



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

***ETUDE D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DU PERIMETRE
D'IRRIGATION DE PLAINES SETIFIENNES (SECTEUR 13) 300
HA A PARTIR DU BARRAGE MAHOUANE (W- SETIF)***

Présenté par :

MAKHLOUFI AYMENE

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M ^r Mohammed DJELLAB	Professeur	Président
M ^{me} NADHIRA SAIL	M.A.A	Examinatrice
M ^r BENKACI ALI TAREK	M.C.B	Examineur
M ^r RASSOUL ABDELAZIZ	Professeur	Promoteur

Session December2021

Dédicace

Du fond du cœur, je dédie cette thèse en signe d'amour, de respect et de reconnaissance:

A mes chers parents SAID et NOURA

Pour leur soutien, patience et leurs sacrifices durant mes études et durant ce projet. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. que dieu le tout puissant, vous préserve, vous accorde santé, bonheur et vous protège de tout mal.

A mes chers frères

Je prie Dieu Tout-Puissant de vous protéger et de vous accorder tout le bonheur, le succès et la réussite dans vos études et votre vie.

A ma cher grand-mère YAMINA

Que ce modeste travail soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que dieu vous préserve santé et longue vie.

A mes amis de toujours BRIK S, LABRI M

En souvenir de notre sincère amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

A toute la famille MAKHLOUFI et KAABECHE et a tous ceux que j'ai omis de citer.

Remerciement

Au terme de cette étude, fruit de mes années de labeur, je tiens à remercier en premier lieu dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, les moyens et les personnes qui m'ont aidé à l'élaboration de ce modeste travail.

Je tiens à présenter ma reconnaissance et mes remerciements à mon encadreur monsieur **RASSOUL Abdelaziz**, pour le temps consacré à la lecture, les conseils et l'orientation qui ont rythmé les différentes étapes de mon mémoire. Je le remercie aussi pour sa sympathie et sa disponibilité à encadrer ce travail à travers ses critiques et ses propositions.

Je tiens à remercier du fond du cœur :

- Madame AZIEZ Ouahiba pour son aide, ses conseils, sa disponibilité et pour les détails nécessaires concernant le thème traité dans ce travail.
- Tous les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner et juger mon travail.
- Tous mes professeurs de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, pour le savoir qu'ils m'ont transmis durant mon parcours universitaire.
- Tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce projet.

ملخص :

الهدف من مذكرة تخرجي هو إجراء التغييرات اللازمة، وتطوير المنشآت الزراعية في سهول سطيف لري المنطقة المغلقة من مياه سد مهوان المتواجد بسطيف، هذا الأخير مدعوم من مياه سد اغيل أمدا المتواجد بحوالي 6 كم من منطقة بجاية. من خلال هذه الدراسة، نستنتج أن الري ضروري لتطوير الزراعة لأنه في بعض المناطق شبه القاحلة، هطول الأمطار غير كافية و غير المنتظمة، مما يعني إدخال تقنيات الري الحديثة مثل الرش و التقطير و ذلك لتحسين استخدام المياه و الحد من الخسائر.

Résumer :

L'objectif de mon mémoire de fin d'études est de réaliser les transformations nécessaires, et l'aménagement hydro-agricole des plaines Sétifiennes, afin d'irriguer la zone délimitée avec l'eau provenant du barrage de Mehouane et qui sera alimenté par l'eau provenant du barrage d'Ighil Emda.

De cette étude, il en sort que l'irrigation est indispensable pour développer l'agriculture car dans certaines zones semi arides, les précipitations sont insuffisantes et irrégulières, ce qui implique l'introduction de nouvelles techniques d'irrigation telles que les systèmes gouttes a gouttes et l'aspersion, pour optimiser l'utilisation de l'eau par la plante et limiter les pertes.

Abstract :

The aim of my thesis is to make the necessary changes, and hydro-agricultural development of Setif plains to irrigate the area enclosed with water from the dam Mehouane and will be powered by water from the dam Ighil Emda.

In this study, it comes out that irrigation is essential to develop agriculture because in some semi-arid areas ; rainfall is insufficient and irregular, which implies the introduction of new irrigation techniques such as the system of drops and sprinkling drops, optimizing the use of water by plant and limit losses.

SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I :

PRESENTATION ET L'ANALYSE DES CONDITIONS NATURELLES DE LA ZONE D'ETUDE

<i>Introduction</i>	3
<i>I.1 Localisation et présentation de la zone d'étude</i>	3
<i>I.1.1 Situation géographique</i>	3
<i>I.1.2 Les voies de communication</i>	5
<i>I.2 Réseau hydrographique</i>	5
<i>I.3 Géologie</i>	5
<i>I.3.1 Les formations quaternaires</i>	5
<i>I.3.2 Les formations moi-pliocenes</i>	6
<i>I.4 Conditions climatiques</i>	6
<i>I.4.1 Pluviométrie</i>	6
<i>I.4.2 Températures</i>	7
<i>I.4.3 Humidité relative</i>	8
<i>I.4.4 Le vent</i>	8
<i>I.4.5 Le sirocco</i>	8
<i>I.4.6 La gelée</i>	9
<i>I.4.7 Neiges</i>	9
<i>I.4.8 La grêle</i>	9
<i>I.4.9 L'ensoleillement</i>	9
<i>I.5 Indices agro-météorologiques</i>	10
<i>I.5.1 Classification du climat selon Martone</i>	10
<i>I.5.2 Classification de climat selon l'indice d'EMBERGER</i>	10
<i>I.5.3 Classification du climat selon l'indice de BAGNOULS et GAUSSEN</i>	12

CHAPITRE II

RESSOURCES EN SOL

<i>Introduction</i>	14
<i>II.1 Classification des sols</i>	14
<i>II.2 Caractéristiques morphologiques et analyse des sols</i>	14
<i>II.2.a Les sols peu évolués</i>	14
<i>II.2.b Les sols calcimagnésiques</i>	18
<i>II.3 Caractéristiques physico-chimique des sols</i>	18
<i>II.3.1 Caractéristiques Physiques</i>	18
<i>II.3.2 Caractéristiques Chimiques</i>	19
<i>II.4) Aptitudes culturales</i>	20
<i>Conclusion</i>	22

CHAPITRE III

RESSOURCE EN EAU

<i>Introduction</i>	24
III.1) Alimentation en eau du périmètre	24
III.1.1) le barrage de Mahouane	24
III.1.2) Caractéristiques principales du Barrage	25
III.2) Qualité des eaux d'irrigation	25
Conclusion	29

CHAPITRE IV

ETUDE HYDROLOGIQUE

<i>Introduction</i>	31
IV.1) Choix de la station pluviométrique	31
IV.2) Etude statique des précipitations	32
IV.2.1) Etude de l'homogénéisation de la série pluviométrique	32
IV.2.2) Ajustement statistique des pluies	35
IV.3) Détermination de l'année de calcul.....	37
<i>Conclusion</i>	38

CHAPITRE V

LES BESOINS EN EAUX DES CULTURES

<i>V.1 Introduction</i>	40
V.1) Occupation du périmètre.....	40
V.1.1) Situation Actuelle.....	40
V.1.2) Situation Future.....	41
V.2) Cultures proposées pour la zone	41
V.3) Rotation et assolements	42
V.4) Calendrier d'occupation des sols	43
V.5) Besoins en eau du périmètre.....	46
V.5.1) L'évapotranspiration.....	46
V.5.2) METHODES D'EVALUATION D'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE (ETP OU ET0).....	47
V.5.3) Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET0) par la formule Penman- Monteith	47
V.6) Calcul de la pluie efficace.....	49
V.7) Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures.....	49
V.8) Estimation des besoins en eau des cultures.....	50
V.8.1) Calcul des débits spécifiques	58
V.8.2) Calcul du débit caractéristique.....	58
V.9) Estimation des besoins en eau totaux du périmètr.....	58
<i>Conclusion</i>	59

CHAPITRE VI

ETUDE DU SYSTEME DE DISTRUBITION

<i>Introduction</i>	61
VI.1) Présentation du périmètre des plaines Sétifiennes	61
VI.2) Organisation du périmètre	62
VI.2.1) Disposition des ilots d'irrigation	62
VI.2.2) Points spéciaux d'une conduite	62
VI.2.3) Rôle et fonction de la borne d'irrigation	62
VI.3) Calcul hydraulique des bornes	63
VI.3.1) Choix du diamètre de la borne	63
VI.6) Dimensionnement du réservoir de distribution	67
VI.4) Dimensionnement du réseau de distribution	68
VI.7) Choix du matériau des conduites	69
VI.7.1) Caractéristiques des canalisations	69
Conclusion	72

CHAPITRE VII

DIMENSIONNEMENT A LA PARCELLE

<i>Introduction</i>	74
VII.1) Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte	74
VII.1.1) Données générales	74
VII.1.2) Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée	74
VII.1.2.a) Influence du taux de couverture du sol	74
VII.1.2.b) Dose nette pratique	75
VII.1.2.c) Fréquence et intervalle des arrosages (Fr)	75
VII.1.2.d) Calcul de la dose (brute)	76
VII.1.2.e) Durée de fonctionnement par d'arrosage (h)	76
VII.1.2.f) Nombre de poste	76
VII.1.2.g) Surface du poste	76
VII.1.2.f) Calculs hydrauliques	76
VII.1.2.h) La variation maximale de la pression	77
VII.1.2.i) Dimensionnement des canalisations du réseau	77
VII.1.3) Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution ...	79
 <i>Conclusion</i>	79

CHAPITRE VIII

<i>Introduction</i>	83
VIII.1) Travaux concernant le resaux distribution	83
VIII.2) Calcul des volumes des travaux de distribution	84
VIII.3) Evaluation du cout de projet	85
VIII.4) Calcul des différents volumes	86
 Conclusion	88

<i>CONCLUSION GENERALE</i>	89
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i>	90
<i>ANNEXES</i>	94

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I. 1: Carte de situation de la wilaya de Sétif (source ONID).....</i>	<i>3</i>
<i>Figure I. 2 :Situation de la zone de projet (image satellitaire)</i>	<i>4</i>
<i>Figure I. 4: Diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I. 5: Climogramme pluviométrique de Gaussen.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure III. 1:Situation de Barrage Mahouane (image satellitaire le 10/12/2021).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure III. 2: Diagramme (selon RIVERSIDE) de classification des eaux d'irrigation</i>	<i>29</i>
<i>Figure IV. 1: Ajustement a la loi normale.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure VI. 1: Exemple de borne avec des sorties multiples.....</i>	<i>63</i>
<i>Figure VII 1 Dispositifs d'installation des goutteurs sur la rampe.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure VIII.1: Schéma d'une tranchée.....</i>	<i>84</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I. 1: Précipitations mensuelles de la station de Sétif (1983 - 2018).....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau I. 2: Données de températures recueillis dans la station de Sétif en °C.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau I. 3: Les valeurs de l'humidité relative de l'air en %.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau I. 4: La vitesse du vent en m/s.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau I. 5: Nombre de jours de sirocco durant l'année.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau I. 6: Nombre moyen de jours de gelée blanche.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau I. 7: Moyenne mensuelle de l'insolation.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau I. 8: Caractéristiques climatiques.....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau II-1: Résultat analytique du profil 1.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau II-2: Résultat analytique du profil 2.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau II-4: Les aptitudes culturales associées à chaque zone.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau III.1: Fiche synoptique du barrage de MAHOUANE.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau III. 2 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau III. 3: Composition chimique de l'eau du barrage.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau III.4 : Classification des eaux en fonction du SAR.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau IV. 1: Caractéristiques de la station pluviométrique.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau IV. 2: Pluie moyenne mensuelle observé de la station de FERMATO.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau IV. 3: Test de Wilcoxon de la station de FERMATO.....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau IV. 4: Ajustement a la loi normale.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau III. 10: Année de calcul.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau V. 1: Occupation agricole actuelle.....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau V. 2: Gamme de cultures proposées à la zone d'étude.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau V. 3: Les assolements proposés.....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau V. 4: Calendrier d'occupation des sols pour les cycles culturaux.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau V.6: Estimation des besoins en eau de l'orge en vert.....</i>	<i>50</i>
<i>Tableau V. 7:Estimation des besoins en eau de l'haricot.....</i>	<i>50</i>

<i>Tableau V. 8: Estimation des besoins en eau des petits pois.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau V. 9: Estimation des besoins en eau du concombre.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau V. 10: Estimation des besoins en eau du blé et de l'avoine.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau V. 11: Estimation des besoins en eau de l'oignon et de l'ail.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau V. 12: Estimation des besoins en eau de la tomate.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau V. 13: Estimation des besoins en eau de la pomme de terre (AS).....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau V. 14: Estimation des besoins en eau de la pomme de terre saison.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau V. 15: Estimation des besoins en eau des choux.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau V. 16: Estimation des besoins en eau des carottes.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau V. 17: Estimation des besoins en eau de l'olivier.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau V. 18: Estimation des besoins en eau du pêcher.....</i>	<i>56</i>
<i>Tableau V. 19: Estimation des besoins en eau du pommier.....</i>	<i>56</i>
<i>Tableau V. 20: Besoin en eau de l'assolement 1.....</i>	<i>57</i>
<i>Tableau V. 21: Besoin en eau de l'assolement 2.....</i>	<i>57</i>
<i>Tableau V. 22: Les besoins totaux du périmètre.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau VI. 1: Superficie des différents secteurs du périmètre.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau VI. 2: Choix du diamètre de la borne.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau VI. 3: Calcul des débits des ilots et choix du diamètre des bornes.....</i>	<i>64</i>
<i>Tableau VI. 1: Les paramètres de perte de charge.....</i>	<i>69</i>
<i>Tableau VI. 5: Résultat de calcul (Vitesse, Perte de charge, Pression).....</i>	<i>70</i>
<i>Tableau VII 1 Récapitulatif des calculs hydrauliques.....</i>	<i>79</i>
<i>Tableau VIII-1 : Quantité des travaux de terrassement.....</i>	<i>85</i>
<i>Tableau VIII-2 : Facture des différents types de conduites et pièces spéciales du réseau de Distribution.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau VIII-3 : Coût des travaux de terrassement.....</i>	<i>88</i>

LISTE DES PLANCHES

Planche 1: Plan de situation de secteur 13.

Planche 2: Plan d'implantation du réseau d'irrigation pour secteur 13.

Planche 3: Profil en long de la conduite principale de distribution secteur 13

Planche 4: Profil en travers de la conduite principale de distribution secteur 13.

Planche 5 : Irrigation localisée.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'agriculture, une activité traditionnelle et fondamentalement vitale, est à l'origine de l'émergence des civilisations et donc du développement qui s'en est suivi. Elle s'était développée là où les conditions hydro-pédologiques étaient naturellement aptes à la culture. Ainsi les anciens peuples se sont sédentarisés en pratiquant l'irrigation pour subvenir à leurs besoins vitaux de plus en plus croissants et se prémunir des éventuelles années de « vaches maigres ».

Aujourd'hui, la sécheresse qui a commencé à sévir depuis plusieurs décennies et une pluviométrie capricieuse rendent le problème de l'eau particulièrement difficile. En effet, les ressources en eau sont relativement limitées et se réduisent progressivement, au détriment de l'agriculture.

La situation de l'agriculture en Algérie reste très délicate, la production agricole est étroitement liée à l'intensification de l'agriculture qui ne peut se faire qu'à partir des systèmes d'irrigation modernes.

Une grande partie de la superficie irrigable n'est pas actuellement suffisamment approvisionnée en eau pour permettre des cultures sensibles ou délicates. Le développement de l'agriculture est encore loin et va dépendre de la réalisation d'infrastructures hydrauliques, du renouvellement des populations agricoles et de la gestion des secteurs agricoles.

Le développement nécessite la mise en valeur du potentiel hydraulique, ainsi qu'une politique et une planification des ressources en eau de toutes les infrastructures de mobilisation de l'eau (barrages, réseaux d'irrigation et l'épuration des eaux usées...).

Le présent travail a pour objectif l'aménagement hydro-agricole des plaines Sétifiennes tout en permettant de réaliser les transformations nécessaires pour irriguer la zone délimitée avec l'eau provenant du barrage de «**Mahouane**».

Ainsi, afin de répondre à cet objectif, une étude détaillée du relief et de la pédologie du site sera détaillée dans les chapitres 1,2 et 3, l'analyse des ressources en eau et les besoins en eau des cultures sera détaillée dans les chapitres 4 et 5.

Ce qui permettra dans les derniers chapitres de dimensionner le réseau d'irrigation à partir des eaux du barrage de Mahouane en utilisant les systèmes d'irrigation par goutte à goutte.

En fin une analyse technico économique sera nécessaire pour évaluer la faisabilité du projet hydro-agricole du périmètre des plaines sétifiennes.

CHAPITRE I :

Présentation de la zone d'étude

Introduction

La connaissance et l'analyse des différents facteurs lors de l'élaboration d'un aménagement hydro-agricole sont primordiales dans le cadre d'une bonne conception du réseau d'irrigation.

L'étude détaillée des principaux facteurs climatiques, vont nous permettre de déterminer le type de climat caractérisant la zone d'étude.

Ce chapitre fera l'objet d'une présentation globale du site d'étude, du point de vue situation géographique et conditions climatiques.

I.1) Localisation et présentation de la zone d'étude

I.1.1) Situation géographique :

La province de Sétif est située dans la partie orientale de l'Algérie, à 300 kilomètres de la capitale Alger et à 100 kilomètres de la côte du plateau, qui sépare l'Atlas du nord et du sud, avec une altitude de 800 à 1 000 mètres et une superficie de 6 504 kilomètres carrés. Cette situation fait de la ville de Sétif un climat continental, avec des hivers très froids et des étés très chauds. La région est réputée pour son potentiel pédologique, notamment la haute plaine de Sétif. Ces plaines couvrent 28 228 hectares et sont réparties entre les provinces de Sétif et de Bordj Bou Arreridj.

