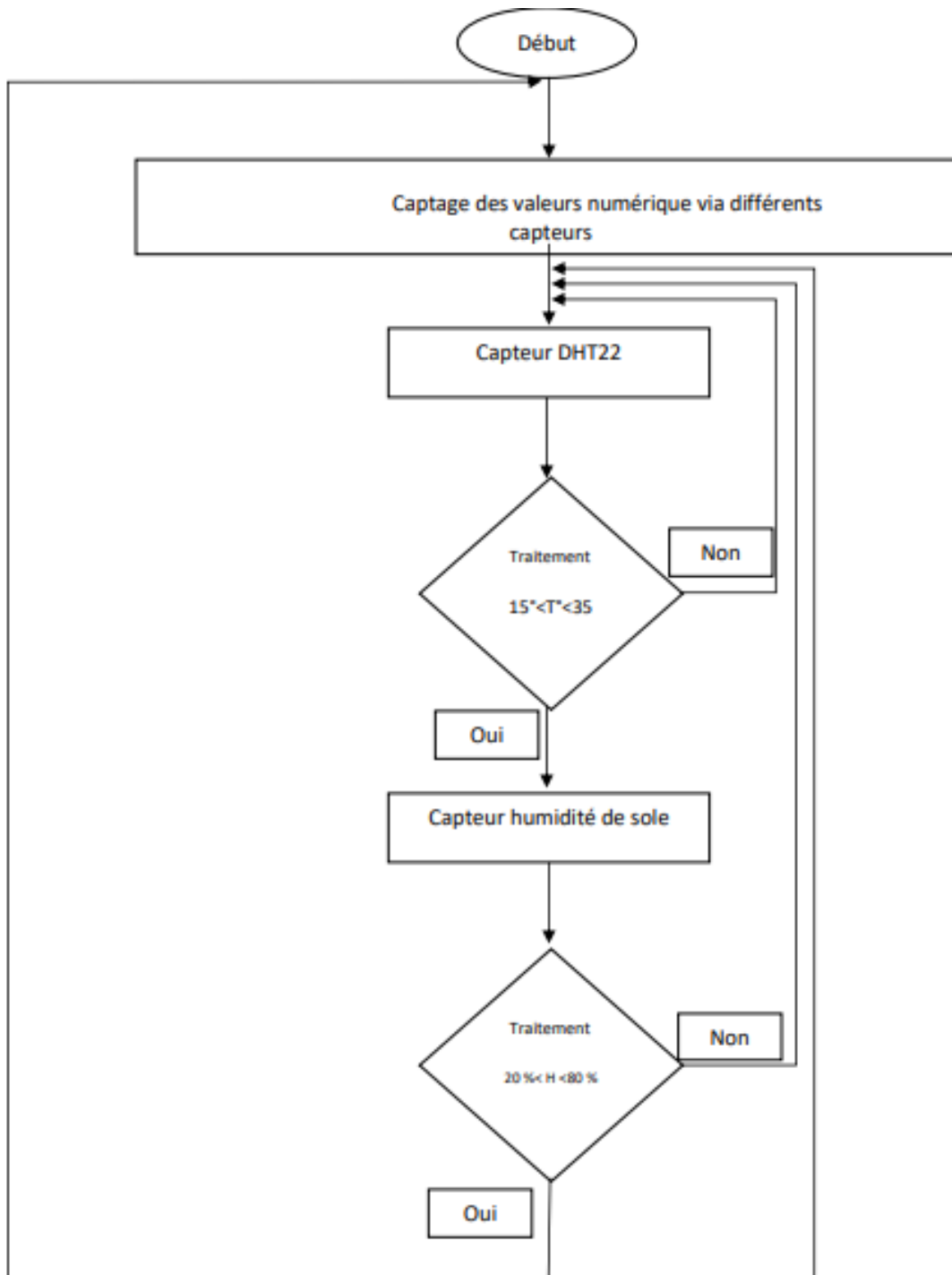


FIG. 7.11 : Organigramme générale
(A SENOUSI MFE)

