

Session2024

Remerciement

Nous commencerons par remercier nos familles et amis pour nous avoir soutenu et encouragé durant la réalisation de ce projet.

Nous adressons notre reconnaissance tout particulièrement à Mme AZIEZ Ouahiba avoir été notre promoteur de projet.

Nous le remercions ; pour nous avoir guidé sans nous diriger, pour sa pertinence, l'apport de ses compétences, son enthousiasme et sa disponibilité.

Nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir pris le temps d'examiner et évaluer notre travail.

Nous n'oublierons pas les professeurs qui nous ont suivi tout au long de notre parcours universitaire, nous leur sommes reconnaissants pour leurs efforts et les avoir qu'ils nous ont transmis.

ملخص

تتناول هذه المذكرة تصميم شبكة سقي لمنطقة زراعية تبلغ مساحتها 120 هكتارا في بوفاريك، باستخدام المياه المعالجة من محطة التصفية في نفس المنطقة. بفضل التربة الخطبة و المناخ المتوسطي الشبه رطب، تُعد المنطقة مثالية لزراعة الحمضيات و العنب. لذلك يقترح نظام سقي بالتنقيط لتحسين كفاءة استخدام المياه و تقليل الهدر. أظهرت تحليلات التربة و الموارد المائية وجود عوائق مثل ملوحة التربة و سوء توزيع المياه. و تم اقتراح حلول تشمل تحسين أنظمة الصرف و استخدام الأسمدة المناسبة. اختتم البحث بتحليل اقتصادي يبرز جدوى المشروع لتحقيق زراعة مستدامة و منتجة.

Résumé

Ce mémoire porte sur la conception d'un réseau d'irrigation pour une zone agricole de 120 hectares à Boufarik, en utilisant les eaux usées traitées de la station d'épuration de la même région. Grâce à son sol fertile et son climat méditerranéen subhumide, la zone est idéale pour la culture des agrumes et de la vigne. Un système d'irrigation goutte-à-goutte est ainsi proposé afin d'optimiser l'utilisation de l'eau et réduire les pertes.

Les analyses des sols et des ressources en eau ont révélé des contraintes telles que la salinité du sol et une mauvaise répartition de l'eau. Des solutions ont été proposées, notamment l'amélioration des systèmes de drainage et l'utilisation d'engrais adaptés. L'étude se conclut par une analyse économique démontrant la rentabilité du projet pour une agriculture durable et productive.

Abstract

This dissertation focuses on the design of an irrigation network for a 120-hectare agricultural area in Boufarik, using treated wastewater from the local treatment plant. Thanks to its fertile soil and Mediterranean sub-humid climate, the area is ideal for growing citrus fruits and grapes. A drip irrigation system is proposed to optimize water use and reduce waste.

Soil and water resource analyses revealed constraints such as soil salinity and poor water distribution. Proposed solutions include improving drainage systems and using suitable fertilizers. The study concludes with an economic analysis highlighting the feasibility of the project for achieving sustainable and productive agriculture.

SOMMAIRE

. INTRODUCTION	1
. CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude	3
. I.1 Introduction	3
. I.2 Présentation de la plaine de Mitidja	3
. I.3 Situation géographique du périmètre	5
. I.4 Géologie et hydrogéologie	7
. I.5 Étude climatique	8
. I.6 Indices climatiques	15
. I.7 Conclusion sur le climat	17
. CHAPITRE II : Étude agro-pédologique et ressources en sol	19
. II.1 Introduction	19
. II.2 Étude pédologique	20
. II.2.1 Introduction	20
. II.2.2 Caractérisation physico-chimique du sol	20
. II.2.3 But de l'étude pédologique	20
. II.2.4 Critères de classification	21
. II.2.5 Répartition des sols	22
. II.2.6 Caractéristiques physiques des sols	23
. II.2.7 Caractéristiques chimiques des sols	23
. II.2.8 Typologie des sols rencontrés	24
. II.2.9 Les sols calcimagnésiques	25
. II.2.10 Interprétation des résultats analytiques	25
. II.2.11 Mise en valeur agricole	26
. II.2.12 Facteurs limitant la mise en valeur	27
. II.2.13 Texture du sol	27
. II.2.14 Travaux d'aménagement à entreprendre	27
. II.2.15 Introduction sur l'irrigation	28
. II.2.16 Aptitudes culturales	28
. II.2.17 Cultures autorisées avec eaux usées épurées	28
. II.2.18 Gestion des sols en milieu semi-aride	29
. II.2.18 Arrêté interministériel fixant la liste des cultures qui pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées	29
. II.3 Conclusion générale	32
. CHAPITRE III : Étude hydrologique et ressources en eau	33
. III.1 Introduction	33
. III.2 Étude hydrologique	33
. III.3 Ressources en eau disponibles	34
. III.3.1 Analyse quantitative et qualitative de la nappe	34

. III.4 Ouvrage de réception	34
. III.5 Station d'épuration de Ben Chaabane	35
. III.5.1 Situation géographique et topographique	35
. III.5.2 Caractéristiques techniques	36
. III.6 Analyse de la qualité des eaux épurées	36
. III.7 Conditions d'utilisation des eaux usées traitées en agriculture.....	36
. III.8 Étude des pluies annuelles	36
. III.8.1 Pluviométrie	37
. III.8.2 Fréquence des précipitations	39
. III.8.3 Précipitations à 80% de fréquence	45
. III.9 Durabilité de l'exploitation de la ressource	46
. III.10 Conclusion	46
 . CHAPITRE IV : Calcul des besoins en eau des cultures	47
. IV.1 Introduction	47
. IV.2 Choix des cultures	48
. IV.3 Régime d'irrigation	49
. IV.4 Besoins en eau des cultures	49
. IV.5 Évapotranspiration	50
. IV.6 Pluies efficaces	52
. IV.7 Déficit hydrique et besoins bruts	55
. IV.8 Estimation des volumes d'irrigation	60
. IV.9 Conclusion	62
 . CHAPITRE V : Techniques d'irrigation utilisées	63
. V.1 Introduction	63
. V.2 Les techniques d'irrigation à la parcelle.....	64
. V.3 Irrigation gravitaire	65
. V.4 L'irrigation goutte à goutte	66
. V.5 Irrigation par aspersion.....	67
. V.6 Choix de la technique d'irrigation.....	69
. V.7 Analyse comparative des méthodes d'irrigation	70
. V.8 Description d'un réseau d'irrigation goutte à goutte.....	70
. V.9 critères de choix de la méthode de micro-irrigation.....	70
. V.10 champs d'application de la micro-irrigation.....	71
. V.11 composition d'une installation d'irrigation goutte à goutte.....	71
. V.12 Ouvrage de stockage	72
. V.13 Types d'ouvrages de stockage.....	72
. V.14 Fonctionnement et entretien	72
. V.15 Sécurité sanitaire et durée de stockage.....	72
. V.16 Conclusion	72

. CHAPITRE VI : Dimensionnement à la parcelle	73
. VI.1 Introduction	73
. VI.2 Réseau goutte-à-goutte	74
. VI.3 Calcul des doses et fréquences d'arrosage	75
. VI.4 Durée d'arrosage, uniformité, pertes	76
. VI.5 Conclusion	80
. CHAPITRE VII : Étude technico-économique	81
. VII.1 Introduction	81
. VII.2 Tâches à réaliser	82
. VII.3 Remblayage et compactage	83
. VII.4 Volume des terrassements	84
. VII.5 Estimation des conduites et pièces	85
. VII.6 Coût des bornes d'irrigation	87
. VII.7 Réservoir de stockage	88
. VII.8 Budget estimatif global	89
. VII.9 Conclusion	90
. CONCLUSION GÉNÉRALE	92

LISTE DES TABLEAUX

• Tableau I-1 : Température moyenne mensuelle de l'air (1990-2018)	11
• Tableau I-2 : Hauteur mensuelle moyenne des précipitations (1990-2018)	11
• Tableau I-3 : Moyenne mensuelle de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	12
• Tableau I-4 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative (1990-2018)	12
• Tableau I-5 : Vitesse moyenne mensuelle des vents	13
• Tableau I-6 : Insolation moyenne (1990-2018)	14
• Tableau I-7 : Les limites de climat d'après l'indice de DeMartonne	15
• Tableau II-1 : Les classes de sols	24
• Tableau II- Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées....	30
• Tableau III-1 Caractéristiques générales de la station d'épuration de Boufarik « BEN CHAABANE (OTV – 2021) »	34
• Tableau III-2 coordonnées est en UTM	36
• Tableau III-3 Paramètres physico-chimiques des eaux épurées de la STEP de Boufarik	37
• Tableau III-4 Moyenne des Pluies période 1983 à 2015	39
• Tableau III-5 Station pluviométrique	39
• Tableau III-6 Pluies moyennes mensuelles observées (1983-2015)	39
• Tableau III-7 Test d'homogénéité de Wilcoxon	42
• Tableau III-8 Caractéristiques de la série	43
• Tableau III-9 Ajustement à la loi log normale	45
• Tableau III-10 Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%)	47
• Tableau III-9 : Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%)	46
• Tableau IV-1 : Calcul de l'évapotranspiration de référence en utilisant Cropwat 8.0	

.....	51
• Tableau IV-2 : Pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT V8.0	54
• Tableau IV-3 : Coefficients culturaux (Kc) des cultures	53
• Tableau IV-4 : Les profondeurs d'enracinements des cultures (m)	55
• Tableau IV-5 : Besoins en eau d'irrigation des agrumes	56
• Tableau IV-6 : Estimation des besoins en eau des abricotiers	57
• Tableau IV-7 : Estimation des besoins en eau des tomates	58
• Tableau IV-8 : Estimation des besoins en eau des carottes	58
• Tableau IV-9 : Estimation des besoins en eau des laitues	59
• Tableau IV-10 : Estimation des besoins en eau d'orges	59
• Tableau IV-11 : Résultat des besoins d'irrigation	60
• Tableau IV-12 : Estimation des volumes totaux d'irrigation	61
• Tableau VI-1 : Récapitulatif des calculs hydrauliques	79
• Tableau VII-1 : Calcul des volumes des travaux de terrassement	84
• Tableau VII-2 : Estimation du coût des travaux de terrassement	85
• Tableau VII-3 : Estimation du coût de pose des conduites	86
• Tableau VII-4 : Estimation du coût des bornes d'irrigation	87
• Tableau VII-5 : Devis estimatif du réservoir de stockage	88
• Tableau VII-6 : Budget estimatif total	89

LISTE DES FIGURES

• Figure I-1 : Plan de la Mitidja	4
• Figure I-2 : Photo Limites des Secteurs de la Mitidja centre	5
• Figure I-3 : Localisation géographique de BEN CHAABANE	6
• Figure I-4 : Diagramme ombrothermique de Boufarik	12
• Figure I-5 : Carte des types de sols	20
• Figure I-6 : Analyse granulométrique	24
• Figure I-7 : Schéma des types d'irrigation	28
• Figure I-8 : Moyenne mensuelle d'humidité relative	13
• Figure I-9 : Graphique vitesse moyenne mensuelle des vents	13
• Figure II-1 : Triangle textural américain	21
• Figure III-1 : Réservoir de stockage limitrophe à la STEP	34
• Figure III-2 : Vue générale de la Station d'épuration de Ben Chaabane (Google Earth)	36
• Figure IV-1 : Calcul de l'évapotranspiration	53
• Figure V-1 : Schéma de réseau gravitaire	62
• Figure V-2 : Schéma de réseau de refoulement	63
• Figure V-3 : Schéma de réseau mixte	64
• Figure V-4 : Types de bornes d'irrigation	66
• Figure V-5 : Partie essentielle d'un réseau de micro-irrigation	70

LISTE DES PLANCHE

Plan de Situation

Extension

Profil en Long Refoulement

Profil en Long Step Bassin

Plan goutte à goutte

INTRODUCTION

La gestion optimale des ressources hydriques devient une priorité absolue, notamment dans les régions agricoles où l'eau est un facteur essentiel pour la productivité. Ce mémoire s'inscrit dans cette problématique en proposant une étude approfondie sur le dimensionnement d'un périmètre d'irrigation à Boufarik, une région agricole clé de la plaine de la Mitidja en Algérie. En s'appuyant sur des méthodes modernes d'irrigation, telles que le système goutte-à-goutte et l'utilisation des eaux usées traitées, ce travail vise à répondre à deux grands enjeux : garantir une utilisation efficiente de l'eau et assurer une durabilité agricole face aux contraintes climatiques et pédologiques de la région.

L'étude combine des analyses pédologiques, hydrologiques et économiques afin de concevoir un réseau d'irrigation adapté à une surface de 120 hectares, tout en intégrant les spécificités locales et les défis environnementaux. Ce projet illustre ainsi le potentiel d'innovation dans le domaine de l'irrigation agricole, en alignant développement économique et gestion durable des ressources.

CHAPITRE I

Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction :

Nous présentons dans ce présent chapitre les conditions naturelles de la région d'étude à savoir la climatologie ,la topographie, l'hydrogéologie, et la pédologie pour pouvoir par la suite dimensionner un réseau d'irrigation d'une surface d'agrumes de 120ha situé à Ben Chaabane-Boufarik.

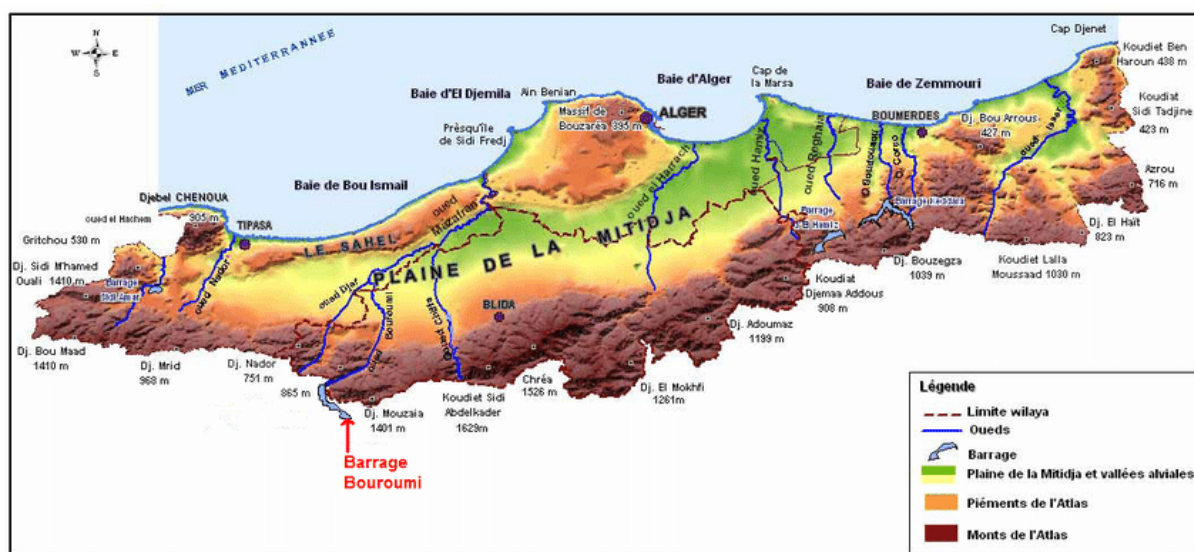
I.2. Présentation de la plaine de Mitidja:

La plaine de la Mitidja, qui se distingue par sa topographie douce, ses altitudes basses, compte 18 communes dont la vocation est l'agriculture. La plaine de la Mitidja est dominée par l'Atlas Blidéen, dont le point culminant atteint 1 600 mètres d'altitude, qui présente un relief plus marqué avec de fortes pentes (plus de 30%) .

Orientée parallèlement au relief côtier dans une direction est-nord-est vers ouest-sud-ouest, la plaine de la Mitidja est limitée :

- À l'est par l'oued Boudouaou,
- À l'ouest par l'oued Nador,
- Au Nord par les collines du Sahel algérois,
- Au Sud par l'Atlas blidéen.

L'altitude moyenne de cette plaine est de 50m, elle présente une faible pente orientée vers la mer méditerranéenne.



Coordonnées : 36°34'N, 2°52'E – Échelle : 1/25 000 – Source : ANRH, 2023

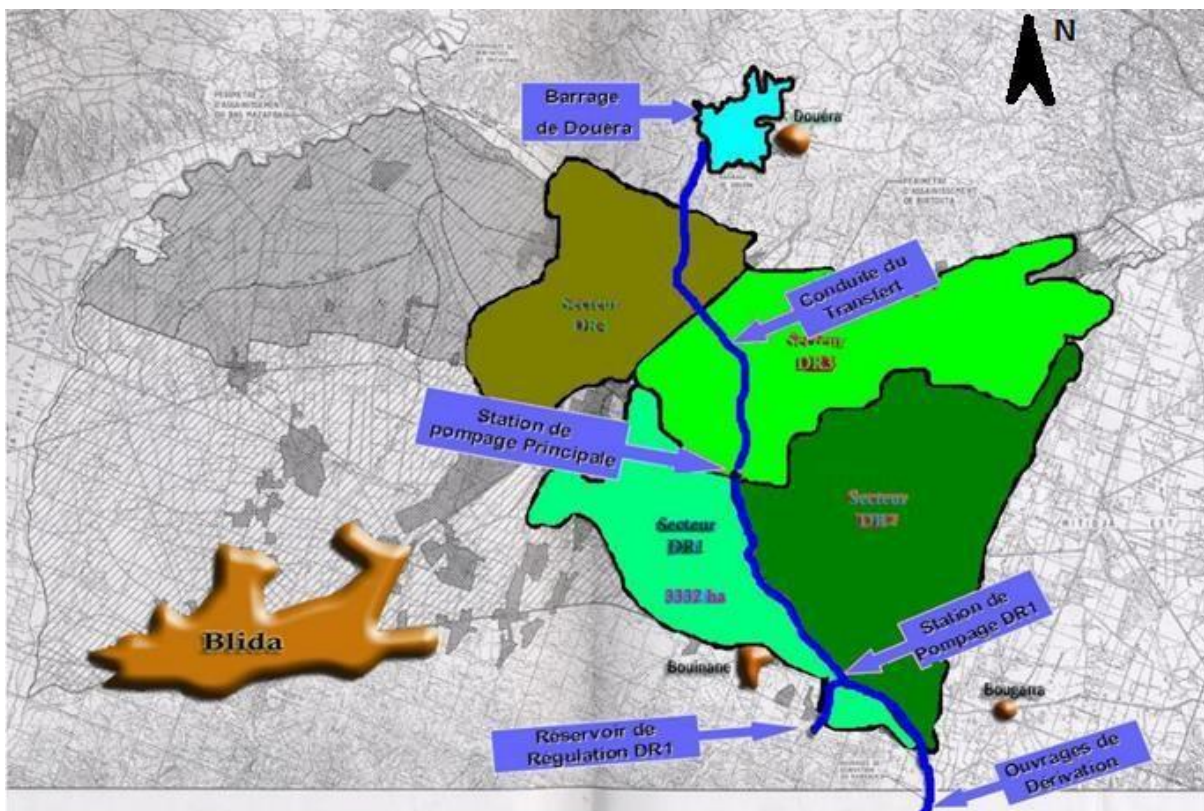
FigureI-1 : Plan de la Mitidja

La plaine de Mitidja se divise en trois zones:

- La Mitidja Ouest à l'Ouest de l'Oued Chiffa.
- La Mitidja centre entre les oueds Chiffa et Harrach.
- La Mitidja Est entre les oueds Harrach et Boudouaou.

La plaine de la Mitidja centre est subdivisée en 2 grands périmètres:

- Périmètre de la Mitidja centre tranche I : qui contient 2 secteurs DR1(3.332ha) et DR2(3.758ha).
- Périmètre de la Mitidja centre tranche II: qui contient 2 secteurs DR3(6550ha) et DR4(3540ha).

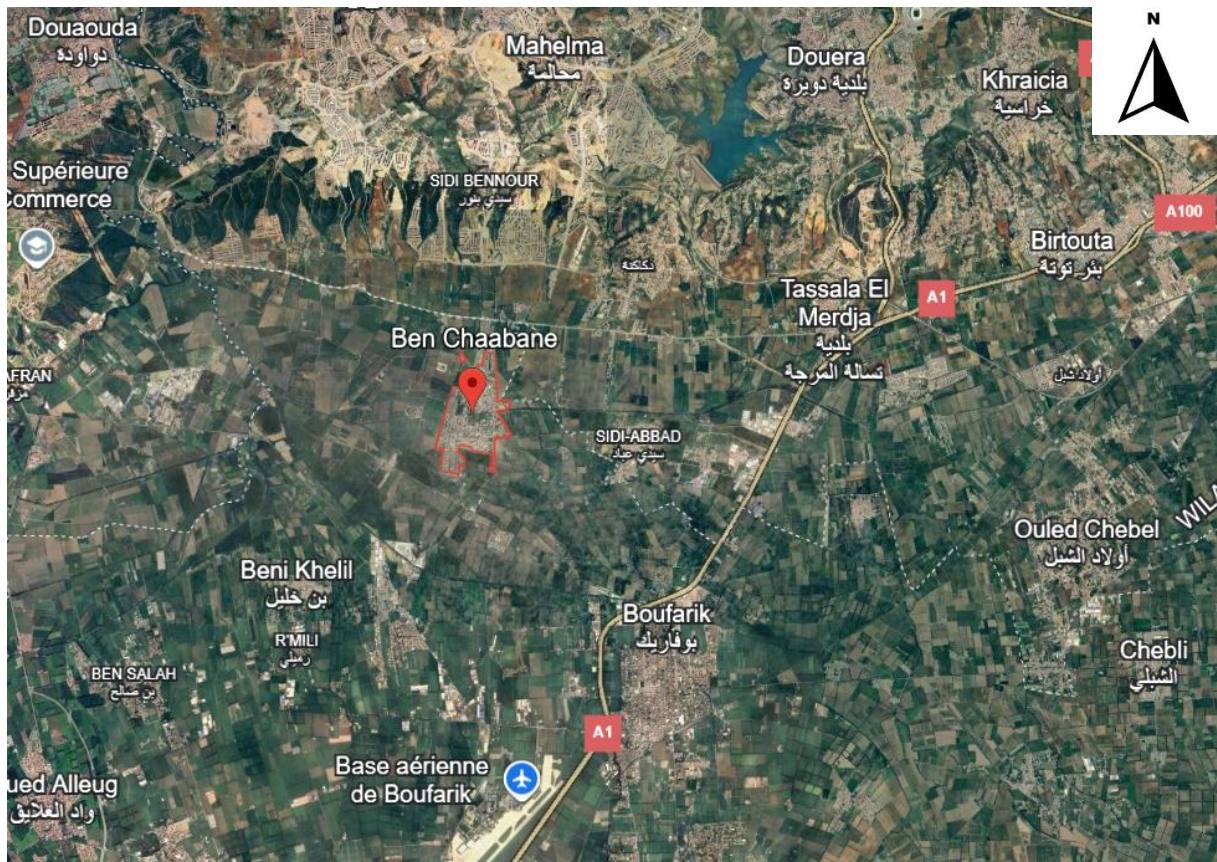


(Source ONID)

FigureI-2 : Photo Limites des Secteurs de la Mitidja centre.