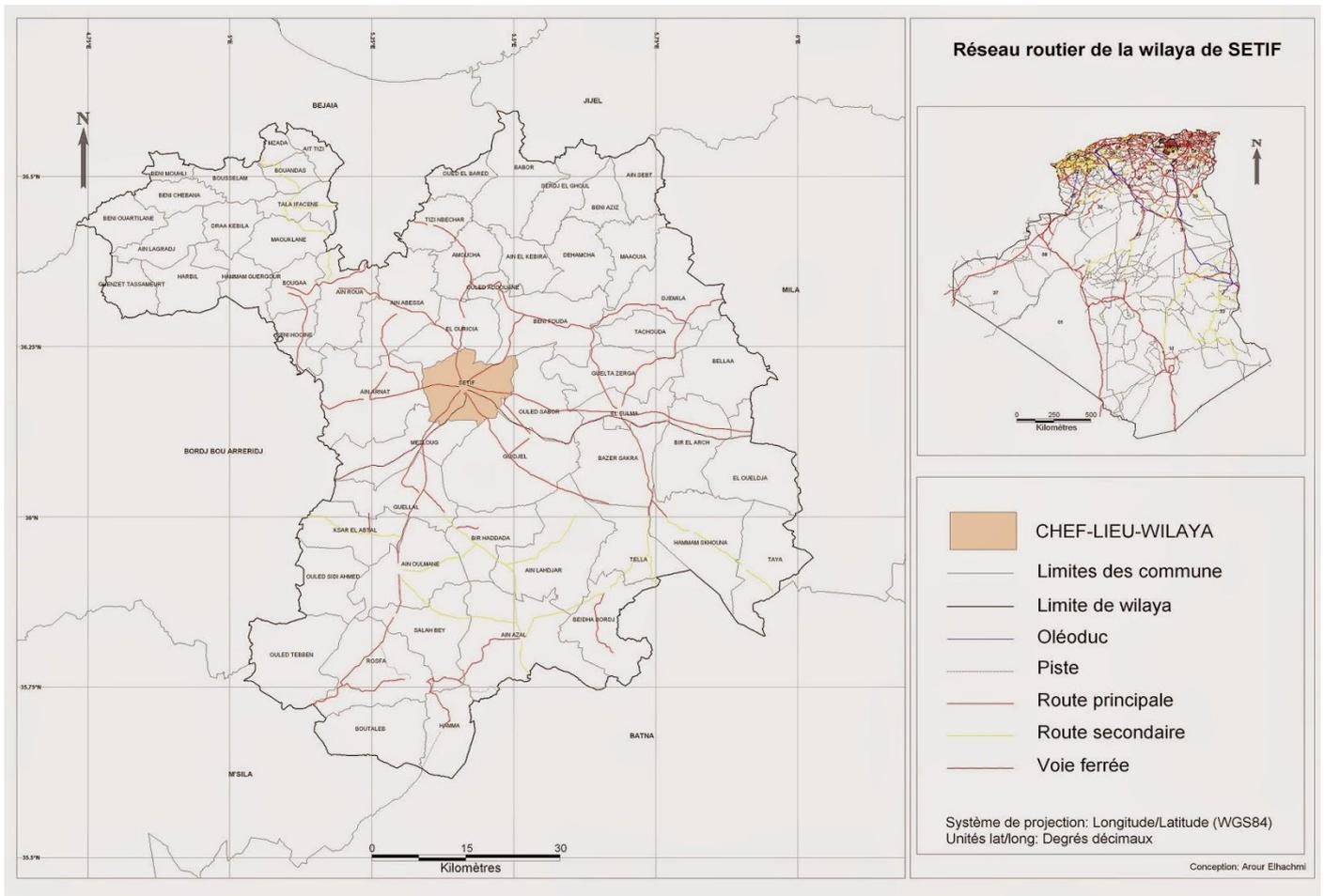


Figure I. 1: Carte de situation de la wilaya de Sétif (source ONID)

La zone d'étude occupe une superficie de 15 000 ha, Nous avons distingué deux plaines :

La plaine de Mezloug est entièrement située dans la wilaya de Sétif. Cette plaine est à plus de 1000 mètres d'altitude et à 300 Km à l'Est d'Alger.

Elle est limitée :

À l'Est par Ain Arnat – Mezloug

À l'Ouest par Bir Kasdali

Au Nord par les monts de la chaîne des Babors

Et au sud par les crêtes du Hodna.

La plaine d'Ain Taghrout est située à la frontière de wilaya Bordj Bou Arréridj. Cette plaine est délimitée par les montagnes Barbos au nord et Ain Arnat Mezloug à l'est. La plaine sera irriguée à partir du barrage Mahouane en amont de l'oued Bou Sellam, qui sera alimenté par le barrage Igil Emda.

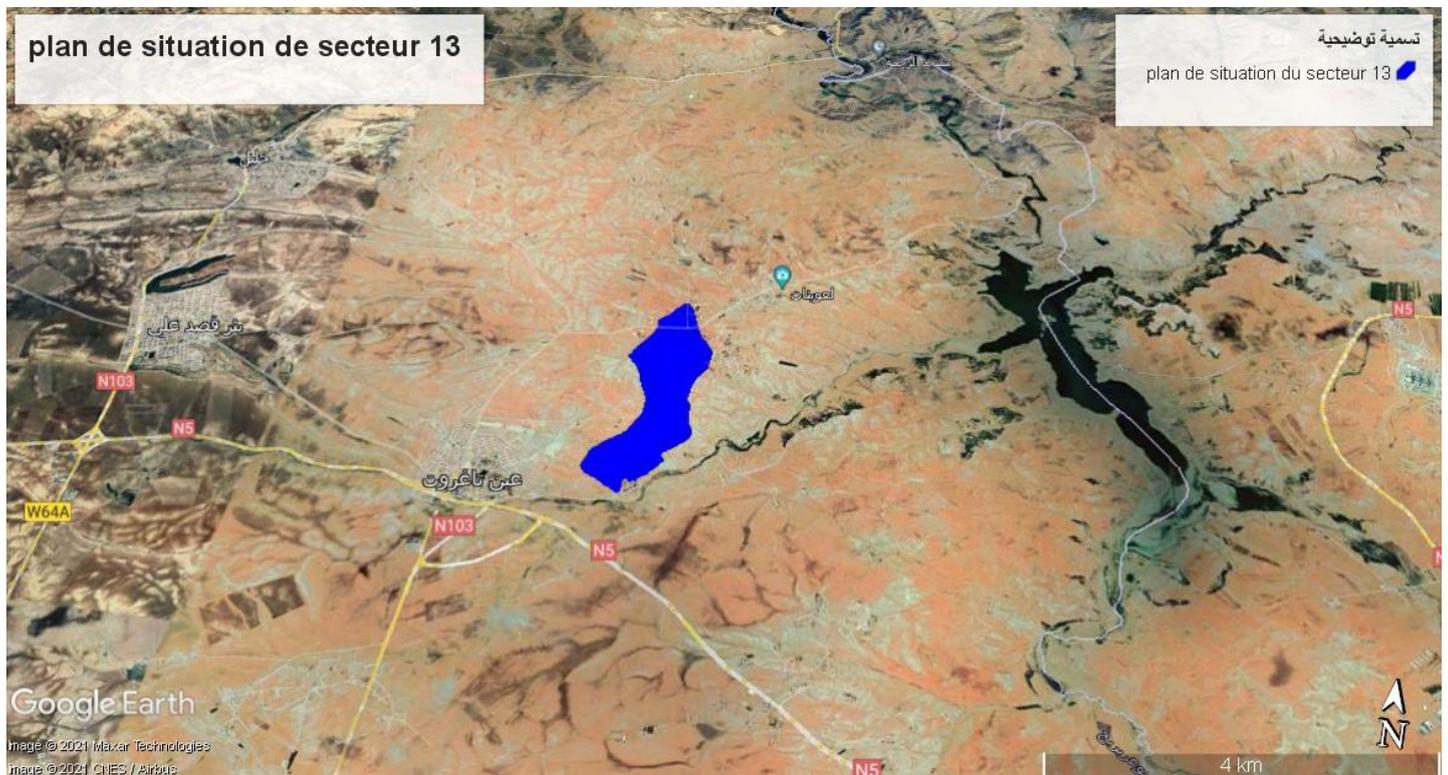


Figure I. 2 : Situation de la zone de projet (image satellitaire)

I.1.2) Voies de communication

Le réseau routier dans la zone d'étude est dans son ensemble bien réparti. Ce réseau routier à l'intérieur des exploitations est formé de plusieurs pistes et chemins de wilaya. Ces routes goudronnées et ces pistes traversent la zone d'étude et permettent une liaison facile entre les exploitations et les routes à grande circulation, telle que: la RN 05 d'Alger à Constantine, la route de Wilaya entre BBA, Hammam Ouled Yellés, Guellal et Guidjel. L'autoroute Est Ouest traverse le périmètre d'irrigation.

I.2) Réseau hydrographique

La zone d'étude est traversée par un ensemble important d'oued. Les principaux oueds qui traversent la région étudiée et par zones sont les suivants :

1- Zone de Mezloug :

Oued Bou Sellam

2- Zone intermédiaire :

Oued Bou Sellam

Oued Tixter

3- Zone de Ain Taghrout:

Oued Ain Taghrout

La zone nord de Sétif est drainée par l'oued Bou Sellam, qui est essentiellement un axe nord-sud, et son affluent de rive droite, l'oued El Guessar, sera situé au-dessus

I.3) Géologie

Les plaines Sétifiennes sont principalement des formations quaternaires, et quelques formations calcaires. Cependant on rencontre aussi des formations du mio-pliocène à l'Ouest de la zone d'étude.

I.3.1) Les formations quaternaires

- ✚ Couches alluviales récentes ou actuelles : Ce sont principalement des limons et graviers rencontrés le long de la vallée de la rivière et quelques galets de grès du Pliocène, qui se caractérisent par un mauvais drainage. Cela permet le développement de plantes herbacées et constitue un excellent pâturage.
- ✚ Terres arables, formation de talus, couches alluviales quaternaires anciennes et indéterminées : ce sont des placages limoneux, qui ne sont facilement submergés que par les crues, et sur lesquels un sol calcaire brun s'est déposé.
- ✚ Villafranchien Possibilité : calcaire lacustre, sol encroûté, gravier de rivière, ces couches sont érodées par l'argile. Il y a une couche de sol peu profonde sur la croûte, et la partie la plus proche est une nouvelle croûte. Son épaisseur est généralement comprise entre 2 et 10 cm. Le carbonate est fourni par la croûte massive, et l'agriculture doit être décomposée.

I.3.2) Les formations moi-pliocenes

- ✚ Miocène continental : sable, limon rouge, gravier et conglomérat. C'est une puissante accumulation d'argiles rouges sablonneuses ou de graves limoneuses calcaires de Mano, correspondant à l'expansion des cours d'eau dans les bassins qui dépendent du bassin de Sétif.

I.4) Conditions climatiques

Les conditions climatiques sont importantes car elles affectent la sélection des cultures et les méthodes de développement. Ils déterminent le potentiel d'évapotranspiration des plantes et leurs besoins en eau.

Dans un projet d'irrigation, outre les facteurs climatiques les plus déterminants liés à la situation géographique du projet et à ses données de température et de précipitations, l'humidité relative, l'évapotranspiration, l'intensité du vent et sa direction, et l'ensoleillement constituent un ensemble de facteurs déterminants.

La zone d'étude a un climat continental semi-aride, avec des hivers froids, des gelées et neiges fréquentes, des étés secs et chauds, et parfois des vents secs et du sud (Sirocco).

Pluviométrie

La situation des précipitations est irrégulière en quantité et en intensité. La brise froide hivernale et printanière du nord et du nord-ouest affecte le cycle des précipitations et affecte la réserve en eau du sol. La pluviométrie annuelle moyenne est de 386 mm/an.

Les précipitations mensuelles moyennes à la station de Sétif citées dans le tableau I.1 indiquent que la quantité d'eau peut atteindre ou parfois dépasser l'accumulation saisonnière hivernale. On peut aussi voir qu'à l'automne, il y a eu le premier orage de précipitations.

Tableau I. 1: Précipitations mensuelles de la station de Sétif (1969 - 2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Pluies (mm)	27.4	29.7	35.1	39.4	33.2	35.7	43.8	44.3	45.6	21.8	8.40	9.9	365.50

Source : O.N.I.D

Températures

Pour l'étude du climat, nous nous sommes référées à la station climatologique de la station de Sétif gérée par l'ONM.

De façon générale, à Sétif l'hiver est très froid notamment le mois de janvier avec une température minimale moyenne de -3°C et le minimum absolu observé est de -8°C.

Par contre l'été se caractérise par une température moyenne maximale pendant le mois de juillet qui avoisine les 37.7°C.

Le risque de gelée s'observe à partir du mois de novembre pour atteindre le maximum pendant la période de décembre à février. Il disparaît fin mars.

Le tableau 2 englobe les températures de l'air d'après les données de l'ONM s'étalant sur une période de 15 ans d'observation comme indiqué

Tableau I. 2: Données de températures recueillis dans la station de Sétif en °C.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Min (°C)	0.5	0.5	3.2	6.1	9.7	14.3	17.7	17.7	14.3	10.6	5	1.8	8.5
Max (°C)	9.4	9.9	13.8	17.4	21.7	27.2	31.4	30.6	25.1	20.5	13.5	10.1	19.2
Moy (°C)	4.4	4.8	8.2	11.5	15.6	20.6	24.4	23.8	19.2	15.1	8.8	5.5	13.5

Source : O.N.M

min : moyenne de tous les minima

Max : moyenne de tous les maxima

Moy : moyenne mensuelle

Humidité relative

L'humidité relative ou état hydrométrique (exprimé en %) est le rapport de la tension de vapeur à la tension maximale. La moyenne mensuelle de l'humidité relative est de **70%** à Sétif.

Tableau I. 3: Les valeurs de l'humidité relative de l'air en %.

Mois	sep	Oct	nov	Dec	jan	fev	mars	avr	Mai	juin	juil	aout
Humidité	60	65	73	77	76	73	66	63	60	51	43	46

Source : O.N.I.D

Vent

Les vents influent considérablement sur le l'évapotranspiration, de plus ils représentent un facteur important dans le cas de l'irrigation par aspersion.

Dans la zone de Sétif, il y a une prédominance des vents Ouest et Nord–Ouest durant la saison froide alors que pendant l'été les vents sont variables. La figure suivante résume la vitesse du vent à travers les mois.

Tableau I. 4: La vitesse du vent en m/s.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
V (m/s)	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8

Source : O.N.I.D

Le sirocco

Le sirocco : Le totale annuelle du nombre de jours de sirocco est de 9 jours environ il se manifeste surtout durant les mois de Mai, Juin et Juillet.

Tableau I. 5: Nombre de jours de sirocco durant l'année.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Jours (Sétif)	0	0	1	2	1	2	3	2	2	2	1	0

Source : O.N.I.D

La gelée

Le problème des gelées est particulièrement important dans les Plaines Sétifiennes. Le maraîchage et les autres espèces sensibles subissent régulièrement des dégâts dus au gel. Ce phénomène par son intensité, sa fréquence et sa localisation conditionnent l'établissement de vergers et l'implantation de cultures nouvelles dans le futur périmètre irrigué.

Le risque de gelée se produit lorsque le minimum moyen de température se situe au-dessous de 10°C. Le phénomène s'observe à partir du mois de novembre pour atteindre le maximum pendant la période de décembre à février. Il disparaît fin mars.

La gelée blanche est un phénomène correspondant à un dépôt de cristaux de glace sur une surface refroidie par rayonnement nocturne. Dans les plaines Sétifiennes, ce phénomène est fréquent.

Tableau I. 6: Nombre moyen de jours de gelée blanche.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Sétif	7.8	6.4	4.2	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.6	9.3	33.5

Source : O.N.I.D

Neiges

En Algérie la quantité et la durée d'enneigement décroît du Nord au Sud.

Ce qui est le cas à Sétif où le nombre de jours neigeux est en moyenne de 14 à 15 jours par an. Elle diffère d'année en année, alors qu'elle constitue la seule forme de précipitation qui alimente les nappes souterraines par de grandes quantités d'eau.

La grêle

La grêle est un phénomène qui se produit fréquemment d'Avril à Mai. On observe en moyenne quatre averses de grêle dans l'année.

L'enseillement

La quantité d'heures d'enseillement dans la région est élevée : la moyenne annuelle est de 8.2 heures par jour. L'enseillement annuel total est de 2 990 heures réparties entre 1 169 heures en hiver et 1 821 heures en été.

Tableau I. 7: Moyenne mensuelle de l'insolation.

Mois	sep	oct	nov	Dec	jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
h/j	9.33	7.16	5.73	4.03	6.32	7.86	7.55	8.63	8.52	11.13	11.9	10.16

Source : O.N.M

I.5) Indices agro-météorologiques

I.5.1) Classification du climat selon l'indice de MARTONE

Le type de la zone climatique est déterminé à partir des données climatiques citées antérieurement, introduits à la formule de « De Martone ».

$$I = P/(T + 10) \dots\dots\dots (I.1)$$

Avec :

I : indice d'aridité.

P : pluviométrie annuelle en mm

T : température moyenne annuelle de l'air en °C.

Donc :

$$I = 365.5 / (13.5 + 10)$$

$$I = 15.55$$

Les limites des zones climatiques d'après l'indice de « De Martone » sont données dans le tableau suivant :

Tableau I. 8: Caractéristiques climatiques.

Valeur de l'indice d'aridité	Type de climat
$I < 5$	Désertique
$5 < I < 10$	Très sec (aride)
$10 < I < 20$	Sec (semi aride)
$20 < I < 30$	Relativement humide (sub-humide)
$I > 30$	Humide

Source: Bulletin n°24 FAO.

Au vu des valeurs de l'indice d'aridité obtenues, à partir de la formule de « Martone », le périmètre des plaines Sétifiennes dont fait objet cette étude, se trouve dans l'étage bioclimatique **semi-aride**.

I.5.2) Classification de climat selon l'indice d'EMBERGER

Le **quotient pluviométrique** ou indice climatique d'Emberger sert à définir les cinq différents types de climats méditerranéens, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne, il s'exprime comme suit :

$$Q = (2000 \times p)/(M^2 - m^2) \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

Q : Coefficient pluviométrique d'Emberger. **P** : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Température maximale du mois le plus chaud (Kelvin).

m: Températures minimale du mois le plus froid (Kelvin).

Pour :

$$p = 365.5 \text{ mm}$$

$$M = 31.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

On a :

$$M = 31.4 + 273 = 304.4 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$m = 0.5 + 273 = 273.5 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\text{AN : } Q = 40.93 \text{ mm}$$

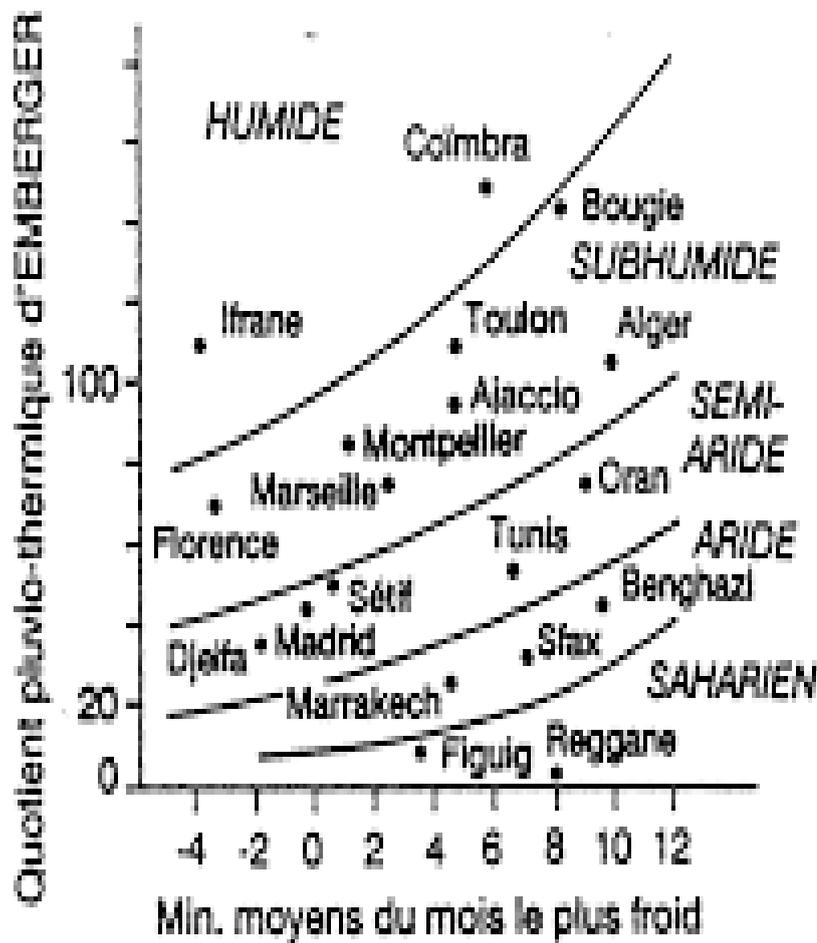


Figure I. 4: Diagramme bioclimatique d'EMBERGER.

