



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**Etude de la projection d'un système de drainage du
périmètre (100ha) de Sedrata W.Souk Ahras**

Présenté par :

MADOUI Mohamed Achraf Amine

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
RASSOUL Abdelaziz	Professeur	Président
AZIEZ Ouahiba	M.C.B	Examineur
SAIL Nadhira	M.C.B	Examineur
KERID Rachid	M.C.A	Examineur
DERNOUNI Youcef	M.A.A	Promoteur

Session Septembre 2024

Dédicace :

Je dédie cette humble réalisation :

À mes parents,

Pour leur amour inconditionnel, leur soutien sans faille et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours. Votre confiance en moi m'a donné la force de surmonter les épreuves et de réaliser cet objectif.

À mon cher frère et ma chère sœur,

Pour leur présence précieuse et leur soutien.

À toute ma famille,

Pour leur affection et leurs encouragements.

À mes amis et camarades de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique,

Avec qui j'ai partagé cette aventure académique, marquée par des moments de travail, d'entraide et de camaraderie.

Remerciement :

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

À l'issue de ce projet, aboutissement de plusieurs années de travail acharné, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu, qui m'a offert les moyens matériels et humains nécessaires à sa réussite.

Je souhaite également adresser mes remerciements les plus chaleureux à ceux qui ont accepté d'évaluer ce projet :

À Monsieur Dernouni Youcef, qui m'a encadré tout au long de la réalisation de ce mémoire de fin d'études. Ses conseils avisés et son expertise approfondie dans le domaine ont considérablement enrichi la qualité de ce travail.

Aux membres du jury, je vous exprime ma plus sincère reconnaissance pour l'honneur que vous me faites en acceptant de présider ce jury. Je tiens à vous témoigner mon profond respect pour votre bienveillance, votre disponibilité, ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon admiration.

Enfin, à l'ensemble du personnel et des enseignants de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), je vous remercie pour votre soutien constant tout au long de mon parcours.

ملخص:

يتناول هذا البحث تصميم وتنفيذ نظام صرف زراعي لمنطقة سدراتة الواقعة في ولاية سوق أهراس. يركز البحث على دراسة الجوانب الرئيسية المتعلقة بالموارد المائية وجودة التربة واحتياجات المحاصيل المائية وكذلك تقنيات الصرف المناسبة. تشمل الدراسة تحليلاً فيزيائياً وكيميائياً للمياه والتربة، وتصميم قنوات الصرف والمجمعات المائية، بالإضافة إلى تقييم تكاليف الصيانة لشبكة الصرف. أظهرت النتائج أن التحكم في فائض المياه يمكن أن يتم بفعالية من خلال تركيب نظام صرف تحت الأرض، مما يقلل من مخاطر ملوحة التربة والتعرية، ويزيد من الإنتاجية الزراعية. يوفر هذا النظام حلاً طويل الأمد لتحديات إدارة المياه في المنطقة، مع ضمان استدامة المحاصيل والإنتاج الزراعي. كلمات مفتاحية: الصرف الزراعي، إدارة المياه، ملوحة التربة، الري.

Abstract:

This study focuses on the design and implementation of an agricultural drainage system for the Sedrata perimeter, located in the Souk Ahras region. The research emphasizes key aspects such as water resources, soil quality, crop water requirements, and suitable drainage techniques. The project includes physico-chemical analyses of both water and soil, the design of drainage channels and collectors, and an assessment of implementation costs of the drainage network. The results show that controlling excess water can be effectively achieved by installing an underground drainage system, thereby reducing the risks of soil salinization and erosion while enhancing agricultural productivity. This system provides a long-term solution to the region's water management challenges, ensuring sustainable crops and agricultural production.

Keywords: agricultural drainage, water management, soil salinization, irrigation.

Résumé:

Ce mémoire porte sur la conception et la mise en place d'un système de drainage agricole pour le périmètre irrigué de Sedrata, dans la wilaya de Souk Ahras. L'étude se concentre sur plusieurs aspects clés, notamment l'analyse des ressources en eau, la qualité des sols, les besoins en eau des cultures et les techniques de drainage appropriées. Le projet inclut des analyses physico-chimiques des eaux et des sols, un dimensionnement des drains et des collecteurs, ainsi qu'une évaluation des coûts de réalisation du réseau de drainage. Les résultats obtenus montrent que l'excès d'eau dans les sols peut être efficacement contrôlé en installant un réseau de drainage souterrain, limitant ainsi les risques de salinisation et d'érosion tout en augmentant la productivité agricole.

Mot clés : drainage agricole, gestion de l'eau, salinisation des sols, irrigation.

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PLANCHES

INTRODUCTION

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Introduction	3
I.2. Cadre géographique	3
I.2.1. Situation géographique générale	3
I.2.2. Situation et localisation de la zone d'étude	4
I.3. Géologie	5
I.3.1. La géologie régionale et stratigraphie	5
I.4. Etude de climat	7
I.4.1. Etude des paramètres climatologiques	7
I.5. Les indices climatiques	12
I.5.1. Indice d'Aridité de De Martonne	12
I.5.2. Indice d'aridité mensuel de De Martonne	13
I.5.3. Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER	14
I.5.4. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gausson	15
I.6. Conclusion	16

CHAPITRE II : RESSOURCES EN EAU ET EN SOL

II.1. Introduction	18
II.2. Ressources En Eau	18
II.2.1. Hydrogéologie de la zone d'étude	18
I.1.2. Eaux superficielles	18
II.2.2. Les caractéristiques techniques du Barrage Oued Charef	19
II.2.3. Caractéristiques physico-chimique des eaux du barrage	20

II.2.4.	Classifications de l'eau d'irrigation	20
II.3.	Ressources En Sol	23
II.3.1.	Zones Homogènes	23
II.3.2.	Caractéristiques du sol	23
II.3.3.	Résultats des analyses physico-chimiques de sol	25
II.4.	Conclusion	25