I.3. Présentation de la situation géographique du périmètre :

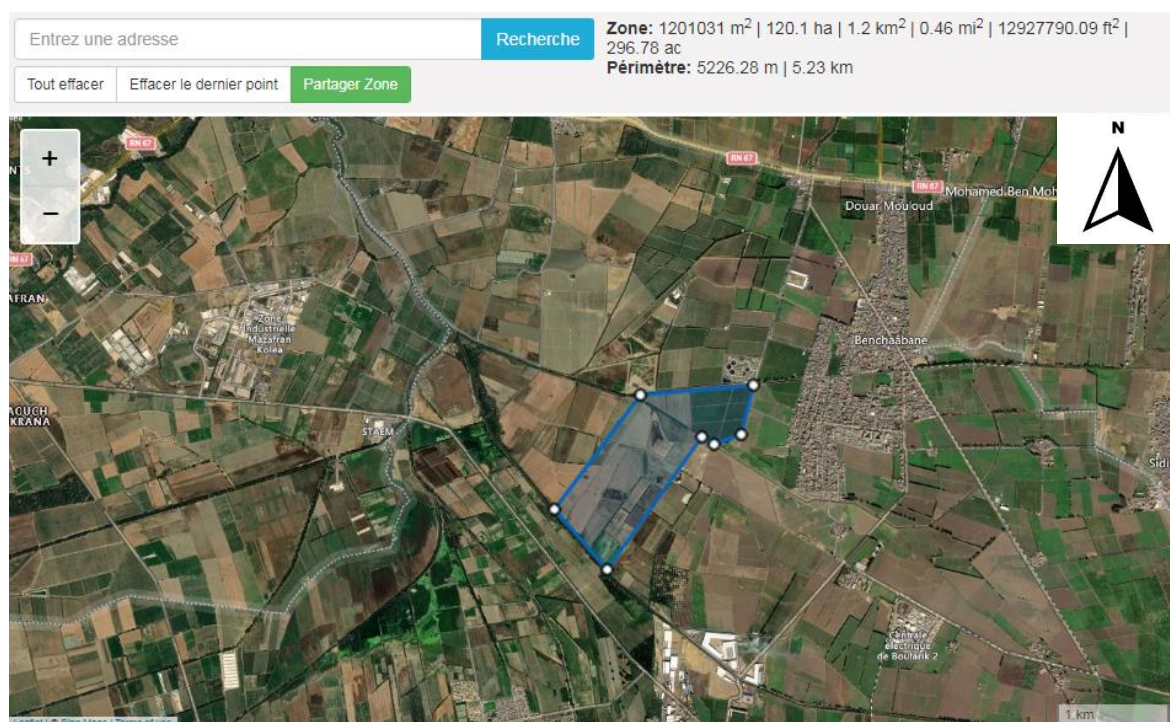
La région d'étude se trouve dans la commune de Boufarik, à quelques kilomètres de la wilaya de Blida à BEN CHAABANE. Elle est bordée par la route nationale N°4 à l'ouest, par Blida au sud, par Oued El Alleug au nord et par Beni Tamou à l'est .



Coordonnées : 36°33'N, 2°54'E – Échelle : 1/15 000 – Source : Google Earth, 2024

Figure-3 : Localisation géographique de BEN CHAABANE

Le périmètre est d'une superficie de 120ha, il est situé à l'aval de la step de Boufarik à Ben chaabane la Wilaya de Blida.



Source : ANRH, 2018

FigureI-4 : Localisation géographique du périmètre

Ses terres fertiles profitent d'un climat méditerranéen tempéré et d'une pluviométrie adéquate. La vaste plaine agricole est dédiée à la culture des agrumes en partie orientale et de la viticulture en partie occidentale.

I.4. La géologique et l'hydrogéologie de la zone d'étude :

La plaine de la Mitidja s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction ouest sud-ouest, est-nord-est. Elle est bordée au nord par les collines du Sahel et au sud par l'atlas Tellien. Elle fait environ 90 Km de long et 15 Km de large.

La nappe de la Mitidja s'étend au nord, jusqu'à la limite d'affleurement de sables quaternaires et au sud, jusqu'au contact entre les alluvions quaternaires et les formations plus anciennes de l'Atlas Blidéen.

La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères: la formation quaternaire de la Mitidja qui représente la principale ressource en eau souterraine et la formation de l'Astien qui est l'aquifère le plus profond.

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux. Les alluvions affleurent sur la majeure partie du bassin avec une épaisseur qui peut atteindre plus de 200 m au centre de la plaine. Localement, les alluvions peuvent être recouvertes par les formations limono-argileuses du Mazafran qui mettent en charge l'aquifère des alluvions de la Mitidja.

La formation de l'Astien est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plais ancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100m.

L'Astien est séparé de l'aquifère des alluvions par la formation argileuse d'El Harrach, hormis au Nord-est de la plaine où les deux formations perméables sont en contact direct.

Le cadre géologique local est caractérisé par la série lithostratigraphique.

L'alimentation de cet aquifère se fait essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur le Sahel où il affleure. Il est également alimenté par la nappe alluviale sus-jacente par drainance à travers les marnes jaunes peu épaisses et dont la perméabilité varie de 10^{-7} à 10^{-8} m/s.

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'astien sont mal connues. Les estimations de la perméabilité donnent des valeurs qui varient dans de larges fourchettes avec une moyenne de l'ordre de 4,3 m/j et le coefficient d'emmagasinement entre 5×10^{-6} et 5×10^{-3} .

I.5. Etude Climatique :

Pour l'analyse de la plaine de Boufarik, nous utilisons des paramètres climatiques provenant des stations existantes dans la zone d'étude ou ceux situés à proximité immédiate au sein d'une même zone.

Cette zone présente un climat subhumide méditerranéen, caractérisé par des saisons d'hiver froides et humides et des saisons estivales chaudes et sèches.

La moyenne annuelle de température est de 18,3°C et les plus hautes températures du mois le plus chaud se situent autour de 29°C, tandis que les plus basses températures du mois le plus froid se situent autour de 10°C. Toutefois, des vents modérés avec une moyenne annuelle de treize jours (Sirocco) peuvent régulièrement perturber le climat et peuvent potentiellement nuire aux cultures.

Les données climatiques de la région d'étude influencent considérablement les conditions édaphiques du périmètre examiné. Ainsi, nous exposons brièvement certaines conditions climatiques essentielles pour la valorisation hydro-agricole.

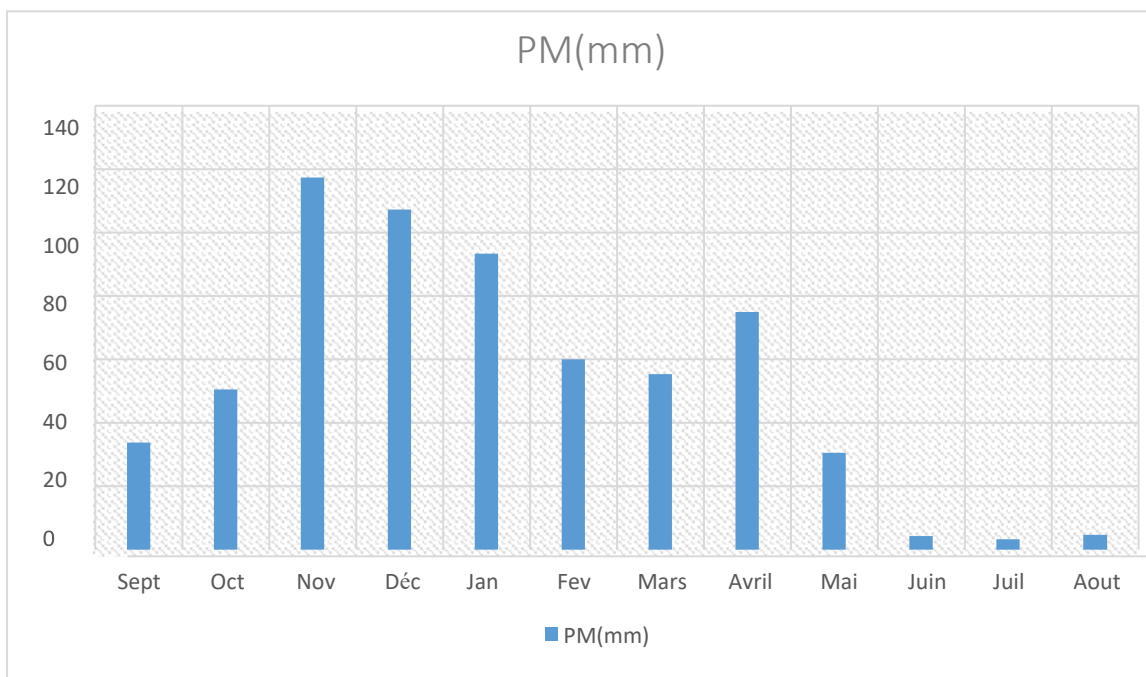
I.5.1. La pluviométrie:

Le tableau ci-dessous présente les moyennes mensuelles de pluviométrie sur une période d'observation de 32 ans (1983 à 2015) :

Tableau I-1 : Pluies moyennes mensuelles

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	juil	Aout
M (mm)	25.03	54.18	79	94.87	94.33	81.3	71.81	65.34	53.11	7.98	3.17	3.17

Source : ANRH Blida, 1990–2018



FigureI-5 : Graphique des pluies moyennes mensuelles en (mm)

I.5.2. La températures:

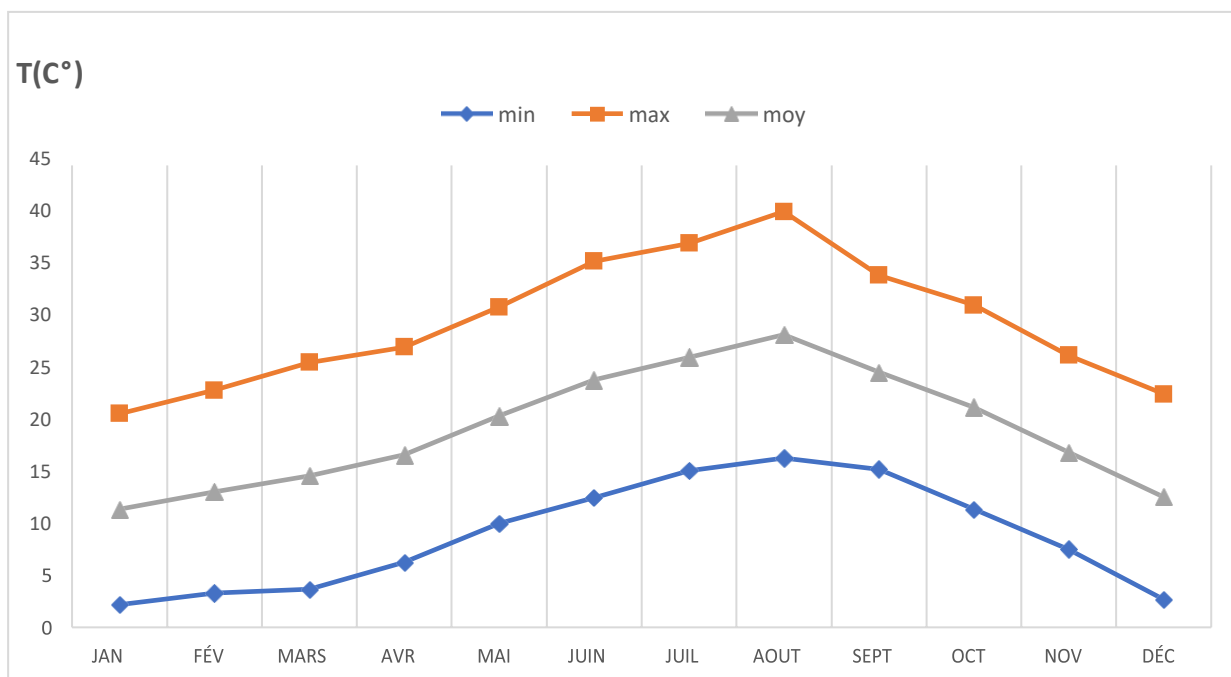
La température est un paramètre climatique très important dans une étude climatologique, et ce tableau ci-dessous résume la variation de cette dernière.

Tableau I-2 :Températures moyenne mensuelles (1990-2021)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Tmin (°C)	2.2	3.3	3.7	6.3	10.1	12.6	15.25	16.48	15.4	11.5	7.6	2.7
Tmax (°C)	20.8	23.1	25.8	27.3	31.2	35.65	37.4	40.5	34.3	31.4	26.5	22.7
Tmoy (°C)	11.5	13.2	14.75	16.8	20.6	24.1	26.3	28.5	24.85	21.45	17.05	12.7

Source : ANRH Blida, 1990–2018

Les mois de décembre et janvier sont les plus froids, avec une température moyenne minimale comprise entre 2C° et 3C° ; les mois de juin, juillet et août sont les plus chauds, avec une température moyenne maximale comprise entre 35°C et 40°C.



FigureI-6: Répartition des températures moyennes annuelles en °C

I.5.3. L'évaporation :

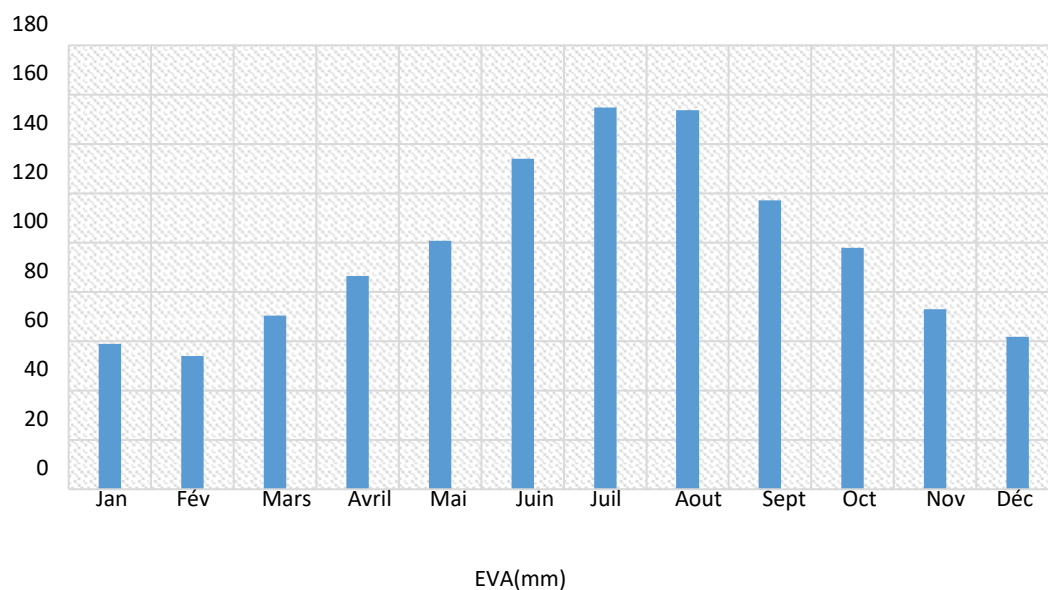
La perte d'eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau est appelée évaporation. La mesure exacte de ce phénomène est cruciale pour déterminer la dimension appropriée d'un système d'irrigation.

TableauI-3: Moyenne mensuelle de l'évaporation (1990-2018)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Evap(mm)	59	54.1	70.5	86.6	100.7	134.1	154.8	153.7	117.1	98	73.1	61.9

Source : ANRH Blida, 1990–2018

L'évaporation Moyenne mensuelle



FigureI-7: Graphique de la moyenne mensuelle de l'évaporation.

La valeur maximale de l'évaporation est de 154,8 mm en juillet, tandis qu'elle est de 54,1 mm en février, avec une moyenne annuelle de 96,97 mm.

I.5.4. L'humidité relative :

La teneur en humidité de l'air est un élément du cycle hydrologique qui a un impact sur l'évaporation du sol et la croissance des plantes.

TableauI-4: Moyenne mensuelle de l'humidité relative (1990-2018)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc
Hr(%)	76.2	76.2	72.9	70.9	70.3	66.6	63.00	70.2	68,6	70.0	73.2	79.4

Source : ANRH Blida, 1990–2018

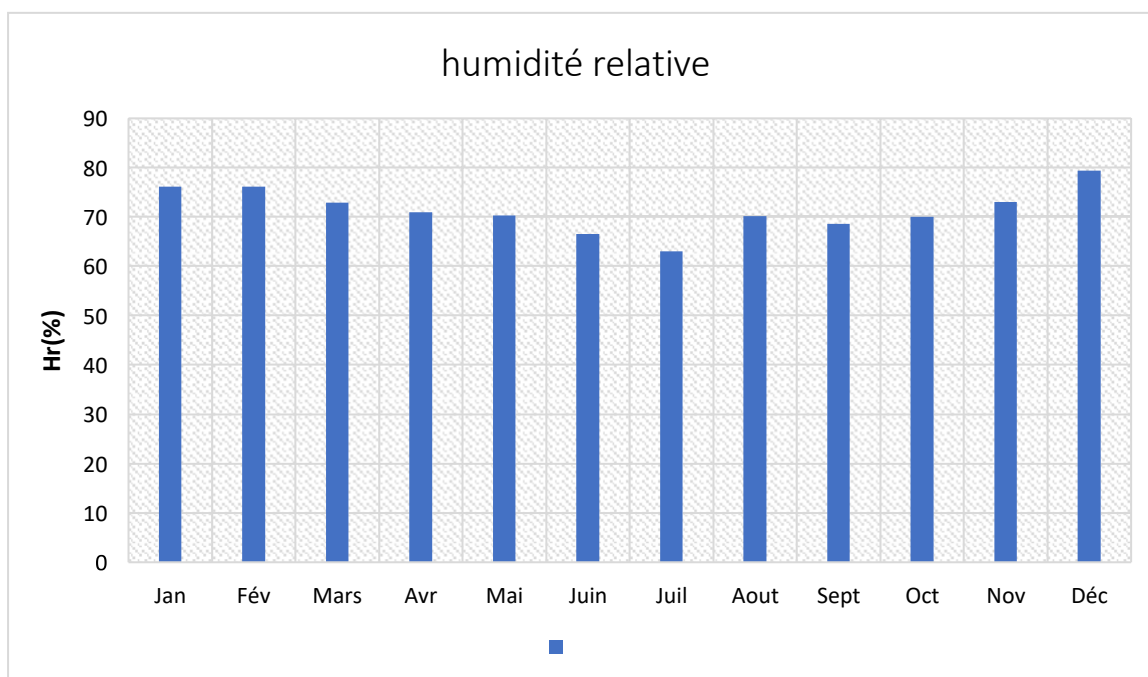


Figure I-8: Graphique de la moyenne mensuelle d'humidité relative.

- Le mois le plus humide est décembre et le moins humide est juillet.