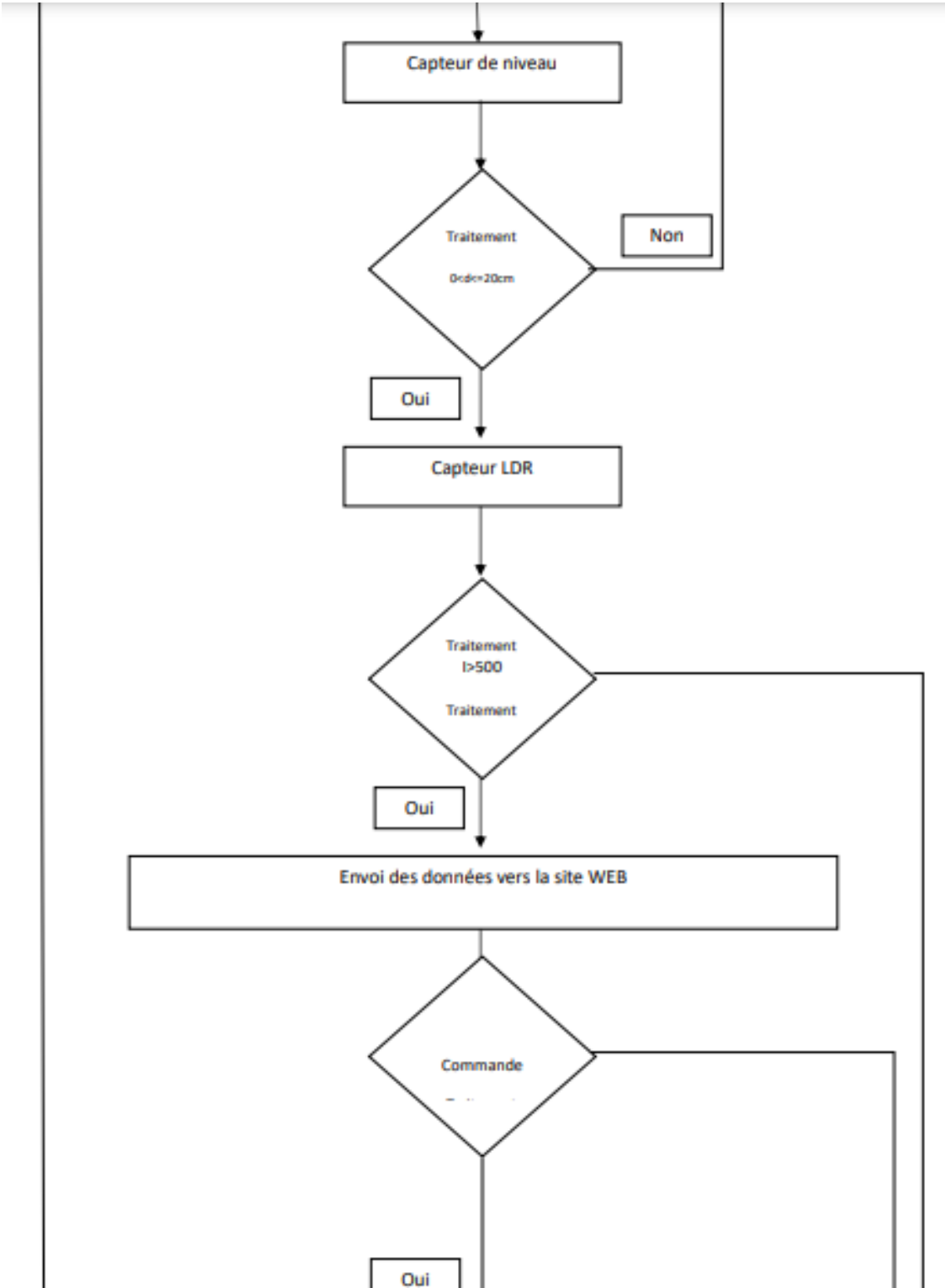


FIG. 7.12 : Organigramme générale

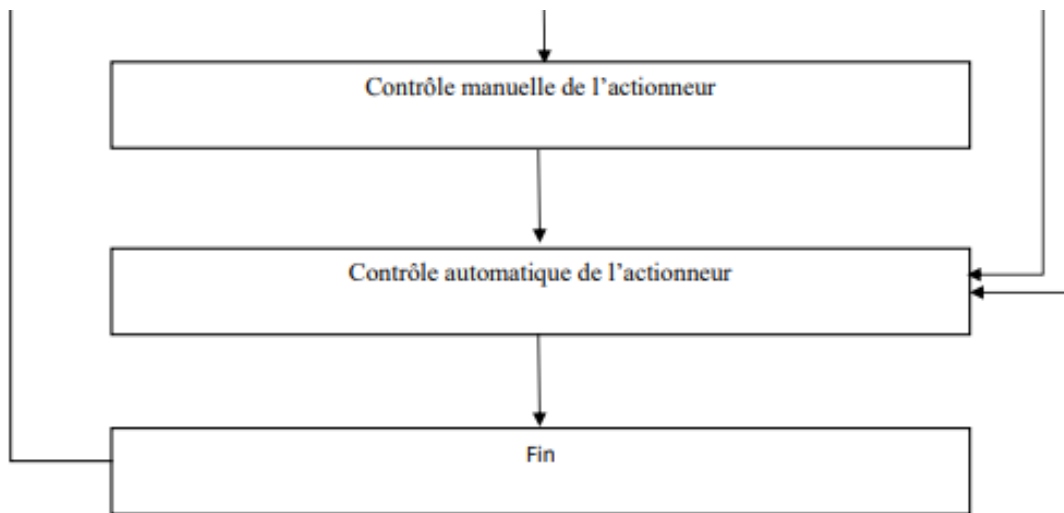


FIG. 7.13 : Organigramme générale

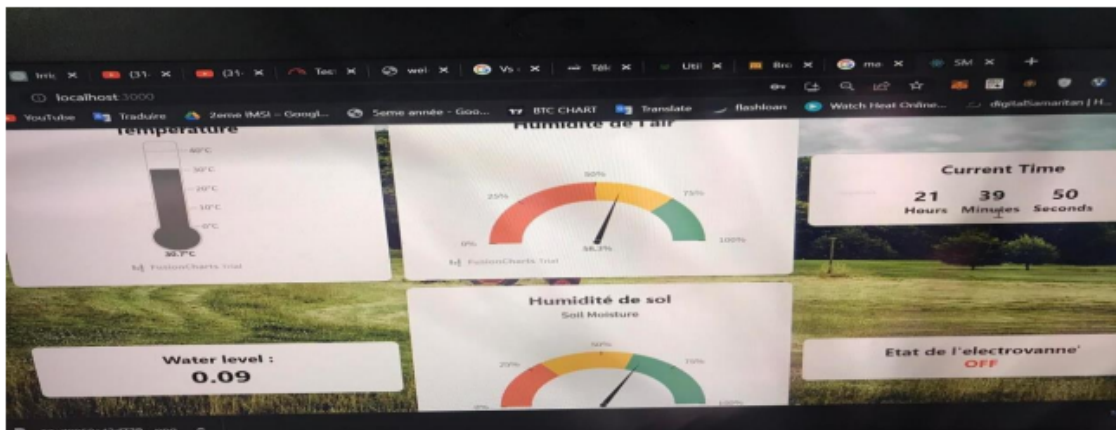


FIG. 7.14 : page principale de site web

7.17 Conclusion :

En conclusion la conception de notre système a été soigneusement réalisée en prenant en compte les besoins et les objectifs du projet. Nous avons utilisé une approche méthodique pour définir les fonctionnalités, les spécifications et l'architecture du système.

La conception a été axée sur la fiabilité, l'efficacité et l'extensibilité, en veillant à ce que le système puisse évoluer et s'adapter aux besoins futurs.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire se concentre sur l'étude du périmètre d'Aïn M'lila, qui est alimenté par les eaux épurées provenant de la station d'épuration de la ville.

Ce projet s'inscrit dans une politique active visant à mobiliser les ressources en eau pour faire face au stress hydrique et à l'irrégularité des ressources, ainsi qu'à répondre aux besoins en eau de l'agriculture.

Nous avons supposé que les eaux usées de la station d'épuration d'Aïn M'lila étaient de bonne qualité et pouvaient être utilisées pour l'irrigation. Nous avons travaillé conformément aux normes et aux recommandations proposées.