CHAPITRE III : ETUDE HYDROLOGIQUE

III.1.	Introduction	27
III.2.	Choix de la station pluviométrique	27
III.2.1.	Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique	29
III.2.2.	Ajustement statistique des pluies	31
III.2.3.	Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale	31
III.2.4.	Ajustement des pluies annuelles à la loi de lognormale	33
III.2.5.	Test de validité d'un ajustement	34
III.2.6.	Détermination de l'année de calcul	37
III.3.	Conclusion	38

CHAPITRE IV : BESOINS EN EAU DES CULTURES

IV.1.	Introduction	40
IV.2.	Le choix des cultures	40
IV.2.1.	Occupation des sols	41
IV.2.2.	Profondeurs racinaires des cultures	41
IV.2.3.	Estimation des coefficients culturaux (Kc)	41
IV.3.	Evaluation des besoins en eau des cultures	42
IV.3.1.	Calcul de la pluie efficace	43
IV.3.2.	Calcul de la réserve en eau du sol	44
IV.3.3.	Estimation des besoins en eau des cultures	45
IV.3.4.	Calcul des besoins en eau pour les assolements	50
IV.3.5.	Lessivage des sols :	51
IV.3.6.	Estimations des besoins en eau totaux	52
IV.4.	Conclusion	53

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DU DRAINAGE

V.1. Introduction	56
V.2. Objectifs du drainage agricole	56
V.2.1. Prévention des inondations temporaires	56
V.2.2. Prévention de la salinisation	56
V.2.3. Amélioration de la structure du sol	56
V.2.4. Protection contre l'érosion	56
V.3. Le réseau de drainage et ses composantes	56
V.3.1. Plan global d'un système de drainage	57
V.3.2. Éléments clés du système de drainage	57
V.3.3. Modes de drainage	58
V.4. Conception d'un système de drainage	59
V.5. Avantages du drainage	59
V.6. Calcul du débit caractéristique	60
V.6.1. Cas où l'excès provient des pluies	60
V.6.2. Cas où l'excès provient de l'irrigation	64
V.6.3. Cas où l'excès provient du lessivage	65
V.7. Calcul de l'écartement entre les drains	65
V.7.1. Equation de Hooghoudt	65
V.8. Profondeur des drains	66
V.9. La longueur d'installation des drains	66
V.10. La pente d'installation	67
V.11. Débit à évacuer par le drain	67
V.12. Dimensionnement des drains	68
V.13. Dimensionnement des collecteurs	68
V.14. Conclusion	73

CHAPITRE VI : L'ENTRETIEN DU RESEAU ET L'ESTIMATION DES DEVIS

VI.1. Introduction	75
VI.2. Causes de non fonctionnement des réseaux de drainage	75
VI.2.1. Facteurs techniques	75

VI.2.2. Obstructions naturelles	75
VI.3. L'entretien du réseau	76
VI.4. Devis quantitatif et estimatif	76
VI.5. Conclusion	76
CONCLUSION GENERALE	77
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	78
ANNEXES	79

Liste des tableaux

Tableau I. 1. Températures moyennes mensuelles « Station Oum El Bouaghi ».....	8
Tableau I. 2. Précipitations moyennes mensuelles « Station M'daourouch ».....	9
Tableau I. 3. La moyenne mensuelle de la vitesse de vent (1991-2020)	10
Tableau I. 4. Humidité relative moyenne mensuelle (1991-2000).....	10
Tableau I. 5. Insolation moyenne mensuelle (1991-2000).....	11
Tableau I. 6. Evaporations moyennes mensuelles (1992-1994).....	11
Tableau I. 7. Fréquence mensuelle de neige « station d'Oum El Bouaghi ».	11
Tableau I. 8. Fréquence mensuelle de gelée « station d'Oum El Bouaghi ».....	11
Tableau I. 9. Fréquence mensuelle des orages « station d'Oum El Bouaghi ».	12
Tableau I. 10. Classification du climat selon la classification de DE MARTONNE. ...	13
Tableau I. 11. Indice d'aridité de Martonne concernant « station Oum El Bouaghi ». .	13
Tableau I. 12. Résultats des indices d'aridité mensuels de Martonne.	14
Tableau I. 13. Indice d'Emberger.	15
Tableau II. 1. Caractéristiques techniques du barrage Oued Charef.	19
Tableau II. 2. Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.	21
Tableau II. 3. Classification des eaux en fonction du SAR.....	21
Tableau II. 4. Résultats d'analyse physico-chimiques du sol.	25
Tableau III. 1. Caractéristique de la station.	27
Tableau III. 2. La série des Précipitation moyennes mensuelles (1990-2020).	28
Tableau III. 3. Test de Wilcoxon.....	30
Tableau III. 4. La pluie en fonction de la période de retour.	37
Tableau III. 5. Calcul de P80%.	37
Tableau IV. 1. Occupation des sols.....	41
Tableau IV. 2. Profondeur utiles (Z) pour les cultures choisis (m).	41
Tableau IV. 3. Coefficients culturaux des cultures (KC).	42
Tableau IV. 4. Evapotranspiration de référence calculée par le logiciel CROPWAT. ...	43
Tableau IV. 5. Pluie efficace de la zone d'étude.	44