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

I.5.3) Classification du climat selon l'indice de BAGNOULS et GAUSSEN

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible, Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (notée ETP).

Selon Henry Gausсен une période donnée est dite aride si : $P < 2 \times T$

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

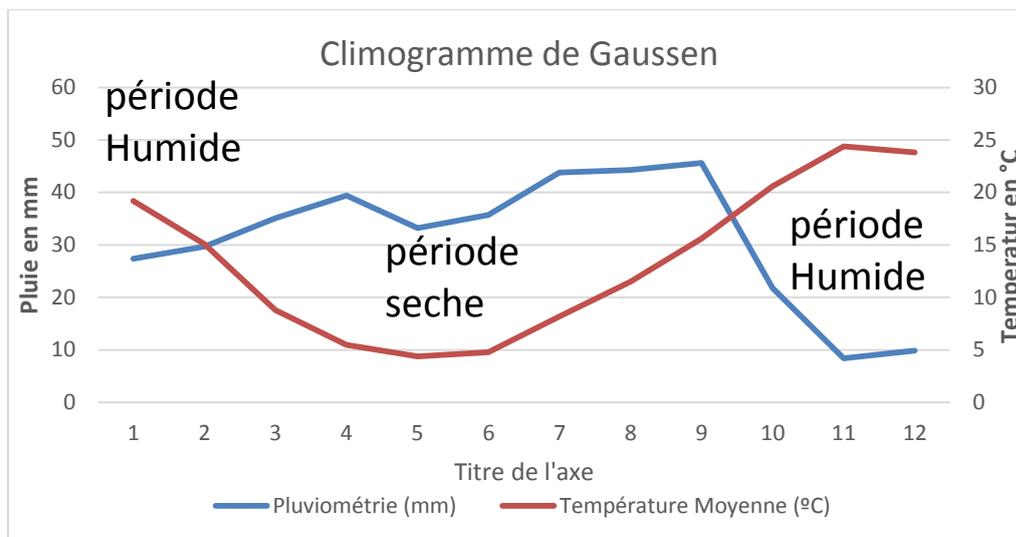


Figure I. 5: Climogramme pluviométrique de Gausсен.

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

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

Conclusion

Dans le présent chapitre nous avons fait une présentation générale de la zone d'étude afin de mieux connaître le périmètre, en particulier les conditions climatiques de la zone d'étude.

Les paramètres agro-météorologiques indiquent que notre zone est soumise à un régime pluviométrique semi-aride. Dans ce cas, l'introduction de l'irrigation s'avère utile pour l'intensification des cultures.

CHAPITRE II :

RESSOURCES EN SOL

Introduction

La pédologie est la science qui étudie la formation et l'évolution d'un sol sous l'action du milieu, du climat, de l'activité biologique, et de la végétation.

L'étude pédologique est un facteur primordial pour prendre en compte la nature et la distribution des caractéristiques et des contraintes relevant des sols.

II.1) Classification des sols

La classification des sols utilisée est celle de la CPCS, 1967, conjointement avec celle de Ruellan, 1975, sur les sols méditerranéens calcaires.

Les critères de classification utilisés sont surtout: la profondeur, la teneur en calcaire total et actif (forme d'accumulation de calcaire), hydromorphie, halomorphie et la recalcarification.

La prospection pédologique et l'analyse des différents échantillons prélevés ont révélés l'existence de deux (02) classes:

- Classe des sols peu évolués
- Classe des sols calcimagnésiques (peu différenciés et différenciés)

Les sols calcimagnésiques occupent la plus grande superficie car on se trouve dans la voie calcimorphe. les sols peu évolués, se sont développés principalement au niveau des terrasses alluviales de Bou sellam, Ben Diab et F'taissa.

II.2) Caractéristiques morphologiques et analyse des sols

a. Les sols peu évolués

Les sols peu évolués ont un profil de type AC et caractérisés par une faible altération du milieu minéral et une faible teneur en matière organique. On les rencontre sur plusieurs types de roches : alluvions récentes, alluvions anciennes, encroutement calcaire et dalle calcaire. Il s'agit de sols formés aux dépens d'un matériau transporté par l'eau, la matière organique, le plus souvent a évolution rapide s'incorpore profondément, Ils sont calcaires dès la surface et a texture fine a très fine.

Profil n°1 :

Situation :

- Localisation : a 15 m d'un forage
- Coordonnées Lambert : X= 740.100 Y=310.650 Z= 892m
- Site : bord de la parcelle
- Topographie : plane
- Géomorphologie : terrasse alluviale
- Utilisation du sol : cultures maraichères et l'arboricultures
- Drainage externe : nul
- Erosion : nulle
- Microrelief : plat
- Aptitude : bonne
- Classification : sols peu évolués- non climatique- d'apport alluvial- modal- sur alluvions récentes- profond- texture argileuse.

Description des horizons :

0-30 cm : état frais, couleur 10YR 5/3.5 (brun), humide, texture argileuse, structure massive a sous structure polyédrique moyenne, collant (trempé), plastique (état humide), cohérent, compact, non poreux, activité biologique faible a nulle, Hcl+++ , transition nette.

30-115 cm : état frais, couleur 10 YR 5/3.5 (brun), humide, texture argileuse, structure massive a sous structure polyédrique prismatique, fiable, collant (trempé), plastique (état humide), peu cohérent, peu poreux (micropores), activité biologique faible (restes des coquilles d'escargots, gastéropodes et quelques radicelles), réaction à l'HCL relativement importante.

Tableau II-1: Résultat analytique du profil 1.

Profondeur (cm)	0-30	30-115
<u>Granulométrie :</u>		
Argile %	57	56
Limons fins%	28	28
Limons grossiers%	8	8
Sables fins%	3	3
Sables grossiers%	1	0
<u>Matière organique :</u>		
Matière organique%	2.41	1.93
C%	14	11.2
N%	1.42	1.19
C/N	10	9
<u>Reserve minérales :</u>		
CaCo3 total	27	27.4
CaCo3 actif	14.74	15.37
P205 total a P%	4.83	4.22
P205 assimilable (ppm)	210	95
K2o%	3.14	3.59
K2o assimilable mg/100g	40	24
<u>Complexe absorbant :</u>		
Ca++ en meq/100g	34	35
Mg++ en meq/100g	3.79	3.20
K+ en meq/100g	0.87	1.63
Na+ en meq/100g	0.46	0.77
T en meq/100g	31	35

Profil n°2 :**Situation :**

- Localisation : à 25 m de la route N5
- Coordonnées Lambert : X= 731.200 Y= 308.650 Z=900 m
- Site : bord de la parcelle
- Topographie : plane
- Géomorphologie : plaine
- Utilisation du sol : les cultures céréalières
- Drainage externe : nul
- Erosion : nulle
- Microrelief : plat
- Aptitude : bonne
- Roche mère : alluvions anciennes
- Classification : sols calcimagnésique, carbonatés, brun calcaire peu différencié, modal, sur alluvions anciennes, profond, texture limono –argileuse

Description des horizons :

0-25cm : état sec, couleur 10YR 4/6 (brun jaunâtre foncé), humide, texture limono-argileuse, 5- 8% de cailloux et graviers calcaires, structure polyédrique fine a particulière, collant (trempé), plastique (etat humide), meuble, poreux, activité biologique moyenne, Hcl+++ , transition nette.

25-50cm : état sec, couleur 10YR 5/4 (jaune brunâtre), humide, texture argileuse, 10-15% de cailloux et graviers calcaires, structure massive a sous structure polyédrique moyenne a fine, collant (trempé), plastique (état humide), cohérent, assez compact, non poreux, activité biologique moyenne, Hcl+++ , transition nette.

50-110cm :état sec, couleur 10 YR 6/6 (jaune brunatre), humide, texture argileuse, 15-20% de cailloux et graviers calcaires, structure massive a sous structure polyédrique moyenne a fine, collant (trempé), plastique (etat humide), cohérent, compact, peu poreux, activité biologique nulle

Tableau II-2: Résultat analytique du profil 2.

Profondeur	0-25	25-50	50-110>
<u>Granulométrie :</u>			
Argile %	34	51	50
Limons fins%	29	32	31
Limons grossiers%	16	5	6
Sables fins%	11	5	6
Sables grossiers%	6	4	3
<u>Matière organique :</u>			
Matière organique%	1.38	0.98	0.69
C%	8.01	5.7	4
N%	1.01	0.65	0.54
C/N	8	9	7
<u>Reserve minérales :</u>			
CaCo3 total	25	44.8	46.4
CaCo3 actif	15.12	18.10	17.73
P205 total a P% P205	1.94	2.85	2.50
assimilable (ppm)	52	20	30
K2o%	1.88	1.39	1.45
K2o assimilable (mg/100g)	24	11.5	12.5
<u>Complexe absorbant :</u>			
Ca++ en meq/100g	24	18	17
Mg++ en meq/100g	3.10	4.50	6.40
K+ en meq/100g	0.71	0.26	0.32
Na+ en meq/100g	0.36	0.43	0.50
T en meq/100g	26	25	24
<u>Solution du sol :</u>			
pH	8.80	7.70	8.10
CE mmhos/cm	0.85	0.81	0.85
<u>Caractéristiques physiques</u>			
pF 4.2	18.6	21.7	-
pF3 K Henin	23	25.7	-
Is	10.2	5.8	-
	-	-	3.7

b. Les sols calcimagnésiques

Les sols calcaires sont des sols dont l'évolution est marquée par la présence en excès

d'ions alcalino-terreux. Il ya deux raisons principales à cette présence de calcaire : Les roches sont fréquemment calcaires puis le régime pluviométrique est peu favorable à un entrainement profond des solutions et en conséquence, a un lessivage du calcaire hors des sols. Ils sont généralement caractérisés par la présence de trois horizons principaux.

Dans la partie moyenne du sol, un horizon d'accumulation de calcaire : horizon qui peut être plus ou moins développé ils sont très répondu dans la zone d'étude.

II.3) Caractéristiques physico-chimique des sols

II3.1) Caractéristiques Physiques

Lors de la prospection pédologique, les horizons décrits ont généralement des structures fragiles, polyédrique moyenne à fine, friable à tendance particulière. Elle devient massive a sous structure polyédrique et prismatico-lamellaire avec des niveaux de compaction assez élevés.

Ces structures défavorables apparaissent à des niveaux peu profonds dans la plupart des sols.

- **La texture :**

La texture du sol permet de préciser les proportions relatives de diverses tailles des particules d'un sol donné.

Les analyses granulométriques ont montrées que les sols possèdent des textures fines à très fines en surface et en profondeur, pour atteindre des taux élevés (>40%).

C'est dans les sols peu évolués que le taux d'argile le plus élevé a été obtenu. Cependant, un nombre significatif d'échantillons possède des textures équilibrées.

Dans les sols à texture fine a très fine, la perméabilité est relativement élevée.

- **La structure :**

La structure permet de préciser l'organisation des divers types de sols et les limites de certains horizons. Elle n'est pas une valeur constante : elle varie dans le temps avec les saisons, en fonction de l'humidité et sous l'effet de la culture. L'agent principal de la structure du sol est l'eau. On parle de structure «stable» ou «instable» selon que le sol est résistant a l'eau et dont les agrégats se délitent ou pas en milieu humide.

Un ensemble de propriétés comme la perméabilité, la porosité et la cohésion sont étroitement liées à la structure.

- **Point de flétrissement et capacité de rétention :**

- a) **point de flétrissement :**

Le point de flétrissement est la quantité d'eau qui correspond à la limite inférieure de l'eau capillaire absorbée par les racines. Dans ces conditions, les forces de succion de la plante égalent la force de rétention capillaire.

Il n'y aura plus d'eau disponible pour la plante, donc la plante va commencée à se faner. Le maintien prolongé de la plante a ce point de flétrissement provoque des accidents importants de la végétation.

Les valeurs trouvées du point de flétrissement pour les différents types de sols sont les suivants :

- 13 à 20 % pour les sols peu évolués avec une moyenne de 15 %.
- 13.5 à 20 % pour les sols calcimagnésiques peu différenciés avec une moyenne de 18%.

b) Capacité de rétention :

La caractéristique du sol de pouvoir retenir l'eau constitue sa capacité de rétention, elle est exprimée en % de la terre sèche. Celle-ci varie suivant les sols en sens inverse de la grosseur des constituants granulaire, c'est-à-dire:

- pF3 : correspond à la capacité de rétention des sols à texture fine.
- pF2.5 : correspond à la capacité de rétention des sols à texture légère et sols sableux.

Les résultats analytiques de la capacité de rétention, a pF3 car la majorité des sols ont des textures fines donnent les valeurs suivantes :

- 22 à 28 % pour les sols peu évolués avec une moyenne de 26 %.
- 19 à 26 % pour les sols calcimagnésiques peu différenciés avec une moyenne de 24 %.

II.3.2) Caractéristiques Chimique

- **Le PH :**

Le PH est un coefficient caractérisant l'acidité ou la basicité du milieu. Il a une influence sur l'ensemble des réactions chimiques du sol.

Dans les horizons de surface, les valeurs du PH se situent entre 7.5 et 8, ce qui correspond a des horizons faiblement a moyennement alcalin. Alors qu'en profondeur, les valeurs les plus fréquentes reviennent entre 7.8 et 8.20. En définitive, on enregistre, à peu près les mêmes valeurs en surface et en profondeur. Ceci revient à la présence de calcaire total et actif en quantité importante dans les sols. Cette alcalinité provient surtout de l'aridification du climat , l'absence de lessivage et une pluviométrie peu abondante.

- **La capacité d'échange cationique (CEC) :**

La capacité d'échange cationique (CEC), exprimée en meq/100g traduit la richesse du sol en éléments nutritifs. Les résultats analytiques donnent les valeurs assez intéressantes, entre 16 et 32 meq/100g, ce qui correspond a des sols moyennement riches en éléments nutritifs. Dans les horizons de surface, elle reste supérieure a 18 meq/100g. Cependant, les valeurs les plus fréquentes obtenues se situent entre 16 et 25 meq/100g.

- **le calcium** : les résultats analytiques du calcium (ca++) obtenus se situent entre 16 et 28 meq/100g. ces valeurs correspondent à des sols saturés en calcium. Cependant, les valeurs supérieures a 30 meq/100g sont enregistrées dans certains sols peu évolués et calcimagnésiques, il ya une saturation en ion calcium. L'analyse de l'élément calcium se trouve en quantité le plus souvent supérieure ou égale à celle de la capacité d'échange cationique.
- **Le magnésium** : la présence du magnésium sur le complexe absorbant en quantité élevée est responsable de l'alcalinisation des sols dans les plaines setifiennes qui augmente le PH. Les résultats analytiques révèlent des quantités inférieurs a 2.5 meq/100g, le plus souvent inferieure a 2 meq/100g. dans les sols peu évolués, on enregistre des valeurs comprises entre 5.7 et 13 meq/100g,

Le magnésium étant retenu moins facilement par le pouvoir absorbant et il est plus rapidement lessivé.

II.4) Aptitudes culturales

- **Détermination des aptitudes culturales des sols**

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

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

- **CATEGORIE I**

Zone à irriguer en priorité. Ce sont des sols dont la profondeur est supérieure à 80 cm, à structure généralement favorable, qui ne posent pas de problèmes de mise en valeur.

Leurs

aptitudes en irrigation sont bonnes pour les cultures industrielles, céréalières et fourragères, bonnes pour les cultures maraîchères et les cultures arbustives.

- **CATEGORIE II**

Ce sont des sols moyennement profonds à profonds, mais qui demandent des travaux tels que les labours profonds ou sous-solage avant toute irrigation. Structure généralement favorable. Leurs aptitudes culturales sont généralement bonnes à moyennes pour les cultures industrielles et maraîchères et moyennes pour les cultures céréalières et fourragères. Quelques unités conviennent moyennement aux cultures arboricoles. Les travaux d'aménagements se rapportent aux amendements organiques et minéraux, à un labour profond et à la lutte contre les inondations pluviales.

Les classes des aptitudes culturales du périmètre d'étude sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II-4: Les aptitudes culturales associées à chaque zone.

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

Conclusion

L'étude pédologique est primordiale avant tout aménagement hydro-agricole d'un périmètre.

L'analyse approfondie des sols et l'analyse physico-chimique montrent que les sols calcimagnésiques sont les plus répondus dans le secteur, et qui présentent les caractéristiques suivantes

- Texture limono-argileuse.
- Stabilité structurale moyenne.
- Une bonne capacité de rétention.

L'analyse des aptitudes culturales, a révélé que les sols ne présentent pas de grandes restrictions vis-à-vis des spéculations agricoles les plus consommées dans la région.

CHAPITRE III :

RESSOURCES EN EAU

Introduction

Dans l'étude d'aménagement hydro-agricole d'un périmètre, il faut vérifier premièrement la disponibilité des ressources en eau qui peuvent alimenter nos périmètres, La plupart des périmètres irrigués sont confrontés aux problèmes de la rareté de l'eau d'irrigation qui diffèrent selon les régions bioclimatique et agro-pédologiques. Pour cela Dans ce chapitre, nous allons essayer de présenter les ressources en eaux qui peuvent alimenter notre zone d'étude pour que nous puissions localiser et surtout quantifier l'eau nécessaire à l'irrigation.