I.5.5. Les vents :

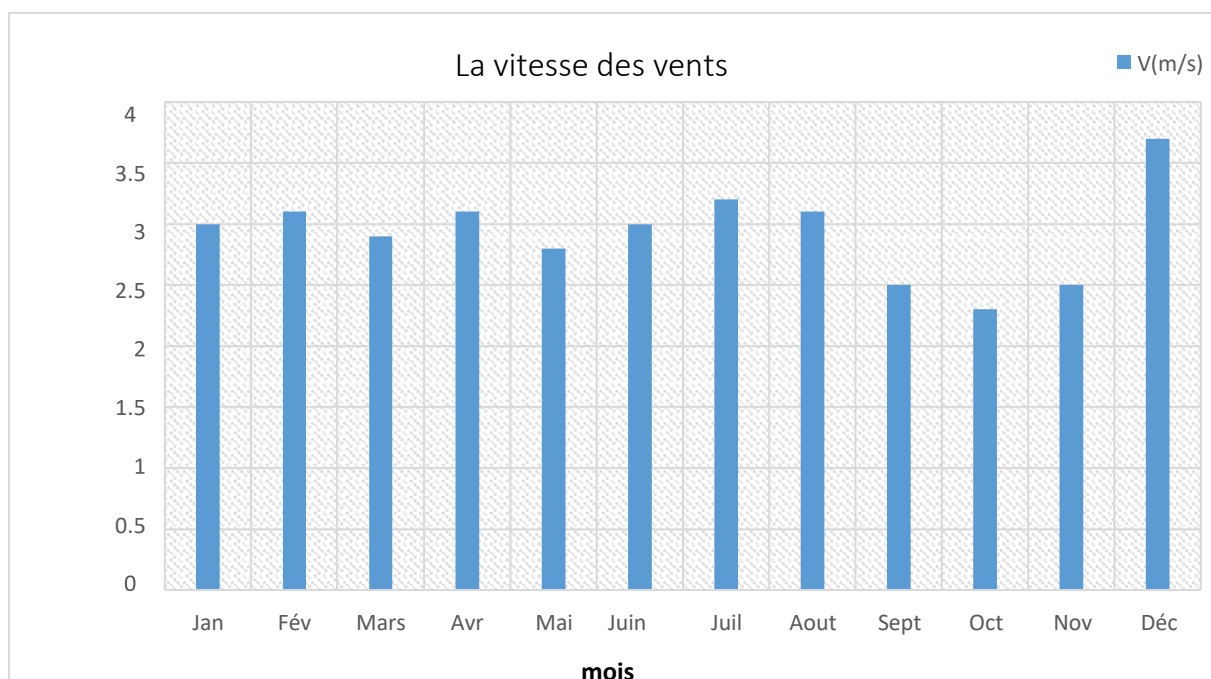
Les vents dominants proviennent de l'ouest pour les saisons d'automne et d'hiver et du nord en printemps et été.

La vitesse moyenne annuelle des vents varie de 2,5 à 3m/s, le maximum est de l'ordre de 4m/s.

Tableau I-5 : Vitesse moyenne mensuelle des vents

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
V(m/s)	3	3.1	2.9	3.1	2.8	3	3.2	3.1	2.5	2.3	2.5	3.7

Source : ANRH Blida, 1990–2018



FigureI-9 : Graphique vitesse moyenne mensuelle des vents.

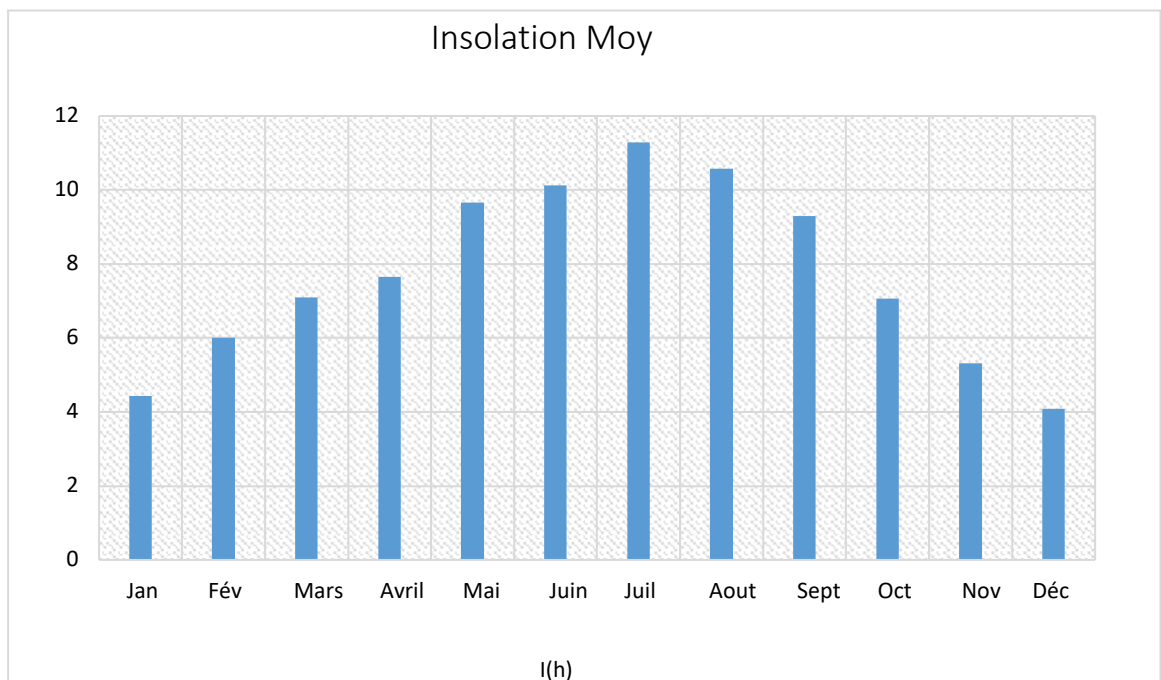
I.5.6. L'insolation :

L'insolation est un élément climatique dont on se sert pour calculer l'évapotranspiration potentielle.

Tableau I-6 : Insolation moyenne (1990-2018)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Insolation Moy(Heures)	4.43	6.00	7.09	7.65	9.66	10.12	11.29	10.58	9.29	7.07	5.32	4.09

Source : ANRH Blida, 1990–2018



FigureI-10: Graphique insolation moyenne

I.6. Indices climatiques :

- Indice d'aridité de De Martonne : C'est le degré de sécheresse du climat de la région Il est calculé par la formule suivante :

$$IA = P / (T + 10)$$

Avec :

IA : Indice climatique de De Martonne.

P: Précipitation annuelle (mm).

T: Température moyenne annuelle (°c)

$$IA = 635.35 / (19.32 + 10)$$

Donc

$$IA = 21.67$$

Tableau I-7 :Les limites de climat d'après l'indice de DeMartonne

Valeurs de IA	Type de climat	Irrigation
$IA \leq 5$	Désertique	Indispensable
$5 < IA \leq 10$	Trèssec	Indispensable
$10 < IA \leq 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < IA \leq 30$	Relativement humide	Parfois utile
$IA > 30$	Humide	Inutile

(Source Bulletin =24FAO)

$$IA=21.67$$

Donc $20 < IA \leq 30$ ce qui correspond d'après les valeurs du tableau au climat «relativement humide ».

- Quotient pluviométrique d'Emberger : En utilisant la formule et le diagramme bioclimatique d'Emberger, il est possible de déterminer l'étage bioclimatique ainsi que la valeur du coefficient pluviométrique.

$$Q = \frac{1000}{\left[\frac{(M+m) \times (M-m)}{2} \right]} = \frac{(2000 \times P)}{(M^2 - m^2)}$$

Avec :

Q : coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

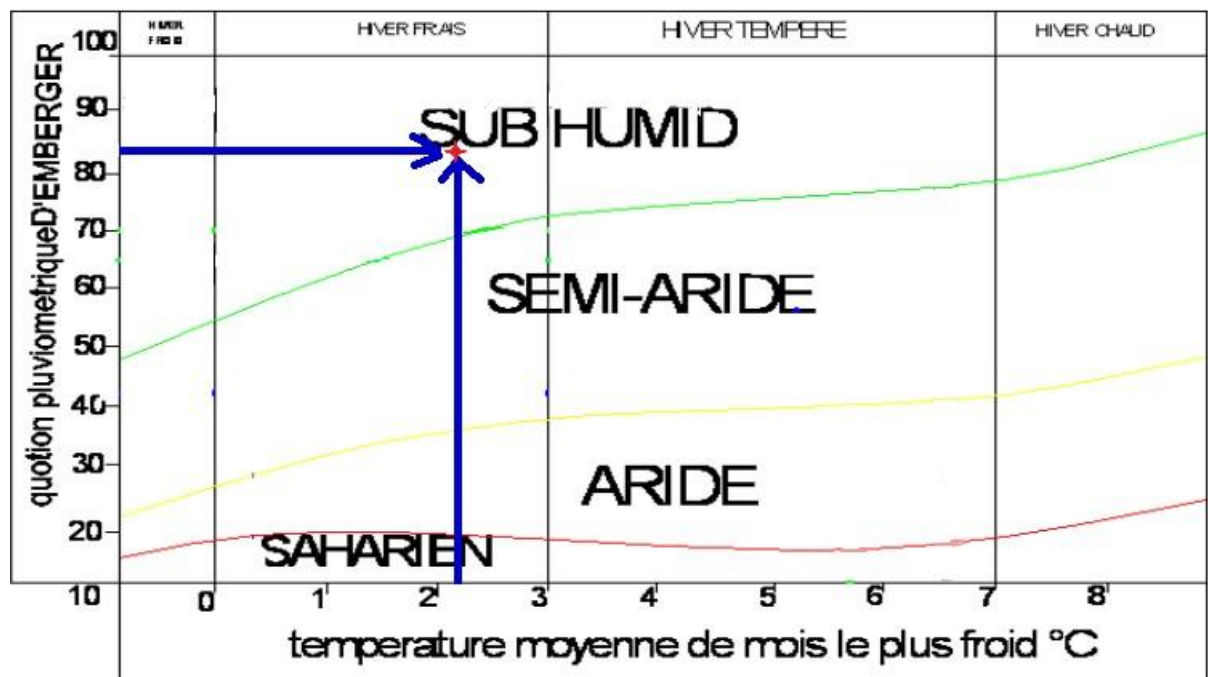
M : Température moyenne maximale du mois le plus chaud en Kelvin

m : Température moyenne minimale du mois le plus froid en Kelvin

$$M = 273 + 28.5 = 301.5 \text{ K}$$

$$m = 273 + 2.2 = 275.2 \text{ K}$$

$$\text{D'où: } Q = 83.78$$

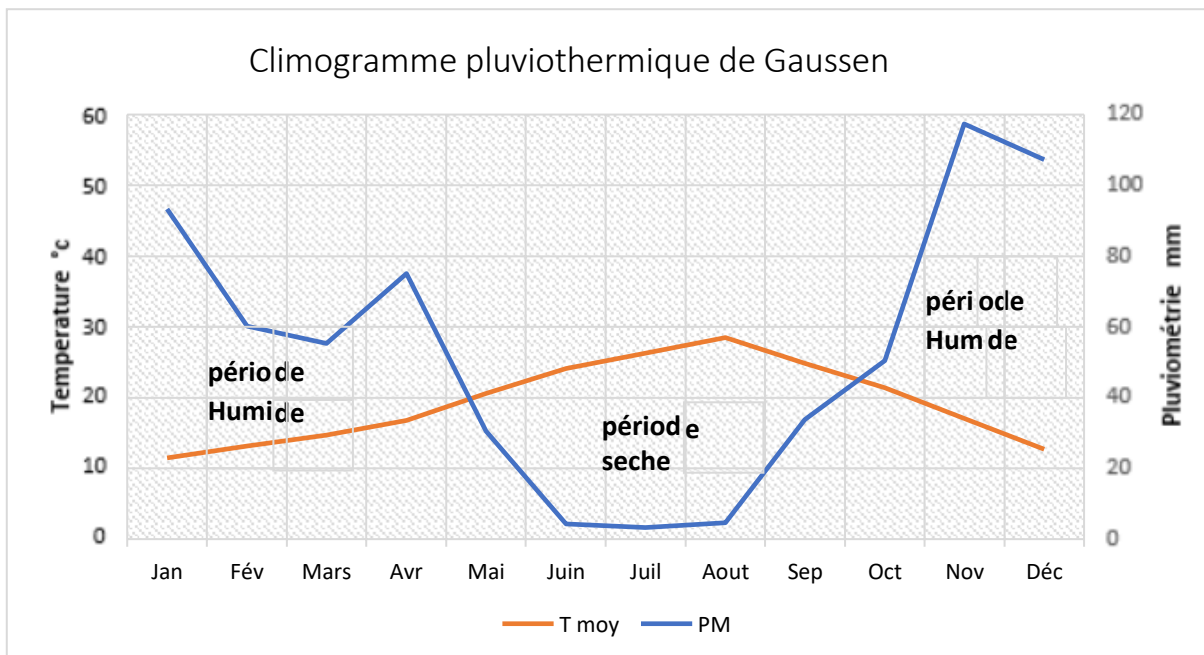


FigureI-11: diagramme bioclimatique d'EMBERGER

La valeur de (Q) dans le diagramme bioclimatique d'Emberger et la température moyenne minimale du mois le plus froid permettent de confirmer que notre région fait partie de l'étage bioclimatique sub-humide, avec un sous-étage avec des hivers frais.

- Climogramme de Gaussen:

Le graphique du climogramme de Gaussen présente les fluctuations des précipitations et de la température au fil du temps (mois). Il nous permet de repérer le moment où il est nécessaire d'irriguer, c'est-à-dire la période sèche, en indiquant les mois où les précipitations sont insuffisantes pour répondre aux besoins en eau des cultures.



FigureI-12: Diagramme ombrothermique de Gaussen

La surface délimitée représente l'intensité de la saison sèche et de la saison humide, avec les deux courbes se croisant.

Dans notre situation particulière, la saison sèche débute en mai et se termine à la mi-septembre, tandis que la saison humide se déroule d'octobre à la mi-avril.

I.7. Conclusion sur le climat :

Dans ce chapitre, après avoir défini le périmètre d'étude, nous avons analysé les conditions naturelles, révélant que la plaine de la Mitidja se distingue par une homogénéité climatique notable, bien que les précipitations aient montré une certaine irrégularité temporelle et spatiale au cours de la dernière décennie ; par ailleurs, le climat de la région connaît un réchauffement progressif, plaçant désormais la Mitidja à la limite du climat subhumide, avec une saison pluvieuse s'étendant de novembre à mi-avril.

CHAPITRE II

Etude agro-pédologique et ressources en sol



CHAPITRE II : Etude agro-pédologique et ressources en sol

II.1. Introduction:

Ce chapitre définit les spécificités du sol de la zone en question, en plus des ressources hydriques et de la qualité des eaux.

Ces éléments jouent un rôle crucial dans la détermination des besoins en eau et la planification du réseau de distribution.

Le classement des sols se base principalement sur les facteurs suivants : la texture, le critère d'hydromorphie, la présence et la profondeur du bassin versant, la porosité, le taux de salinité et le calcaire actif, bien qu'ils soient situés dans des régions spécifiques.

II.2. Etude pédologique :

II.2.1.Introduction :

La pédologie est une discipline qui analyse les propriétés du sol, constituant ainsi un étape cruciale dans toute démarche d'aménagement agricole.

L'analyse pédologique est essentielle pour considérer la nature et la répartition des caractéristiques et contraintes liées aux sols.

Pour l'irrigation, divers aspects doivent être pris en compte, parmi lesquels on peut mentionner notamment :

- La profondeur du sol qui commande l'épaisseur des couches accessibles aux racines et par suite la réserve en eau disponible.
- La texture ou granulométrie de la terre fine et la charge caillouteuse qui joue sur la Rétention de l'eau.
- La structure et la porosité des horizons qui commandent la perméabilité du milieu et globalement, la plus ou moins grande facilité de conduite des arrosages.
- Les caractéristiques chimiques (PH, CE, SAR) qui influent sur les possibilités culturales de la zone à irriguer.
- La bonne connaissance des sols permet le bon choix des cultures.

Les différentes catégories de sols rencontrés dans le périmètre se regroupent dans les classes pédologiques suivantes.

- Sols peu évolués ;
- Sols calcimagnésiques ;
- Sols hydromorphes ;

- Sols à sesquioxyde de fer.

La plus grande partie de la plaine est occupée par des sols peu évolués (presque 70 pour cent) de la surface totale.

II.2.2.Caractérisation physico-chimique du sol :

Une caractérisation détaillée des propriétés physico-chimiques du sol s'avère indispensable pour planifier efficacement les systèmes d'irrigation et choisir les cultures appropriées. Les paramètres suivants ont été pris en considération :

- **Texture** : Le sol présente une texture argilo-limoneuse en surface, favorable à la rétention d'eau, avec une teneur en argile plus élevée en profondeur.
- **Structure** : Structure polyédrique sub-angulaire permettant une infiltration modérée, mais sujette à la battance en surface.
- **Capacité au champ et point de flétrissement** : Bien que non mesurés directement, les caractéristiques texturales suggèrent une réserve utile satisfaisante.
- **Salinité** : La conductivité électrique (CE) est inférieure à 1,5 dS/m, indiquant une salinité faible.
- **pH** : Les valeurs varient entre 7 et 8, ce qui est favorable à la majorité des cultures.

II.2.3.But de l'étude pédologique :

- Évaluer si les sols du domaine analysé peuvent garantir un développement optimal des cultures envisagées et mettre en valeur économiquement l'investissement. On évalue les capacités agronomiques du sol en fonction des exigences des cultures envisagées.

- Évaluation de la part des sols de la zone concernée dans l'approvisionnement en eau pour les plantes à arroser.

- Sélectionner les méthodes d'irrigation qui conviennent le mieux aux conditions du sol et de la culture (aspersion, goutte à goutte, submersion).

- Déterminer les directives à suivre pour une gestion des eaux de pluie au sein du système.

II.2.4.Critères de classification :

Les critères pour classer les sols en vue d'irrigation, tout en prévenant des évolutions négatives comme l'hydromorphie ou la salinisation, sont les suivants :

- **Texture** : Elle influence directement la perméabilité et la capacité de rétention d'eau du sol. La majorité des sols analysés présentent des textures fines à très fines sur l'ensemble des horizons. Les couches supérieures montrent une diminution de l'argile, qui migre vers les profondeurs.
- **Classes texturales** : Celles-ci sont déterminées à l'aide d'un triangle textural, où le mélange de sable, limon et argile est représenté par un point. La localisation de ce point dans le triangle définit la classe texturale correspondante. Un triangle textural utilisé pour la cartographie agronomique est inclus ci-joint.

Pour l'appréciation de la texture, le triangle Américain (2ème approximation) a été utilisé.

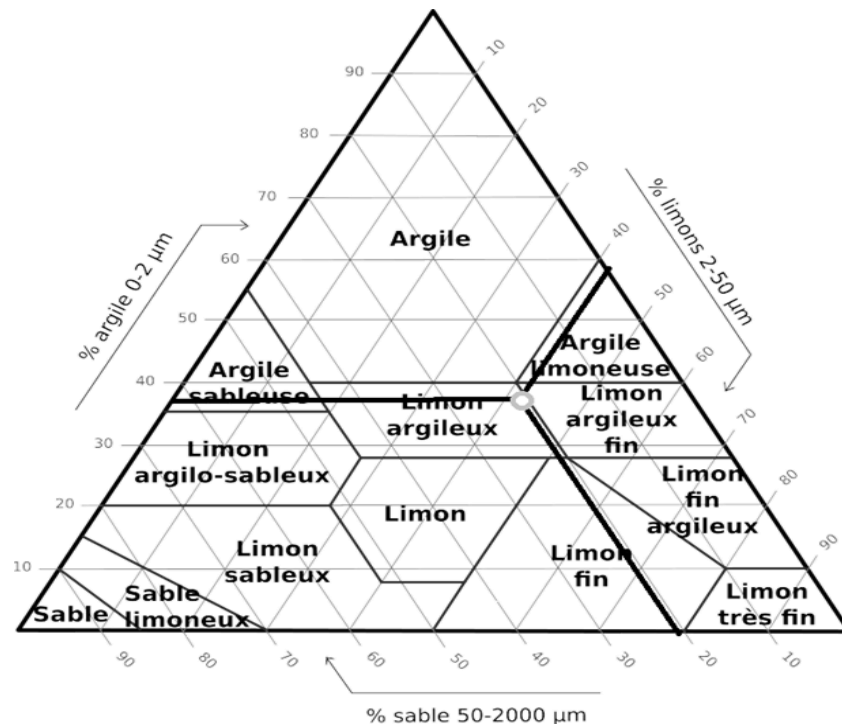


Figure II-1 : Triangle Américain

On limite le nombre de textures à cinq (5) :

Une texture extrêmement fine, la fine, la moyenne et la grossière, texture extrêmement grossière.

- La profondeur du sol : On désigne la profondeur du sol comme l'épaisseur du sol au-dessus d'une strate limite, qui reste inaccessible aux racines ou à l'eau de percolation.

- La teneur en carbonate de calcium : Le calcaire libre présent dans le sol n'influence pas uniquement la structure du sol, mais influence aussi de manière indirecte la rapidité μ d'infiltration de l'eau et les mécanismes d'évaporation.
- Le drainage du sol : Un manque de drainage, qu'il soit faible ou imparfait, entrave la production normale des plantes et influence directement le choix du sol pour l'irrigation.
- Les matières organiques : La matière organique souhaitable devra correspondre de 10 à 15 % du taux d'argile. Cette mesure est surtout valable pour les horizons de surface.

II.2.5. Répartition des sols dans le périmètre :

- La prospection pédologique et l'analyse des différents échantillons ont révélées l'existence de cinq classes de sols.

- Les Sols Peu Evolués

- Les Vertisols

- Les Sols Calcimagnésiques

- Sols à Sesquioxydes de Fer et Manganèse

- Les Sols Hydromorphes.

Les sols peu évolués occupent la plus grande surface du périmètre d'irrigation projeté. Ils ont été observés un peu partout et sont généralement localisés sur les dépôts alluviaux récents ou actuels. Les sols peu évolués - hydromorphes et halomorphes se sont développés, principalement au des terrasses alluviales des oueds.

Les sols hydromorphes se rencontrent dans des endroits renfermés, mal drainés et irrigués avec les eaux retenues dans de petits bassins des oueds traversant la zone. La végétation dominante est hydrophile (joncs). Sa texture est très fine (argileuse).