Tableau IV. 6. Besoins en eau du Blé.	45
Tableau IV. 7. Besoins en eau de l'Orge en grain.	45
Tableau IV. 8. Besoins en eau de l'Orge vert.	45
Tableau IV. 9. Besoins en eau de la Luzerne.	46
Tableau IV. 10. Besoins en eau du Pomme de terre saison.	46
Tableau IV. 11. Besoins en eau du Pomme de terre arrière-saison.	47
Tableau IV. 12. Besoins en eau du Tomate.	47
Tableau IV. 13. Besoins en eau de l'Oignon.	48
Tableau IV. 14. Besoins en eau du Poivron et Piment.	48
Tableau IV. 15. Besoins en eau de l'Olivier.	49
Tableau IV. 16. Besoins en eau du Pommier.	49
Tableau IV. 17. Calcul des besoins en eau pour l'assolement 1.	50
Tableau IV. 18. Calcul des besoins en eau pour l'assolement 2.	50
Tableau IV. 19. Dose de lessivage.	52
Tableau IV. 20. Volume totale pour l'assolement 1.	52
Tableau IV. 21. Volume totale pour l'assolement 2.	53
Tableau V. 1. Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 1 (sep-oct-nov).	61
Tableau V. 2. Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 2 (dec-jan-fev).	61
Tableau V. 3. Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 3 (mar-avr-mai).	61
Tableau V. 4. Le Qc en régime permanent avec stockage.	64
Tableau V. 5. Dimensionnement des drains.	69
Tableau V. 6. Dimensionnement des drains.	70
Tableau V. 7. Dimensionnement des drains.	71
Tableau V. 8. Dimensionnement des drains.	72
Tableau V. 9. Dimensionnement des collecteurs.	73
Tableau V. 10. La longueur totale des drains.	73
Tableau VI. 1. Estimation des couts des travaux.	76

Liste des figures

Figure I. 1. Situation géographique de la zone d'étude, wilaya de Souk Ahras.	3
Figure I. 2. Situation géographique de sedrata.	4
Figure I. 3. Localisation du périmètre.	4
Figure I. 4. Carte géologique de la zone d'étude.	7
Figure I. 5. Précipitations moyennes mensuelles « Station M'daourouch »	9
Figure I. 6. Répartition de l'humidité moyenne en %.	10
Figure I. 7. Abaque d'aridité annuel de De Martonne.	13
Figure I. 8. Climatogramme d'EMBERGER.	15
Figure I. 9. Diagramme ombrothermique de Gaussen.	16
Figure II. 1. Situation géographique du barrage Oued Charef.	19
Figure II. 2. Diagramme de classification des eaux d'irrigation (selon USSS, 1954)...	22
Figure III. 2. Statistiques descriptives par le logiciel HYFRAN.	32
Figure III.1. Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN.	32
Figure III. 3. Teste de khi carré obtenus par le logiciel HYFRAN. Error! Bookmark not defined.	
Figure III. 4. L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN. Error! Bookmark not defined.	
Figure V. 1. Les types de réseaux de drainage.....	58
Figure V. 2. Drainage par fossés.	58
Figure V. 3. Drainage souterrain.	59

Liste des planches

Planche N°1 : Plan de situation.

Planche N°2 : Plan d'occupation de sol.

Planche N°3 : Projection du réseau de drainage.

Planche N°4 : Profil en long.

Introduction

Le drainage agricole constitue une composante essentielle dans la gestion des terres agricoles, en particulier dans les régions où l'excès d'eau compromet la qualité des sols et la productivité des cultures. Dans ce contexte, la conception d'un réseau de drainage efficace vise à évacuer l'eau en excès tout en assurant une gestion durable des ressources hydriques. Ce mémoire de fin d'études porte sur l'étude et la conception d'un système de drainage agricole dans le périmètre de Sedrata, situé dans la wilaya de Souk Ahras.

Le périmètre de Sedrata, caractérisé par des conditions climatiques semi-arides et une géologie complexe, présente des défis importants pour l'agriculture. Les sols de cette région, bien que fertiles, souffrent régulièrement de saturation en eau due à des précipitations irrégulières et parfois excessives. Cette saturation entraîne des problèmes de salinisation, d'érosion et de compaction du sol, réduisant ainsi le rendement agricole. Le projet de drainage agricole proposé a pour but d'améliorer la gestion des sols en évacuant l'excès d'eau, réduisant ainsi les risques de dégradation des terres et permettant une meilleure exploitation des ressources hydriques disponibles.

Ce travail s'articule autour de plusieurs étapes méthodologiques. Tout d'abord, une étude complète des ressources en eau et en sol a été réalisée, permettant de mieux comprendre la composition des sols et la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation. Ensuite, une analyse hydrologique approfondie a été menée afin de déterminer les besoins en eau des cultures, et d'évaluer les précipitations annuelles à travers des ajustements statistiques et des tests de validité des données pluviométriques. Enfin, le dimensionnement du réseau de drainage a été effectué en tenant compte des objectifs principaux du drainage agricole, tels que la prévention des inondations temporaires, la réduction de la salinisation des sols et la protection contre l'érosion.

L'importance de cette étude réside dans la nécessité de proposer des solutions concrètes aux défis rencontrés par les agriculteurs de la région de Sedrata. En effet, la gestion de l'eau, que ce soit en excès ou en déficit, est un enjeu majeur pour garantir la viabilité de l'agriculture dans cette région semi-aride. La conception d'un système de drainage adéquat vise non seulement à résoudre les problèmes d'accumulation d'eau, mais aussi à améliorer les conditions de croissance des cultures, en assurant une répartition optimale des ressources en eau tout au long de l'année.

Ce mémoire apporte ainsi une contribution à la planification hydro-agricole dans la région de Souk Ahras, en proposant un modèle de gestion intégrée des ressources en eau et des sols. Il met en lumière l'importance de l'utilisation de techniques de drainage modernes et de la prise en compte des particularités locales pour un développement agricole durable et résilient face aux changements climatiques.

CHAPITRE I

Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction

Ce chapitre fera l'objet d'une présentation globale de la zone d'étude avec une évaluation complète des conditions naturelles de cette zone, en examinant ses caractéristiques géographiques, géologiques, climatiques et socio-économiques. Cette démarche vise à déterminer les types de cultures les plus appropriés pour cette région.