Le périmètre d'étude se trouve au sud de la ville d'Aïn M'lila, dans une zone caractérisée par un climat semi-aride avec une évaporation élevée. L'étude des caractéristiques physiques et pédologiques du site a révélé que la texture du sol était principalement argileuse.

L'estimation des besoins en eau des cultures adaptées au sol du périmètre a été basée sur le calcul de l'évapotranspiration potentielle.

Nous avons réalisé une étude du système d'adduction, en commençant par l'examen de différentes options d'aménagement. L'alimentation gravitaire du réseau de distribution proposé était assurée par deux réservoirs surélevés d'une capacité de 1 000 m³, alimentés par la station de pompage prévue en aval de la station d'épuration. Les conduites constituant le réseau étaient en PEHD de classe PN10.

Pour le dimensionnement, nous avons utilisé deux systèmes d'irrigation : le goutte-à-goutte pour les oliviers et l'arboriculture, et l'aspersion pour les cultures d'ail, d'orge et fourragères.

nous avons calculé le coût du projet en estimant les prix des pompes, des deux réservoirs, des conduites, des vannes et des bornes. nous avons élaboré un devis quantitatif et estimatif afin d'évaluer le coût du projet à 43829258 DA.

enfin le système d'irrigation intelligent offre une efficacité accrue, une meilleure santé des cultures et une réduction de l'impact sur l'environnement.

Il représente une avancée significative dans la technologie agricole, contribuant à des pratiques agricoles durables, à la conservation de l'eau et à une productivité accrue. À mesure que la technologie continue d'évoluer, des améliorations supplémentaires peuvent être mises en œuvre pour rendre le système encore plus intelligent, adaptable et efficace.

Bibliographie

- AMIRI, Khaled (2011). "Evaluation du fonctionnement de trois stations d'épuration à boues activées de la wilaya de Boumerdes dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources en eau". Thèse de doct.
- AMMAR, Salhi et Boukerker HATEM (2021). "Etude et réalisation d'un système d'irrigation intelligente". Thèse de doct. Faculté des Sciences et Technologies.
- BEN BOTT, Mestapha et F SKIOU (2012). "Dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées la ville de Ain M'lila par boues activées et lit bactériens". In :
- BENZIANE, Houda (2018). "Calcul des besoins en eau de l'oignon en Algérie par le logiciel (CROPWAT 8.0) en vue d'une meilleure efficience d'utilisation de l'eau". Thèse de doct.
- BOUAROUDJ, Sara et Dhaou-El-Djabine KADEM (2012). "Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation". In :
- BOUZOU, Mourad Lazhar et al. (2018). "Valorisation et etude phytotoxicologique des eaux d'irrigation à partir des eaux usées, sur deux cultures (tomate industrielle et haricot vert)". In : *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie* 37, p. 64-77.
- "cour Maziez" (p. d.). In : ().
- "cour Mbekaci" (p. d.). In : ().
- "cour Mkahlerrase" (p. d.). In : ().
- HANNACHI, A, R GHARZOULI et Y Djellouli TABET (2014). "Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie". In : *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782* 19.
- HILLEL, Daniel et Louis W DE BACKER (1974). *L'eau et le sol : principes et processus physiques*. Vander Leuven,, Belgium.
- "Irrigation par aspersion" (p. d.). In : *Fruits* 3 (), p. 101-105.
- LAZAROVA, Valentina (1999). "Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources : coûts, bénéfices et défis technologiques". In : *L'eau, l'industrie, les nuisances* 227, p. 47-57.
- SNOUCI, A (Conception et réalisation d'un système d'irrigation intelligent). Thèse de doct.