III.1) Alimentation en eau du périmètre :

III.1.1) le barrage de Mahouane :

La ressource en eau provient du système de transfert qui est composé de l'ouvrage principal qu'est le barrage de Mahouane dans la Wilaya de Sétif. Ce dernier est la seule source d'eau pour le périmètre des Plaines Sétifiennes. Il est situé à 14 km au nord du périmètre d'irrigation sur le tracé de l'actuelle route RN-75. Ce barrage fonctionnera à mode de réservoir d'eau, puisque la plupart d'eau de celui-ci proviendra du transvasement du barrage d'Ighil Emda, situé à 20 km environ au nord. La dotation d'eau de ce transvasement est de 121 hm^3 par an, avec un apport testimonial du bassin versant du propre barrage de Mahouane estimé en $2,6 \text{ hm}^3$ environ par an. Des 121 hm^3 annuels nommés dans le tableau ci-dessus, dont $88,9 \text{ hm}^3$ approximativement seront destinés à l'irrigation du périmètre et les 33 hm^3 restants seront destinés à l'approvisionnement en eau potable de la ville de Sétif.



Figure III. 1: Situation de Barrage Mahouane (image satellitaire le 10/12/2021)

III.1.2) Caractéristiques principales du Barrage :

Le barrage de Mahouane est un barrage de type digue en enrochements avec noyau étanche en argile avec une cote de crête de 1.149 m NGA. Le réservoir a une capacité utile d'exploitation de 147,4 Mm³ une cote minimale d'exploitation de 1.083 m et on a établi une cote minimale d'exploitation pour l'irrigation de 1.106 m. Cette cote a été établie pour garantir l'alimentation en eau potable de la ville de Sétif pendant un temps minimum de 6 mois.

Tableau III.1: Fiche synoptique du barrage de MAHOUANE

RESERVOIR		
Volume de la tranche morte	Mm ³	0,5
Capacité utile d'exploitation	Mm ³	147,40
Capacité totale	Mm ³	147,90
Cote du fond de la vallée au droit du barrage	NGA	1073,00
Cote minimale d'exploitation	NGA	1083,00
Cote de la limite d'utilisation	NGA	1088,60
Superficie du plan d'eau à la limite d'utilisation	Ha	39
Cote de la retenue normal	NGA	1146,30
Superficie du plan d'eau à la retenue normale	Ha	534
Cote des plus hautes eaux	NGA	1146,70
Volume régularisé	Mm ³	121

III.2) Qualité des eaux d'irrigation

La qualité chimique de l'eau provenant du barrage d'Ighil Emda a été étudiée sur des Échantillons prélevés au long de diverses années.

La classification des eaux d'après la qualité chimique à été établie selon le diagramme de caractérisation et de classification de la qualité d'eaux d'irrigation de Saline et Alcal Soils (1945) coïncidant dans sa totalité avec les critères de Blasco et De la Rubia (1973), et suivant deux critères, respectivement, celui de la conductivité électrique (CE) en microhms/cm et celui du rapport d'absorption de sodium (SAR).

Limites admissibles

La classification des eaux suivant la qualité chimique a été établie selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation, en fonction de deux paramètres, celui de la conductivité électrique CE, et le rapport d'adsorption du Sodium SAR.

- **Conductivité Electrique (CE) :**

La conductivité électrique est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25° C et exprimée en mMho/cm. On distingue quatre classes de danger de salinité de l'eau en fonction de la conductivité électrique :

Tableau III. 2 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique (mMho/cm)	Qualité de l'eau
C1	$CE \leq 0.25$	Eau de risque faible
C2	$0.25 < CE \leq 0.75$	Eau de risque moyen
C3	$0.75 < CE \leq 2.25$	Eau de risque élevé
C4	$CE > 2.25$	Eau de risque très élevé

C1 : convient pour toutes les cultures ;

C2 : convient pour les plantes moyennement tolérantes ;

C3 : ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes ;

C4 : eau difficilement utilisable sur sol bien drainé.

- **Le coefficient d'absorption du sodium (S.A.R) :**

Le taux de sodium adsorbé est un paramètre permettant d'estimer le degré de saturation du complexe d'échange cationique (CEC) en ions Sodium. En anglais, le "Sodium Adsorption Ratio" ou SAR, d'une eau constitue un critère d'appréciation de son pouvoir alcalinisant. Sa formule chimique est la suivante :

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

Tableau III. 3: Composition chimique de l'eau du barrage.

Elément	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	NO3 mgN/l	SO4 mg/l	CE Mmhos/cm	Alcalinité totale mg/CaCO3	PH
Barrage	70	26	17	0.3	167	0.760	130	7.9

$$\text{S.A.R.} = \frac{17}{\sqrt{\frac{70+26}{2}}} = 2.45$$

Tableau III.4 : Classification des eaux en fonction du SAR

Classe	SAR	Risque
S1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
S4	$SAR > 26$	Risque très élevé

S1 : L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.

S2 : Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

S3 : Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage,

lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.

S4 : Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement mpropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

C1-S1 : eau de bonne qualité. Précautions avec les plantes sensibles ;

C1-S2, C2-S1 : qualité moyenne à bonne à utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers) ;

C2-S2, C1-S3 : qualité moyenne à médiocre à utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse ;

C1-S4 : qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds ;

C2-S3, C3-S2 : utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse ;

C2-S4, C4-S2 : qualité mauvaise. A n'utiliser, avec beaucoup de précautions, que dans les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes ;

C3-S3 : risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables ;

C3-S4 : qualité très mauvaise. A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles ;

C4-S4: eau déconseillée pour l'irrigation.

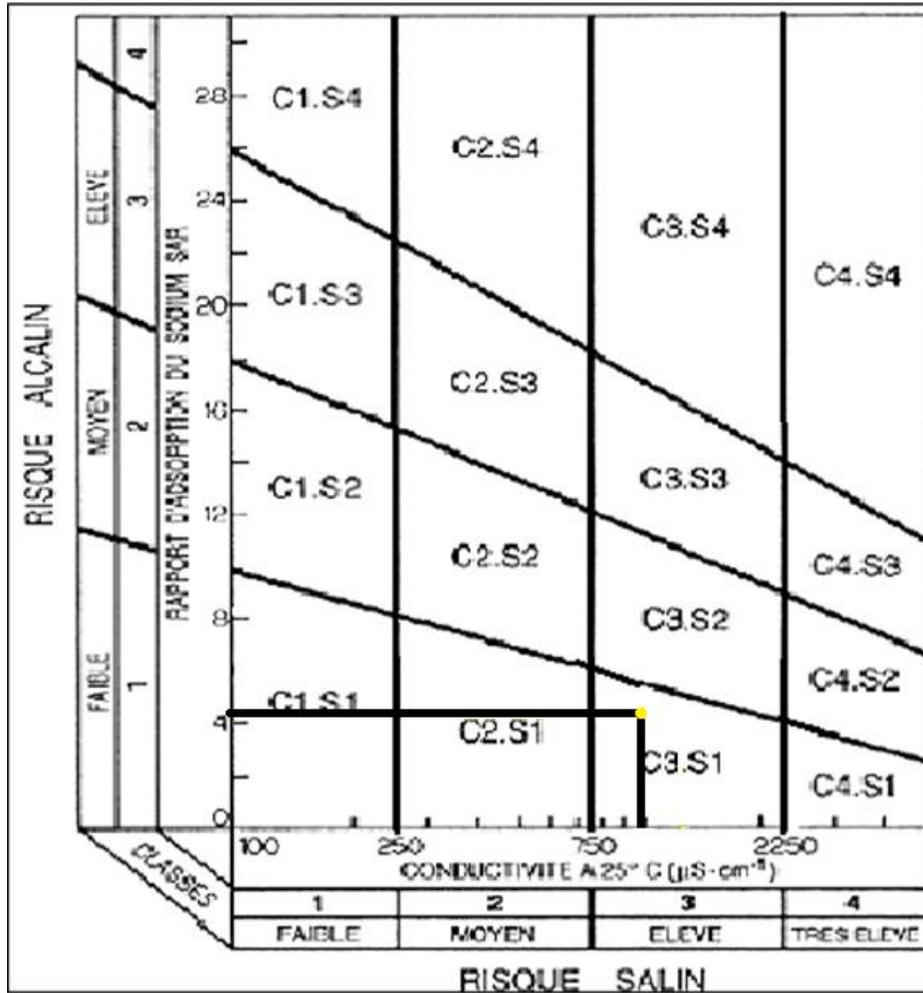


Figure III. 2: Diagramme (selon RIVERSIDE) de classification des eaux d'irrigation

Conclusion

D’après les valeurs moyennes de la (CE = 0.76) et du (SAR = 2.45) des résultats d’analyse d’eau, l’eau de barrage Mahouane est classée en C3 S1; Classe S1 (SAR varie de 0 à 10), la quantité du sodium est qualifiée de faible, cette eau ne posera pas de problèmes sauf éventuellement aux arbres fruitiers; Classe de salinité C3 (CE varie de 0,75 à 2,25 mmhos/cm), la salinité est qualifiée de forte rarement très forte, elle n’est autorisée que sur des sols bien drainés et sur cultures tolérantes. Il est à noter que les normes proposées par cette classification sont reconnues comme très sévères, car plusieurs essais ont montré l’utilisation des eaux salées qualifiées de dangereuses, tout en obtenant des résultats satisfaisants. Toutes fois une attention particulière sera accordée au traitement des eaux industrielles afin de préserver une meilleure qualité de l’eau sans risque de contamination.

CHAPITRE IV :
Etude hydrologique

Introduction

L'étude hydrologique est nécessaire dans les projets d'irrigation, elle permet de déterminer les pluies de fréquences données, qui conditionnent l'étude de notre projet d'aménagement hydro - agricole, tels que :

- ✓ Le calcul des besoins des cultures projetées dans le périmètre.
- ✓ Le dimensionnement du réseau de distribution

IV.1) Choix de la station pluviométrique :

Pour bien caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité une série d'observations sur une période de référence de 31 ans, relevée dans la station de Fermato codée (150610).

Tableau IV. 1: Caractéristiques de la station pluviométrique.

La station pluviométrique	Code	Coordonnées Lambert			altitude	Période d'observation	Nombre d'années d'observation
		X(Km)	Y(Km)	Z(Km)			
FERMATO	150610	742	328.6	960	960	1969/2010	41

La série pluviométrique de la station de Fermato est donnée dans le tableau suivant :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Tot
1983	29,4	2	47,7	46,2	10	69,3	56,7	79,7	91,3	15	16,8	28,2	492,3
1984	31	45	43,8	44,4	26,2	8,4	5,7	16,2	3,4	17,8	0	3	244,9
-1985	0	11,5	17	10	1	5	19,5	29,7	36,5	5	0	1	136,2
1986	0	17,2	6,9	1,4	24,4	23,4	42,2	77,1	8,9	22,7	3	1,4	228,6
1987	23,2	0	40,7	79,3	15,6	40,6	162,5	17,1	20,8	0	0	0	399,8
1988	10,9	15,2	24,5	97,9	23,5	22	45,1	27,7	16,1	25,6	0	26,7	335,2
1989	30,8	23,3	10,4	63,5	96	54,3	57,9	80,9	68,9	30,7	0	13,8	530,5
1990	62,2	53,1	59,9	51	5,5	9,9	14,4	26,4	19	6,4	11,9	25	344,7
1991	0,3	25,3	13,7	29,3	78,9	84	0	51,4	19,7	8	2,5	6,1	319,2
1992	7,5	112,7	11,5	116,3	54,7	25,8	94,4	32,2	42,1	0,9	24,6	0,3	523
1993	39	48,9	30,5	39,3	38,2	35	70,3	23,1	32,4	31,8	9,5	12,6	410,6
1994	6,4	40,9	52,3	42,6	30,1	92,1	28,4	15,7	38,4	0	19	4,6	370,5
1995	8,3	22,8	49,2	39,4	24,3	6	45,2	40,1	49,1	28,6	8,5	1,1	322,6
1996	26,7	2,7	30	136,5	29,1	42,6	33,2	72,1	31,4	41,3	23,8	19,7	489,1
1997	39,5	8,8	10,3	14,1	35	0	22,9	66,3	51,4	35,4	7,9	14,8	306,4
1998	31,7	3,9	96,8	83,1	15,2	54	93,6	41,5	120,2	3,7	25,4	5	574,1
1999	37,3	77,6	30,6	19,2	51	30,8	29,3	104,5	71,6	22	46,6	3,5	524
2000	56,8	14,8	30,2	111,1	47,6	54,3	36	18,9	45,8	4,8	1,2	23,5	445
2001	33,7	11,1	47,2	73,4	30,7	64,7	17,2	36,4	3,7	0	14,9	8	341
2002	62,8	60	7,7	31,2	68,5	38,3	75,2	42,1	2,5	48,4	0,6	1,4	438,7
2003	41,9	34	14,8	35,4	60,8	138,7	28,8	33,9	59,4	36,4	1,8	9,1	495
2004	18,8	15,3	12,7	48,9	35,8	15,1	5	37,4	23,4	17,5	11,5	23,6	265
2005	43,9	33,4	89	65,3	26,6	56,6	16,7	62,9	98,2	25,5	0	8,8	526,9
2006	148,3	23,7	103,4	45,3	65,8	54,4	27,4	12,5	3,9	20	3,1	2,5	510,3

2007	61,1	37,4	24,5	100,7	11,4	8,2	13	17,1	34,5	6	0	6,8	320,7
2008	39,5	35,5	18,6	77,5	95	27,7	9,1	18,1	22,7	0	0	1,8	345,5
2009	55,9	7,1	23,9	9,9	26	39,7	31,7	18,6	20,2	0	29,8	0	262,8
2010	5,2	9,2	130,1	142,1	165,1	43	32,4	82,6	38,7	35,8	16,5	26,1	726,8
2011	14,4	66,1	13,5	137,9	59,4	19,6	50,7	74,9	105,4	9,9	1	56,6	609,4
2012	26	24,9	50,1	122,2	32,6	54,7	20	49,1	1,5	34,3	1,8	6,3	423,5
2013	28,4	8,4	67,9	50,3	66,1	34,1	16,8	24,7	63,1	3,8	4,5	2,3	370,4
2014	49,2	0,3	2,5	55,9	7	22,9	90,1	67,1	14,5	21,4	0	0,9	331,8
2015	29,8	22,8	17	24,8	12,6	14,1	51	19,2	45,2	5,1	22,1	15,1	278,8
2016	21,5	77	32,6	43,8	83,9	42,8	43,8	73,2	2,8	5,7	11,2	0	438,3
2017	62,6	6,8	36,6	34,7	38,4	34,7	52,3	35,2	46,7	30,5	3,6	10,6	392,7
2018	8	45,3	34,5	27,4	9,5	106,5	18,4	37,5	15,9	28,4	0	11,9	343,3
Moy	32,42	32,25	34,14	56,79	43,47	39,79	42,97	41,74	36,74	17,60	8,50	9,82	396,2

Tableau IV. 2: Pluie moyenne mensuelle observé de la station de FERMATO.

Remarque :

D'après les résultats du tableau pendant la période 1983 –2018, On a remarqué une irrégularité dans la répartition des précipitations et aussi une variabilité mensuelle et annuelle. Ces pluies sont nettement insuffisantes pour les mois de juillet et août, elles sont moyennes au printemps et maximales en hiver.

IV.2) Etude statique des précipitations :

IV.2.1) Etude de l'homogénéisation de la série pluviométrique:

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au test de Wilcoxon ou test des rangs, ce test permet l'homogénéisation de la série sans qu'il fasse appel à une autre série pluviométrique homogène d'une station voisine, étalé sur la même période d'observation.

Soient 2 variables aléatoires Y et X, représentant respectivement 2 séries de précipitations annuelles de taille N1 et N2.

Y étant la série à étudier et X étant la série de base avec $N2 > N1$.

Si l'échantillon Y est issu de la même population que l'échantillon X, l'échantillon nouveau YUX est également issu de la même population.

On classe les éléments de ce nouvel échantillon Y U X par ordre décroissant et on associe à chacune des valeurs le rang qu'elle occupe dans cette série.

On calcul les quantités W_y et W_x :

Wilcoxon a montré par la suite que la série est homogène avec une probabilité de 95% si la relation ci-dessous est vérifiée :

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

W_y : somme des rangs des Y_i

$$W_{\min} = \frac{(n-1)(n+m+1)}{2} - 1,96 \sqrt{\frac{nm(n+m+1)}{12}}$$

$$W_{\max} = \frac{(n-1)(n+m+1)}{2} + 1,96 \sqrt{\frac{nm(n+m+1)}{12}}$$

n : taille de l'échantillon X

m : taille de l'échantillon Y

Alors :

$$W_y = 282 ; W_{\min} = 272.15 ; W_{\max} = 431.85$$

Donc :

$$271.15 < W_y < 431.85$$

Rang	Série	X	Y	Tri	X U Y
1	492,3	492,3	438,7	726.8	Y
2	244,9	244,9	495	609.4	Y
3	136,2	136,2	265	574.1	Y
4	228,6	228,6	526,9	530.5	X
5	399,8	399,8	510,3	526.9	Y
6	335,2	335,2	320,7	524	X
7	530,5	530,5	345,5	523	X
8	344,7	344,7	262,8	510.3	Y
9	319,2	319,2	726,8	495	Y
10	523	523	609,4	492.3	X
11	410,6	410,6	423,5	489.1	X
12	370,5	370,5	370,4	445	X
13	322,6	322,6	331,8	438.7	Y
14	489,1	489,1	278,8	438.3	Y
15	306,4	306,4	438,3	423.5	Y
16	574,1	574,1	392,7	410.6	X
17	524	524	343,3	399.8	X
18	445	445		392.7	Y
19	341	341		370.5	X
20	438,7			370.4	Y
21	495			345.5	Y
22	265			344.7	X
23	526,9			343.3	Y
24	510,3			341	X
25	320,7			335.2	X
26	345,5			331.8	Y
27	262,8			322.6	X
28	726,8			320.7	Y
29	609,4			319.2	X
30	423,5			306.4	X
31	370,4			278.8	Y
32	331,8			265	Y
33	278,8			262.8	Y
34	438,3			244.9	X
35	392,7			228.6	X
36	343,3			136.2	X

Tableau IV. 3: Test de Wilcoxon de la station de FERMATO.

La condition de Mr Wilcoxon est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelles de la station de Fermato code (150610) est homogène.

IV.2.2) Ajustement statistique des pluies :

Les séries pluviométriques peuvent être ajustées par de nombreuses lois statistiques, pour notre projet on utilise celles qui garantissent le meilleur ajustement possible.

- Loi de Gauss ou loi normale.

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

L'ajustement des séries par la loi normale appelée souvent loi de Gauss s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles.

Le procédé de calcul consiste à:

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

Variable réduite de gauss:

$$U = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

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

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

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

$$XP\% = X + \delta * Up\%$$

Avec:

XP%: précipitation de probabilité P%.

Up%: variable réduit de Gauss.

δ : Écart type
$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots(IV.12) \quad , \text{ pour } n > 30$$

\bar{X} : Moyenne arithmétique.
$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \dots\dots\dots(IV.13)$$

Pour le calcul on a utilisé le logiciel HYFRAN, dans ce cas, nous avons :

Station: FERMATO

Résultat de l'ajustement a la loi normale (maximum de vraisemblance)

Nombre d'observation : 36

Mu: 396,285714

Sigma: 118,365236

Quantiles:

q= F(x) (probabilité au non dépassement)

T=1/ (1-q)

Tableau IV. 4: Ajustement a la loi normale.