I.2. Cadre géographique

La wilaya de Souk-Ahras se situe à l'extrême nord-est de l'Algérie, c'est une wilaya frontalière avec la Tunisie. Sur le plan administratif, la wilaya de Souk-Ahras est composée de 26 communes avec une superficie de 4360 km². Le Chef-lieu de la wilaya est située à 514 km à l'est de la capitale, Alger.

I.2.1. Situation géographique générale

La wilaya se situe au Nord-Est du pays, à l'est des Aurès et à la frontière Tunisienne, elle est délimitée :

Au Nord, par la wilaya d'El Tarf

A l'Est, par la Tunisie

Au Nord-Ouest, par la wilaya de Guelma.

A l'Ouest, par la wilaya d'Oum El Bouaghi.

Au Sud, par la wilaya de Tébessa.

Elle se situe à : 36° 17' 15" N, 7° 57' 15" E

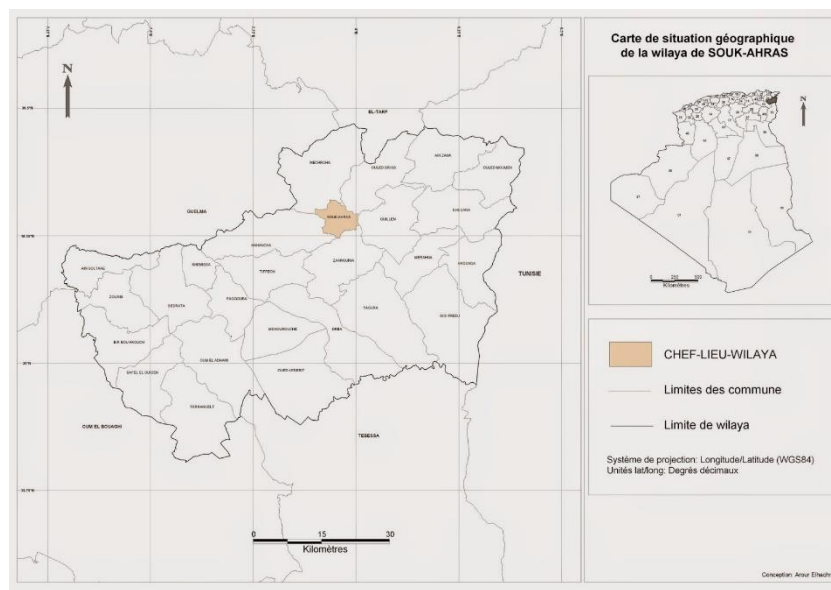


Figure I. 1. Situation géographique de la zone d'étude, wilaya de Souk Ahras.

(<https://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com>)

I.2.2. Situation et localisation de la zone d'étude

La zone d'étude (Sedrata) est située à l'Ouest de la wilaya Souk Ahras à environ 50 Km du chef-lieu de la wilaya. La zone se trouve à une altitude variée de 800 à 840 mètres.

La commune de Sedrata est limitée par :

Les communes de Zouabi et Bir Bouhouch à l'Ouest.

La commune de Ain Soltan et La wilaya de Guelma au Nord.

Les communes de Khemissa et Ragouba à l'Est.

La commune d'Oum El Adhaim au Sud.

Coordonnées : 36° 7' 42" N, 7° 31' 53" E.

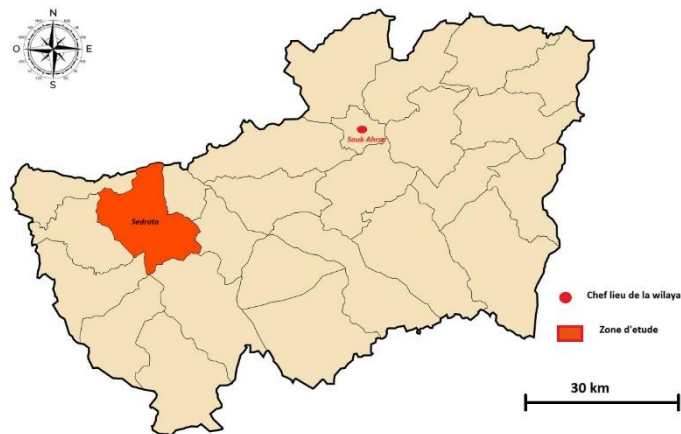


Figure I. 2. Situation géographique de sedrata.



Figure I. 3. Localisation du périmètre.

(Google Earth - 2024).

ar.m.wikipedia.org.

I.3. Géologie

La zone d'étude, qui se trouve dans les monts de la Medjerda, représente un point de rencontre entre deux domaines structuraux différents : l'Atlas Saharien Oriental au sud, qui se poursuit en Tunisie par l'Atlas Tunisien. Cette chaîne de montagnes se caractérise par des anticlinaux et des synclinaux perchés orientés en direction du SW-NE.

L'Atlas Saharien est constitué d'une série de larges plis synclinaux et d'anticlinaux plus étroits datant du Crétacé. Elles sont généralement minces et leur couverture a une épaisseur maximale de quelques milliers de mètres.

Les plis s'organisent en échelons et forment du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

I.3.1. La géologie régionale et stratigraphie

La région de SEDRATA est caractérisée par la présence d'éléments caractéristiques de la chaîne alpine d'Algérie orientale : Un témoin des nappes de Flysch, plusieurs témoins des nappes telliennes et un imposant ensemble allochtone de type Sellaoua.

La zone autochtone nord aurésienne ne couvre qu'une surface réduite.

a. Le Quaternaire

e- Eboulis

A- Alluvions actuelles ou récentes- c'est une banquette de limons gris de graviers et de galets parfois assez gros.

Q- Terres arables, formations des pentes, alluvions anciennes et quaternaire indéterminé.