Annexe A

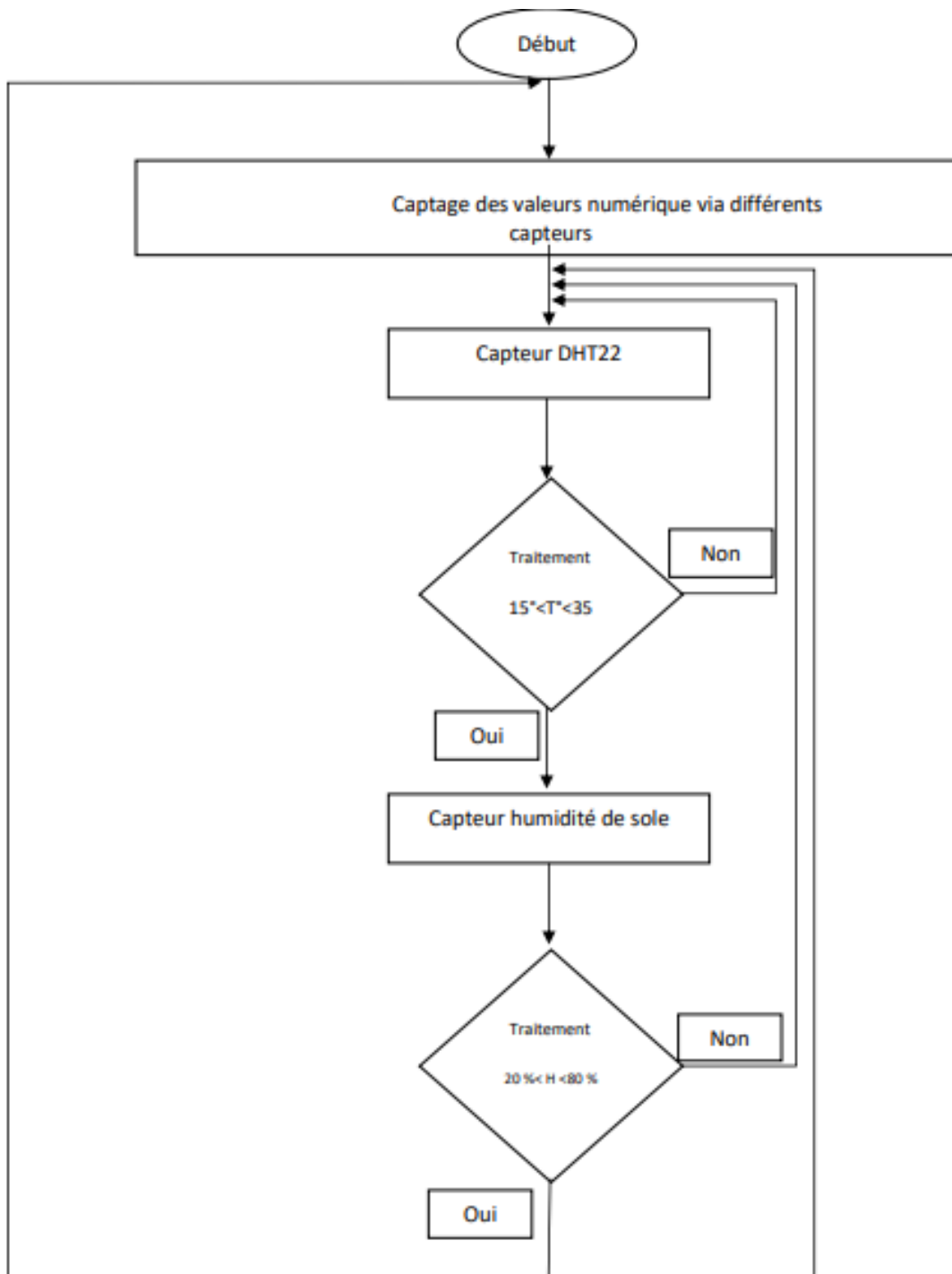


FIG. A.1 : Organigramme générale

| Paramètre | Unité | Concentration Maximale admissible |
|-------------------------------|-------|-----------------------------------|
| Conductivité (ms/cm) | ds/m | 3 |
| pH | - | 7.8 |
| T | °C | 30 |
| MES | Mg/l | 30 |
| DBO5 | Mg/l | 30 |
| DCO | Mg/l | 90 |
| Ca ²⁺ | Mg/l | |
| Infiltration du SAR : | | 0.2 |
| 0 - 3 CE | | 0.3 |
| 3 - 6 CE | | |
| 6 - 12 CE | ds/m | 0.5 |
| 12 - 20 CE | | 1.3 |
| 20 - 40 CE | | |
| Mg ²⁺ | Mg/l | 3 |
| Na ⁺ | Mg/l | 3-9 |
| Ca ²⁺ | Mg/l | 3 |
| Cl ⁻ | Mg/l | 4-10 |
| SO ₄ ²⁻ | Mg/l | |