II.2.6. Les caractéristiques physiques des sols:

Le sol est caractérisé par un certain nombre de paramètres physiques mesurables. Les valeurs de ces paramètres sont généralement en fonction à la fois de la structure et de la texture du sol :

- La granulométrie : Les sols présentent principalement une texture fine, dominée par les textures Argilo-Limoneuse (AL) et Limono-Argileuse (LA).
- La Structure du sol : Durant notre enquête pédologique, nous avons observé diverses configurations du sol, qu'elles soient positives ou négatives. Parmi ces dernières figurent les fragmentations : grumeleuse, polyédrique subangulaire, fine à moyenne et

particulaire.

Nous avons observé des configurations polyédriques de nature grossière, prismatique et massive qui correspondent généralement aux sols vertiques.

II.2.7. Les caractéristiques chimiques du sol:

- La Matière organique : L'apport en matière organique est modeste et varie considérablement d'un profil à un autre. Le maximum est fixé à 3,60 % tandis que le minimum se situe à 0,36%.
- Le calcaire total et actif : À part les sols calcimagnésiques ou en profondeur présentant un encroustement calcaire, le taux de calcaire total excède largement 30% (35,76% pour le profil n°15).
- Le PH : Il se situe entre les valeurs extrêmes 6,24 et 8, mais la majorité des sols présentent un PH variant de 7 à 8. Ils sont un peu basiques.

II.2.8. Typologie des sols : les sols rencontrés :

L'analyse des typologies de sols basée sur les profils, l'examen des typologies établies par l'ANRH et la création d'une carte des sols basée en partie sur les résultats des analyses, avec une échelle au 1/20.000e, ont conduit à la formulation d'une légende provisoire.

En se basant, sur cette légende provisoire, on a tracé les limites provisoires de la carte des sols tout en menant une vérification sur le terrain, de ces limites, en prospectant les deux côtés de celles-ci , tout en réalisant les modifications nécessaires dans le but de parvenir à la carte avec sa légende définitive.

La prospection de terrain dans cette phase, a consisté fondamentalement, à la réalisation de sondages avec tarières fines à une profondeur comprise entre 100 et 120 cm ou jusqu'à une couche impénétrable par les racines. Ces sondages ont été décrits en suivant la même méthodologie que les profils. On a, également, mis à profit d'autres observations, comme par exemple les tranchées, en tentant toujours de rafraîchir au maximum les coupes.

Lors de notre prospection pédologique, nous avons rencontré 05 classes de sols :

Tableau II-1 : Les classes de sols

CLASSE	S / CLASSE	GROUPE	S/GROUPE	FAMILLE	SERIE	TYPE
Sols PeuEvolués	Non climatiques	Apport alluvial	Vertique	Suralluvionstrès fines(argilo-limoneuses)	Profond	Argileuse

			Hydromorphe	Suralluvions très fines (argilo-limoneuses)	Moyenne ment Profond	Limoneuse
			Noirci	Suralluvionstrès Fines (argilo-limoneuses)	Profond	Argileuse
Vertisols	A drainage externe nul ou réduit	A structure anguleuse sur au moins 15cm supérieurs	Modal	Suralluvionstrès fines (Argilo-limoneuses)	Profond	Argileuse
Sols Hydromorphes	Sols Hydromorphes peu humifère Sou minéraux	Sols à gley	Gley peu profond < 80 cm	Suralluvions fines (argileuses)	Profond	Limono-argileuse
		Apseudogy	De surface	Sur alluvions fines (argileuses)	Très Profond	Limono-argileuse
Sols Calcimagnésiques	Sols Carbonatés	Bruns Calcaires	Modal	Sur encroûtement calcaire	Profond	Limoneuse

II.2.9. Les sols calcimagnésiques :

Il s'agit de sols « carbonatés » qui possèdent principalement des attributs attribuables au calcaire actif. Il s'agit donc de sols qui conservent une saturation en Ca^{2+} et/ou Mg^{2+} . L'importance physico-chimique des ions alcalino-terreux influence les caractéristiques morphologiques des sols calcimagnésiques. Les cations alcalino-terreux proviennent principalement de la roche calcaire. L'importance du sol en ions Ca^{++} et Mg^{++} est associée à la pédogénèse dans les sols calcimagnésiques. Au cours de notre exploration pédologique, nous avons fait la rencontre de :

- La Sous –Classe des sols carbonatés,
- Le Groupe des sols Bruns Calcaires
- Le Sous-groupe : Modal

II.2.10. Interprétation des résultats analytiques :

Ce genre de terrain a vu le jour sur des alluvions historiques. Il se distingue par une teinte d'un brun jaunâtre foncé et un équilibre entre la surface et la profondeur. La structure de l'horizon

superficiel est fine et, en profondeur, elle se caractérise aussi par une structure polyédrique moyenne.

La proportion totale de calcaire se situe entre 12,40 % en surface et 18,80 % en profondeur. Sur tout le profil, le pH est légèrement alcalin. De plus, la salinité du sol ne dépasse pas 1.1 mmhos/cm. Il s'agit généralement de sols plutôt profonds. Ils présentent une texture équilibrée, argilo-sableuse. L'organisation est avantageuse jusqu'à une profondeur moyennede 70 cm.

Aptitude Culturelle : B 33, C 11

II.2.11.Mise en valeur agricole :

Dans l'aire du périmètre, le plan de développement prévu vise à favoriser la mise en place de nouvelles cultures et leur intégration, tout en assurant un degré d'intensification qui sera facilement accepté par les exploitants. La diversification des cultures, en particulier l'arboriculture, répond à un objectif d'implication durable de l'exploitant et de garantie du revenu.

La diversification est une stratégie contre le risque. Elle garantit des revenus constants tout au long de la saison agricole et contribue à la pérennité du sol par le biais d'assolements et de cultures intercalaires, sans oublier le développement de l'élevage d'ovins/caprins et de bovins.

La mise en valeur future sera basée sur :

- L'arboriculture (agrumes, pêcher, pommier et poirier et surtout la vigne de table etc.).
- Un élevage intensifié composé de bovin (bassin laitier).
- Un assolement (céréales/fourrages).

II.2.12. Les facteurs limitant la mise en valeur agricole :

Les facteurs limitant la mise en valeur agricole de la zone étudiée sont de 3 ordres :

- Climatique
- Pédologique
- Socio-économique

a. Facteurs climatiques : Conditions météorologiques : Le climat n'est pas un obstacle majeur pour la culture agricole dans la zone examinée, seule la gelée blanche peut nuire au rendement des cultures. Elle fait son apparition de décembre à mars.

- b. Facteurs pédologiques :** En règle générale, le choix des aptitudes culturelles est influencé par deux facteurs : d'une part, la profondeur du niveau limitant influence l'épaisseur du sol utilisable par le système racinaire, tandis que d'autre part, sa nature (cailloux, structure vertique, encroûtement, croûte, etc.) peut affecter de manière variable la pénétration des racines et le développement normal des plantes cultivées.

II.2.13.La texture du sol :

Quand le sol est sec, une texture fine ou particulièrement fine est généralement associée à une structure importante en gros prismes, séparées par des fentes de retrait. Cette caractéristique est courante dans les vertisols et les sols de nature vertique. Les sols extrêmement compacts et durs durant l'été (impossibles à exploiter) deviennent asphyxiants durant l'hiver en raison de la lenteur du débit hydrique, ce qui entraîne un mauvais drainage naturel. L'irrigation des vertisols ou sols vertiques est complexe et délicate en raison de la difficulté de pénétration de l'eau. Il est nécessaire d'effectuer l'irrigation lentement afin d'éviter tout engorgement des sols. Il est nécessaire de travailler autant que possible ces sols afin de réduire leur tenacité (ou compacité). La texture du sol joue un rôle crucial dans la productivité des végétaux cultivés. La stabilité structurale est grandement influencée par le rapport entre limons et argiles. Plus le rapport est élevé, plus la structure du sol se détériore et plus il devient battant.

II.2.14.Les travaux d'aménagement à entreprendre :

Pour éliminer ou du moins minimiser les impacts négatifs des facteurs limitants mentionnés dans les paragraphes précédents, il est nécessaire de procéder aux travaux d'aménagement suivants pour mettre en lumière le périmètre. Pour une préservation optimale et une utilisation rationnelle des terres, ces travaux d'aménagement sont organisés en fonction de la priorité, c'est-à-dire :

a. Lutte contre les inondations et curage des anciens émissaires de drainage :

Il est néanmoins envisageable d'atténuer les conséquences de ces inondations ou de réduire leur fréquence en priorité dans les zones les plus vulnérables et les plus exposées.

Il est nécessaire de réaliser les travaux dans les lits principaux des émissaires actuels touchés par les crues et les stagnations d'eau. Ces crues causent d'importants dégâts et nuisent aux plantations. Ils sont nécessaires ou conseillés en fonction des circonstances :

- Les endiguements adéquats sur les berges des cours d'eau ou la suppression des grands méandres dans ces derniers.

- Mise en place de canaux périphériques pour la dérivation des eaux vers les cours d'eau, qui permettent de les renvoyer vers des endroits hors du champ de protection.

b. Assainissement superficiel :

En activant le ressuyage des surfaces, la mise en place d'ados facilitera la réalisation des travaux de culture et augmentera les rendements des cultures d'hiver et de printemps.

Construire un système d'assainissement de surface qui facilite l'élimination des excès d'eau en une période extrêmement brève, afin de maximiser la disponibilité du sol pour le travail pendant la saison pluvieuse. Il s'agit des sols lourds qui ont du mal à se résister. La difficulté réside dans la gestion des eaux supplémentaires qui ne peuvent pas pénétrer et se regroupent en surface, incapables d'être éliminées en raison d'un débit naturel (topographie : dépression et cuvette).

II.2.15.Introduction sur l'irrigation :

La valorisation d'une région grâce à des méthodes totalement innovantes, comme celle de l'irrigation par les eaux résiduaires purifiées, rencontre fréquemment des obstacles liés au milieu social.

Cela concerne principalement les problèmes liés au bon fonctionnement de l'irrigation et à la réalisation de rendements satisfaisants, en prenant en compte que les difficultés techniques générales préalables à la mise en place des cultures ont été surmontées (comme le drainage, le nivellement, la protection contre les vents, le labour profond et sous solage). Nous préconisons l'irrigation localisée pour deux motifs principaux :

On la préconise pour l'arboriculture, car elle offre des bénéfices en matière d'économie d'eau et sur le plan écologique et sanitaire. Mis à part son coût assez onéreux, mais surmonté par une efficacité remarquable, ce système d'irrigation ne présentera sans doute aucune menace pour la santé, compte tenu du contact minimal possible entre les organes des plantes cultivées et l'eau d'arrosage. Néanmoins, il est impératif de respecter les précautions suivantes :

- Choisir les types de goutteurs moins sensibles à l'obstruction.
- Manipuler avec soin les fruits qui peuvent être consommés frais.
- Bien entretenir les canalisations et les vannes.

Ce genre d'irrigation convient idéalement aux spécificités pédologiques : les sols de fine granulométrie et de faible perméabilité requièrent des quantités réduites à intervalles réguliers. Cela s'appliquera également aux sols fins qui reposent sur des strates moins perméables.

II.2.16.Aptitudes culturales :

Le but de la carte d'aptitude est :

- Définir les aptitudes culturales spécifiques à des utilisations précises.
- Intensification des cultures préexistantes et optimisation des sols.

Par conséquent, pour établir une carte d'aptitude culturale, la technique employée consiste à recenser les facteurs physiques et chimiques qui contribuent au développement des cultures, puis à les associer au fond pédologique. La carte d'aptitude prend également en compte d'autres éléments influençant la productivité, comme le climat, l'hydrologie et la topographie du sol.

a. Évaluation systématique des terres :

- La procédure d'évaluation consiste à :
- La définition des exigences culturales et des degrés de limitation ;
- L'énumération des facteurs qui ont une influence sur la croissance de la plante (éléments climatiques et pédologiques) ;
- La définition de degré de limitation lié à la perte de production par rapport aux rendements optimum ;
- L'interprétation des contraintes et classification des aptitudes.

Les cartes des aptitudes culturales en irrigué ont été établies pour les catégories de cultures en fonction des caractéristiques des sols en tenant compte :

- La profondeur du sol utilisable par les cultures (PSU)
- La texture
- La structure
- La présence ou l'absence d'hydromorphie
- La salinité.

b. Les cultures adaptées à la zone du projet :

La qualité exceptionnelle des terres et la présence d'eau d'irrigation traditionnelle (superficielle ou souterraine) dans le contexte du projet favorisent l'émergence d'une agriculture intensive performante.

Étant donné que la zone de Boufarik bénéficiera d'une irrigation basée sur les eaux usées purifiées provenant de la STEP, il est important de noter que le Journal Officiel n°35 du 23/05/2007 déterminant les conditions d'autorisation d'utilisation des eaux usées épurées pour

l'irrigation est complétée par un projet d'arrêtés interministériels daté du 22.11.2009 proposé en supplément. Dans ce document, on indique la liste des cultures autorisées à recevoir une irrigation à partir de ces dernières.

II.2.17. Gestion des sols en milieu semi-aride :

Dans le contexte semi-aride de la région, il est recommandé d'envisager :

- L'utilisation d'amendements comme le gypse pour améliorer la structure des sols sodiques.
- La mise en place d'un drainage efficace pour éviter l'accumulation des sels.
- La rotation culturale et les couverts végétaux pour réduire la salinisation par capillarité.

II.2.18. Arrêté interministériel fixant la liste des cultures qui pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées :

Cette décision est présentée conformément aux clauses de l'article 15 du décret exécutif n°07-149 daté du 20 mai 2007 concernant les conditions d'autorisation d'exploitation des eaux usées purifiées pour l'irrigation et le cahier des charges-type correspondant. On le découvre dans le journal officiel N° 41 daté du 15 juin 2012.

Ce décret établit la liste des cultures qui peuvent bénéficier de l'irrigation par les eaux de pluie purifiées dans le but de réduire au minimum les dangers pour la santé publique.

De plus, la sélection des cultures a pris en considération divers facteurs qui pourraient contribuer à une gestion efficace de l'irrigation, notamment :

- La nature et les caractéristiques physico-chimiques du sol,
- La pratique habituelle de l'irrigation chez l'agriculteur,
- La sensibilité des cultures notamment au sel,
- Le système d'irrigation,
- La disponibilité de l'eau.

Les agrumes	Pample mousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
-------------	--

Les cultures fourragères	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
Cultures industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, Coton, le lin.
Les cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Les cultures de production de semences	Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
Les arbustes fourragers	L'Acacia et l'Atriplex.
Les plantes florales à sécher ou à usage industriel	Le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

Tableau II-2 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées

Groupes de cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées.	Liste des Cultures
Les arbres fruitiers	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.

Source : (journal officiel N° 41)

- L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise puisque on peut cesser l'irrigation plusieurs jours avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.
- Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et ce, afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

II.3. Conclusion générale :

L'analyse agropédologique du secteur de Boufarik nous a permis d'appréhender les spécificités physico-chimiques des sols de la zone. D'après les critères traités, nous avons réussi à établir leurs capacités aux diverses cultures par le biais de l'irrigation. Nous avons également identifié les difficultés liées à la mise en valeur et aux travaux d'aménagement nécessaires.

L'irrigation peut toucher une superficie de : 3 765,71 hectares. Les sols les plus typiques sont ceux qui ont subi une faible évolution d'apport alluvial.

On peut d'abord conclure qu'il est bénéfique d'arroser toutes les terres qui, du fait de leur localisation géographique et topographique, peuvent nécessiter une irrigation. En revanche, les sols peu épais, classés dans la catégorie 4, présentent une productivité moindre, une demande en eau accrue et un coût de mise en valeur supérieur par rapport aux autres.

CHAPITRE III

Etude hydrologique et

Ressource en eau

CHAPITRE III : Etude hydrologique et ressources en eau

III.1.Introduction :

Il est essentiel d'identifier et de mesurer les besoins en eau pour diverses cultures avant de débiter une recherche sur l'irrigation. Dans ce chapitre, nous allons exposer les sources d'eau disponibles pour la ferme pilote et approfondir l'analyse hydrologique requise pour déterminer les spécificités des précipitations en fonction de diverses fréquences.

III.2.Etude hydrologique :

Généralement, on définit le besoin en eau comme la capacité d'évapotranspiration d'une culture sans maladies et poussant sur une surface dépassant un hectare dans des conditions de sol idéales. Ces dernières impliquent une fertilité et un taux d'humidité adéquats pour réaliser le potentiel de production de la culture dans l'environnement en question.

III.3.Les ressources en eaux disponible ou niveau de périmètre :

III.3.1. Analyse quantitative et qualitative de la nappe :

La nappe phréatique constitue la principale ressource pour l'irrigation du périmètre.

- **Débit disponible :** Estimé à environ 15 à 20 L/s, ce qui est suffisant pour irriguer 120 ha sous système localisé.
- **Saisonnalité :** Le niveau de la nappe baisse en été, ce qui indique une recharge insuffisante durant cette période.
- **Qualité de l'eau :** CE moyenne à 1,2 dS/m, pH à 7,5, taux de nitrates compatibles avec les usages agricoles.

Le périmètre à étudier fait partie de Mitidja centre. L'alimentation de périmètre est assurée par la station d'épuration de BEN CHAABANE. Le tableau suivant présente les caractéristiques générales de la station de traitement Des eaux usées de ville de Boufarik :

**TableauIII-1 : Caractéristiques générales de la station d'épuration de Boufarik «
BEN CHAABANE (OTV – 2021) »**

Nom	Station d'épuration de la ville de Boufarik
Adresse	BEN-CHAABANE chef-lieu BEN-KHELIL
Maitre d'ouvrage/Exploitant	OTVVeolia
Année de la mise en route	Fin 2019
Type de réseau	Unitaire
Nature d'effluents	Domestiques et Industriels
Capacité nominale	375000 Eq.H
Débit moyen journalier	60000 m3/J à l'horizon de2030
Débit moyen horaire	2500 m3/h à l'horizon 2030
Débit de pointe en temps sec	4000 m3/J
Débit de pointe en temps de pluie	6000 m3/J

Source : FAO (Ayers & Westcot, 1985), STEP Boufarik, 2024

III.4.Ouvrage de réception :

La majeure partie des eaux usées polluées provenant de la ville de Boufarik et des communes voisines entre dans l'ouvrage d'arrivée de la station grâce à un système de filtration en béton de 1,3 * 1,3 m².

Les effluents provenant de BEN-CHAABANE et Ain-Aicha seront dirigés gravitationnellement vers cet ouvrage de réception. Avant leur entrée, les effluents seront passés par un regard équipé de deux vannes, soit vers cet ouvrage, soit vers le collecteur existant afin d'être by-passe vers OUED LEKHAL sans décharger la canalisation amont. Une vanne en inox sera prévue sur le départ des effluents vers la station d'épuration afin de l'isoler. Dans cette situation, les effluents seront directement évacués vers OUED LEKHAL grâce à une grille avec une largeur de 2,75 m et une distance entre les fers de 100 mm. La vitesse approchée lors des pointes sera de 0.56 m/s, calculée comme suit : $V = Q_p / (\text{Largeur grilles} * \text{Hauteur d'eau à 50\% du colmatage} * 3600) = 0.56 \text{ m/s}$.



Groupement SARL EL BAHDJA/SARL MATHE

Figure III-1 :Réservoir de stockage limitrophe à la STEP

- BENCHAABANE : Une croissance faible est préconisé pour cette agglomération vu les forte potentialités agricole existantes et les problèmes d'inondation que connait la zone.

III.5.La Station d'Épuration des Eaux Usées BEN CHAABANE :

III.5.1. Situation géographique et topographique :

Dans un souci de protection de l'environnement, la station d'épuration a pour mission d'épurer les eaux usées de l'ensemble de la commune de Boufarik avant leur rejet dans l'oued. Elle jouera un rôle majeur dans la préservation des ressources hydriques, notamment à travers la réutilisation des eaux usées épurées. (Irrigation des zones agricoles et l'alimentation des industries). Ce chapitre constitue un aperçu global sur la station de Ben Chaabane avec les ses principales filières de traitement.



Source : Google earth

FigureIII-2 : Vue générale de la Station d'épuration de Ben Chaabane (Google earth)

La région et ses alentours reporent sur un relief quasiment plat de très faible pente de 2% à 5% environ du sud vers le nord.

Elle présente un relief uniforme, avec une faible pente dans les altitudes varient de 53 à 64 MNGA dans le sens Nord-sud, 55 à 60 MNGA d'Ouest à l'Est.

Selon La Station de BOUFARIK PEPINIER de code **021209**.

Le levé topographique est rattaché à la cote N.G.A dont les coordonnées sont :

TableauIII-2 : Les coordonnées est en UTM

X(Km)	Y(Km)	Altitude(m)
518,55	363,40	60,00

Source ANRH « Blida 2017 »

La capacité de traitement de la STEP est de 60 000 m³/j. Les besoins en eau d'irrigation pour le périmètre de 120 ha sont estimés à environ 684 m³/j (en juillet). Cela représente environ 1,1 % du volume quotidien traité, ce qui garantit une disponibilité suffisante, même en période de pointe. Cette comparaison montre que la réutilisation des eaux

usées est techniquement faisable sans risque de déficit.

III.5.2. Caractéristiques techniques de la station :

- Capacité de la station : 375 000 EH à l'horizon 2030.
- Volume d'eaux usées à traiter : 60 000 m³/j.
- Type de procédé d'épuration : Boues activées à moyenne charge.

III.6. Analyse de la qualité des eaux épurées :

La STEP de Boufarik, d'une capacité de 60 000 m³/j, constitue une source non conventionnelle importante pour l'irrigation agricole dans la région de Blida. Toutefois, la qualité des eaux traitées doit être analysée afin de garantir leur sécurité d'utilisation.