Les terres arables sont installées sur des alluvions anciennes et correspondent à des sols bruns fertiles, peu ou pas calcaires très propices à la mise en culture

b. Miopliocène

mp- Miopliocène continental: argiles conglomérat, grès et calcaires lacustres.

Les formations miopliocène constituent de vastes affleurements au nord-est de Sedrata et au sud-ouest. A la base de conglomérats grossiers mal calibrés, sont surmontés par des argiles grises à intercalations gréseuses.

La série est généralement surmontée par des calcaires lacustres cariés blancs ou rose à petits débris de Gastéropodes indéterminables.

c. Nappes de Flysch (Nappe numidienne)

gn-Grès numidiens. IL S'agit de 300 à 400m d'alternances de grès hétérométriques en gros bancs et d'argiles kaoliniques sableuses.

d. Nappes Telliennes

e4-5- Yprésien à lutétien inférieur-calcaires blancs bitumineux à cassure noire et à silex noirs.

C'est une série de 150m à 250 m d'épaisseur qui détermine l'existence du plateau calcaire d'El Mouilah. Il s'agit de calcaires marneux blancs à cassure noire.

e. Ensemble Allochtone écaillé

mb- Miocène à dominante marneuse- c'est une puissante série de marnes bleuâtres, et d'argiles gris verdâtres ou grises à intercalations de grès calcaireux bruns, bien dégagés par l'érosion.

N6-Albien- marnes schisteuses grises et bio micrites à patine grise. A l'oued Cheniour et près de Sedrata il s'agit d'abord de marnes grises à petits bancs grésocalcaireux roux, plus grossiers à leur base.

T- Trias-facies argilo gypseux varicolé-les affleurements de trias occupent de vastes surfaces au Djebel Zouabi, à Sedrata, au Ras El Alia, au Djebel Tignilaline. Il s'agit d'une masse argileuse varicolore à passées gypseuses broyées.

f. Formations parautochtones ou autochtones nord auresienne

mh- Miocène marin transgressif –conglomérats et grès roux-calcaireux.

Le miocène marin autochtone débute lui aussi par des conglomérats à galets bien roulés, parfois rubéfiés.il se poursuit par des grés calcaireux bruns ou roux et par des grés blancs très développés à la Koudiet El Medaoura et au Dra S'doud ; à l'est de SEDRATA.

CH⁵-Campanien surtout calcaire à incérâmes.

Le Campanien forme une petite barre due à l'abondance de bancs marno-calcaires à incérâmes.

Q- Quaternaire : [terres arables, formations des pentes, alluvions anciennes et Quaternaire indéterminé].

mp – Miopliocène continental: [Argiles conglomérat, Grès et Calcaires lacustres].

gn-Nappe numidienne : [grés numidiens].

e4-5-Eocène : [yprésien à lutétien inférieur-calcaires blancs bitumineux à cassure noire et à silex noirs, facies à globigérines et à débris].

mb- Miocène : [miocène à dominante marneuse].

N6 -Crétace : [Albien- marnes schisteuses grises et bio micrites à patine grise].

T – Trias : facies argilo gypseux varicolore.

mh-Miocène: [Miocène marin transgressif –conglomérats et grés roux calcaireux].

CH⁵-Crétace:[Campanien surtout calcaires].

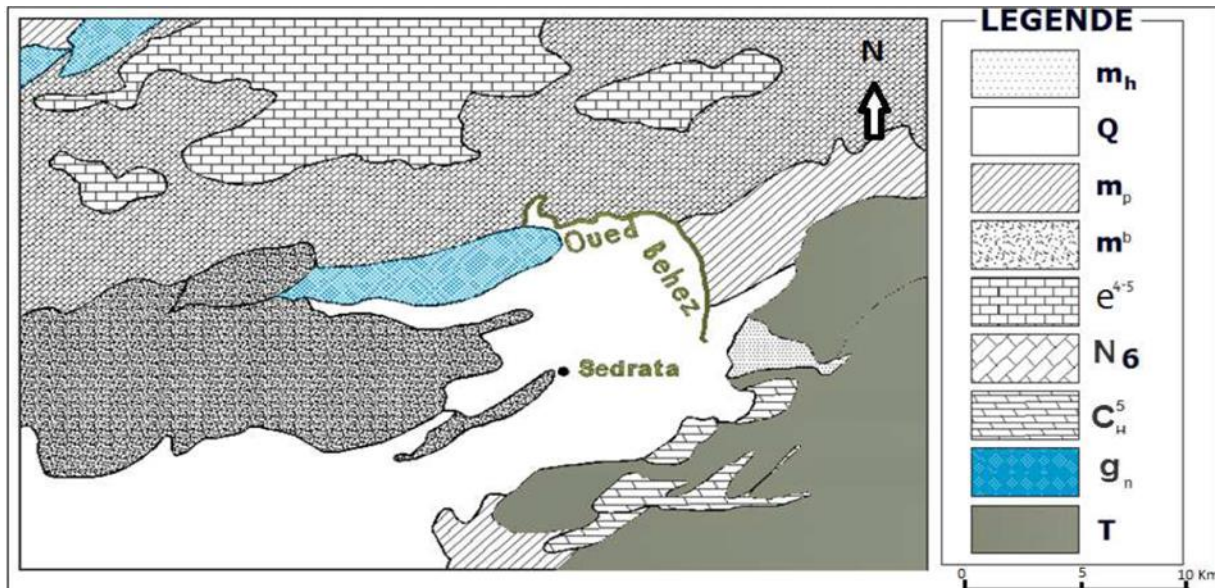


Figure I. 4. Carte géologique de la zone d'étude.

I.4. Etude de climat

L'étude du climat consiste à analyser les conditions météorologiques sur une période prolongée dans une zone spécifique. Son objectif est de comprendre les modèles climatiques, les fluctuations saisonnières et les tendances à long terme. Cette discipline examine l'influence des éléments naturels et anthropiques sur le climat, ce qui revêt une importance capitale pour la prise de décisions dans divers domaines tels que l'aménagement urbain, l'agriculture, la préservation de l'environnement et l'adaptation aux changements climatiques.