T	Q	XT	ECART TYPE	Intervalle de confiance (95%)
50	0.98	639	32,5	576-703
20	0.95	591	28,2	536-646
10	0.9	548	24,8	499-597
2	0.5	396	18.3	360-432
1.25	0.2	297	21.3	225-338
5	0.8	496	21.3	454-538

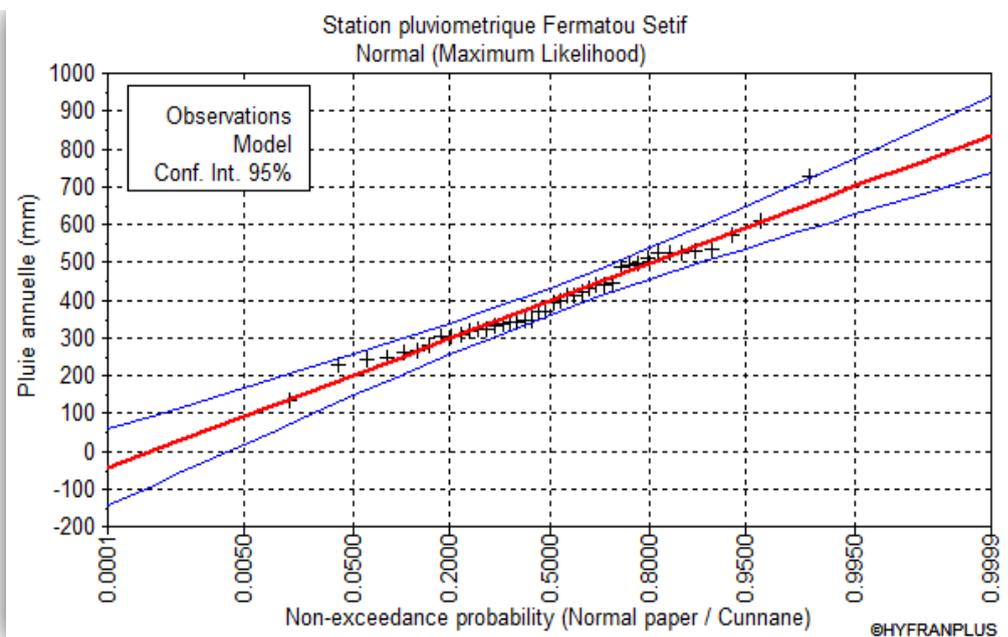


Figure IV. 1: Ajustement a la loi normale.

IV.3) Détermination de l'année de calcul :

Le but principal de la détermination de l'année de calcul, est de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante, c'est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%).

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

$$P_{i, 80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (80\%) Annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) Annuelle}}} \dots\dots\dots (IV.14)$$

D'après le tableau d'ajustement à la loi normale on trouve :

$$\frac{P(80\%)}{P(50\%)} = 1.3$$

On remarque que: $\frac{P(80\%)}{P(50\%)} > 1$ donc l'année de calcul sera obtenu par la loi suivante :

$$P_{i, 80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (20\%) Annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) Annuelle}}} \dots\dots\dots (IV.15)$$

$$\frac{P(20\%)}{P(50\%)} = 0.77$$

Donc $P_{i, 80\%}$ de chaque mois est donnée dans le tableau suivant :

Tableau III. 10: Année de calcul.

Mois	sep	oct	Nov	Dec	jan	Fev	mars	Avril	mai	Juin	juil	aout
P_{moy} y (mm)	32,42	32,25	34,14	56,79	43,47	39,79	42,97	41,74	36,74	17,60	8,50	9,82
$P_{80\%}$ (mm)	24,96	24,83	26,29	43,73	33,47	30,64	33,09	32,14	28,29	13,55	6,55	7,56

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous sommes efforcés dégager les principales caractéristiques statistiques de la série pluviométrique, retenue comme représentative, de la zone de projet.

On a utilisé le test de la loi normale qui a montré un ajustement à considérer concernant l'ajustement des séries des pluies moyennes annuelles la loi normal a été adopté.

Les calculs manuels des expressions statistiques vont prendre plus temps, mais avec l'utilisation de l'outil informatique, on aboutit facilement aux résultats escomptés à l'aide des logiciels tel quel L'HYFRAN, nous a permis l'élaboration des analyses statistiques les plus courantes en hydrologie.

CHAPITRE V :

BESOINS EN EAU DES CULTURS

Introduction

Les pluies, en particulier leur part efficace, fournissent une partie de l'eau requise pour satisfaire les besoins d'évapotranspiration des cultures. Le sol peut stocker une partie de l'eau de pluie et la restitue aux cultures en période de déficit. Sous les climats humides, ce mécanisme suffit pour assurer une croissance satisfaisante dans des systèmes de culture sans irrigation. Dans des conditions arides ou en cas de saison sèche prolongée, il est nécessaire d'irriguer pour compenser le déficit d'évapotranspiration (transpiration des cultures et évaporation à partir du sol) dû à l'insuffisance ou à l'irrégularité des précipitations.

La consommation d'eau pour l'irrigation est définie comme étant le volume d'eau nécessaire pour compenser le déficit, d'une part l'évaporation potentielle et d'autre part les pluies efficaces pendant la période de croissance des cultures et le changement dans la teneur en eau du sol. Elle varie considérablement en fonction des conditions climatiques, des saisons, des cultures et des types de sol.

L'objectif de ce chapitre est de quantifier les besoins en eau des cultures sur la base des calculs définis auparavant, telle que les doses et les dates d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures cultivées au cours de la période de végétation, afin de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

V.1) Occupation du périmètre : les cultures envisageables

Afin de quantifier les besoins en eau des cultures, il faut étudier et prévoir l'évolution de la répartition culturale de la situation existante et celle projetée dans le périmètre. Ce passage permettra l'augmentation des superficies occupées par les cultures rémunératrices. Tels que : le maraichère en plein champs, ainsi que l'arboriculture fruitée.

V.1.1) Situation Actuelle

Le système agraire des Plaines Sétifiennes peut être défini comme un classique système Agraire extensif privilégiant l'assolement biennal (céréales – jachère) en association avec l'élevage ovin et bovin.

La situation actuelle des cultures à la zone à aménager se résume dans le tableau suivant:

Tableau V. 1: Occupation agricole actuelle.

occupation	Surface agricole (ha)	Répartition (%)
Maraichères	18.99	6.33%
Céréale	269.04	89.68%
Improductif	0.72	0.24%
Foret	0.06	0.02%
Terrain de parcours	4.2	1.40%
Autres	6.99	2.33%
Total	300	100%

Concernant les rendements, Ce sont très faibles dans tous les produits. Par exemple les céréales ont un rendement moyen de 10 Qx/ha.

V.1.2) Situation Future

L'objectif de la mise en irrigation est de transformer a moyen terme l'actuel système agraire biennal, en un système de polyculture tout en réduisant les céréales et encourageant les cultures intensives (maraichères et arboriculture) et les cultures fourragères, afin d'augmenter le taux d'occupation du sol, et dynamiser la croissance économique du secteur agricole qui se traduira par une élévation des revenus des agriculteurs, et une offre importante en travail.

V.2) Cultures proposées pour la zone :

L'élection des cultures s'est réalisée en base à deux critères économiques:

- La marge nette attendue par un hectare de culture
- La valorisation du mètre cube d'eau d'irrigation par un hectare de culture

La gamme de cultures proposées se présente au tableau suivant :

Tableau V. 2: Gamme de cultures proposées à la zone d'étude.

Cultures		Surface en (%)	Surface en (ha)
Céréaliculture	Blé	35	105
	Orge en vert		
Cultures fourragères	Avoine	10	30
Maraichage	Pomme de terre saison	35	105
	Pomme de terre arrière saison		
	Tomate		
	Oignon vert		
	Ail		
	concombre		
	Carotte		
	haricot		
	Petit pois		
Choux			
Cultures arboricoles à noyaux	Pécher (pleine production)	20	60
	Pommier (pleine production)		
	Olivier (pleine production)		
Total		100%	300

V.3) Rotation et assolements :

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

L'assolement proposé est détaillé dans le tableau suivant:

Tableau V. 3: Les assolements proposés.

Assolement 1	Assolement 2
Blé – Avoine	Orge en vert
Blé	Pomme de terre (S)
Ail + Oignon vert	Tomate
Pomme de terre (S)	Haricot
Tomate	Oignon
Choux	Petits pois
Pomme de terre (AS)	tomate
Concombre	Carotte
Arboriculture : Pêcher, Olivier, pommier.	Arboriculture : Pêcher, Olivier, pommier.

V.4) Calendrier d'occupation des sols :

La répartition d'occupation des sols, relative aux cycles culturaux retenus pour le projet, est tracée dans le calendrier ci-dessous

Tableau V. 4: Calendrier d'occupation des sols pour les cycles culturaux.

Cultures	Sept	Oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	
Céréales													
Blé			←—————→										
orge vert			←—————→										
Fourrage													
Avoine			←—————→										
Maraichage plein champs													
Pomme de terre arrière saison	←—————→												
Pomme de terre saison						←—————→							
Tomate saison							←—————→						
Oignon vert		←—————→											

Cultures	Sept	Oct	nov	Dec	Jan	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
Concombre										←	→	→
Ail		←	→			→						
Carotte	←	→			→							
Haricot	→	→			←	→		→		←	→	→
Petit pois Sais	←	→		→								
Choux												
Arbres à noyaux	←	→										→
Pécher												
Pommier	←	→										→
Olivier												

V.5) Besoins en eau du périmètre

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme la dose apportée à la plante dans des moments propices, afin de mettre celle-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir son rendement maximal. Pour cela on définit :

V.5.1) L'évapotranspiration

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, $m^3/ha/jour$, en $m^3/ha/mois$, ou en $m^3/ha/an$. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en $mm/jours$ ou par mois ou par an.

On distingue: l'évapotranspiration de référence (ET_0) et l'évapotranspiration maximale (ETM).

- **L'évapotranspiration de référence (ET_0) :**

L'évapotranspiration de référence (ET_0) est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal abondant bien alimenté en eau lorsque l'énergie (évaporation de l'atmosphère) est le seul facteur qui limite cette évaporation.

C'est l'évapotranspiration d'une culture (généralement le gazon) bien fournie en eau ou le sol est à sa capacité de rétention, autrement dit c'est la limite maximal de l'évapotranspiration.

- **L'évapotranspiration Maximale (ETM) ou Besoins en eau des cultures (ET_c):**

Lorsque l'eau n'est plus un facteur limitant au niveau de l'absorption racinaire (conditions hydriques optimales), la régulation stomatique est minimale et l'évapotranspiration de la culture pendant un stade végétatif est maximal.

Dans ce cas, les besoins en eau des cultures se calculent comme suit :

$$ETM = K_c \times ET_0 \quad \dots\dots\dots (V.1)$$

Avec :

K_c : Représente le coefficient cultural, dépendant du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatiques qui y règnent.

ET_0 : Evapotranspiration de référence.

V.5.2) METHODES D'EVALUATION D'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE (ETP OU ET0)

L'évapotranspiration potentielle peut être évaluée selon plusieurs méthodes:

- L'évapotranspiromètre (mesures directes).
- Les stations expérimentales.
- Formules empiriques.

Il existe plusieurs formules empiriques parmi lesquelles, on peut citer :

- Formule de Thornthwaite (1948).
- Formule de Penman.
- Formule de Blaney- Criddle (1959).
- Formule de Turc (1960).
- Formule de Bouchet (1960)

Dans notre cas, nous avons estimé l'évapotranspiration de référence ET_0 par la méthode de Penman-Monteith.

V.5.3) Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET0) par la formule Penman- Monteith :

La détermination de l'évapotranspiration de référence (ET_0) est calculée en se basant sur la formule de Penman-Monteith modifiée:

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

Avec:

ET_0 : évapotranspiration de référence [mm jour-1]

R_n : rayonnement net à la surface de la culture [MJ m-2 jour-1] G : densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m-2 jour-1]

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

U_2 : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s-1]

dd_{mm} : Pression de vapeur saturante [kPa]

dd_{rr} : Pression de vapeur réelle [kPa]

$dd_{mm} - dd_{rr}$: Déficit de pression de vapeur saturante [kPa]

γ : Constante psychrométrique [kPa °C-1]

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

Pour l'exécution des calculs, nous avons appliqué le logiciel **CROPWAT** version **8.0**, où nous avons introduit les données mensuelles de la station météorologique de Setif.

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

Le tableau suivant présente l'évapotranspiration de référence (ET₀), calculée à l'aide du logiciel CROPWAT.

Tableau V.5 : Calcul de l'évapotranspiration.

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sunshine	Radiation	ET ₀
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	0.5	9.4	76	251	6.3	10.0	1.30
February	0.5	9.9	73	268	7.9	13.9	1.78
March	3.2	13.8	66	268	7.5	16.6	2.71
April	6.1	17.4	63	251	8.6	20.8	3.70
May	9.7	21.7	60	251	8.5	22.2	4.64
June	14.3	27.2	51	251	11.1	26.4	6.28
July	17.7	31.4	43	233	11.9	27.3	7.14
August	17.7	30.6	46	242	10.1	23.4	6.38
September	14.3	25.1	60	233	9.3	19.9	4.42
October	10.6	20.5	65	242	7.2	14.1	2.98
November	5.0	13.5	73	242	5.7	10.0	1.66
December	1.8	10.1	77	242	4.0	7.4	1.19
Average	8.4	19.2	63	248	8.2	17.7	3.68

V.6) Calcul de la pluie efficace

La pluie efficace est définie comme étant la fraction des précipitations qui contribuent effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation en profondeur etc.

Ces pertes sont estimées à 20% de la pluie tombée. Pour l'appréciation de la pluie efficace on distingue deux (2) cas :

$$P_{\text{eff}} = 0.8 \times P_{\text{moy}} \quad \dots\dots\dots (\text{V.3})$$

Avec :

P_{moy} : Est la pluie moyenne mensuelle.

Dans le cas, où la pluie efficace (P_{eff}) est inférieure à 5mm, P_{eff} est remise à zéro.

V.7) Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures

$$B = \text{ETM} - (P_{\text{eff}} + \text{RFU}) \quad \dots\dots\dots (\text{V.4})$$

Avec:

B : besoin en eau d'irrigation (mm).

E.T.M : évapotranspiration (mm/mois).

P_{eff} : pluie efficace

RFU : c'est la réserve facilement utilisable par les cultures, dans cette approche elle exprime l'humidité du sol du mois précédent accessible aux cultures. Le calcul de la RFU se fait comme suit :

$$\text{RFU} = Y \times (\text{Hcc} - \text{Hpf}) \times \text{Da} \times Z \quad \dots\dots\dots (\text{V.5})$$

Avec :

Hcc : Humidité à la capacité aux champs (25%) **Hpf** : Humidité au point de flétrissement (15%) **Da** : densité apparente (1.4)

Y : degré de tarissement (2/3)

Z : profondeur d'enracinement en mm

Remarque : L'irrigation est faite lorsque **Bh** (bilan hydrique) > 0

V.8) Estimation des besoins en eau des cultures

Les besoins en eau de chaque culture sont donnés dans les tableaux suivant:

Tableau V.6: Estimation des besoins en eau de l'orge en vert.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	Kc	ETM	B(mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38						
Novembre	35.1	28.08	49.8	0,30	28.14	9.38	0,30	14.94	
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,50	46.9	15.63	0,30	11.067	
Janvier	33,2	26.56	39	0,50	46.9	15.63	0,50	19.5	
Février	35.7	28.56	49.84	0,60	56.28	18.76	0,50	24.92	
Mars	43.8	35.04	81.3	0,60	56.28	18.76	1,00	81.3	27.5
Avril	44.3	35.44	111	0,60	56,28	18.76	1,15	127.65	73.45
Mai	45.6	36.48	139.2	0,70	65,66	21.88	1,00	139.2	80.84
Juin	21.8	17.44	188.4						
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 7: Estimation des besoins en eau de l'haricot.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B(mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6	0,70	65,66	21,88	0,90	119.34	77.49
Octobre	29.7	23.76	92.38	0,70	65,66	21,88	0,85	78.523	32.88
Novembre	35.1	28.08	49.8						
Décembre	39.4	31.52	36.89						
Janvier	33,2	26.56	39						
Février	35.7	28.56	49.84						
Mars	43.8	35.04	81.3						
Avril	44.3	35.44	111						
Mai	45.6	36.48	139.2						
Juin	21.8	17.44	188.4	0,50	46,9	7,65	0,50	94.2	69.11
Juillet	8.4	6.72	214.2	0,50	46,9	22,95	0,65	139.23	109.56
Août	9.9	7.92	197.78	0,70	65,66	16.415	0,95	187.891	163.55

Tableau V. 8: Estimation des besoins en eau des petits pois.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B(mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38						
Novembre	35.1	28.08	49.8						
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,40	37.52	7.50	0,50	18.445	
Janvier	33,2	26.56	39	0,70	65.66	21.88	0,80	31.2	
Février	35.7	28.56	49.84	0,70	65.66	21.88	1,00	49.84	
Mars	43.8	35.04	81.3	0,70	65.66	21.88	0,95	77.235	20.315
Avril	44.3	35.44	111	0,70	65.66	21.88	0,50	55.5	
Mai	45.6	36.48	139.2			0		0	
Juin	21.8	17.44	188.4					0	
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 9: Estimation des besoins en eau du concombre.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B(mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38						
Novembre	35.1	28.08	49.8						
Décembre	39.4	31.52	36.89						
Janvier	33,2	26.56	39						
Février	35.7	28.56	49.84						
Mars	43.8	35.04	81.3						
Avril	44.3	35.44	111						
Mai	45.6	36.48	139.2	0,40	37,52	9.38	0,38	52.896	7.036
Juin	21.8	17.44	188.4	0,45	42.21	0,00	0,57	107.388	89.948
Juillet	8.4	6.72	214.2	0,50	46,9	0,00	0,85	182.07	175.35
Août	9.9	7.92	197.78	0,60	56,28	0,00	0,85	168.113	160.193

Tableau V. 10: Estimation des besoins en eau du blé et de l'avoine.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38						
Novembre	35.1	28.08	49.8	0,30	28,14	9.38	0,40	19.92	
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,50	46,9	15.63	0,70	25.823	
Janvier	33,2	26.56	39	0,50	46,9	23.45	0,85	33.15	
Février	35.7	28.56	49.84	0,60	56,28	28.14	0,95	47.348	
Mars	43.8	35.04	81.3	0,60	56,28	28.14	1,05	85.365	22.185
Avril	44.3	35.44	111	0,60	56,28	18.76	1,05	116.55	62.35
Mai	45.6	36.48	139.2	0,60	56,28	18.76	0,80	111.36	56.12
Juin	21.8	17.44	188.4	0,60	56,28	0,00	0,75	141.3	123.86
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 11: Estimation des besoins en eau de l'oignon et de l'ail.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38	0,40	37,52	0,00	0,50	46.19	22,43
Novembre	35.1	28.08	49.8	0,40	37,52	12.5	0,75	37.35	
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,40	37,52	12.5	0,95	35.046	
Janvier	33,2	26.56	39	0,40	37,52	12.5	0,95	37.05	
Février	35.7	28.56	49.84	0,40	37,52	12.5	0,75	37.38	
Mars	43.8	35.04	81.3						
Avril	44.3	35.44	111						
Mai	45.6	36.48	139.2						
Juin	21.8	17.44	188.4						
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 12: Estimation des besoins en eau de la tomate.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_The o	RFU_ree l	KC	ETM	B(mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38						
Novembre	35.1	28.08	49.8						
Décembre	39.4	31.52	36.89						
Janvier	33,2	26.56	39						
Février	35.7	28.56	49.84						
Mars	43.8	35.04	81.3	0,70	65,66	8.21	0,50	40.65	
Avril	44.3	35.44	111	0,90	84,42	21.11	0,85	94.35	37.8
Mai	45.6	36.48	139.2	1,20	112,56	37.52	1,15	160.08	86.08
Juin	21.8	17.44	188.4	1,20	112,56	0,00	0,90	169.56	152.12
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 13: Estimation des besoins en eau de la pomme de terre (AS).