1. Paramètres physico-chimiques :

Les analyses réalisées en sortie de la STEP révèlent des valeurs globalement conformes aux normes internationales :

Tableau III-3 : Paramètres physico-chimiques des eaux épurées de la STEP de Boufarik

Paramètre	Valeur	Norme OMS (Irrigation)
DBO₅ (mg/l)	8,8	≤ 30
DCO (mg/l)	73	≤ 90
MES (mg/l)	10,4	≤ 30
pH	7,48	6,5 – 8,4
Conductivité (μS/cm)	1709	≤ 3000*
Na⁺ (mg/l)	122,95	≤ 200
Cl⁻ (mg/l)	117,15	≤ 350

Source : FAO (Ayers & Westcot, 1985).

Interprétation :

- La **DBO₅** et la **DCO** respectent les normes, indiquant une bonne élimination de la matière organique.
- La **conductivité élevée** (1709 μS/cm) signale un risque de salinisation des sols à long terme.
- La teneur en **sodium (Na⁺)** et **chlorures (Cl⁻)** reste acceptable mais nécessite une surveillance pour éviter la dégradation des sols (sodisation).

2. Indices agronomiques :

- **SAR = 17,91** → Risque élevé (dispersion des argiles)
- **SSP = 59,47 %** → Dominance du sodium (structure du sol menacée)
- **KR = 1,3** → Déséquilibre modéré des cations

3. Risques et recommandations :

- **Salinité** : Classe C3, nécessite drainage et lixiviation
- **Sodisation** : altération de la structure du sol
- **Microbiologie** : prévoir désinfection UV ou chloration

III.7. Conditions d'utilisation des eaux usées traitées en agriculture :

La réutilisation des eaux usées épurées offre plusieurs avantages : disponibilité constante, indépendance vis-à-vis du climat, contribution à la résilience hydrique.

Toutefois, certains risques doivent être pris en compte : accumulation de sels dans les sols, présence potentielle de pathogènes ou de métaux lourds. Il est donc essentiel de prévoir un suivi régulier de la qualité, un bon drainage, et un plan de gestion adapté à chaque culture.

III.8. Etude des pluies annuelles :

Afin d'estimer le déficit des précipitations pour les besoins en eau d'irrigation, une analyse Statistique doit être faite sur la base des enregistrements pluviométriques effectués sur une longue période. Cette étude porte sur :

- Détermination de l'année de calcul.
- L'homogénéisation des séries pluviométriques.
- L'étude fréquentielle des séries pluviométriques par des lois statistiques.

III.8.1. Pluviométrie :

La pluviométrie, d'une façon générale, dans cette plaine varie entre 500 et 700 mm/an, on constate toutefois que depuis plus de 20 ans d'observations ont, souvent, été en dessous de cette moyenn .

Tableau III-4 : Moyenne des Pluies période 1983 à 2015

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluies (mm)	94.33	81.3	71.81	65.34	53.11	7.98	3.17	3.17	25.03	54.18	79	94.87	633.29

Source : ANRH (Blida)

III.8.2. Présentation de la station météorologique:

La station pluviométrique sélectionnée est celle de Soumaa, située à proximité du périmètre d'étude et gérée par l'ANRH. Elle présente les caractéristiques suivantes:

Tableau III-5: Station pluviometrique

Station	Code	Coordonnée			Année de service	N(ans)
		X(km)	Y(km)	Z(m)		
SOUMAA	02-12-34	517.45	355.9	117	1983-2015	33ans

Source: ANRH BLIDA, année 1983-2015

Tableau III-6: Pluies moyennes mensuelles observées (1983-2015)

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuelle
1983	0.7	19.2	86.3	241.4	28.3	64.3	62.8	71.5	25.8	2.8	0	19.4	622.5
1984	6.2	49.7	8.3	81.5	188.9	169.7	48.5	25.2	93.2	1.2	0.3	0.1	672.8
1985	45.7	93.2	157	83.4	0.3	55.9	61	1.2	5.7	0	5	4	512.8
1986	0	18.8	37.7	69.5	113.5	109.5	35.6	73.1	99.5	10	0	0	567.2
1987	16.2	194.8	26.4	126.7	88.3	52.7	185.3	38.4	153	1.4	0.3	0	883.6
1988	37.3	38.6	88.6	57.3	77	61.1	199.8	24.5	2.1	19.8	36.8	0	642.9
1989	70.2	21.3	82.8	202.2	108.1	173.7	49.3	0	14.8	18.2	0	1.1	741.7
1990	33	47	130	34.7	37.5	59.4	74	40.5	45.4	11.9	0	0	513.7
1991	71.5	10.9	36	277.2	12.4	20.8	48.5	130	18	18.9	2.2	0	646.6

1992	6.2	18.2	47.9	7.4	51.1	0	66.1	53.9	135	2.1	30.1	0	418.4
1993	0.8	44.6	30.5	106.3	96.2	127.4	95.4	23.8	33	0.6	0	0	558.6
1994	4.9	179.1	9.7	4.6	213.7	27.2	117.3	142	105	20.5	3.7	0	827.9
1995	9.5	72.4	111	113.8	36.6	50	24.4	82.4	89.5	0	0.2	0	590.1
1996	19.9	28.6	107	78.5	152.7	73.5	0.3	96.6	0.4	0	0.1	0	557.6
1997	9.5	102.2	39.4	61.9	230.5	61.8	133.5	16.8	1.3	16.4	0	14	687.3
1998	16.3	30.3	39.1	22.5	99.5	182.7	31.3	231	40.3	13.1	2.4	0.1	708.8
1999	52.2	38.5	4	9.7	14.8	23.1	6.7	86.6	19.5	2	1.6	16.1	274.8
2000	31.6	68.3	120	94.1	36.7	50.8	53.8	90.1	173	0	0	13.8	732
2001	18.5	30.2	126	62	156	108	76.7	13.3	2.4	5.6	0	1.7	600
2002	21.2	21.1	89.7	188	10.8	1.5	22.6	34.7	34.1	0.3	2.4	0	426.4
2003	3.70	36.8	72.7	38.9	154.5	59.4	1.3	42.3	17.8	0	0	1	428.4
2004	14.6	9.7	48.8	53.4	37.4	16.4	50.1	37.6	23.3	0.5	6.4	46.4	344.6
2005	30.9	42.9	159	169.1	199.9	147.1	22.4	122	41.7	15.8	1.2	2.5	954.3
2006	54.3	32.5	59.5	129.1	90.9	48	65.3	70.6	117	3.4	8.4	0	678.8
2007	11.5	40.1	85.5	119.4	94.5	134.3	46.8	34.1	6.9	0	0	0.9	574
2008	50.2	131.9	111.1	150.3	167.2	20.4	65.5	83.1	28.7	0.3	1.7	1.3	811.7
2009	86.2	8.9	100	130.8	67.2	92.1	122.8	53.3	30.8	20.9	0	35.8	748.8
2010	5.5	80.2	122.8	74.1	92.4	140.6	35.3	99.2	122.9	15.8	0	2	790.8
2011	11.9	85.1	85.3	68.8	52	220.6	132.4	152.8	34.4	0	0	24	867.3
2012	8.5	44.6	111.3	22.4	133.3	107.7	66.4	103.5	170.4	1.5	0.4	23.5	793.5
2013	12.2	16.2	148.3	95.7	74.7	63.4	109.9	2	14.4	51.5	0	0	588.3
2014	34.8	33.3	54.2	156	118.7	86.3	96.7	0	21.1	9	0	0	610.1
2015	30.2	98.7	71.3	0	77.3	73.4	162	80	32.1	0	1.5	0	626.5
Moy	25.03	54.18	79	94.87	94.33	81.3	71.81	65.34	53.11	7.98	3.17	3.17	

Source: ANRH Blida

III.8.3. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique :

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique, nous utilisons le Test de Wilcoxon, qui se déroule comme suit :

- **Division de la Série** : Séparez la série complète en deux sous-séries, X et Y, où N_1 et N_2 représentent respectivement les tailles de ces sous-séries, avec généralement

$$N_2 > N_1$$

- **Classement et Attribution des Rangs** : Regroupez les données des sous-séries X et Y après avoir classé la série d'origine par ordre décroissant. Attribuez un rang à chaque valeur dans cette série classée, en indiquant à quelle sous-série chaque valeur appartient.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Touaibia, 2004), si la relation ci-dessous est vérifiée.

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

Avec :

W_x : Somme des rangs de sous-séries.

$$W_{\min} = \left(\frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} \right) - 1.96 \left(\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{1/2} \quad (\text{III-2})$$

$$W_{\max} = [(N_1 + N_2 + 1).N_1 - W_{\min}] \quad (\text{III-3})$$

Le tableau suivant détaille le procédé de test d'homogénéité des pluies de notre station :

TableauIII-7: Test d'homogénéité de Wilcoxon

Rang	Série d'origine	Série X (mm)	Séries-Y (mm)	TRI (mm)	X union Y
1	622.5	622.5	708.8	954.3	Y
2	672.8	672.8	274.8	883.6	X
3	512.8	512.8	732	867.3	Y
4	567.2	567.2	600	827.9	X
5	883.6	883.6	426.4	811.7	Y
6	642.9	642.9	428.4	793.5	Y
7	741.7	741.7	344.6	790.8	Y
8	513.7	513.7	954.3	748.8	X
9	646.6	646.6	678.8	741.7	Y
10	418.4	418.4	574	732	Y
11	558.6	558.6	811.7	708.8	Y
12	827.9	827.9	748.8	687.8	X
13	590.1	590.1	790.8	678.8	Y
14	557.6	557.6	867.3	672.8	X
15	687.3	687.3	793.5	646.6	X
16	708.8		588.3	642.9	X
17	274.8		610.1	626.5	Y
18	732		626.5	622.5	X
19	600			610.1	Y
20	426.4			600	Y
21	428.4			590.1	X
22	344.6			588.3	Y
23	954.3			574	Y
24	678.8			567.2	X
25	574			558.6	X
26	811.7			557.6	X
27	748.8			513.7	X
28	790.8			512.8	X
29	867.3			428.4	Y
30	793.5			426.4	Y
31	588.3			418.4	X
32	610.1			344.6	Y
33	626.5			274.8	Y

En se basant sur le test de Wilcoxon, on obtient :

$$W_x = 271 ; \quad W_{\min} = 200.29 ; \quad W_{\max} = 309.71.$$

$$\text{Donc :} \quad 200.29 < W_x < 309.71$$

La condition de **Wilcoxon** est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelles de la station **SOUMAA** est homogène.

A. Caractéristiques empiriques de la série de soumaa :

Les caractéristiques de la série des précipitations maximales quotidiennes de la station de Soumaa sont les suivantes :

Tableau III-8 : Caractéristiques de la série.

Caractéristique	Valeur	Caractéristique	Valeur
Nombre de données	33	Médiane	156
Minimum	53.4	Coeff de variation Cv	0.290
Maximum	277	Coeff d'asymétrie Cs	0.163
Moyenne	164	Coeff d'aplatissement Ck	2.78
Ecart-type	47.6		

III.8.4. L'ajustement statistique des pluies :

Il est fréquent que les données de pluie annuelles puissent être ajustées à différentes lois statistiques, en raison de la faible variabilité interannuelle pour certaines stations. Dans notre situation, nous utilisons celle qui assure la meilleure adaptation possible. Les lois les plus couramment utilisées pour l'ajustement des pluies annuelles sont les suivantes :

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

Ces deux lois de probabilité continues dépendent de deux paramètres principaux :

l'espérance, notée μ , et l'écart type, notamment pour la loi log-normale.

Choix de type de loi :

Ces critères de sélection sont associés à une modification graphique initiale, puis à un test d'adéquation. Le papier à probabilité nous donne la possibilité d'accepter ou de rejeter la loi en fonction de l'aspect des points (toute sinusité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement). Une loi normale est toujours tentée d'être adaptée à un échantillon ou de se ramener à une loi normale par modification de variable.

La loi de probabilité ajustée à l'échantillon est généralement plus proche de la normalité lorsque la variable concerne une échelle de temps longue et que le coefficient de variation est de 0,5.

• Ajustement à la loi log-normale (Galton) :

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

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

$$\text{Avec la valeur réduite } u \text{ est donnée par : } u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \text{ (III-7)}$$

L'équation de la variable réduite présente sous forme de : $\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x}$ est l'équation d'une droite sur un papier Gauss-logarithmique en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.

Procédé de l'ajustement :

- Classement des valeurs par ordre croissant.
- Calcul de la fréquence expérimental.

- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale : $\bar{x}$ et σ ;
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série transformée en logarithmique $\overline{\ln x}$ et $\sigma_{\ln x}$;
- Report des valeurs sur papier Gauss-logarithmique ;
- Détermination de la droite de Galton $\ln xp\% = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x}$. (III-8)

Avec $xp\%$: précipitation probable à P%.

$\overline{\ln x}$: Moyenne arithmétique du log des précipitations observées.

$\sigma_{\ln x}$: La variance calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique sa formule s'écrit comme suit :

$$\sigma_{\ln x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} [Ln(X_i) - \overline{Ln(X)}]^2} \quad \text{Si } n < 30. \quad (\text{III-9})$$

$$\sigma_{\ln x} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} [Ln(X_i) - \overline{Ln(X)}]^2} \quad \text{Si } n \geq 30. \quad (\text{III-10})$$

Tableau III-9: Ajustement à la loi log normale.

T	Q	Xt	écart type	Intervalle de confiance (95%)
100.0	0.9900	1160	108	952 -1370
50.0	0.9800	1080	91.6	900 -1260
20.0	0.9500	965	71.1	826 -1100
10.0	0.9000	874	56.5	763 -985
5.0	0.8000	775	43.1	690 -859
2.0	0.5000	616	29.3	558 -673

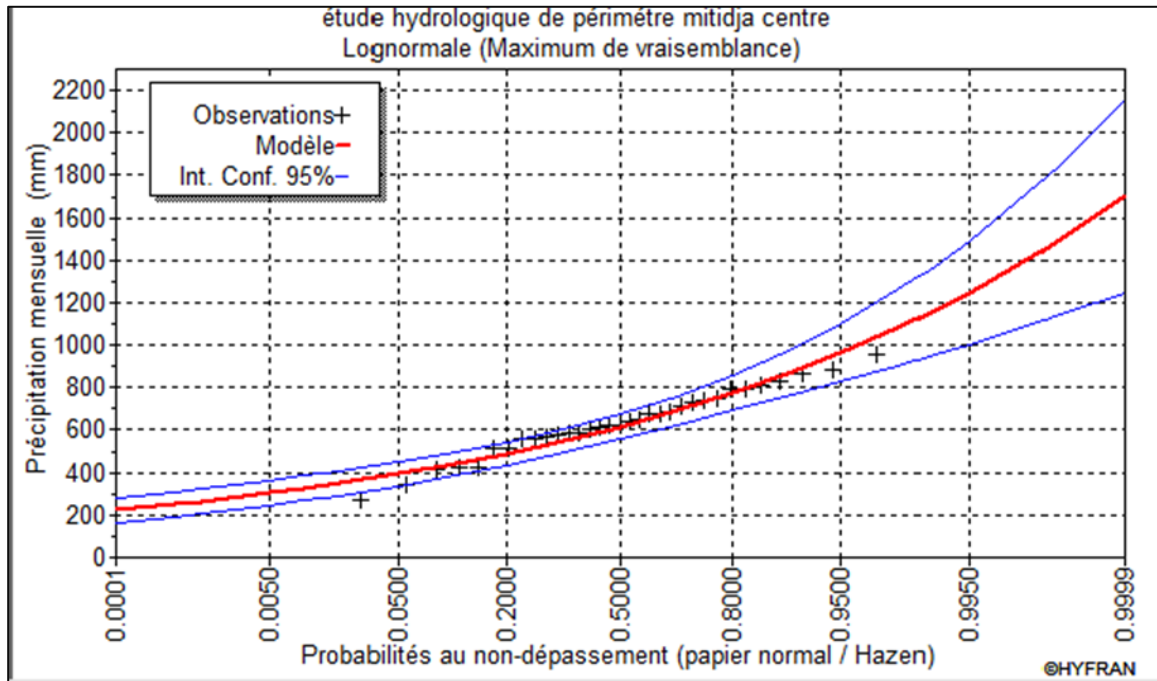


Figure III-3 : Ajustement des pluies annuelles à la loi log-normale.

- **Résultat de la statistique :**

$$\chi^2 = 5.06$$

$$p\text{-value} = 0.4016$$

Degrés de liberté : 5

Nombre de classes : 8

- **Détermination de l'année de calcul :**

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

$$P_{80\%}^{sec} = P_{moy.i} \times \frac{P_{80\%}}{P_{50\%}} \quad (III-13)$$

Avec :

$P_{80\%}^{sec}$: Précipitation mensuelle de l'année de calcul ;

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

$P_{80\%}$: La précipitation théorique annuelle de fréquence 80%;

$P_{50\%}$: La précipitation théorique annuelle de fréquence 50% ;

On déduit les valeurs de $P_{80\%}$ et $P_{50\%}$ selon la loi log normale :

$$P_{80\%} = 616 \text{ mm} ; P_{50\%} = 775 \text{ mm}$$

On déduit :

$$P_{moy80\%} = 0.79 * P_{moy\text{-}mensuelle}$$

Les résultats se trouvent dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-10 : Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}(mm)	24.98	52.01	81.54	87.26	96.48	76.76	66.44	73.93	52.25	8.08	2.40	7.04
P_{moy80%} (mm/mois)	19.73	41.08	64.41	68.93	76.21	60.64	52.48	58.40	41.27	6.38	1.89	5.56

III.9. Durabilité de l'exploitation de la ressource :

La gestion durable de la nappe impose :

- Le respect de l'équilibre entre prélèvement et recharge naturelle (estimée à 100-120 mm/an).
- La mise en place d'un suivi piézométrique régulier.
- La sensibilisation des exploitants aux risques de surexploitation (salinisation, baisse de niveau).
- L'adoption de techniques d'irrigation économes et la promotion de cultures moins consommatrices en eau.

Ces mesures visent à assurer la viabilité à long terme du projet et à protéger les ressources naturelles locales.

III.10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur le problème des ressources en eau, étant donné que c'est un élément crucial pour tout projet d'irrigation. Les analyses chimiques des eaux usées épurées, réalisées au niveau de la station de traitement, ont révélé que la qualité de l'eau est moyenne, avec un taux de salinité modéré, mais sans présenter de risques majeurs pour les cultures. Par ailleurs, en ce qui concerne l'ajustement des séries de précipitations moyennes annuelles, le test du chi carré a montré que la distribution normale offrait le meilleur ajustement. Cette observation nous a conduits à utiliser cette distribution pour estimer les précipitations nécessaires au dimensionnement du réseau d'irrigation dans la zone d'étude.

CHAPITRE IV

Calcul des besoins en eau des cultures

CHAPITRE IV : Calcul des besoins en eau des cultures

IV.1. Introduction :

Les cultures ont une exigence importante en eau pour leur croissance et leur développement. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation est souvent indispensable pour satisfaire les besoins hydriques des cultures. Ce chapitre a pour but d'évaluer les exigences en eau et déterminer le débit fictif continu qui est le débit conçu pour dimensionner du système d'irrigation adapté aux cultures choisies.

IV.2. Choix des cultures à mettre en place de la region d'études :

Le choix des cultures à mettre en place doit concilier entre les critères suivants : Les conditions climatiques de la région étudiée.

La qualité et la disponibilité de l'eau d'irrigation. L'aptitude culturale des sols, basée sur l'étude pédologique.

IV.3. Définition d'un régime d'irrigation :

Le régime d'irrigation est défini comme étant l'ensemble du nombre de doses d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures au cours de toute leur période de végétation dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

IV.4. Besoins en eau des cultures :

Définition :

Le besoin en eau d'irrigation, B , est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sûr qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau ou une fraction déterminée de celui-ci si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égal au besoins en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoins de lessivage) percolation profonde, inégalité de répartition...etc).

IV.5. 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 desurface et par unité de temps, en $m^3/ha/jour$, en $m^3/ha/mois$ ou en $m^3/ha/an$. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en $mm/jours$ par mois ou par an.

On distingue : l'évapotranspiration de référence (ET_0), L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

IV.5.1. L'évapotranspiration de référence

Elle est définie comme « le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive ».

IV.5.2. L'évapotranspiration potentielle :

Elle 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. On peut définir l'ETP comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal présentant un développement foliaire maximum (au stade de pleine croissance) couvrant bien le sol, ce dernier étant à la capacité au champ, L'ETP correspond à la « demande d'évaporation » en eau « pouvoir » évaporant de l'air.

IV.5.3. L'évapotranspiration réelle :

Pendant une période déterminée (jour, mois, cycle végétatif complet), chaque parcelle va perdre, par transpiration et évaporation directe, une certaine quantité d'eau appelée évapotranspiration réelle ETR : celle-ci pourra bien sûr être inférieure ou égale à l'ETP selon que les conditions de celle-ci sont réunies ou non.

IV.5.4. Méthode d'évaluation de l'évapotranspiration :

Il n'est pas question ici de présenter en détail toutes les méthodes utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures.

On distingue généralement deux types :

- Les méthodes directes.
- Les méthodes indirectes.

a. Méthodes directes :

L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique :

Comme son nom l'indique, l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal

Le bac évaporant :

Cet appareil très simple permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. Sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP.

L'évaporomètre piche :

Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lie directement sur les graduations du tube.

b. Méthodes indirectes :

Ces méthodes permettent de calculer l'ETP à partir de formules ne comportant que des données climatiques.

Formule de Blaney et Criddle :

A la suite de nombreuses expérimentations, Blaney et Criddle ont estimé que la température est la durée du jour étaient les facteurs déterminants de l'évapotranspiration potentielle.