I.4.1. Etude des paramètres climatologiques

a. Température

Un élément crucial dans la caractérisation du climat d'une région, Sa prise en compte est fondamentale pour évaluer les déficits de débit d'eau. Pour le périmètre de SEDRATA la station d'OUM EL BOUAGHI est très représentative.

Les températures moyennes mensuelles, enregistrées chaque mois, sont essentielles pour la planification, les prévisions météorologiques et l'analyse des évolutions climatiques à long terme.

Le périmètre étudié présente les traits du climat continental. Les températures se distinguent par une différence de température élevée entre le jour et la nuit.

Tableau I. 1. Températures moyennes mensuelles « Station Oum El Bouaghi »
(1990-2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
Tmax (°C)	11.3	13	16.8	19	25.4	30.7	34.7	33.7	28.4	23.5	16.9	12	22.11
Tmin (°C)	1.4	1.6	4.6	6.4	11.1	15.2	17.8	17.9	14.8	11.1	5.4	2.4	9.14
Tmoy (°C)	5.9	7	10.5	12.6	18.2	23.1	26.5	25.8	21.3	16.9	10.7	6.9	15.45

Source : O.N.M Alger.

La figure indique que les températures moyennes mensuelles sont les plus élevées en Juillet-Août, avec 26.5°C et 25.8°C, et que les températures moyennes maximales sont entre 34.7°C et 33.7°C, avec un niveau le plus bas en Janvier, avec une moyenne de 5.9°C, avec un minimum de 1.4°C.

b. Les précipitations

Le terme "précipitations" regroupe toutes les formes de précipitations météoriques qui atteignent la surface terrestre, qu'elles soient liquides (comme la bruine, la pluie ou les averses) ou solides (comme la neige, le grésil ou la grêle), ainsi que les précipitations déposées ou occultes (comme la rosée, la gelée blanche ou le givre). En général, ces précipitations sont provoquées par des changements de température ou de pression atmosphérique. Il convient de noter que les précipitations constituent la principale source d'approvisionnement des principaux systèmes hydrologiques continentaux, comme les bassins versants.

Les données pluviométriques sont pris de la station de M'daourouch.

1. Précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles désignent la quantité moyenne de précipitations, pluies, neiges ou autres, qui s'écoulent sur une région donnée au cours d'une année complète. Souvent exprimée en millimètres d'eau, cette mesure est cruciale pour appréhender le climat d'une zone donnée et ses fluctuations saisonnières. Elle a également une influence significative sur la gestion des ressources en eau, la planification agricole et d'autres domaines de la planification et de la prise de décision concernant le climat.

2. Précipitations moyennes mensuelles

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles est essentielle afin de saisir les fluctuations saisonnières des précipitations dans une région spécifique. Elle permet de déterminer les mois les plus pluvieux, les plus secs et les tendances saisonnières, ce qui offre

une vision précieuse des schémas climatiques locaux. Cette information revêt une importance capitale dans la planification agricole et la gestion des ressources en eau.

Tableau I. 2. Précipitations moyennes mensuelles « Station M'daourouch ». (1990-2020).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	AN
Pmoy (mm)	28.6	26.5	33.7	40.8	43.9	33.5	36.2	40.3	35.5	16.4	8.5	18.0	361.8

Source : O.N.M Alger.

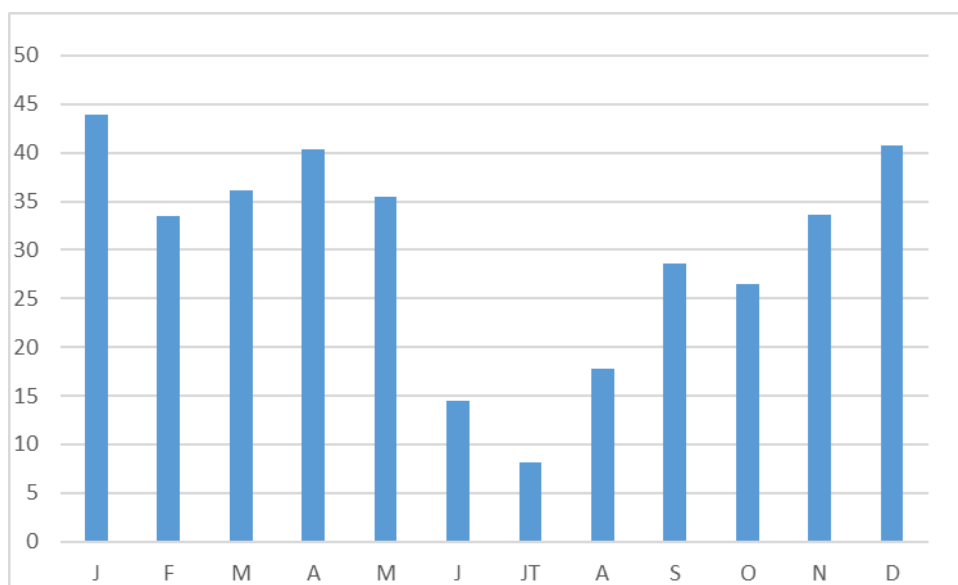


Figure I. 5. Précipitations moyennes mensuelles « Station M'daourouch ».

c. Le vent

Le vent représente le déplacement de l'air dans l'atmosphère terrestre, produit par des variations de pression et de température. Il est indispensable pour la circulation de l'air, le transport de chaleur et d'humidité, ainsi que pour la création de phénomènes météorologiques. D'une manière générale, les vents dans la région de Souk Ahras sont pour la plupart faibles et relativement fréquents, notamment en hiver et au printemps. La direction de ces vents est notamment :

-à 7 h

Nord-Est d'avril à septembre

Nord-Ouest d'octobre à mars

- à 13 h

Nord-est de mai à septembre

Nord-ouest d'octobre à avril

Tableau I. 3. La moyenne mensuelle de la vitesse de vent (1991-2020)
« Station d'Oum El Bouaghi».