Source : Journal Officiel 2013 de la République Algérienne N°41

FIG. A.2 : tableau des résultats des analyses physico-chimiques conformes aux normes internationales des eaux usées usées recommandées par l'USEPA (Agence de protection de l'environnement des États-Unis) pour l'irrigation sont les suivants .

| Nature du problème | Unité | Restriction pour l'irrigation | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------|------------------|--------|
| | | Aucune | Légère à modérée | Forte |
| Salinité (influe sur l'eau disponible pour la plante) | | | | |
| Conductivité électrique EC _w (ou) | dS/m | < 0.7 | 0.7 – 3.0 | > 3.0 |
| Total des matières solides dissoutes TDS | mg/l | < 450 | 450 - 2000 | > 2000 |
| Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois EC _w et SAR) | | | | |
| SAR = 0 – 3 et EC _w = | | > 0.7 | 0.7 – 0.2 | < 0.2 |
| SAR = 3 – 6 et EC _w = | | > 1.2 | 1.2 – 0.3 | < 0.3 |
| SAR = 6 – 12 et EC _w = | | > 1.9 | 1.9 – 0.5 | < 0.5 |
| SAR = 12 – 20 et EC _w = | | > 2.9 | 2.9 – 1.3 | < 1.3 |
| SAR = 20 – 40 et EC _w = | | > 5.0 | 5.0 – 2.9 | < 2.9 |
| Toxicité de certains ions (affecte les cultures sensibles) | | | | |
| Sodium (Na) ⁴ | | | | |
| Irrigation de surface | SAR | < 3 | 3 - 9 | > 9 |
| Irrigation par aspersion | me/l | < 3 | > 3 | |
| Chlore (Cl) ⁴ | | | | |
| Irrigation de surface | me/l | < 4 | 4 - 10 | > 10 |
| Irrigation par aspersion | me/l | < 3 | > 3 | |
| Bore (B) ⁵ | mg/l | < 0.7 | 0.7 – 3.0 | > 3.0 |
| Effets divers (affecte les cultures sensibles) | | | | |
| Azote (NO ₃ -N) ⁶ | mg/l | < 5 | 5 - 30 | > 30 |
| Bicarbonate (HCO ₃)(seulement pour l'aspersion sur frondaison) | me/l | < 1.5 | 1.5 – 8.5 | > 8.5 |
| pH | | Zone normale 6.5 – 8.4 | | |

FIG. A.3 : qualité d'une eau d'irrigation.

2. COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc)

| CULTURE | Stades de développement de la culture | | | | | Durée totale de la période végétative |
|-----------------|---------------------------------------|---------------|-----------|----------------|-----------|---------------------------------------|
| | Initial | Développement | Mi-saison | Arrivée saison | Récolte | |
| Bananiier | | | | | | |
| 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* |
| Orgeon | | | | | | |
| 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 |
| Poivreau, 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 |
| Rotenon sacré | 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 |
| Tournefort | 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 |
| Bé | 0,3-0,4 | 0,7-0,8 | 0,85-1,2 | 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 |
| Agave | | | | | | |
| saccharin | | | | | | 0,65-0,75 |
| sans saccharin | | | | | | 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.


FIG. A.4



FIG. A.5 : PLAN SITUATION DU PÉRIMÈTRE D'IRRIGATION AIN M'LILA (Google Earth).

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

FIG. A.6 : Caractéristiques hydriques de quelques sols .