Ils ont proposé la formule suivante :

$$ETP = K (0,46t + 8,13) P.$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/jour.

t : température moyenne (en degré Celsius) durant la période considérée (généralement le mois).

P : pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la même période, par rapport à la durée moyenne du jour pour l'année.

K : Coefficient dépendant du stade végétatif de la culture et de la température moyenne (de la zone climatique).

Formule de Turc

- Si l'humidité relative est supérieur à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \times T / T + 15 \quad \text{en (mm/mois)}$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : Radiation globale mensuelle (cal/cm²/jour).

Remarque :

Le coefficient 0,40 est réduit à 0,37 pour le mois de février.

- Si l'humidité relative de l'aire est inférieure à 50%. L'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0.40(I_g + 50) \left(\frac{T}{T + 15} \right) \left(1 + \frac{50 - H_r}{70} \right)$$

Dans laquelle :

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : Radiation globale en (cal/cm²/jour).

H_r : L'humidité de l'air en %

Avec :

$$I_g = I_{ga} (0.18 * 0.62) * \frac{h}{H}$$

I_{ga} : Radiation maximale théorique.

H : Durée astronomique de jour en (heure/mois)

h : durée d'insolation de la station considérée en heure/mois.

h/H : Insolation relative en heures.

Formule de Thornthwaite :

C'est une formule qui utilise un seul paramètre qui est la température :

$$ETP = 16 \left(\frac{10 \times t^a}{I} \right) \times K$$

t : est la température moyenne mensuelle (°C),

a : est fonction de l'indice thermique mensuel

K : coefficient d'ajustement mensuel.

Formule de Penman :

La formule donne les meilleures estimations de l'ETP, et ceci sous tous les climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important d'informations climatiques, rarement toutes disponibles sur une même station.

La formule de Penman&Montheit, modifiée, se présentant comme suite :

$$ET0 = C \times [W \times Rn + (1 - W) \times F(u) \times (ea - ed)]$$

Où:

ET0 : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimée en mm/jour.

W : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différentes températures et altitude.

Rn : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/jour.

F(u) : Fonction liée au vent.

ea : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

ed : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence (ea - ed) constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

IV.5.5. Calcul de l'évapotranspiration :

La détermination de l'évapotranspiration se fait par la formule de Penman, en raison de son exactitude pour l'estimation de l'ETP. (Le calcul se fait par le logiciel Cropwat)

Tableau IV-1 :Calcul de L'Evapotranspiration de référence en utilisant Cropwat 8.0

ETo Penman-Monteith par mois - untitled						
Pays		Station				
Algérie		Souma				
Altitude	177 m.	Latitude	36.00 °N	Longitude	2.00 °E	
Mois	Temp Moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ETo mm/jour
Janvier	11.5	76	3.0	4.4	8.4	1.45
Février	13.2	76	3.1	6.0	12.0	1.90
Mars	14.8	73	2.9	7.1	16.1	2.64
Avril	16.8	71	3.1	7.7	19.5	3.44
Mai	20.6	70	2.8	9.7	23.8	4.49
Juin	24.1	67	3.0	10.1	25.0	5.39
Juillet	26.3	63	3.2	11.3	26.4	6.17
Août	28.5	70	3.1	10.6	24.0	5.80
Septembre	24.9	69	2.5	9.3	19.7	4.44
Octobre	21.4	70	2.3	7.1	13.9	3.04
Novembre	17.1	73	2.5	5.3	9.6	2.03
Décembre	12.7	79	3.7	4.1	7.5	1.48
Moyenne	19.3	71	2.9	7.7	17.2	3.52

IV.5.6. Evapotranspiration maximale de culture :

Il s'agit de l'évapotranspiration maximale d'une culture sans maladies, qui pousse dans un champ où les conditions agronomiques, pédologiques et climatiques sont optimales, en fonction d'un stade végétatif spécifique.

L'expression suivante donne la valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture :

$$ETM = Kc \times ETo \text{ (IV.8)}$$

Avec :

KC : le coefficient cultural.

Selon le bulletin FAO « irrigation et drainage » N°24, nous avons identifié les valeurs du coefficient cultural (KC) de chaque culture en fonction du stade végétatif de la plante, de la force du vent et de la valeur moyenne de l'humidité minimale de l'air dans notre périmètre d'étude.

Dans le tableau IV.2 ci-dessous, nous exposerons les coefficients de culture (Kc) des plantes à considérer dans le périmètre :

IV.6. Assolement et rotation des cultures :

Selon la terminologie agronomique, l'assolement correspond à la distribution des cultures pendant une période de culture spécifique sur les différentes parcelles d'une exploitation agricole.

Ainsi, la rotation sera définie comme la succession des cultures sur une même surface pendant un nombre d'années correspondant au type d'assolement choisi.

Les cultures dans le périmètre sont réparties de la manière suivante :

Tableau IV-1 : Surfaces occupées par les différentes cultures

	Les cultures	Surface (%)	La surface occupée (Ha)
L'arboriculture	Agrumes	30	36
	Abricotiers	20	24
Le maraîchage	Tomate	9	10.8
	Carotte	9	10.8
	Laitues	9	10.8
La céréaliculture	Orge	23	27.6
	Total	100	120

Source : Calculs de l'auteur, 2024

Cycle végétatif des cultures:

Il est essentiel de déterminer le cycle végétatif des différentes cultures en calculant précisément leurs besoins en eau d'irrigation, résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-2 : Le cycle végétatif des différentes cultures

Cultures	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Agrumes												
Abricotiers												
Tomate												
Carotte												
Laitues												
Haricot												
Orge												

IV.7. Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM):

L'évapotranspiration maximale (ETmax) représente la quantité maximale d'eau qui peut être évaporée par une culture. Cette valeur est influencée par le stade de développement de la culture, ainsi que par les conditions spécifiques du sol et du climat dans lesquelles elle pousse.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est mesurée comme suit :

$$ETM = ET_0 \times K_c$$

- **K_c**: coefficient cultural
- **ET₀**: évapotranspiration de référence
- **Les coefficients culturaux (K_c)**:

Les valeurs du coefficient cultural (K_c) pour chaque culture ont été déterminées en prenant en considération le stade de croissance de la plante, la vitesse du vent et l'humidité moyenne de l'air dans notre zone d'étude.

Tableau IV-3 : Coefficients culturaux (K_c) des cultures.

Cultures/mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Agrumes	0.75	0.65	0.65	0.65	0.5	0.5	0.6	0.6	0.65	0.7	0.9	0.8
Abricotiers	0.72	0.62	0.53	0.54	0.5	0.6	0.6	0.63	0.65	0.75	0.8	0.76
Tomate	-	-	-	-	-	-	0.5	0.85	1.15	0.9	-	-
Carotte	0.7	0.9	1.05	1	0.95	-	-	-	-	-	-	-
Laitues	1	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8
Orge	-	-	0,4	0,75	0,90	1,0	1,1	1,15	0,85	0,8	-	-

IV.8. Calcul de la pluie efficace :

L'efficacité des précipitations fait référence à la portion des précipitations qui réellement contribue à répondre aux besoins en eau de l'évapotranspiration de la culture, après avoir pris en compte les pertes dues au ruissellement en surface et à la percolation profonde. Les précipitations efficaces sont divisées en deux parties à la surface du sol : le ruissellement et l'infiltration, et elles correspondent à la quantité de pluie effectivement retenue dans la zone racinaire de la culture. Pour calculer cette valeur, le logiciel CROPWAT 8.0 est utilisé.

Tableau IV-2 : Pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWATV8.0

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	73.7	58.9
Février	47.5	38.0
Mars	43.7	35.0
Avril	59.2	47.4
Mai	24.1	19.3
Juin	3.4	2.7
Juillet	2.6	2.1
Août	3.7	2.9
Septembre	26.7	21.4
Octobre	39.9	31.9
Novembre	92.7	74.2
Décembre	84.7	67.7
Total	501.9	401.5

IV.9. Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures :

Le bilan hydrique d'une culture spécifique peut être défini comme la différence entre, d'une part, les besoins en eau de cette culture, qui sont influencés par le climat et les caractéristiques de la plante (ETM), et d'autre part, la somme des apports réels provenant des précipitations. Le calcul de l'eau d'irrigation s'effectue d'une période à l'autre tout au long du cycle de croissance à l'aide de la formule suivante :

$$B_i = ETM_i - (Pe_{eff} + RFU_{i-1})$$

Avec:

ETM: évapotranspiration potentielle de référence (mm/mois) du mois

Pe_{eff}: pluie efficace (mm) du mois

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:

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

Avec:

Y: degré de tarissement 2/3

Da: densité apparente(1.4)

Z: profondeur d'enracinement (mm);

Hcc: humidité à la capacité au champ, dans notre cas. On prend(27%)

Hpf: humidité au point de flétrissement, dans notre cas. On prend(13%).

Tableau IV-4 : Les profondeurs d'enracinements en (m) des différentes cultures.

Cultures/mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Agrumes	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Abricotiers	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Tomate	-	-	-	-	-	-	0.4	0.6	0.5	0.5	-	-
Carotte	0.3	0.6	0.5	0.6	0.6	-	-	-	-	-	-	-
Laitues	0.2	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
Orge	-	-	0.30	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	-	-

IV.10. Calcul des besoins bruts:

La quantité d'eau d'irrigation requise en mm/jour (incluant les pertes et les besoins de lessivage, mais excluant les apports d'autres ressources) est donnée.

La formule employée est :

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{Ef}$$

Avec : Ef : l'efficacité du réseau Formule pour estimer l'efficacité des réseaux d'irrigation. Cela dépend de l'uniformité du transport et de la distribution.

Dans notre cas, on a considéré une efficacité globale de 0.75.

Tableau IV-5 : Besoins en eau d'irrigation d'agrumes

Mois	P80% (mm)	Pe _{eff} (mm)	ETP (mm/mois)	Z(m)	RFU_Theo	RFU_reel	Kc	ETM (mm/mois)	B _{net} (mm)
Sept	26.7	21.4	133.2	1.2	156.8	0	0.75	99.9	78.5
Oct	39.87	31.9	91.2	1.2	156.8	52.3	0.65	59.28	0
Nov	92.72	74.2	60.9	1.2	156.8	104.5	0.65	39.59	0
Déc	84.68	67.4	44.4	1.2	156.8	156.8	0.65	28.86	0
Jan	73.66	58.9	43.5	1.2	156.8	156.8	0.5	21.75	0
Fév	47.49	38.0	57	1.2	156.8	156.8	0.5	28.5	0
Mars	43.73	35.0	79.2	1.2	156.8	156.8	0.6	47.52	0
Avr	59.23	47.4	103.2	1.2	156.8	104.5	0.6	61.92	0
Mai	24.12	19.3	134.7	1.2	156.8	52.3	0.65	87.56	15.96
Juin	3.43	2.7	161.7	1.2	156.8	0	0.7	113.19	110.49
Juil	2.58	2.1	185.1	1.2	156.8	0	0.9	166.6	164.5
Août	3.66	2.9	174	1.2	156.8	0	0.8	139.2	136.3

Tableau IV-6: Estimation des besoins en eau des Abricotiers

Mois	P80% (mm)	Pe _{eff} (mm)	ETP (mm/mois)	Z(m)	RFU_Theo	RFU_reel	Kc	ETM (mm/mois)	B _{net} (m m)
Sept	26.7	21.4	133.2	1.2	156.8	0	0.72	95.9	74.5
Oct	39.87	31.9	91.2	1.2	156.8	52.3	0.62	56.5	0
Nov	92.72	74.2	60.9	1.2	156.8	104.5	0.53	32.3	0
Déc	84.68	67.4	44.4	1.2	156.8	156.8	0.54	23.98	0
Jan	73.66	58.9	43.5	1.2	156.8	156.8	0.5	21.75	0
Fév	47.49	38.0	57	1.2	156.8	156.8	0.6	34.2	0
Mars	43.73	35.0	79.2	1.2	156.8	156.8	0.6	47.52	0
Avr	59.23	47.4	103.2	1.2	156.8	104.5	0.63	65.1	0
Mai	24.12	19.3	134.7	1.2	156.8	52.3	0.65	87.6	16
Juin	3.43	2.7	161.7	1.2	156.8	0	0.75	121.3	118.6
Juil	2.58	2.1	185.1	1.2	156.8	0	0.8	148.1	146
Août	3.66	2.9	174	1.2	156.8	0	0.76	132.3	129.4

Tableau IV-7 : Estimation des besoins en eau des Tomates

Mois	P80% (mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z(m)	RFU_Theo	RFU_reel	Kc	ETM (mm/mois)	Bnet(m m)
Sept	26.7	21.4	133.2	-			-		
Oct	39.87	31.9	91.2	-			-		
Nov	92.72	74.2	60.9	-			-		
Déc	84.68	67.4	44.4	-			-		
Jan	73.66	58.9	43.5	-			-		
Fév	47.49	38.0	57	-			-		
Mars	43.73	35.0	79.2	0.4	52.27	52.27	0.5	39.6	0
Avr	59.23	47.4	103.2	0.6	78.4	52.3	0.85	87.72	0
Mai	24.12	19.3	134.7	0.5	65.3	21.8	1.15	154.9	113.8
Juin	3.43	2.7	161.7	0.5	65.3	0	0.9	145.53	142.83
Juil	2.58	2.1	185.1	-					
Août	3.66	2.9	174	-					

Tableau IV-8 : Estimation des besoins en eau des carottes

Mois	P80% (mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z(m)	RFU_Theo	RFU_reel	Kc	ETM (mm/mois)	Bnet(m m)
Sept	26.7	21.4	133.2	0.3	0.039	0	0.7	93.3	71.9
Oct	39.87	31.9	91.2	0.6	78.4	26.1	0.9	82.1	24.1
Nov	92.72	74.2	60.9	0.5	65.3	43.5	1.05	63.9	0
Déc	84.68	67.4	44.4	0.6	78.4	78.4	1	44.4	0
Jan	73.66	58.9	43.5	0.6	78.4	78.4	0.95	41.4	0
Fév	47.49	38.0	57	-					
Mars	43.73	35.0	79.2	-					
Avr	59.23	47.4	103.2	-					
Mai	24.12	19.3	134.7	-					
Juin	3.43	2.7	161.7	-					
Juil	2.58	2.1	185.1	-					
Août	3.66	2.9	174	-					

Tableau IV-9 : Estimation des besoins en eau des Laitues

Mois	P80% (mm)	Peff(m m)	ETP (mm/mois)	Z(m)	RFU_Theo	RFU_reel	Kc	ETM (mm/mois)	Bnet(m m)
Sept	26.7	21.4	133.2	0.2	26.1	0	1	133.2	110.8
Oct	39.87	31.9	91.2	0.25	32.7	10.9	0.9	82.08	39.28
Nov	92.72	74.2	60.9	-					
Déc	84.68	67.4	44.4	-					
Jan	73.66	58.9	43.5	-					
Fév	47.49	38.0	57	-					
Mars	43.73	35.0	79.2	-					
Avr	59.23	47.4	103.2	-					
Mai	24.12	19.3	134.7	-					
Juin	3.43	2.7	161.7	-					
Juil	2.58	2.1	185.1	-					
Août	3.66	2.9	174	0.1	13.1	0	0.8	139.2	136.3

Tableau IV-10 : Estimation des besoins en eau d'Orges

Mois	P80% (mm)	Peff(mm)	ETP (mm/mois)	Z(m)	RFU_Theo	RFU_réel	Kc	ETM (mm/mois)	Bnet(m m)
Sept	26.7	21.4	133.2	-					
Oct	39.87	31.9	91.2	-					
Nov	92.72	74.2	60.9	0.30	39.2	13.1	0,4	24.36	0
Déc	84.68	67.4	44.4	0.50	65.3	65.3	0,75	33.3	0
Jan	73.66	58.9	43.5	0.50	65.3	65.3	0,90	39.15	0
Fév	47.49	38.0	57	0.60	78.4	78.4	1,00	57	0
Mars	43.73	35.0	79.2	0.60	78.4	78.4	1,1	87.12	0
Avr	59.23	47.4	103.2	0.60	78.4	52.3	1,15	118.68	0
Mai	24.12	19.3	134.7	0.60	78.4	26.1	0,85	114.5	69.1
Juin	3.43	2.7	161.7	0.60	78.4	0	0,8	129.36	126.66
Juil	2.58	2.1	185.1	-					
Août	3.66	2.9	174	-					

Une fois que les besoins en eau des cultures ont été calculés, nous récapitulons brièvement les résultats mois par mois. De cette manière, nous pourrions identifier le mois de pointe, qui correspond au moment où la demande en eau est la plus élevée.

Tableau IV-11 : Résultat des besoins d'irrigation

Mois	Agrumes	Abricotiers	Tomate	Carotte	Laitue	Orge	Max	Besoins nets Total(mm)
Sept	78.5	74.5	0	71.9	110.8	0	110.8	420.86
Oct	0	0	0	24.1	39.28	0	64.02	127.4
Nov	0	0	0	0	0	0	0	0
Déc	0	0	0	0	0	0	0	0
Jan	0	0	0	0	0	0	0	0
Fév	0	0	0	0	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0	0	0	0	0
Avr	0	0	0	0	0	0	0	0
Mai	15.96	16	113.8	0	0	69.1	113.8	214.86
Juin	110.49	118.6	142.83	0	0	126.66	142.83	498.58
Juil	164.5	146	0	0	0	0	164.5	310.5
Août	136.3	129.4	0	0	136.3	0	136.3	402

IV.11. Calcul de débit spécifique :

Les besoins en eau de chaque culture sont déterminés en fonction de la répartition des plantes, ce qui permet de déterminer le débit spécifique. La quantité maximale d'irrigation est indiquée en tant que débit constant garanti 24 heures sur 24 afin de garantir une consommation mensuelle. La spécification du débit est donnée par :

$$Q_s = \frac{B_{net} \times 10 \times 1000}{N \times T \times 3600 \times K}$$

- **Bnet:** besoin net du mois de pointe en mm/mois.
- **T:** nombre des heures d'irrigation =24h
- **N:** nombre de jours du mois de pointe =30jours
- **K:** Coefficient d'efficacité globale du système d'irrigation ≈ 0.75

Le débit particulier de la culture la plus exigeante est sélectionné pour le mois de pointe. Nous utilisons le débit spécifique de la culture la plus exigeante (Besoins de la Tomate = 142.83 mm) pour notre situation.

Ainsi, le débit particulier pris en compte pour notre zone est de : **qs = 0.73 l/s /ha** ;

ce débit est nettement inférieur à 1,5 l/s /ha, ce qui confirme que le choix de ce débit est justifié.

IV.12. Calcul de débit caractéristique:

Il est crucial de réaliser le calcul du débit caractéristique afin de déterminer le débit maximal que le système d'adduction doit pouvoir fournir pour l'irrigation de chaque terrain. On obtient ce débit spécifique en multipliant le débit maximal par la superficie totale des terres agricoles à arroser. Voir la formule ci-dessous :

$$\mathbf{Q_{car} = q_s \times surface}$$

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

S: la superficie nette à irriguer = 120ha

$$\mathbf{Q_{car} = q_s \times S = 0.73 \times 120 = 91.76 \text{ l/s.}}$$

$$\mathbf{Q_{caractéristique} = 87.6 \text{ l/s}}$$

IV.13. Estimation des volumes d'eau d'irrigation:

Nous pouvons estimer le volume d'eau d'irrigation afin de déterminer la quantité totale d'eau requise pour l'irrigation. L'évaluation des besoins en eau globaux de notre zone d'étude est principalement utilisée pour déterminer le volume d'eau.

Le tableau ci-dessous présente les diverses quantités d'irrigation découvertes :

Tableau IV-12: Estimation des volumes totaux d'irrigation

Cultures	Besoins nets (mm)	Besoins nets (m3/ha)	Superficie (ha)	Efficienc	Besoins bruts (m3/ha)	Besoins totaux (m3)
Agrumes	505.75	5057.5	36	0.75	6743.33	242759.88
Abricotiers	484.5	4845	24	0.75	6460	155040
Tomate	256.63	2566.3	10.8	0.75	3421.73	36954.684
Carotte	96	960	10.8	0.75	1280	13824
Laitue	286.38	2863.8	10.8	0.75	3818.4	41238.72
Orge	195.76	1957.6	27.6	0.75	2610.13	72039.588
Total(m3)						561856.872

La STEP fournit un volume annuel de 20997720m³, alors que le besoin total de notre secteur est de 561856.872 m³ en moyen annuel.

Donc, on remarque que la STEP est capable de satisfaire les besoins de notre périmètre.

IV.14.Conclusion:

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer les besoins en eau des cultures en optant pour une rotation culturale qui préserve les ressources du sol. Nous avons effectué le calcul du taux d'évapotranspiration et des besoins en eau des différentes cultures en utilisant le logiciel Cropwater 8.0. Il est clair que toutes les cultures ont une consommation d'eau plus importante en mai. En outre, la culture de la tomate est la plus exigeante en termes d'eau, avec une irrigation de 141,19 mm en juin.

Chapitre V :

Technique d'irrigation

Chapitre V : technique d'irrigation :

V.1. Introduction :

L'humidité du sol à l'état naturel est souvent faible et pour assurer un rendement optimal des cultures agricoles, l'irrigation est utilisée. Elle permet aux plantes d'avoir le régime hydrique, nutritif, aérien, thermique, salé et microbiologique le plus favorable, et la méthode d'irrigation est choisie en fonction de la répartition de l'eau sur le sol de manière à ce que les plantes tirent le maximum de profit et assurent la rentabilité finale de l'événement.