Mois	S	O	N	D	J	f	M	A	M	J	J	A	Année
V (m/s)	1,50	1,60	1,80	1,70	1,40	1,50	1,20	0,90	1,00	0,80	1,20	1,10	1.24

Source : O.N.M Alger.

d. L'Humidité

L'humidité relative de l'air correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression.

Tableau I. 4. Humidité relative moyenne mensuelle (1991-2000)
« Station Oum El Bouaghi ».

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
%	79,6	76,4	70,9	69,9	59,0	54,3	50,4	49,6	62,7	70,2	73,8	79,2	66,3

Source : O.N.M Alger.

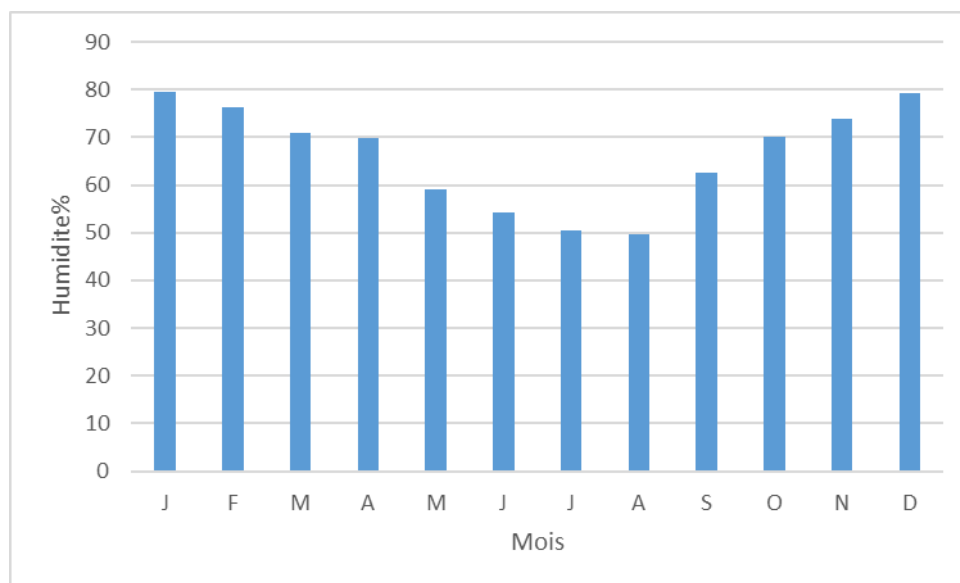


Figure I. 6. Répartition de l'humidité moyenne en %.

e. Insolation

L'insolation est la quantité totale d'énergie solaire reçue sur une surface donnée pendant une période spécifique, généralement exprimée en joules par mètre carré (J/m^2) ou en watts par mètre carré (W/m^2). Elle représente la mesure de l'éclairement solaire direct et diffus, capté par la surface terrestre.

Tableau I. 5. Insolation moyenne mensuelle (1991-2000)

« Station Oum El Bouaghi ».

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	an
Heures/J	5.2	6.8	7.8	8.3	9.1	9.6	11.4	9.8	8.1	7.1	6.1	5.3	7.9

Source : O.N.M Alger.

f. Evaporation

L'évaporation est le processus par lequel l'eau se transforme de sa forme liquide à sa forme gazeuse, sous l'effet de la chaleur, habituellement à la surface de l'eau ou du sol humide.

Tableau I. 6. Evaporations moyennes mensuelles (1992-1994)

« Station Oum El Bouaghi ».

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
mm	46,0	49,0	52,0	69,0	91,0	105,0	119,0	127,0	103,0	76,0	68,0	58,0	963,00

Source : O.N.M Alger.

g. Les phénomènes climatiques accidentels**1. La neige**

Il neige en moyenne 3 jour/an dans la région d'OUM EL BOUAGHI. Les chutes importantes sont surtout enregistrées sur les hauteurs que sur les plaines.

Tableau I. 7. Fréquence mensuelle de neige « station d'Oum El Bouaghi ».

Mois	S	O	N	D	J	f	M	A	M	J	J	A	Année
F	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3,00

Source : O.N.M Alger.

2. La gelée

La gelée s'observe à partir du mois de Novembre jusqu'à la fin du mois d'Avril avec un maximum de Neuf jours aux mois de Décembre et Janvier.

Tableau I. 8. Fréquence mensuelle de gelée « station d'Oum El Bouaghi ».

Mois	S	O	N	D	J	f	M	A	M	J	J	A	Année
F	0	0	2	9	12	8	4	1	0	0	0	0	36

Source : O.N.M Alger.

La pratique de la culture sous serre est actuellement le meilleur moyen pour protéger les cultures primeurs contre la gelée.

3. Les Orages

Les orages violents provoquent avec l'action éolienne des dégâts importants sur les cultures en place. Ils sont observés dans la région en particulier durant la période estivale.

Tableau I. 9. Fréquence mensuelle des orages « station d'Oum El Bouaghi ».

Mois	S	O	N	D	J	f	M	A	M	J	J	A	An
F	5	2	1	0	0	1	2	2	4	4	4	5	30

Source : O.N.M Alger.

I.5. Les indices climatiques

Les indices climatiques sont des paramètres spécifiques utilisés pour évaluer et caractériser les conditions climatiques d'une région ou d'une période donnée. Ils servent à résumer des informations complexes sur le climat en fournissant des mesures quantitatives.