Caractéristiques de l'asperseur circulaire PERROT ZF 30

1 buse
angle de jet 30°
Raccord fileté 1"

| Ø de la buse Ø mm | pression à la buse bar | portée m | débit m³/h | espacement m | | surface irriguée m² | | densité d'aspersion mm/h | |
|----------------------|---------------------------|-------------|---------------|-----------------|---------|------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| | | | | □ disp. | △ disp. | □ disp. | △ disp. | □ disp. | △ disp. |
| 4.0 | 2.5 | 13 | 0.93 | 12/18 | 18/18 | 216 | 324 | 4.3 | 2.88 |
| | 3.0 | 14.5 | 1.02 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3.16 | 2.36 |
| | 3.5 | 15.3 | 1.11 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3.42 | 2.57 |
| | 4.0 | 16 | 1.19 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3.71 | 2.76 |
| 4.2 | 2.5 | 13.5 | 1.04 | 12/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4.8 | 2.42 |
| | 3.0 | 15 | 1.14 | 18/18 | 18/24 | 216 | 432 | 3.52 | 2.64 |
| | 3.5 | 15.8 | 1.23 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 3.8 | 2.85 |
| | 4.0 | 16.5 | 1.32 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 3.08 | 2.3 |
| 4.5 | 2.5 | 14 | 1.20 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 3.71 | 2.78 |
| | 3.0 | 15.5 | 1.32 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4.07 | 3.05 |
| | 3.5 | 16.3 | 1.42 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4.38 | 3.29 |
| | 4.0 | 17 | 1.52 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 3.52 | 2.64 |
| 4.8 | 2.5 | 14.5 | 1.38 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 4.27 | 3.2 |
| | 3.0 | 16 | 1.51 | 18/18 | 18/24 | 324 | 432 | 4.66 | 3.5 |
| | 3.5 | 16.5 | 1.63 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 3.78 | 2.82 |
| | 4.0 | 17 | 1.75 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 4.05 | 3.04 |
| 5.0 | 2.5 | 14.5 | 1.48 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 4.57 | 3.43 |
| | 3.0 | 16.5 | 1.63 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 5.04 | 3.77 |
| | 3.5 | 17 | 1.76 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 4.08 | 3.05 |
| | 4.0 | 17.5 | 1.88 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 4.35 | 3.28 |
| 5.5 | 2.5 | 15.2 | 1.82 | 18/18 | 18/24 | 432 | 432 | 5.62 | 4.22 |
| | 3.0 | 17 | 1.99 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 4.61 | 3.45 |
| | 3.5 | 17.5 | 2.14 | 18/24 | 24/24 | 324 | 576 | 4.95 | 3.71 |
| | 4.0 | 18 | 2.29 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5.31 | 3.98 |
| 6.0 | 2.5 | 16.2 | 2.16 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5.00 | 3.75 |
| | 3.0 | 17.5 | 2.37 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5.50 | 4.12 |
| | 3.5 | 18 | 2.56 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 5.92 | 4.43 |
| | 4.0 | 18.5 | 2.74 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 6.35 | 4.76 |
| 7.0 | 2.5 | 17.5 | 2.96 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 6.9 | 5.1 |
| | 3.0 | 18.0 | 3.22 | 18/24 | 24/24 | 432 | 576 | 7.5 | 5.6 |
| | 3.5 | 18.5 | 3.48 | 24/24 | 24/24 | 576 | 576 | 8.0 | 6.0 |
| | 4.0 | 19.0 | 3.73 | 24/24 | 24/30 | 576 | 720 | 8.5 | 6.2 |

FIG. A.7 : Caractéristiques de l'asperseur .

| Paramètres | Unités | Valeurs Limitées maximales | |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------|
| Physique | Température | °c | 30 |
| | PH | - | 6,5-8,5 |
| | MES | mg/l | 30 |
| | CE | ds/m | 3 |
| | Infiltration le SAR= 0 - 3 CE | | 0,2 |
| | 3 - 6 | | 0,3 |
| | 6-12 | ds/m | 0,5 |
| | 12-20 | | 1,3 |
| | 20-40 | | 3 |
| | Chimiques | DBO ₅ | mg/l |
| DCO | | mg/l | 90 |
| Chlorure | | meq/l | 10 |
| Azote (NO ₃ -N) | | mg/l | 3 |
| Bicarbonate(HCO ₃) | | meq/l | 8.5 |

FIG. A.8 : Tableau des Paramètres physico-chimiques des eaux épurées
(la législation algérienne)