Mois	P moy(m m)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_The o	RFU_reel	KC	ETM	B(mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38	0,40	37,52	0,00	0,50	46.19	22,43
Novembre	35.1	28.08	49.8	0,60	56,28	18.76	0,70	34.86	
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,60	56,28	18.76	1,00	36.89	
Janvier	33,2	26.56	39	0,60	56,28	18.76	0,75	29.25	
Février	35.7	28.56	49.84						
Mars	43.8	35.04	81.3						
Avril	44.3	35.44	111						
Mai	45.6	36.48	139.2						
Juin	21.8	17.44	188.4						
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 14: Estimation des besoins en eau de la pomme de terre saison.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6						
Octobre	29.7	23.76	92.38						
Novembre	35.1	28.08	49.8						
Décembre	39.4	31.52	36.89						
Janvier	33,2	26.56	39						
Février	35.7	28.56	49.84	0,40	37,52		0,50	24.92	
Mars	43.8	35.04	81.3	0,60	56,28	12,50	0,75	60.975	13.435
Avril	44.3	35.44	111	0,60	56,28	18,76	1,05	116.55	62.35
Mai	45.6	36.48	139.2	0,60	56,28		0,75	104.4	67.92
Juin	21.8	17.44	188.4						
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 15: Estimation des besoins en eau des choux.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6	0,30	28,14	0,00	0,50	66.3	46.33
Octobre	29.7	23.76	92.38	0,40	37,52	9.38	0,70	64.67	31.53
Novembre	35.1	28.08	49.8	0,50	46,9	15.63	0,95	47.31	3.6
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,60	56,28	15.63	0,80	29.51	
Janvier	33,2	26.56	39						
Février	35.7	28.56	49.84						
Mars	43.8	35.04	81.3						
Avril	44.3	35.44	111						
Mai	45.6	36.48	139.2						
Juin	21.8	17.44	188.4						
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 16: Estimation des besoins en eau des carottes.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6	0,30	28,14	0,00	0,42	55.69	35.72
Octobre	29.7	23.76	92.38	0,40	37,52	9.38	0,70	64.67	31.53
Novembre	35.1	28.08	49.8	0,50	46,9	15.63	0,81	40.34	
Décembre	39.4	31.52	36.89	0,60	56,28	15.63	0,77	28.41	
Janvier	33,2	26.56	39	0,70	65,66	18.76	0,57	22.23	
Février	35.7	28.56	49.84						
Mars	43.8	35.04	81.3						
Avril	44.3	35.44	111						
Mai	45.6	36.48	139.2						
Juin	21.8	17.44	188.4						
Juillet	8.4	6.72	214.2						
Août	9.9	7.92	197.78						

Tableau V. 17: Estimation des besoins en eau de l'olivier.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6	1,50	140,7	0,00	0,85	112.71	92.74
Octobre	29.7	23.76	92.38	1,50	140,7	46,9	0,85	78.52	7.86
Novembre	35.1	28.08	49.8	1,50	140,7	46,9	0,75	37.35	
Décembre	39.4	31.52	36.89	1,50	140,7	46,9	0,65	23.98	
Janvier	33,2	26.56	39	1,50	140,7	46,9	0,65	25.35	
Février	35.7	28.56	49.84	1,50	140,7	46,9	0,65	32.40	
Mars	43.8	35.04	81.3	1,50	140,7	46,9	0,65	52.85	
Avril	44.3	35.44	111	1,50	140,7	46,9	0,65	72.15	
Mai	45.6	36.48	139.2	1,50	140,7	46,9	0,65	90.48	7.1
Juin	21.8	17.44	188.4	1,50	140,7	0,00	0,80	150.72	133.28
Juillet	8.4	6.72	214.2	1,50	140,7	0,00	0,90	192.78	186.06
Août	9.9	7.92	197.78	1,50	140,7	0,00	0,90	178.00	170.08

Tableau V. 18: Estimation des besoins en eau du pêcher.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6	1,50	140,7	0,00	0,55	72.93	52.96
Octobre	29.7	23.76	92.38	1,50	140,7	46,9	0,55	50.81	
Novembre	35.1	28.08	49.8	1,50	140,7	46,9	0,55	27.39	
Décembre	39.4	31.52	36.89	1,50	140,7	46,9	0,75	27.67	
Janvier	33,2	26.56	39	1,50	140,7	46,9	0,75	29.25	
Février	35.7	28.56	49.84	1,50	140,7	46,9	0,75	37.38	
Mars	43.8	35.04	81.3	1,50	140,7	46,9	0,75	60.98	
Avril	44.3	35.44	111	1,50	140,7	46,9	0,55	61.05	
Mai	45.6	36.48	139.2	1,50	140,7	0,00	0,55	76.56	40.08
Juin	21.8	17.44	188.4	1,50	140,7	0,00	0,55	103.62	86.18
Juillet	8.4	6.72	214.2	1,50	140,7	0,00	0,55	117.81	111.09
Août	9.9	7.92	197.78	1,50	140,7	0,00	0,55	108.78	100.86

Tableau V. 19: Estimation des besoins en eau du pommier.

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_Theo	RFU_reel	KC	ETM	B (mm)
Septembre	27.4	19,97	132.6	1,50	140,7	0,00	0,70	92.82	72.85
Octobre	29.7	23.76	92.38	1,50	140,7	46,9	0,70	64.67	
Novembre	35.1	28.08	49.8	1,50	140,7	46,9	0,70	34.86	
Décembre	39.4	31.52	36.89	1,50	140,7	46,9	0,70	25.82	
Janvier	33,2	26.56	39	1,50	140,7	46,9	0,70	27.3	
Février	35.7	28.56	49.84	1,50	140,7	46,9	0,70	34.89	
Mars	43.8	35.04	81.3	1,50	140,7	46,9	0,80	65.04	
Avril	44.3	35.44	111	1,50	140,7	46,9	0,85	94.35	12.01
Mai	45.6	36.48	139.2	1,50	140,7	0,00	0,85	118.32	81.84
Juin	21.8	17.44	188.4	1,50	140,7	0,00	0,70	131.88	114.44
Juillet	8.4	6.72	214.2	1,50	140,7	0,00	0,70	149.94	166.66
Août	9.9	7.92	197.78	1,50	140,7	0,00	0,70	138.45	130.53

Calcul des besoins en eau des assolements

Le calcul des besoins en eau des cultures pour les deux assolements est reporté dans les tableaux ci-dessous. Nous pouvons ainsi dégager le mois de pointe qui correspond au mois où la demande en eau est maximale.

Tableau V. 20: Besoin en eau de l'assolement 1.

Mois	Blé	avoine	ail	Oignon	Pomme de terre (AS)	tomate	Pomme de terre (S)	concombre	choux	pommier	olivier	Pêcher	total
Sep									46.33	72.85	92.74	52.96	264.88
Oct			22,43	22,43	22,43				31.53		7.86		106.68
Nov									3.6				3.6
Dec													
Jan													
Fev													
Mars	22.185	22.185					13.435						57.805
Avr	62.35	62.35				37.8	62.35			12.01			236.86
Mai	56.12	56.12				86.08	67.92	7.036		81.84	7.1	40.08	402.296
Juin	123.86	123.86				152.12		89.948		114.44	133.28	86.18	823.688
Juil								175.35		166.66	186.06	111.09	615.72
aout								160.193		130.53	170.08	100.86	561.663

Tableau V. 21: Besoin en eau de l'assolement 2.

Mois	Orge en vert	tomate	Haricot	oignon	Petit pois	Carotte	Pomme de terre (S)	pommier	pêcher	olivier	total
Sep			77.49			35.72		72.85	52.96	92.74	331.76
Oct			32.88	22,43		31.53				7.86	94.7
Nov											
Dec											
Jan											
Fev											
Mars	27.5				20.315		13.435				61.25
Avr	73.45	37.8					62.35	12.01			185.61
Mai	80.84	86.08					67.92	81.84	40.08	7.1	363.86
Juin		152.12	69.11					114.44	86.18	133.28	555.13
Juil			109.56					166.66	111.09	186.06	549.93
Aout			163.55					130.53	100.86	170.08	565.02

V.8.1) Calcul des débits spécifiques

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

$$q = \frac{B_m}{T \times t \times 3.6 \times K} \text{ (l/s/ha)} \quad \dots\dots\dots \text{(IV.5)}$$

B_m : Besoin mensuel maximum net, exprimé en m³/ha ;

T : Temps d'irrigation par jour;

t : Nombre de jours du mois d'irrigation, exprimée en jour ; égale à 30 J

K : Coefficient d'efficacité globale du système d'irrigation ≈ 0.75

$$q_s = \frac{793.85 \times 10 \times 1000}{30 \times 24 \times 3600 \times 0.75} = 4.08 \text{ (l/s/ha)}$$

Le débit spécifique obtenu est supérieur à 1.5, ce qui pourrait aboutir à un surdimensionnement. On prend donc le débit spécifique de la culture la plus exigeante (Olivier) pour le mois de pointe.

Donc le débit spécifique pris en considération pour notre périmètre est de :

$$Q_{sp} = 1.0 \text{ (l/s /ha)}$$

V.8.2) Calcul du débit caractéristique

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

$$Q \text{ caractéristique} = Q_{sp} \times \text{surface}$$

La surface totale est égale a : **300 ha**

D'où :

$$Q \text{ caractéristique} = 1.0 \times 300 = 300 \text{ l/s}$$

V.9) Estimation des besoins en eau totaux du périmètre

Le volume des besoins en eau égale le besoin de la culture en m³ multiplié par la surface de la culture.

On trouve les résultats dans le tableau suivant :

Tableau V. 22: Les besoins totaux du périmètre.

Les cultures	La surface de la culture (ha)	Besoins nets (mm)	Efficienc	Besoins bruts de la culture m ³ /ha	Les volumes des besoins en eau en m ³
Blé	105	264.515	0.75	3526.86	370321
Avoine	30	264.515	0.75	3526.86	105806
Ail	10.5	22.43	0.75	299.06	3140.2
oignon	10.5	22.43	0.75	299.06	3140.2
Pomme de terre (AS)	5.25	22.43	0.75	299.06	1570.1
Choux	15.74	81.46	0.75	1086.13	17095.738
Tomate	15.74	276	0.75	3680	57923.2
Pomme de terre (S)	31.5	143.705	0.75	1916.06	60356.1
Concombre	15.75	458.02	0.75	6106.93	96184.2
Olivier	20	597.12	0.75	7961.6	159232
pommier	20	554.89	0.75	7398.53	147970.66
Pêcher	20	391.17	0.75	5215.6	104312

On remarque que le volume total des besoins en eau de notre périmètre est de 1127051.39 m³, ce volume peut être déduit du barrage de Mahouane.

Conclusion

Dans Ce chapitre, nous avons mis en évidence les besoins en eau d'irrigation des cultures mises en place sur la surface d'étude de **300 ha**.

Le volume des besoins en eau d'irrigation, réservés a l'irrigation de la surface d'étude sont de l'ordre de **1127051.398m³**, prélevés à partir du barrage **Mahouane** d'une capacité totale de **147.9 Mm³**.

De ces résultats on peut conclue que la capacité du barrage suffit largement à alimenter la surface d'étude.

CHAPITRE VI :

Etude du système de distribution

Introduction

L'objectif du présent chapitre, est de faire l'optimisation du réseau de distribution de l'eau destiné à l'irrigation des plaines Setifiennes. Pour cela nous allons dimensionner les différents ouvrages d'adduction et de distribution.

VI.1) Présentation du périmètre des plaines Sétifiennes

La zone d'étude concerne les plaines setifiennes qui englobent deux (02) plaines :

- La plaine de Mezloug est entièrement située dans la Wilaya de Sétif. Cette plaine est à plus de 1000 mètres d'altitude et à 300 km à l'Est d'Alger.
- La plaine d'Ain Taghrout se localise à la limite est de la Wilaya de Bordj Bou Arréridj. Cette plaine est limitée au Nord par les Monts des Babors, à l'Est par Ain Arnat-Mezloug.

Dans le but du développement et de l'augmentation de la production agricole on s'est intéressé à l'aménagement hydro-agricole des plaines setifiennes d'une superficie de 15 764.8 ha, le périmètre irrigué a été divisé en treize (13) secteurs.

Les secteurs ont été divisés en îlots de telle sorte que la surface de l'îlot alimenté à partir d'une prise ne dépasse pas 20 Ha. Ils ont été pris en considération dans la délimitation des îlots les propriétés, les routes, et les pistes ainsi que les infrastructures existantes de même que la topographie de terrain. Le périmètre a été divisé en 296 îlots.

Le tableau suivant montre la superficie des différents secteurs:

Tableau VI. 1: Superficie des différents secteurs du périmètre.

Secteurs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
Superficies (ha)	1609.6	1677.4	1753.7	1189.4	1122.7	1966	1195.2	1303.2	964.6	693.4	828.4	1161.2	300	15764.8

Dans notre thèse, l'étude est basée sur l'aménagement hydro-agricole du secteur 13 d'une superficie de 300 ha. La zone d'étude se trouve dans la commune d'Ain taghrout wilaya de Bordj Bou Arréridj .

VI.2) Organisation du périmètre : plan de bornages

VI.2.1) Disposition des îlots d'irrigation

Le terme <îlot d'irrigation> décrit l'unité hydro agricole, alimentée par une seule borne d'irrigation. Dans le cas d'un réseau de distribution au niveau du périmètre, la borne représente le point limite du réseau où l'administration du réseau intervient directement dans la gestion de l'eau. En aval de la borne, la gestion de l'eau est à la charge de l'exploitant, ou d'un groupe d'exploitants.

VI.2.2) Points spéciaux d'une conduite :

Avant de décrire le réseau de distribution, les points spéciaux qui peuvent y avoir en une conduite sont analysés et sont résolus dans le présent projet.

Alors **Les points spéciaux** d'une conduite sont:

- ✓ Les points hauts, où seront installées des ventouses trifonctionnelles d'entrée et de Purge d'air.
- ✓ Les points bas, où, dans quelques-uns, seront installés des dérivations pour vidanger l'eau.
- ✓ Les dérivations vers les branches.
- ✓ Les sectionnements intermédiaires.

VI.2.3) Rôle et fonction de la borne d'irrigation

La borne d'irrigation est un appareil fonctionnant à la demande, qui assure les fonctions suivantes:

- Ouverture / fermeture de l'alimentation en eau
- Réglage du débit
- Régulation de la pression aval
- Comptage du volume d'eau utilisé

Il est prévu que les bornes d'irrigation seront conçues en admettant le principe de la desserte individuelle, c'est à dire que chaque unité foncière à l'intérieur d'un îlot aura sa propre sortie équipée d'un compteur individuel.

La figure ci-dessous montre un type de borne avec des sorties multiples pour l'irrigation d'un îlot formé de 3 et 8 parcelles.



Figure VI. 1: Exemple de borne avec des sorties multiples.

VI.3) Calcul hydraulique des bornes :

Le débit de chaque borne pouvant desservir un ilot est donné par la formule suivante :

$$Q_b = q_s \times S \dots\dots(V.1)$$

Tel que:

Q_b : Débit de chaque ilot en l/s

q_s : Débit spécifique en l/s/ha

S : Superficie de l’ilot en ha

VI.3.1) Choix du diamètre de la borne :

Les diamètres des bornes en fonction des débits sont détaillés dans le tableau suivant :

Débit fourni	Diamètre de la borne
Q < 40 m ³ /h (11.11) l/s	D= 65mm
40 m ³ /h (11.11l/s) < Q < 80 m ³ /h (22.22 l/s)	D= 100mm
80 m ³ /h (22.22 l/s) < Q < 1200 m ³ /h (33.33 l/s)	D= 150mm
Q > 1200 m ³ /h (33.33 l/s)	D= 200 mm

Tableau VI. 2: Choix du diamètre de la borne.

Le calcul des débits des prises et des bornes est présenté dans le tableau suivant :

Tableau VI. 3: Calcul des débits des ilots et choix du diamètre des bornes.