V.2. Les techniques d'irrigation à la parcelle

Les différentes techniques d'irrigation à la parcelle ou techniques d'arrosage, relèvent de trois modes principaux d'irrigation:

- Irrigation gravitaire ou irrigation de surface.
- Irrigation sous pression (par aspersion ou par micro-irrigation).
- Irrigation de sub-surface.

V.3. L'irrigation gravitaire:

La technologie requiert une grande quantité d'eau par unité de surface. Le processus consiste en une distribution d'eau qui utilise la pente du terrain. Cette méthode est ensuite subdivisée en :

V.3.1. Irrigation par ruissellement:

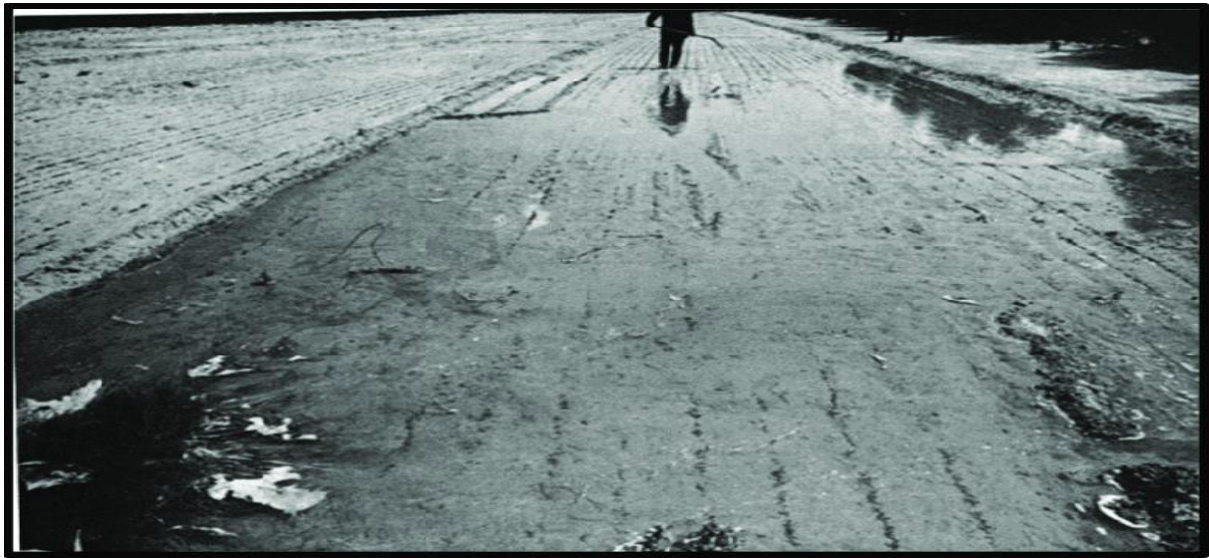
La méthode consiste à faire couler de l'eau à la surface du sol pour qu'elle s'infiltre en profondeur. Il est important de laisser l'eau s'écouler suffisamment longtemps pour humidifier le sol jusqu'à la profondeur de la couche active.

Avantages de l'irrigation par ruissellement:

- ✓ Investissement en équipement faible.
- ✓ Pas de frais liés à l'eau sous pression.
- ✓ Possibilité de lessivage sans risque d'érosion.
- ✓ Matériel d'irrigation relativement simple.

Inconvénients de l'irrigation par ruissellement:

- ✓ Durée d'arrosage prolongée.
- ✓ Nécessité de nivellement et d'entretien régulier.
- ✓ Perte d'eau significative.



FigureV-1: Irrigation par planche de ruissellement.

V.3.2. L'irrigation par submersion :

L'irrigation par submersion consiste à recouvrir le sol d'une épaisse couche d'eau pendant un certain temps, permettant ainsi son infiltration jusqu'à la profondeur requise pour satisfaire les besoins en croissance des plantes. Cette méthode est particulièrement adaptée aux terrains perméables et avec une pente inférieure à 2 %.

Avantages de l'irrigation par submersion:

- ✓ Élimination des mauvaises herbes (adventices).
- ✓ Protection contre le gel.

Inconvénients de l'irrigation par submersion:

- ✓ Tassement du sol.
- ✓ Réduction de la porosité, ce qui diminue la perméabilité du sol.
- ✓ Besoin de mesures d'assainissement pour gérer l'eau stagnante.
- ✓ Insuffisance d'aération du sol.



FigureV-2: Irrigation par submersion.

V.3.3. L'irrigation par infiltration:

L'irrigation par infiltration consiste à diriger l'eau vers des fossés, des rigoles ou des raies, où elles 'infilte la téralement dans le sol jusqu'aux racines des plantes.

Avantages de l'irrigation par infiltration:

- ✓ Pas de risque d'érosion ni de formation de croûtes à la surface du sol.
- ✓ Accès facile au terrain pour les opérations d'irrigation.

Inconvénients de l'irrigation par infiltration:

- ✓ Perte d'eau significative en raison de l'infiltration profonde.
- ✓ Nécessité d'une main-d'œuvre importante pour diriger l'eau vers les rigoles et éviter les excès d'infiltration.

V.4. L'irrigation goutte à goutte:

L'irrigation goutte-à-goutte consiste à distribuer l'eau à la surface du sol à l'aide de goutteurs, qui délivrent un faible débit sur une longue durée.

Avantages de l'irrigation goutte à goutte:

- ✓ Économie d'eau considérable.
- ✓ Réduction de la main-d'œuvre nécessaire grâce à un système fixe.
- ✓ Moins sensible aux vents forts.
- ✓ Permet une fertilisation régulière.
- ✓ Maintient une humidité élevée autour des racines.
- ✓ Convient à l'irrigation de terrains accidentés.

Inconvénients de l'irrigation goutte à goutte :

- ✓ Risque d'obstruction des goutteurs.
- ✓ Possibilité de salinisation du sol.
- ✓ Nécessite du personnel qualifié.
- ✓ Coût initial élevé.
- ✓ Difficulté à contrôler les goutteurs.

Limitation du développement racinaire des cultures



FigureV-3:Irrigation goutte à goutte.

V.5. L'irrigation par aspersion:

L'irrigation par aspersion consiste à fournir de l'eau aux cultures sous forme de pluies artificielles, générées par des appareils appelés asperseurs, qui sont alimentés en eau sous pression.

Avantages de l'irrigation par aspersion :

- ✓ Aucune préparation préalable de la surface à irriguer n'est nécessaire.
- ✓ Offre des conditions d'arrosage simples pour les exploitants.
- ✓ Requiert moins de main-d'œuvre.
- ✓ Peut-être automatisée.

Inconvénients de l'irrigation par aspersion:

- ✓ Coût élevé des investissements initiaux.
- ✓ Favorise l'évapotranspiration durant les périodes sèches.
- ✓ L'uniformité de l'arrosage peut se détériorer en cas de vents supérieurs à 4 à 5 m/s.



FigureV-4: Irrigation par aspersion.

V.6. Choix de la technique d'irrigation appropriée:

Le choix de la technique d'irrigation appropriée repose sur l'analyse de divers critères et contraintes, notamment :

- ✓ La topographie du terrain (pente, relief, géométrie de la parcelle, etc.)
- ✓ Les ressources en eau disponibles (quantité, qualité, débit et pression).
- ✓ Le type de cultures à irriguer.

- ✓ La nature du sol (perméabilité).
- ✓ Les facteurs socioculturels.
- ✓ Les considérations économiques.

V.7. Analyse comparative des méthodes d'irrigation :

Parmi les techniques comparées, l'irrigation par aspersion et l'irrigation gravitaire ont été évaluées. L'irrigation gravitaire a été écartée en raison de l'irrégularité du terrain et de ses faibles performances en économie d'eau. L'aspersion, bien qu'efficace, engendre des pertes importantes par évaporation. En revanche, l'irrigation goutte-à-goutte permet un contrôle précis des apports en eau, réduit les pertes et convient mieux aux parcelles arboricoles irrégulières, justifiant son choix.

V.8. Description d'un réseau d'irrigation goutte à goutte:

Dans notre étude, nous nous focalisons sur la technique d'irrigation localisée, également connue sous les noms de micro-irrigation ou goutte-à-goutte. À l'échelle internationale, cette technique est désignée par différents termes.

❖ **Micro-irrigation** : Ce terme a été adopté lors de la Conférence Internationale sur l'Irrigation et le Drainage (CIID) à Téhéran en 1976. Il a été choisi pour décrire cette technique en raison de l'utilisation de débits très faibles, contrairement aux méthodes traditionnelles d'irrigation telles que l'aspersion et l'irrigation de surface.

❖ **Irrigation goutte à goutte** : Certains auteurs préfèrent utiliser ce terme pour souligner l'emploi spécifique d'un dispositif appelé gouteur dans cette technique.

❖ **Irrigation localisée** : Ce terme a été adopté par des organisations comme la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) en 1976. Ils soulignent que l'eau est délivrée directement à proximité immédiate des plantes. Nous utiliserons ce terme tout au long de notre discussion.

V.9. Critères de choix de la méthode de micro-irrigation :

Les conditions favorables à l'utilisation de la micro-irrigation peuvent être résumées comme suit (Vermeiren, 1983) :

- ✓ Coût élevé de l'eau ou rareté des ressources en eau.
- ✓ Terrain avec une forte pente ou accidenté.
- ✓ Pénurie de main-d'œuvre et coût élevé de celle-ci.
- ✓ Mauvaise qualité de l'eau, comme une salinité élevée ou la présence d'autres impuretés.

V.10. Champs d'application de la micro-irrigation:

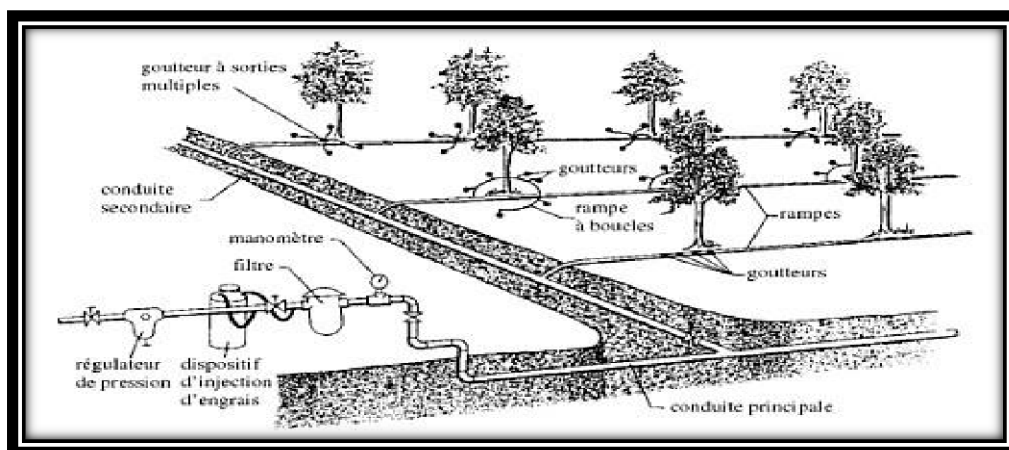
La micro-irrigation est couramment employée dans les domaines suivants :

- ✓ Cultures fruitières: européennes, méditerranéennes et tropicales, sans restriction particulière.
- ✓ Cultures maraîchères et florales en plein champ : qu'elles soient en plein champ ou sous tunnels en plastique.
- ✓ Cultures arbustives en pots.
- ✓ Grandes cultures : coton, canne à sucre, maïs, betteraves sucrières, tabac, bananiers, etc.

V.11. Composition d'une installation d'irrigation goutte à goutte:

Pour installer un système d'irrigation goutte-à-goutte, chaque parcelle doit être dotée d'un réseau comprenant une unité de tête, qui est l'élément central du système d'irrigation localisée. L'unité de tête assure la fourniture d'eau propre, éventuellement traitée chimiquement, sous une pression régulée, et sa distribution à tous les secteurs à irriguer. Reliée au point d'approvisionnement en eau, cette unité de tête comprend généralement les éléments suivants :

- ✓ Groupe de pompage.
- ✓ Vanne.
- ✓ Filtre à sable.
- ✓ Débitmètre: pour contrôler et ajuster le débit en fonction des besoins.
- ✓ Régulateur de pression: pour maintenir une pression constante.
- ✓ Porte-rampes d'arrosage.
- ✓ Conduites principales enterrées.
- ✓ Rampes équipées de goutteurs espacés selon les schémas de plantation des cultures.



FigureV-5: Partie essentielle d'un réseau de micro-irrigation (Vermeiren et al 1983)

V.12. Ouvrages de Stockage :

Il est crucial d'avoir des installations de stockage pour assurer une gestion efficace et continue de l'eau, assurant ainsi une distribution fiable aux réseaux de distribution. Ces installations sont élaborées pour stocker l'eau pendant un certain temps avant sa distribution et sont dimensionnées pour répondre aux besoins quotidiens en eau pendant vingt-quatre heures.

V.13. Types d'Ouvrages de Stockage :

Les ouvrages de stockage se classifient principalement en deux catégories :

- **Stockage Public :**

Inclut des installations comme les réservoirs de grande capacité et les châteaux d'eau. Ces constructions jouent un rôle essentiel dans le maintien de la pression et la régulation du flux d'eau dans les réseaux de distribution.

- **Stockage Domestique :**

Comprend divers réservoirs, bassins et citernes utilisés pour le besoins individuels et communautaires. Ils assurent une réserve d'eau adaptée aux usages locaux.

V.14. Fonctionnement et Entretien :

Le processus débute par la collecte de l'eau provenant de sources souterraines, de stations de traitement ou d'autres réservoirs, puis elle est pompée vers les réservoirs de stockage situés en altitude. Cette structure encourage une distribution gravitationnelle performante, ce qui diminue la nécessité de pompes et d'énergie.

Il est essentiel d'assurer l'entretien des réservoirs afin d'assurer la qualité de l'eau et la pérennité des infrastructures. Les étapes comprennent :

- **Nettoyage :**

Consiste à vidanger le réservoir, éliminer les dépôts par brossage manuel, puis rincer avec des solutions désinfectantes pour assurer propreté et hygiène.

- **Désinfection :**

L'objectif est de supprimer les microorganismes pathogènes qui pourraient contaminer l'eau conservée. La désinfection est effectuée régulièrement en respectant les normes sanitaires strictes.

V.15. Sécurité Sanitaire et Durée de Stockage :

Afin de garantir la qualité de l'eau, il est essentiel de concevoir et d'entretenir les réservoirs afin de réduire au minimum les risques de contamination. Il est préférable de ne pas stocker l'eau pendant plus de quarante-huit heures sans la renouveler en partie ou en totalité, afin de garantir sa sécurité et son respect des normes de qualité.

En résumé, les installations de stockage jouent un rôle essentiel dans la préservation de l'approvisionnement en eau des communautés. Il est essentiel de les gérer de manière

rigoureuse et de les entretenir régulièrement afin d'assurer une distribution d'eau fiable et durable.

V.16. Conclusion :

L'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte est justifiée en raison des conditions climatiques de la région, de la nature du sol, des besoins des cultures et des ressources en eau disponibles. Ces deux techniques offrent de nombreux bénéfices en comparaison avec l'irrigation de surface. Pour les cultures en rotation, il est recommandé d'utiliser l'irrigation par aspersion, tandis que pour les agrumes, l'irrigation par goutte-à-goutte est la meilleure méthode.

CHAPITRE VI :

Dimensionnement à la parcelle

CHAPITRE VI : Dimensionnement à la parcelle :

VI.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous examinerons la dimension d'un réseau d'irrigation goutte à goutte en prenant en compte les divers paramètres pour obtenir des rendements optimaux tout en économisant de l'eau. Les principales caractéristiques ont été définies précédemment. Dans le cadre de ce projet, nous avons opté pour la culture de Tomate afin de mesurer la taille du réseau goutte à goutte.

VI.2. Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte :

Le réseau d'irrigation goutte à goutte est installé sur la parcelle P14 ; dont la surface est de 4.91 ha; alimentée par la borne **B14** et dont les pressions calculées sont de l'ordre de 3.69 bars, ce qui est largement suffisant pour alimenter la parcelle.

- **Justification des hypothèses de conception :**

Les hypothèses de dimensionnement sont basées sur les besoins hydriques de l'abricotier en période de pointe (juillet), avec un besoin journalier net de 3,81 mm/j. Le coefficient d'uniformité (CU) adopté est de 90 %, conformément aux recommandations FAO pour l'irrigation localisée. Le coefficient de simultanéité est supposé à 1, car l'ensemble de la parcelle est irrigué simultanément. Le choix de la pression nominale (1 bar) et du débit unitaire (4 l/h) des goutteurs est conforme aux spécifications techniques du constructeur.

Données générales :

Culture : l'abricotiers

Besoin de pointe : 146 mm (Juillet)

Organisation du réseau : Avec un écartement de 4*4m

surface : 4.91 ha ;

Longueur : 293 m ;

Largeur : 188.60 m.

Caractéristique du goutteur :

Débit nominal : 4l/h et pression nominale : 10 m.c.e ;

Espacement des goutteurs : 2 m ;

Le nombre de goutteurs par arbre : 2.

VI.3. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée:

- **Influence du taux de couverture du sol :**

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

Kr peut être calculé par la formule proposée suivantes.

- La formule de Freeman et Garzoli :

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

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60% (pour les arbres adultes) donc : On prendra un coefficient $Kr = 0.80$

$$B_{jl} = B_j \cdot Kr$$

$$B_{jl} = (146/30) \cdot 0.8 = 3,81 \text{ mm/j}$$

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

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

Avec :

- H_{cc} : (27%), H_{pf} : (13%), $da = 1.35$ et Y : (2/3) ;
- Z : Profondeur racines (1500 mm),
- P : Pourcentage du sol humidifié.

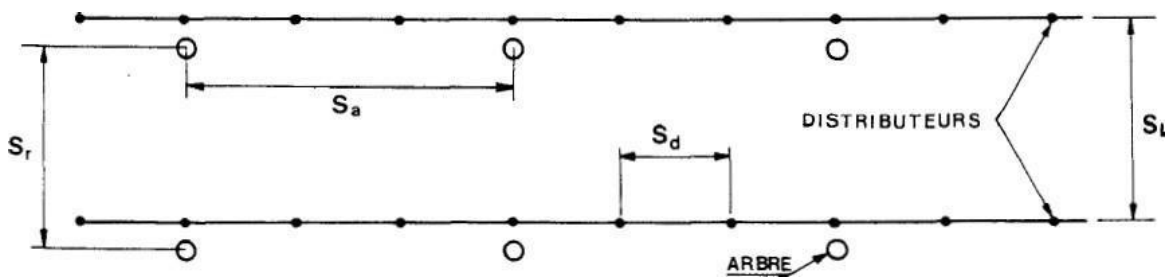


Figure VI-1: Dispositifs d'installation des goutteurs sur la rampe.

$$P\% = \frac{n \cdot S_p \cdot d \cdot S_h}{S_a \cdot S_r}$$

Avec :

- P : Volume du sol humidifié ;

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

$$D_p = \frac{(27-13)}{100} \times 1500 \times \frac{2}{3} \times 1.35 \times 0.25 \text{ on trouve } D_p = 47,25 \text{ mm.}$$

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

Fréquence et intervalle des arrosages (Fr): L'intervalle entre deux d'arrosage (tour d'eau) est donné par la formule suivante :

$$Fr = \frac{\text{dose prt}}{Bj} = \frac{47,25}{3,55} = 13,31 \text{ jours}$$

Donc on prend une fréquence de 13 jours.

Calcul de la dose (brute) : On recalcule la nouvelle dose pratique :

$$D_p' = Fr \cdot Bj = (13 \times 3,55) = 46,15 \text{ mm}$$

$$D_{\text{brute}} = \frac{D_p}{\text{eff} \cdot Cu} = \frac{46,15}{0,9^2} = 57 \text{ mm}$$

Avec :

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

Les pertes liées à l'évaporation et aux fuites du réseau ont été estimées à 5 %, selon la littérature. Par conséquent, une marge de sécurité a été ajoutée au besoin brut. Le rendement global du système est ainsi estimé à 0,75 (75 %), incluant toutes les pertes techniques.

VI.4. Durée de fonctionnement par d'arrosage (h):

$$\Theta = T_f = \frac{D_{\text{brute}} \times S_d \times S_r}{n \times Q_g}$$

Avec :

Sr et Sd espacement entre rang et distributeur,

n et Qg nombre et débit du goutteur.

$$T_f = \frac{57 \times 2 \times 4}{2 \times 4} = 57 \text{ h/mois}$$

1. Nombre de poste:

Le nombre de poste par jour est défini comme suit:

$$N = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = \frac{22}{6.5} = 3.38 \quad \text{Donc on prend 3 postes}$$

2. Surface du poste:

$$S_p = \frac{\text{Surface Total}}{\text{Nmbr de poste}} = \frac{4.91}{3} = 1.64 \text{ ha}$$

3. Calculs hydrauliques :

- La longueur de la rampe 80 m
 - La longueur de la porte rampe: 120m
 - Longueur de conduite secondaire 10m
- La variation maximale du débit entre goutteur ne doit pas dépasser 10% selon la règle de Christiansen :

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

- La variation maximale de la pression:

$$q = K.H^x \quad \text{avec: } x = 0.5 \text{ (caractéristique du goutteur)}$$

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

Avec : q(g): débit nominal du goutteur

$$\Delta H (\text{max}) = 1/0.5 = 2 \text{ mce.}$$

Donc selon la règle de Christains en 10%

$$\Delta H \text{ singulières} = 0.2 \text{ m}$$

- Le reste $1.8\Delta H$ linéaire = 1.8m;
- Donc pour les rampes = $2/3 \times 1.8 = 1.2 \text{ m}$;
- Pour le porte rampe = $1/3 \times 1.8 = 0.6 \text{ m}$.

4. 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-rampes** : 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:

$$\Phi_r(\text{cal}) = \left[\frac{p.d.c(r) * 2.75}{L(r) * 0.47 * Q^{1.75}} \right]^{-1/4.75}$$

$$\Phi_{pr}(\text{cal}) = \left[\frac{p.d.c(pr) * 2.75}{L(pr) * 0.47 * Q^{1.75}} \right]^{-1/4.75}$$

Avec :

- $P_{dc}(r)$: 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 ;
- $\Phi_r(\text{cal})$: le diamètre de rampes ;
- $\Phi_{pr}(\text{cal})$: le diamètre de porte rampe.

5. Pour les rampes : $L=80$ m

- **Le nombre d'arbres par rampe:**

$N_{\text{arbres}} = L_r / E_a = 80 / 4 = 20$ arbres.

- **Nombre des goutteurs par rampe:**

$N_g = N_{\text{arbres}} * n = 20 * 2 = 40$ goutteurs.

- **Débit de la rampe:**

$Q_r = N_g \times Q_g$

$Q_r = 40 \times 4 = 160$ l/h

$P_{dc} = 1.2$ m

- **Diamètre de la rampe:**

$$\Phi_r(\text{cal}) = \left[\frac{p.d.c(r) * 2.75}{L(r) * 0.47 * Q^{1.75}} \right]^{-1/4.75}$$

$D_{\text{rampe}} = 11,79$ mm, on prend $DN = 16$ mm.

- **Vérification des pertes de charges :**

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

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

Avec :

L : la longueur de la conduite ;

Q : débit (m³/s)

D : diamètre intérieur de la canalisation (m) ;

On a : C= 130 (PE), L=80m, D= 0.016m, Q= 0.000044m³/s

Δ rampe= 0.5 m < 1.2 m (vérifiée).

- **Pour la porte rampe :**

- Le nombre des rampes :

$$N_r = L_{pr}/E_r = 120/4 = 30 \text{ rampes.}$$

- Débit de la porte rampe :

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r = 160 \times 30 = 4800 \text{ l/h ;}$$

- Diamètre de la porte rampe :

$$Q_{pr} = 4800 \text{ l/h ;} \quad P_{dc} = 0.6 \text{ m ;}$$

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

Donc : D_{pr} = 48 on prend 63 mm.

- Vérification des pertes de charges :

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

C_w= 130, L=120m, D= 0.063m, Q= 0.00133 m³/s

ΔH porte rampe= 0.515 m < 0.6 m (vérifiée)

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

$\Delta H_{\text{rampe+porte rampe}} = 1,15\text{m} < 1.8\text{m}$ (Règle de Christiansen Vérifiée).

- **Calcul des diamètres de la conduite secondaire:**

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) 1,05 m/s tel que :

$$D = \sqrt{4 * \frac{Q}{V} * \tau}$$

Avec :

Q : débit de la conduite considérée (m³/s);

V : vitesse d'écoulement (m/s).

On prend **D= 63mm.**

- **Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution :**

TableauVI-1: Récapitulatif des calculs hydrauliques.

Conduites	La rampe	Porte rampe	C.tertiaire
Longueur (m)	80	120	10
Diamètre (mm)	16	63	63
Débit (m³/s)	0.000044	0.0013	0.0013
Pertes de charge(m)	0.5	0.515	0.041

Les calculs hydrauliques ont été réalisés à l'aide de la formule de Hazen-Williams, avec un coefficient de rugosité $C = 130$ adapté aux conduites en PEHD/PEBD. La vitesse d'écoulement a été fixée à 1,05 m/s selon les recommandations de la FAO (Irrigation and Drainage Paper n°29), afin d'assurer un écoulement uniforme sans risque de surpression. Le dimensionnement respecte également la règle de Christiansen, qui limite la variation de pression à 10 % dans les systèmes d'irrigation localisée.

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

$$P(m) = 10 + 0,5 + 0.515 + 0.041 = \mathbf{11.05m = 1.1 \text{ bar} < 3.69 \text{ bar}}$$

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

VI.5. Contraintes techniques liées à l'utilisation des eaux usées traitées :

L'utilisation d'eaux usées traitées impose certaines adaptations techniques :

- pente minimale de 2 % pour éviter le colmatage,
- pression suffisante pour éviter la stagnation,
- filtration renforcée (filtre à disques ou sable),

- entretien régulier des goutteurs.

Ces précautions assurent la durabilité du réseau et la sécurité sanitaire des cultures.

VI.6. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné la taille d'un réseau goutte à goutte pour la culture de la tomate.

L'emploi de ce système vise à économiser de l'eau d'irrigation et à améliorer les rendements des cultures, ce qui favorisera une intensification des cultures dans la wilaya de BLIDA.

CHAPITRE VII:
CALCULS TECHNO
ECONOMIQUES

CHAPITRE VII: CALCULS TECHNO ECONOMIQUES

VII.1. Introduction :

L'évaluation des coûts d'un projet est une étape essentielle qui se produit après la réalisation des différentes étapes d'analyse. Elle vise à évaluer de manière précise le coût global de l'entreprise, incluant non seulement les travaux et la préparation requis, mais aussi toutes les commodités nécessaires à sa mise en œuvre. Ce processus d'estimation approfondi nous permettra d'avoir une meilleure compréhension de l'investissement nécessaire pour un projet hydro-agricole et d'anticiper sa rentabilité à venir. L'objectif de ce chapitre sera donc de faire un calcul précis des quantités de matériaux requis et d'évaluer les dépenses globales liées à l'aménagement du périmètre hydro-agricole.

VII.2. Diverses tâches à réaliser : Creusement et préparation des tranchées :

Les tranchées sont creusées avec précision et méthodologie conformément aux exigences techniques pour l'installation des canalisations, en prenant en compte la profondeur, la largeur et la pente nécessaires. La préparation du terrain pour l'installation des conduites est assurée à cette étape, tout en respectant rigoureusement les normes de sécurité et environnementales établies.

- **Installation d'un lit de sable :**

Ce lit de sable, minutieusement préparé, joue un rôle essentiel en garantissant une base solide et perméable pour les conduites. Grâce à cette approche, les charges sont réparties de manière uniforme et le drainage des eaux pluviales ou des effluents est facilité, ce qui contribue à la durabilité et à la performance globale du système. En utilisant des matériaux adéquats et en les mettant en place conformément aux normes techniques, on assure non seulement une résistance à long terme, mais également une diminution des risques de tassement ou de dislocation du sol. Dans notre situation, l'épaisseur de ce lit de sable est de 10 centimètres (cm).

- **Pose des canalisations (Conduites) :**

La mise en place des conduites dans les tranchées garantit leur alignement adéquat et leur intégrité structurelle. Cela implique également la mise en place des joints et des raccords requis.

Test et contrôle : Après la pose des canalisations, des tests d'étanchéité et de pression sont réalisés afin de vérifier leur bon fonctionnement et éviter toute fuite.

VII.3. Remblayage et compactage :

Une fois les tests effectués avec succès, les tranchées sont remplies avec des matériaux adéquats (les terres excavées peuvent être réutilisées comme matériau de remblai) et compactées afin de garantir la stabilité des conduites. Enfin, il est primordial de répartir de manière homogène les terres utilisées comme remblai, en particulier si elles sont en tas.

VII.4. les volumes des travaux de terrassement :

- Largeur du fond de la tranchée :

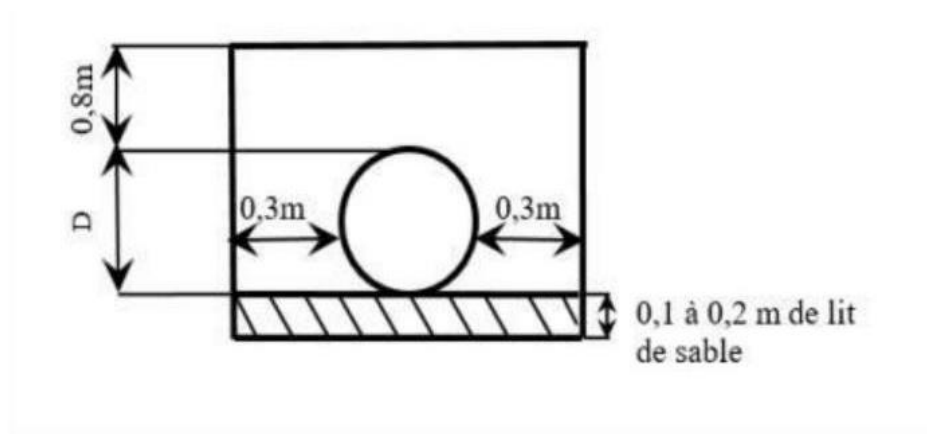
Le diamètre de la conduite définit la largeur de la tranchée, avec un espace de 30 cm de chaque côté afin de garantir un travail efficace et sécurisé. Grâce à ce calcul, la tranchée est dimensionnée de manière adéquate pour accueillir la conduite tout en offrant un espace adéquat pour l'installation et la future maintenance du réseau. La largeur est donc calculée de la façon suivante :

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

D'où : B : est la largeur de la tranchée en mètres (m)

d : est le diamètre de la conduite en mètres (m) profondeur de la tranchée

La profondeur de la tranchée doit être suffisante pour faciliter l'installation correcte des branchements spécifiques tout en évitant tout contact avec les autres conduites.



FigureVII-1 : Schéma d'une tranchée.

Cette profondeur est calculée par la formule suivante :

$$H_{tr} = e + d + h$$

Avec : e : est l'épaisseur du lit de sable (m)

d : est le diamètre de la conduite en mètres (m)

h : est la hauteur du remblai au-dessus de la conduite en mètres (m)

❖ **Section de la tranchée :**

Les sections des tranchées sont spécifiées de la manière suivante :

$$\text{Str} = \text{Htr} \times \text{B}$$

Htr : représente la profondeur de la tranchée en mètres (m)

B : représente la largeur du fond de la tranchée en mètres (m)

❖ **Volume du déblai :**

Le volume du déblai est calculé comme suit :

$$\text{Vdéblai} = \text{Str} \times \text{L} = \text{B} \times \text{Htr} \times \text{L} \quad \text{d'où :}$$

Vdéblai : volume du déblai (m³)

Str : Section de la tranchée (m²)

L : Longueur de la tranchée en mètres (m)

B : Largeur de la tranchée en mètres (m)

Htr : La hauteur de la tranchée en mètres (m)

❖ **Volume de lit de sable :**

Le volume du lit de sable est calculé en utilisant la formule ci-dessous :

$$\text{Vlit de sable} = e \times \text{B} \times \text{L}$$

Vlit de sable : Volume du lit de sable (m³)

e : épaisseur de la couche du lit de sable en mètres (m)

B : Largeur de la tranchée en mètres (m)

L : longueur de la tranchée en mètres (m)

❖ **Volume occupé par la conduite :**

On le trouve en utilisant le calcul suivant :

$$\text{Vconduite} = (\pi d^2 L) / 4$$

D'où : Vconduite : Volume de la conduite (m³)

d : Diamètre de la conduite en mètres (m)

L : Longueur de la tranchée en mètre (m)

❖ **Volume du remblai :**

Le remblai représente la quantité de terre nécessaire pour combler une tranchée et la ramener à son niveau initial, calculée selon la formule suivante :

$$\text{Vremblai} = \text{Vdéblai} - (\text{Vls} + \text{Vcon})$$

Vremblai : représente le volume du remblai (m³)

Vdéblai : représente le volume du déblai (m3)

VLs : représente le volume du lit de sable (m3)

Vcod : représente le volume occupé par la conduite (m3)

Tableau VII-1 : Calcul des volumes des travaux de terrassement

D(mm)	Longueur	Largeur	Hauteur	Section	Vdéblai	V.lit desable	V conduite	V remblai	D(m)
400	225,67	1	1,3	1,30	293,371	22,567	28,34415	242,4598	0,4
400	435,2	1	1,3	1,30	565,76	43,52	54,66112	467,5789	0,4
63	107,25	0,663	0,963	0,64	68,47580	7,110675	0,334155	61,03097	0,063
110	113,5	0,71	1,01	0,72	81,39085	8,0585	1,07808	72,25427	0,11
315	177,61	0,915	1,215	1,11	197,45347	16,25132	13,83433	167,3678	0,315
90	151,94	0,69	0,99	0,68	103,79021	10,48386	0,96611	92,34024	0,09
90	184,8	0,69	0,99	0,68	126,23688	12,7512	1,175051	112,3106	0,09
315	308,57	0,915	1,215	1,11	343,04498	28,23416	24,03502	290,7758	0,315
90	330,3	0,69	0,99	0,68	225,62793	22,7907	2,100213	200,737	0,09
90	188,04	0,69	0,99	0,68	128,45012	12,97476	1,195652	114,2797	0,09
315	159,54	0,915	1,215	1,11	177,36465	14,59791	12,42683	150,3399	0,315
90	187,43	0,69	0,99	0,68	128,03343	12,93267	1,191774	113,909	0,09
90	270,93	0,69	0,99	0,68	185,07228	18,69417	1,722708	164,6554	0,09
250	798,25	0,85	1,15	0,98	780,28937	67,85125	39,16414	673,274	0,25
160	189,26	0,76	1,06	0,81	152,46785	14,38376	3,803369	134,2807	0,16
75	102,71	0,675	0,975	0,66	67,596018	6,932925	0,453529	60,20956	0,075
63	116,1	0,663	0,963	0,64	74,126250	7,69743	0,361729	66,06709	0,063
110	148,16	0,71	1,01	0,72	106,24553	10,51936	1,407298	94,31888	0,11
75	147,12	0,675	0,975	0,66	96,82335	9,9306	0,649627	86,24312	0,075
90	70,84	0,69	0,99	0,68	48,390804	4,88796	0,450436	43,05241	0,09
90	176,67	0,69	0,99	0,68	120,68327	12,19023	1,123356	107,3697	0,09
75	148,95	0,675	0,975	0,66	98,027718	10,05413	0,657707	87,31589	0,075
				total:	4168,7217	375,4146	191,1364	3602,171	

VII.5. Estimation des frais des travaux de terrassement :

Lorsqu'on évalue les coûts des travaux, il est essentiel d'inclure les frais associés au terrassement. Ces coûts englobent généralement les déblais et les remblais et aussi la pose des lits de sable.

Et pour déterminer le cout de ces travaux de terrassement il est important de connaitre les prix d'un mètres cubes de chacun de ces travaux (déblai, remblai, et sable)

- Le prix par mètre cube (m3) de déblai est égale à : 450DA
- Le prix par mètre cube (m3) de sable est égale à : 1200DA
- Le prix par mètre cube (m3) de remblai est égale à : 300DA

Dans ce tableau qui suit en trouve le prix des travaux de terrassement pour notre projet :

TableauVII-2 : Estimation du coût des travaux de terrassement.

Typesdetravaux	unité	Quantité(m ³)	Prixunit (DA)	Montant(DA)
déblai	M3	4168,721768	450	1875924
L. desable	M3	375,4146	1200	450497,52
remblai	M3	3602,171	300	1080651,3
TotalHT				3407073
TVA19%				647343,9
TotalTTC				4054416,9

VII.6. Évaluation des coûts d'installation des conduites :

Les coûts d'installation de la conduite de refoulement et de la conduite gravitaire sont spécifiés en détail dans le tableau suivante :

TableauVII-3 : Estimation du cout de pose des conduites

Diamètre (mm)	Unité	Prix uni(DA)	Quantité (ml)	Montant(DA)
400	ml	6400	225,67	1444288
400	ml	6400	435,2	2785280
63	ml	198,97	107,25	21339,53
110	ml	495,4	113,5	56227,9
315	ml	4003,95	177,61	711141,6
90	ml	335,47	151,94	50971,31
90	ml	335,47	184,8	61994,86
315	ml	4003,95	308,57	1235499
90	ml	335,47	330,3	110805,7
90	ml	335,47	188,04	63081,78
315	ml	4003,95	159,54	638790,2
90	ml	335,47	187,43	62877,14
90	ml	335,47	270,93	90888,89
250	ml	2510,95	798,25	2004366
160	ML	1033,79	189,26	195655,1
75	MI	281,31	102,71	28893,35
63	MI	198,97	116,1	23100,42
110	MI	495,4	148,16	73398,46
75	MI	281,31	147,12	41386,33
90	MI	335,47	70,84	23764,69
90	MI	335,47	176,67	59267,48
75	MI	281,31	148,95	41901,12
TotalHT				9824919
TVA19%				1866734,61
TotalTTC				11691653,61

VII.7. Évaluation du coût des bornes d'irrigation :

Dans notre projet, on a en tous 19 bornes d'irrigation, dont 15 de ces bornes sont du type A2 et les 4 restantes sont du type A4. Le tableau suivant représente l'estimation des couts de ces bornes.

TableauVII-4: Estimation du cout des bornes d'irrigation.

Type de borne	Prix unitaire (DA)	Quantité	Montant (DA)
A2	50000	15	750000
A4	82000	4	328000
TotalHT			1078000
TVA19%			204820
TotalTTC			1282820

VII.8. Devis estimatif du réservoir de stockage :

Notre réservoir est d'une capacité de 1000m³,le tableau suivant nous montre le cout de notre réservoir de stockage.

TableauVII-5: Devis estimatif du réservoir de stockage

Types de travaux	Montant(DA)
Travaux de géniecivil	2457800
Equipement hydraulique	123900
Total HT	2581700
Total TTC	3072223

VII.9. Estimation budgétaire du projet:

Le budget total de notre projet est détaillé dans le tableau suivant :

TableauVII-6: Budget estimatif total

Les travaux réalisés	Le montant (DA)
Travaux de terrassement	4054416,9
Installation des conduits+pieces secondaires	11691653,61
Bornes d'irrigation	1282820
réservoir de stockage	3072223
Montant total TTC	20101425,5

Une analyse économique a été réalisée en estimant les coûts d'installation (matériaux, main-d'œuvre), le coût d'exploitation annuel (énergie, entretien) et les revenus agricoles générés. Le retour sur investissement (ROI) est estimé à 6 ans, avec une rentabilité moyenne de 18 % par an, ce qui valide économiquement le choix de cette technique sur 20 ans. Le coût moyen par hectare revient à 167512 DA TTC, contre des revenus estimés à 300000 DA/an pour les cultures d'abricotiers.

VII.10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié en profondeur la création d'un devis quantitatif et estimatif qui n'est pas une estimation précise, mais qui correspond assez à la réalité. Cette estimation est cruciale pour évaluer de manière précise les coûts liés à chaque aspect du projet. Cela englobe à la fois les travaux de construction et les équipements requis pour la réalisation de notre périmètre, avec un coût total de 20101425,5 DA. La raison de cette augmentation réside dans l'importance d'un réseau d'irrigation (avec des diamètres de conduites élevés) et dans la distance importante qui sépare notre périmètre de la step .

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans ce mémoire, nous exposons un projet d'irrigation pour le secteur BEN CHAABANE dans la région BOUFARIK, qui est alimenté par la station d'épuration de BEN CHAABANE, sur une superficie de 120 hectares.

L'étude multidisciplinaire a permis de combiner des analyses pédologiques, hydrologiques et économiques pour répondre aux enjeux de durabilité et de productivité agricole dans la région.

Les résultats obtenus mettent en évidence que la région de Boufarik, avec ses sols fertiles et son climat méditerranéen semi-humide, est particulièrement adaptée aux cultures comme les agrumes et la vigne. Cependant, des contraintes telles que la salinité, l'hydromorphie et la faible perméabilité de certains sols ont été identifiées, nécessitant des solutions techniques comme le drainage, l'amendement des sols et la mise en œuvre de techniques modernes d'irrigation.

L'intégration des eaux usées traitées, utilisée dans un système d'irrigation goutte-à-goutte, a démontré sa viabilité technique et économique. Non seulement cette approche améliore l'efficacité hydrique, mais elle contribue également à une fertilisation naturelle grâce aux nutriments présents dans ces eaux. L'analyse économique confirme que ce projet est rentable, offrant des opportunités d'amélioration des revenus agricoles tout en réduisant les coûts d'exploitation.

En conclusion, ce travail constitue un modèle de gestion intégrée des ressources hydriques pour une agriculture durable. Il illustre comment une planification rigoureuse et des solutions techniques innovantes peuvent transformer des contraintes environnementales en opportunités de développement agricole. Ce projet représente une avancée significative vers une gestion responsable des ressources naturelles dans un contexte de changement climatique et de pressions croissantes sur les ressources en eau.

L'objectif de ce projet est d'optimiser les aspects socio-économiques de la région en garantissant une couverture suffisante du réseau d'irrigation. Cela favorisera une alimentation optimale de toute la surface irriguée, ce qui contribuera à l'amélioration des rendements.

Références bibliographiques

- **DJADI NABIL** : Dimensionnement du réseau d'irrigation du périmètre
- **MATARI, I** : Dimensionnement du réseau d'irrigation du sous- secteur DR35 de la Mitidja centre ;
- **ANRH** : Etude agro-pédologique de la Mitidja. 1990.
- **HARTANI T** : La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie Thème 2 Vers une gestion durable de l'irrigation : conséquences sur les options de modernisation. Projet INCO-WADEMED. Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée. Rabat, du 19 au 23 avril 2004. 11p (2004).
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985). *Water Quality for Agriculture*. FAO.
- OMS (2006). Lignes directrices pour l'utilisation sans risque des eaux usées en agriculture.