N° des bornes	Nombre de parcelles	Surface planimétrique (ha)	Débit spécifique (l/s/ha)	Débit brut (l/s)	Débit de la borne (l/s)	Diamètre de la borne (mm)
B50	Tot	21,11	1	21,11	21,11	100
	1	8,86	1	8,86		
	2	7,71	1	7,71		
	3	4,55	1	4,55		
B51	Tot	7,94	1	7,94	7,94	65
	1	1,52	1	1,52		
	2	0,39	1	0,39		
	3	0,44	1	0,44		
	4	0,76	1	0,76		
	5	1,10	1	1,10		
	6	0,10	1	0,10		
B56	Tot	7,70	1	7,70	7,70	65
	1	1,20	1	1,20		
	2	2,17	1	2,17		
	3	4,33	1	4,33		
B57	Tot	5,78	1	5,78	5,78	65
	1	1,32	1	1,32		
	2	1,88	1	1,88		
	3	2,59	1	2,59		
B58	Tot	29,76	1	29,76	29,76	150
	1	18,82	1	18,82		
	2	2,49	1	2,49		
	3	2,48	1	2,48		
	4	5,97	1	5,97		
B59	Tot	14,21	1	14,21	14,21	100
	1	4,88	1	4,88		
	2	4,93	1	4,93		
	3	2,49	1	2,49		
	4	1,90	1	1,90		
B60	Tot	14,23	1	14,23	14,23	100
	1	5,82	1	5,82		
	2	2,67	1	2,67		
	3	2,85	1	2,85		
	4	2,89	1	2,89		

B62	Tot	15,23	1	15,23	15,23	100
	1	2,75	1	2,75		
	2	1,02	1	1,02		
	3	1,10	1	1,10		
	4	1,01	1	1,01		
	5	1,33	1	1,33		
	6	1,16	1	1,16		
	7	6,85	1	6,85		
B63	Tot	8,18	1	8,18	8,18	65
	1	1,16	1	1,16		
	2	1,12	1	1,12		
	3	1,20	1	1,20		
	4	0,37	1	0,37		
	5	1,67	1	1,67		
	6	2,66	1	2,66		
B64	Tot	20,39	1	20,39	20,39	100
	1	4,18	1	4,18		
	2	4,59	1	4,59		
	3	5,43	1	5,43		
	4	6,19	1	6,19		
B65	Tot	10,21	1	10,21	10,21	65
	1	6,28	1	6,28		
	2	2,67	1	2,67		
	3	0,89	1	0,89		
	4	0,37	1	0,37		
B66	Tot	8,09	1	8,09	8,09	65
	1	1,98	1	1,98		
	2	4,89	1	4,89		
	3	0,77	1	0,77		
	4	0,45	1	0,45		
B67	Tot	10,12	1	10,12	10,12	65
	1	2,11	1	2,11		
	2	5,66	1	5,66		
	3	0,90	1	0,90		
	4	1,45	1	1,45		
B69	Tot	20,67	1	20,67	20,67	100
	1	19,43	1	19,43		
	2	1,23	1	1,23		
B68	Tot	16,16	1	16,16	16,16	100
	1	1,52	1	1,52		
	2	3,24	1	3,24		
	3	0,14	1	0,14		

	4	1,21	1	1,21		
	5	1,67	1	1,67		
	6	8,39	1	8,39		
B70	Tot	24,06	1	24,06	24,06	150
	1	23,03	1	23,03		
	2	1,02	1	1,02		
B71	Tot	39,89	1	39,89	39,89	200
	1	1,04	1	1,04		
	2	16,98	1	16,98		
	3	19,24	1	19,24		
	4	1,56	1	1,56		
	5	1,07	1	1,07		
B72	Tot	36,48	1	36,48	36,48	200
	1	15,94	1	15,94		
	2	0,21	1	0,21		
	3	3,98	1	3,98		
	4	1,78	1	1,78		
	5	0,41	1	0,41		
	6	14,15	1	14,15		
B74	Tot	11,36	1	11,36	11,36	100
	1	1,76	1	1,76		
	2	1,23	1	1,23		
	3	1,12	1	1,12		
	4	2,42	1	2,42		
	5	2,40	1	2,40		
	6	2,43	1	2,43		

B75	Tot	17,73	1	17,73	17,73	100
	1	1,36	1	1,36		
	2	3,51	1	3,51		
	3	0,52	1	0,52		
	4	1,98	1	1,98		
	5	10,36	1	10,36		
B76	Tot	14,67	1	14,67	14,67	100
	1	2,63	1	2,63		
	2	6,37	1	6,37		
	3	2,51	1	2,51		
	4	2,82	1	2,82		
	5	0,34	1	0,34		
B77	Tot	11,90	1	11,90	11,90	100
	1	4,91	1	4,91		
	2	4,65	1	4,65		
	3	2,34	1	2,34		
B78	Tot	16,18	1	16,18	16,18	100
	1	2,90	1	2,90		
	2	2,16	1	2,16		
	3	3,10	1	3,10		
	4	8,02	1	8,02		
B132	Tot	18,77	1	18,77	18,77	100
	1	1,50	1	1,50		
	2	1,18	1	1,18		
	3	2,25	1	2,25		
	4	3,66	1	3,66		
	5	10,18	1	10,18		

VI.6 Dimensionnement du réservoir de distribution :

Pour le dimensionnement du réservoir, nous avons pris en considération les données suivantes :

Le volume du réservoir est calculé comme suit :

$$V = Q \cdot T_f \dots\dots\dots (\text{V.2})$$

Q est le besoin maximum journalier = 300 l/s = 1080 m³/h

T_f : 2h

$$V = 1080 \cdot 2 = 2160 \text{ m}^3.$$

Le bassin ou le réservoir projeté est prévu circulaire en béton armé situé à une cote de 935m.

Les dimensions du réservoir sont comme suit :

- Hauteur est 4m.
- Longueur est 40 m.
- Largeur est 20 m.

VI.4) Dimensionnement du réseau de distribution :

Après avoir calculé les débits des ilots, nous procédons au dimensionnement des conduites qui doit répondre aux normes hydrauliques suivantes :

- **La vitesse admissible :**

La vitesse admissible varie entre 0.5 m/s et 2.5 m/s. Dans notre étude, on prend la vitesse admissible dans la conduite est $\boxed{1.5 \text{ m/s}}$.

- **Le calcul du diamètre :**

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q \times 0.001}{\pi \times V}} \times 100 \dots\dots\dots (\text{V.3})$$

Avec :

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

- **Calcul des pertes de charges :**

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

$$h_{pu} = \frac{L \times Q^M}{D^N} \times C \dots\dots\dots (\text{V.4})$$

Avec :

- h_{pu}** : perte de charge unitaire en m/ml.
- Q** : débit en m³/s.

D : diamètre de la conduite considérée.

L, M et N : Paramètres en fonction de la rugosité absolue (Ks) des canalisations.

C : coefficient compris une majoration de 10 % pour les pertes de charge singulière:

$$J=L \times Q^M/D^N \dots\dots\dots(V.5)$$

Tableau VI. 1: Les paramètres de perte de charge.

K (mm)	L	M	N
0,1	1,2	1,89	5,01
0,5	1,4	1,96	5,19
1	1,6	1,975	5,25

VI.7) Choix du matériau des conduites :

Dans Le choix du matériau on doit prendre ses critères en considération :

- La satisfaction des conditions hydrauliques (débit, pression).
- La disponibilité sur le marché local.
- L'intérêt économique.
- Le type de sol.

VI.7.1) Caractéristiques des canalisations :

a) Conduites en acier :

Utilisées pour les débits élevés, résistent aux fortes pressions (supérieures à 10 bars), assemblées bout à bout par soudure et caractérisées par une bonne étanchéité mais sensibles à la corrosion.

b) Conduites en fonte :

Elles résistent aux chocs et à la pression (25 bar) mais lourdes, elle nécessite un engin de levage ; caractérisées par une grande étanchéité, une durée de vie assez longue, un bon coefficient d'écoulement hydraulique mais un coût de revient assez élevé.

c) Conduite en PEHD

Les tubes PEHD présentent les mêmes avantages que les tubes PEBD et peuvent en plus supporter une contrainte minimale exigée de 10 MPa à 20° C durant plus de 50 ans.

VI.7.2) Choix du matériau :

Dans le cas de notre étude, on choisira un matériau selon le diamètre de la conduite :

- Fonte pour les conduites de 400 à 1800 mm.
- PEHD pour les conduites de diamètre inférieurs à 400 mm.

Tableau VI. 5: Résultat de calcul (Vitesse, Perte de charge, Pression).

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L (km)	débit Q (l/s)	débit Q (M3/S)	Diamètre calculé	Diamètre Normalise	Vitesse réelle (m /s)	Δ Ht (m)	Perte de charge total Δ Ht (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote piezo (m)	P(bar)
B69-B67	680.53	0.68053	20.67	0.02067	143.77	200	0,77	4,362	3.89	934.3	984,2	1,54
B67-B68	165.32	0.16532	30.79	0.03079	175.47	250	0,74	1,206	0.66	913.2	987,7	4
B68-B66	219.22	0.21922	46.95	0.04695	216.68	315	0.71	0,263	0.59	914.3	988,7	3,99
B66-N1	161.56	0.16156	55.01	0.05501	234.54	315	0,82	0,333	0.52	906.6	988,6	4,75
B62-B65	215.16	0.21516	15.23	0.01523	123.41	200	0.57	0,613	0.7	903.4	988,3	5,04
B65-N1	445.70	0.44570	25.44	0.02544	159.50	200	0.95	3,220	1.23	903.3	985,5	4,76
N1-N3	325.68	0.32568	80.45	0.08045	283.64	315	1,21	0,057	1.78	896.9	988,9	5,76
B56-B51	251.39	0.25139	7.7	0.0077	87.75	110	0.64	2,885	0.17	901.6	985,8	4,97
B51-B57	322.00	0.32200	15.64	0.01564	125.06	200	0.58	1,636	0.04	896.9	987,2	5,58
B57-B59	575.02	0.57502	21.42	0.02142	146.36	200	0,80	0,199	3.29	893.8	988,8	6,05
B59-N2	703.80	0.70380	35.63	0.03563	188.76	250	0,85	0,023	0.32	893.7	989,0	6,08
B63-B58	281.00	0.28100	8.18	0.00818	90.44	110	0,68	0,134	2.09	893.1	988,9	6,13
B58-N2	329.00	0.32900	37.94	0.03794	194.78	250	0,91	0,152	0.07	894.2	988,8	6,01
N2-B64	225.00	0.22500	73.57	0.07357	271.24	315	1,10	0,253	0.06	892.8	988,7	6,14
B64-B72	1023.95	1.02395	93.96	0.09396	306.53	400	0.88	0,335	3.77	894.2	988,6	5,99
B72-N3	312.00	0.31200	130.44	0.13044	361.16	400	1,21	3,706	0.05	905	984,9	4,54
N3-N4	385.83	0.38583	210.89	0.21089	459.23	500	1.25	0,271	1.03	903.2	988,7	5,10
B50-B60	267.58	0.26758	21.11	0.02111	145.29	200	0,79	0,151	1.59	906.1	988,8	4,82
B60-B70	271.76	0.27176	35.34	0.03534	187.99	250	0,84	0,213	1.4	907.5	988,8	4,68
B70-B71	1171.64	1.17164	59.4	0.0594	243.72	315	0,89	0,051	4.78	906.2	988,9	4,82
B71-132	358.87	0.35887	99.29	0.09929	315.10	400	0,96	0,232	1.07	905.8	988,7	4,84
B132-N4	828.57	0.82857	118.06	0.11806	343.60	400	1.10	0,127	0.33	903.3	988,9	5,10

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L (km)	débit Q (l/s)	débit Q (M3/S)	Diamètre calculé	Diamètre Normalise	Vitesse réelle (m /s)	Δ Ht (m)	Perte de charge total Δ Ht (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote piezo (m)	P (m)
N4-N5	342.83	0.34283	328.95	0.32895	573.54	630	0,73	0,173	0.95	903.7	988,8	5,07
B78-B75	326.72	0.32672	16.18	0.01618	127.20	200	0,60	0,239	1.4	898.2	988,7	5,61
B75-N5	612.00	0.61200	33.91	0.03391	184.15	250	0.81	0,336	0.07	897.2	988,6	5,70
N5-B74	483.66	0.48366	362.86	0.36286	602.38	700	0.98	1.22	1.34	924.73	988.8	4,68
B74-B77	312.00	0.31200	374.22	0.37422	611.74	700	1.01	1.29	1.43	926.34	988.4	4,75
B77-B76	334.82	0.33482	386.12	0.38612	621.39	700	1.04	1.38	1.51	926.36	988.7	5,61
R-B76	977.32	0.97732	400.79	0.40079	633.07	700	1.04	1.46	1.61	926.96	989.0	4,81

Conclusion :

Dans Ce chapitre, nous avons étudié le système d'adduction du périmètre des plaines Setifiennes.

Le périmètre est découpé en 29 ilots, et comporte 24 bornes, le réseau d'adduction projeté est constitué par une conduite gravitaire vers un réservoir, qui a son tour alimentera les parcelles. Cette phase de calcul nous a permis :

De projeter le réseau de distribution, du réservoir vers les bornes d'irrigation à travers un système de canalisation en fonte et en PEHD.

De s'assurer des pressions des bornes, qui sont nécessaires à toute projection d'un réseau d'irrigation, ce qui permet d'utiliser plusieurs systèmes d'irrigation même les plus exigeants en pression (tel que goutte à goutte) et de diversifier les cultures pour de meilleurs rendements.

CHAPITRE VII :

IRRIGATION LOCALISEE

Introduction

Grâce à l'irrigation l'agriculteur dispose d'un levier puissant pour augmenter et ajuster le rendement des cultures à condition qu'il puisse maîtriser l'irrigation pour répondre aux objectifs techniques (rendement) et économiques (coût optimal) recherchés.

La performance des installations d'irrigation dépendra de la bonne sélection des technologies et des systèmes d'irrigation et de la bonne installation des équipements basée sur une parfaite connaissance des informations techniques et économiques liées aux conditions d'exploitation.

Notre choix c'est le système goutte à goutte.

VII.1) Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte :

VII.1.1) Données générales :

Nous choisissons une parcelle appartenant à la zone étudiée de surface égale à **2 ha** qui sera alimenté par la borne dont les pressions calculées sont de l'ordre de 4.7 bars, ce qui est largement suffisant pour alimenter la parcelle.

Culture : pommier

Besoin de pointe : 166.66 mm (Juillet)

Organisation du réseau : La forme de la parcelle est presque rectangulaire avec les dimensions suivantes :

- Surface : 2 ha
- Longueur : 160 m
- Largeur : 120 m

Caractéristique du goutteur :

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

VII.1.2) Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée

VII.1.2.a) Influence du taux de couverture du sol

On applique à L'ETM un coefficient de réduction : K_r dépend du taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) pour les plantes adultes. K_r peut être calculé par diverses formules proposées ci-après

- La formule de Freeman et Garzoli

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

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

$K_r = 0.80$.

$$B_{jl} = B_j \times K_r \dots \dots \dots (II)$$

$$B_{jl} = (166.66/30) \times 0.8 = 4.44 \text{ mm/j}$$

VII.1.2.b) Dose nette pratique :

Détermination d'une fraction ou pourcentage d'humidification (P) du bulbe humide dans la zone racinaire.

La dose (RFU) étant définie par le paramètre (P) :

$$Dp = (Hcc - Hpf) \cdot Y \cdot Z \cdot da \cdot P\% = RFU \cdot P\% \dots \dots \dots (III)$$

Hcc : (31%), Hpf : (15%) ; Y : (2/3) ; Z : P. racines (1500 mm), da=1.35

P : Pourcentage du sol humidifié.

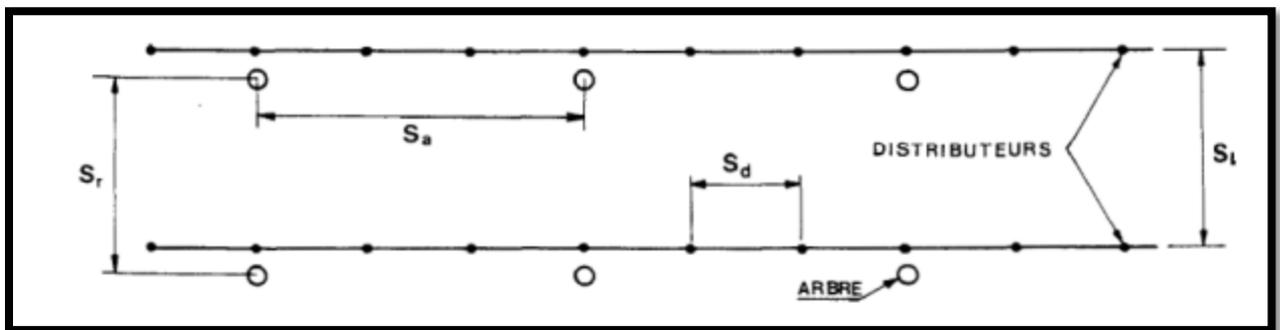


Figure 0-1 Dispositifs d'installation des goutteurs sur la rampe.

Calcul du pourcentage d'humidification :

$$P\% = \frac{n \times S_{pd} \times S_h}{S_a \times S_r} \dots \dots \dots (IV)$$

Avec :

- P : Volume du sol humidifié.
- n : Nombre de point (de goutteurs) de distribution par arbre =2.
- S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre =(2m).
- S_h : Largeur de la bande humidifiée (tirée de la table) = 1m (arbres).
- S_a : Ecartement entre rangs d'arbre (4m).
- S_r : espacement des arbres sur les rangs (4m).

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

$$DP = (0.31 - 0.15) \times 1500 \times \frac{2}{3} \times 1.35 \times 0.25 = 54 \text{ mm}$$

VII.1.2.c) Fréquence et intervalle des arrosages (Fr) :

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

$$Fr = \frac{\text{Dose pratique}}{B_{jl}} = \frac{54}{4.44} = 12.16 \text{ jour} \dots \dots \dots (V)$$

Donc on prend une fréquence de **12 jours**.

VII.1.2.d) Calcul de la dose (brute) :

On recalcule la nouvelle dose brute :

$$Dp' = Fr \cdot B_{jl} = 12 \times 4.44 = 53.28 \text{ mm}$$

$$D_{brute} = \frac{53.28}{Eff \times Cu} \dots \dots \dots (VI)$$

Avec :

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

$$D_{brute} = \frac{53.28}{0.9 \times 0.9} = 65.77 \text{ mm}$$

Donc **$D_{brute} = 66 \text{ mm}$**

VII.1.2.e) Durée de fonctionnement par d'arrosage (h) :

$$\theta = Tf = \frac{D_{brute} \times S_d \times S_r}{n \times Q_g} \dots \dots \dots (VII)$$

Avec :

- **S_r** Et **S_d** espacement entre rang et distributeur
- **n** Et **Q_g** nombre et débit du goutteur.

$$Tf = \frac{66 \times 2 \times 4}{2 \times 4} = 66 \text{ h/mois}$$

- Soit on augmente le débit des goutteurs à 8 l/h donc **$\theta = 33 \text{ h/mois}$**

- Soit on augmente le nombre de goutteurs à 4 goutteurs par arbre.

VII.1.2.f) Nombre de poste :

Le nombre de poste par jour est défini comme suit :

$$N = \frac{\text{Temps de travei}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = 1 \text{ On prend 1 poste.}$$

VII.1.2.g) Surface du poste :

$$S_p = \frac{\text{Surface total}}{\text{Nombre de post}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ ha} \dots \dots \dots (VIII)$$

$$\text{Nbre de goutteurs} = \frac{\text{Surface total}}{S_r \times S_d} = \frac{2 \times 10000}{4 \times 2} = 2500 \text{ goutteurs}$$

VII.1.2.f) Calculs hydrauliques

- **S=2 ha**

- La longueur de la rampe : 120 m
- La longueur de la porte rampe : 160m
- La longueur de la conduite secondaire : 10m,
- S irriguée = 1.92 ha.

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

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

VII.1.2.h) La variation maximale de la pression

La variation maximale de la pression :

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

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = x \frac{\Delta H_{max}}{H(n)} \dots\dots\dots(VIII)$$

Avec : $q(g)$: débit nominal du goutteur

$$\Delta H_{max} = \frac{1}{0.5} = 2 mce$$

Donc selon la règle de Christiansen 10% ΔH singulières = 0.2 m

Le reste 1.8 ΔH linéaire = 1.8 m

Donc pour les rampes 2/3. 1.8 = 1.2 m

Pour la porte rampe = 1/3. 1.8 = 0.6 m

VII.1.2.i) Dimensionnement des canalisations du réseau :

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

Les rampes

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

Porte-lampes

C'est la conduite qui alimente les rampes, ils sont généralement en polyéthylène (PEHD). Le diamètre des rampes ainsi que du porte- rampe est calculé d'après les formules suivantes :

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

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

Avec :

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

Pour les rampes : L= 120 m

1) Le nombre d'arbres par rampe :

$$N_{arbres} = Lr/Ea = 120/4 = 30 \text{ arbres}$$

2) Nombre des goutteurs par rampe :

$$N_g = N_{arbres} \times 2 = 30 \times 2 = 60 \text{ goutteurs}$$

3) Débit de la rampe :

$$Qr = N_g \times Qg = 60 \times 4 = 240 \text{ l/h}$$

4) Diamètre de la rampe :

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r) * 2.75}{0.478 * Q(r)^{1.75} * L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} = 13.74 \text{ mm}$$

D-rampe= 13.74 mm, Sur le marché on trouve des rampes de DN = 16 mm.

5) Vérification des pertes de charges :

Pour la détermination des pertes de charges des différents tronçons de la canalisation après choix du diamètre, On recalcule les pertes de charges pour un D = 16 mm

$$P'dc = \frac{0.478 \times L \times D^{-4.75} \times Q^{1.75}}{2.75} = \frac{0.478 \times 120 \times 16^{-4.75} \times 240^{1.75}}{2.75} = 0.58 \text{ m}$$

$P'dc = 0.58 \text{ m} < 1.2 \text{ m} \Rightarrow$ La condition est vérifiée

Pour la porte rampe : L= 160 m

Le nombre des rampes :

$$N_r = Lpr/Ea = 160/4 = 40 \text{ rampes}$$

1) Débit de la rampe :

$$Qpr = N_r \times Qr = 240 \times 40 = 9600 \text{ l/h}$$

2) Diamètre de la rampe :

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r) * 2.75}{0.478 * Q(r)^{1.75} * L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} = 65.75 \text{ mm}$$

D-rampe= 65.75 mm, Sur le marché on trouve des rampes de DN = 75 mm.

3) Vérification des pertes de charges :

Pour la détermination des pertes de charges des différents tronçons de la canalisation après choix du diamètre, On recalcule les pertes de charges pour un $D = 16 \text{ mm}$

$$P'_{dc} = \frac{0.478 \times L \times D^{-4.75} \times Q^{1.75}}{2.75} = \frac{0.478 \times 160 \times 75^{-4.75} \times 9600^{1.75}}{2.75} = 0.32 \text{ m}$$

$P'_{dc} = 0.32 \text{ m} < 0.6 \text{ m} \Rightarrow$ La condition est vérifiée

Pour la conduite tertiaire :

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \dots\dots\dots(\text{XII})$$

Avec :

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

On prend $D = 75 \text{ mm}$.

VII.1.3) Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution

Tableau 0-1 Récapitulatif des calculs hydrauliques.

Conduites	La rampe	Porte rampe	C. tertiaire
Longueur (m)	120	160	86
Diamètre (mm)	16	75	75
Débit (m^3/s)	6.67×10^{-5}	2.67×10^{-3}	2.67×10^{-3}
Pertes de charge (m)	0.58	0.32	0.17

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

$$P(m) = 10 + 0.58 + 0.32 + 0.17 = 11.07 \text{ m} = 1.11 \text{ bar}$$

Donc la pression requise est nettement inférieure à celle de la borne.

Conclusion

De façon générale, les considérations techniques et économiques montrent que, à long terme, les méthodes d'irrigation dans les Hautes Plaines Sétifiennes devraient évoluer vers l'adoption de l'aspersion pour les cultures annuelles et l'irrigation localisée pour l'arboriculture.

Cette évolution sera facilitée et encouragée par la mise en place d'un réseau public qui assure la pression nécessaire à la borne.

Les avantages de l'irrigation localisée sont assez significatifs, surtout en termes des économies d'eau possibles, pour justifier un effort concerté de l'Administration pour préparer et, faciliter son introduction dans les Plaines Sétifiennes.

CHAPITRE VIII :

CALCUL TECHNICO-ECONOMIQUE

Introduction

L'étude du devis quantitatif et estimatif nous permet d'avoir une idée sur le coût de réalisation du projet d'irrigation projeté, ce calcul consiste à déterminer les quantités de tout le matériel ainsi que les différentes opérations à effectuer sur le terrain, et cela par la mise en œuvre des moyens nécessaires pour la réalisation et l'exécution des travaux dans les meilleures conditions et dans les plus brefs délais.

Pour notre projet nous avons les travaux suivants :

- Réseau de distribution.
- Réseau d'irrigation.

VIII.1) Travaux concernant le resaux distribution :

Les tâches constituant les travaux à faire pour la mise en place de réseau distribution est :

- Exécution des tranchées :

C'est une opération de terrassement (déblais) qui consiste à faire des excavations. Ces excavations seront faites par une pelle hydraulique et les déblais seront posés à côté de la tranchée, l'autre côté étant réservé au bardage des conduites.

- Pose du lit de sable :

Cette opération consiste à poser un lit de sable au fond de la tranchée, ce lit aura une épaisseur de (10-20) cm dans notre cas.

- Pose des conduites :

Avant la descente des conduites dans la fouille, on procède à un triage des conduites de façon à écarter celles qui ont subies des chocs, et on les descend lentement à l'aide d'un engin de levage, dans le fond de la fouille. Au cours de pose, on vérifie régulièrement l'alignement des tuyaux pour ne pas avoir des difficultés au raccordement des conduites.

- Epreuve de joint et de la canalisation :

Pour plus de sécurité, l'essai de pression des conduites et des joints se fait avant le remblaiement, on l'effectue à l'aide d'une pompe d'essai qui consiste au remplissage en eau de la conduite sous une pression de 1,8 fois la pression de service à laquelle sera soumise la conduite lors du fonctionnement. Cette épreuve doit durer 30 minutes environ où la variation ne doit pas excéder 0.2 bar.

- Remblayage des tranchées :

C'est une opération de terrassement qui consiste à enterrer la conduite, en utilisant le remblai résultant de l'excavation.

- Nivellement et compactage :

Une fois le remblai fait, on procède au nivellement qui consiste à étaler les terres qui sont en monticule, ensuite au compactage pour augmenter la densité des terres et éviter le tassement par la suite.

VIII.2) Calcul des volumes des travaux de distribution :

a- Calcul du volume de terrassement:

- **Largeur du fond de la tranchée**

La largeur de la tranchée sera calculée en fonction du diamètre de la conduite on laisse 30 cm d'espace de chaque côté de la conduite.

La largeur d'ouverture de la tranchée est obtenue par la formule:

$$B = d + 0.6 \text{ (m)} \dots\dots(I)$$

Avec :

B : largeur de la tranchée (m)

d : diamètre de la conduite (m)

- **profondeur de la tranchée**

La profondeur de la conduite doit permettre la réalisation correcte des branchements particuliers, et d'empêcher toute intercommunication avec les autres conduites.

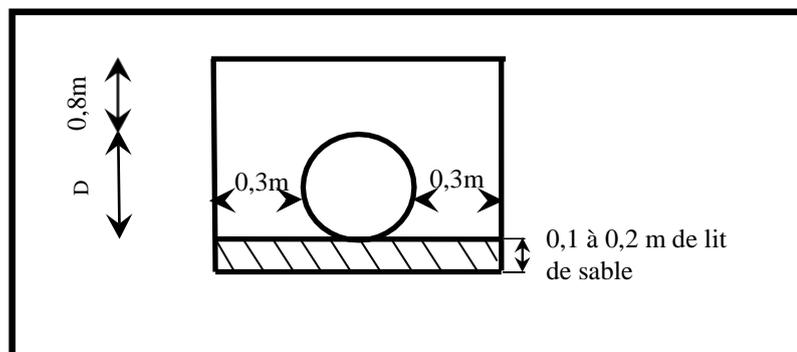


Figure VIII.1: Schéma d'une tranchée.

$$H_{tr} = e + d + h \quad (\text{m}) \dots\dots\dots(\text{II})$$

Avec :

- H_{tr} : Profondeur de la tranchée. (m)
- e: hauteur du lit de pose. (m)
- d: diamètre de la conduite. (m)
- h: la hauteur du remblai au-dessus de la conduite.

- **Section de la tranchée :**

Les sections des tranchées sont :

$$S_{tr} = B \times H_{tr} \dots\dots\dots(\text{III})$$

- H_{tr} : Profondeur total de la tranchée (m)
- B : Largeur du fond de la tranchée (m)

- **Volume à excaver :**

Le volume d'excavation est :

$$V_d = S_{tr} \times L = (B \times H_{tr}) \times L \dots\dots\dots(\text{IV})$$

- V_d : Volume du déblai (m³)
- S_{tr} : La section de la tranchée (m²).
- L : Longueur de la tranchée (m).
- B : Largeur de la tranchée (m).
- H_{tr} : La hauteur de la tranchée (m).

VIII.3) Evaluation du cout de projet :

Dépense des travaux :

Les frais de terrassement sont :

- **les déblais :**

$$F_{deb} = V_{deb} \times K_{deb} \dots\dots\dots(\text{V})$$

K_{db} : Prix de 1 m³ de déblai

V_{ab} : Volume total de déblai

- **les remblais:**

$$F_{rem} = V_{rem} \times K_{rem} \dots\dots\dots(\text{VI})$$

K_{am} : Prix de 1 m³ de remblai

V_{am} : Volume total du remblai

- Calcul du volume de déblai et remblai :

$$V(\text{Déblai}) = L \times H \times B \dots \dots \dots (\text{VII})$$

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

VIII.4) Calcul des différents volumes

Tableau VIII-1 : Quantité des travaux de terrassement

Conduites	l (m)	h (m)	L (m)	Vdeb (m ³)	Vcond (m ³)	Vsable (m ³)	V _{remb} compacté (m ³)	Vexcédair (m ³)
Ø 75	0.7	1	0	0	0	0	0	0
Ø 90	0.7	1	0	0	0	0	0	0
Ø 110	0.7	1	264	184.8	2.5	18.48	163.82	20.98
Ø 125	0.7	1	0	0	0	0	0	0
Ø160	1	1.1	0	0	0	0	0	0
Ø 200	1	1.1	2505.99	2756.589	78.7	250.599	2427.29	329.299
Ø 250	1	1.2	2081.88	2498.256	102.1	208.188	2187.968	310.288
Ø 315	1	1.2	2103.1	2523.72	163.8	210.31	2149.61	374.11
Ø 400	1	1.3	2523.39	3280.407	316.9	252.339	2711.168	569.239
Ø 500	1.1	1.4	385.83	594.1782	75.7	42.4413	476.0369	118.1413
Ø 630	1.2	1.5	573.54	1032.372	178.7	68.8248	784.8472	247.5248
Ø 800	1.3	1.6	2107.8	4384.224	1059	274.014	3051.21	1333.014
Total				17254.5462	1977.4	1325.1961	13951.9501	3302.5961

Tableau VIII-2 : Facture des différents types de conduites et pièces spéciales du réseau de distribution

Pièces	Unité de mesure	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
TubeØ110 PEHD	m/l	532.16	721.62	384017.299
TubeØ200 PEHD	m/l	2505.99	2397.85	6008988.12
TubeØ250 PEHD	m/l	2081.88	3709.88	7723524.97
TubeØ315 FONTE	m/l	2103.1	5881.51	12369403.7
TubeØ400 FONTE	m/l	2523.39	9500.9	23974476.1
TubeØ500 FONTE	m/l	385.83	14816.89	5716800.67
TubeØ630 FONTE	m/l	573.54	22513.76	12912541.9
TubeØ700 FONTE	m/l	2107.8	26902.28	56704625.8
bornes d'irrigation 100 mm	U	24	50000	1200000
Goutteur 02 l/h	U	2778	7.37	20473.86
		TVA (19%)	24132821.95	127014852
			Montant TTC	151147674

Tableau VIII-3 : Coût des travaux de terrassement

Conduites	Unités de mesure	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai	M3	17254.546	1000	17254546.2
Pose du lit de sable	M3	1325.1961	1100	1457715.71
Remblai de la tranchée	M3	13951.95	600	8371170.06
Evacuation de terres excédentaires à la décharge	M3	3302.5961	500	1651298.05
Réservoir	M3	2160	20000	43200000
TOTAL (DA)				71934730
Montant TTC (DA)				85602328.7

Le devis total du projet dans le secteur 13 est estimé à **23 675 000 3,00 DA**

Deux cent trente-six millions sept cent cinquante mille trois Dinar algérien

Conclusion

Dans Ce chapitre nous avons déterminé le devis général de réalisation du réseau de distribution, en premier lieu nous avons fait une étude quantitative des volumes des travaux. Comme deuxième étape nous avons estimé le cout du projet qui est de **23 675 000 3,00 DA**. Le cout du projet est relativement élevé, mais on doit noter que ce réseau est rentable à moyen terme.

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous avons étudié les différentes composantes du projet d'irrigation des plaines Setifiennes, et nous avons réalisé l'étude nécessaire du système d'irrigation pour la mise en valeur de 300 ha de surface dans la wilaya de SETIF à partir de l'eau provenant du barrage de MAHOUANE .

L'étude réalisée sur le périmètre des plaines Sétifiennes, nous a permis de conclure :

- L'étude du climat de notre région, a montré que la région appartient à un climat semi-aride, et que la période sèche s'étend sur plus de 5 mois ce qui confirme le caractère semi aride de cette zone, d'où l'irrigation est importante pour l'intensification des cultures.
- L'analyse des échantillons du sol a montré l'existence de deux classes, les sols peu évolués et les sols calcimagnésiques, ce qui nous a permis de choisir les cultures, les plus appropriées.
- Dans le cas de l'irrigation localisée, les avantages sont assez significatifs, surtout en termes des économies d'eau possibles.

De façon générale, les considérations techniques et économiques montrent qu'à long terme les méthodes d'irrigation dans les Hautes Plaines Sétifiennes devraient évoluer vers l'adoption de l'aspersion pour les cultures annuelles et l'irrigation localisée pour l'arboriculture.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

[1] **Bulletin N°33 FAO** Calcul des besoins en eau des cultures.

[2] **Dubreuil (1974)** : initiation a l'analyse hydrologique; Paris, France, Disponible sur Internet, consulté le Avril 2016 .

[3] **M. MESSAHEL (1988)** : Irrigation au goutte à goutte (Régime d'irrigation).

[4] **Walker W.R. (1989)**. Guide lines for designing and evaluating surface irrigation systems. Rome, Italy, FAO. Disponible sur Internet, consulté le 5 mai 2016 : <http://www.fao.org/docrep/T0231E/t0231e00.htm>

[5] **B. TOUAIBIA. (2004)**. (Cours d'Hydrologie 3ème Année et Régularisation des débits 4ème année).

ANNEXES

ANNEXE I

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

ANNEXE II

Réf é re nce	Désignation	Diamè tre	Epaisseur	Qualité	Pression	Prix HT	Prix TTC
		Ext en MM	e n MM	Produit	Service	le M/L	le M/L
11 003 0161	Tube PEHD	16	-----	PE80	10 Bars	-----	-----
11 003 0201	Tube PEHD	20	2,0	PE80	10 Bars	26,31	30,78
11 003 0251	Tube PEHD	25	2,0	PE80	10 Bars	33,85	39,60
11 003 0321	Tube PEHD	32	2,4	PE80	10 Bars	52,60	61,54
11 003 0401	Tube PEHD	40	3,0	PE80	10 Bars	82,33	96,33
11 003 0501	Tube PEHD	50	3,7	PE80	10 Bars	125,79	147,17
11 003 0631	Tube PEHD	63	4,7	PE80	10 Bars	198,97	232,79
11 003 0751	Tube PEHD	75	5,6	PE80	10 Bars	281,31	329,13
11 007 0901	Tube PEHD	90	5,4	PE100	10 Bars	335,47	392,50
11 007 1101	Tube PEHD	110	6,6	PE100	10 Bars	495,40	579,62
11 007 1251	Tube PEHD	125	7,4	PE100	10 Bars	631,13	738,42
11 007 1601	Tube PEHD	160	9,5	PE100	10 Bars	1 033,79	1 209,53
11 007 2001	Tube PEHD	200	11,9	PE100	10 Bars	1 617,42	1 892,38
11 007 2501	Tube PEHD	250	14,8	PE100	10 Bars	2 510,95	2 937,81
11 007 3151	Tube PEHD	315	18,7	PE100	10 Bars	4 003,95	4 684,62
11 007 4001	Tube PEHD	400	23,7	PE100	10 Bars	6 424,42	7 516,57
11 007 5001	Tube PEHD	500	29,7	PE100	10 Bars	10 021,19	11 724,79
11 007 6301	Tube PEHD	630	37,4	PE 100	10 Bars	15 153,49	17 729,58

ANNEXES III

FONCTION DE REPARTITION DE LA LOI NORMALE REDUITE .

<i>z</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999

ANNEXES IV

COEFFICIENT CULTUREL KC DE CHAQUE CULTURE

CULTURE	Stades de développement de la culture					Durée totale de la période végétative
	Initial	Développement	Mi-saison	Arrêtée 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*
Oignon						
sec	0.4-0.6	0.7-0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8-0.9
vert	0.4-0.6	0.6-0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
Pois, frais	0.4-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
Poivron, frais	0.3-0.4	0.6-0.75	0.95-1.1	0.85-1.0	0.8-0.9	0.7-0.8
Pomme de terre	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.2	0.85-0.95	0.7-0.75	0.75-0.9
Riz	1.1-1.15	1.1-1.5	1.1-1.3	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
Carthame	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.7	0.2-0.25	0.65-0.7
Sorgho	0.3-0.4	0.7-0.75	1.0-1.15	0.75-0.8	0.5-0.55	0.75-0.85
Soja	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.15	0.7-0.8	0.4-0.5	0.75-0.9
Betterave sucrière	0.4-0.5	0.75-0.85	1.05-1.2	0.9-1.0	0.6-0.7	0.8-0.9
Canne à sucre	0.4-0.5	0.7-1.0	1.0-1.3	0.75-0.8	0.5-0.6	0.85-1.05
Tournesol	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.7-0.8	0.35-0.45	0.75-0.85
Tabac	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.2	0.9-1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
Tomate	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.95	0.6-0.65	0.75-0.9
Pastèque	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.05	0.8-0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
Blé	0.3-0.4	0.7-0.8	0.95-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25	0.8-0.9
Luzerne	0.3-0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
Agrumes sarclés sans sarclage						0.65-0.75 0.85-0.9
Olivier						0.4-0.6