On peut étudier le climat en utilisant différentes méthodes telles que la visualisation, les périodes sèches et les périodes humides, ainsi que le calcul des indices climatiques annuels et mensuels qui permettent de déterminer le climat en se basant sur les précipitations et les températures.

I.5.1. Indice d'Aridité de De Martonne

L'indice de l'aridité de De Martonne est un outil précieux pour évaluer les conditions climatiques dans diverses régions du globe et pour aider à appréhender les variations de l'aridité dans le temps et dans l'espace. En géographie et en climatologie, il est fréquemment employé afin de classer les climats et d'analyser les zones arides.

$$I = \frac{P}{T+10} \quad \text{Équation I-1}$$

Où

I : Représente l'indice d'aridité de De Martonne.

P : Précipitation annuelle moyenne en millimètres (mm).

T : Température annuelle moyenne en degrés Celsius (c°).

Tableau I. 10. Classification du climat selon la classification de DE MARTONNE.

Valeurs	Type du climat	Irrigation
IA<5	Hyperaride.	Indispensable
5< IA<10	Très sec	Indispensable
5< IA<10	Très sec	Indispensable
10< IA<20	Semi-aride	Souvent Indispensable
20< IA<30	Tempéré.	Parfois utile

Dans notre cas :

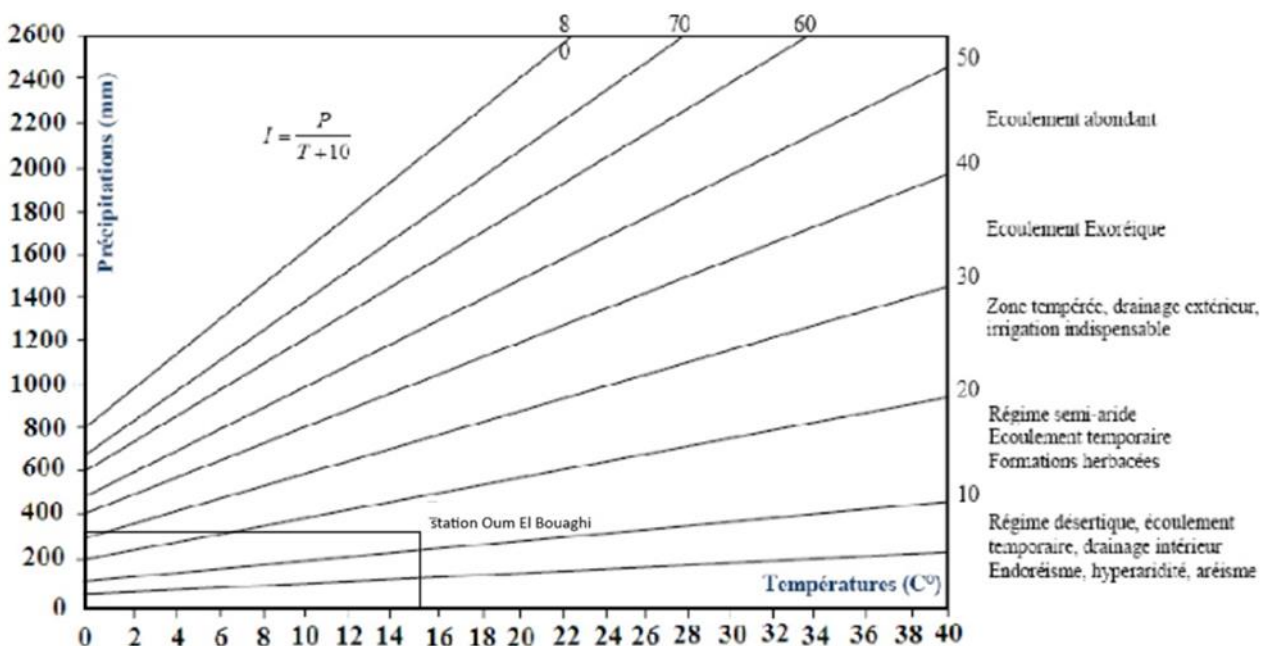
Tableau I. 11. Indice d'aridité de Martonne concernant « station Oum El Bouaghi ».

Pmoy (mm)	Tmoy(°C)	I(mm /°C)
325.99	15.45	12.81

La valeur calculée de **I** est comprise entre 10 et 20 et selon l'abaque de Martonne. Pour la région d'étude :

$$P = 325.99\text{mm} \quad T = 15.45 \text{ C}^\circ \quad I = 12.81$$

Son report sur l'abaque de De Martonne montre que notre région est située en régime semi- aride.

**Figure I. 7.** Abaque d'aridité annuel de De Martonne.

I.5.2. Indice d'aridité mensuel de De Martonne

L'indice d'aridité mensuel de De Martonne, contrairement à l'indice annuel qui donne une vision globale du climat tout au long de l'année, est calculé pour chaque mois de l'année. Cela offre une meilleure compréhension des variations saisonnières de l'aridité dans une

région donnée.

$$I = \frac{12P}{T+10} \quad \text{Équation I-2}$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau I. 12. Résultats des indices d'aridité mensuels de Martonne.

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
I	33.12	23.62	21.16	21.41	15.10	5.25	2.67	6	10.98	11.82	19.51	28.96
Type de régime	E	T	T	T	S	H	H	H	S	S	S	T

Avec :

S : Semi-aride ; T : Tempéré ; E : Ecoulement exoréique ;

H : Hyperaride ;

I.5.3. Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER

La technique est fondée sur la projection du quotient pluviométrique sur un diagramme dressé par **EMBERGER**, en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid.

La formule du Quotient pluvio-thermique établie par **EMBERGER** en 1955 est la plus adaptée aux climats méditerranéens.

$$Q = \frac{1000 \times P}{(M-m) \frac{(M+m)}{2}} = \frac{2 \times 1000 \times P}{M^2 - m^2} \quad \text{Équation I-3}$$

$$Q = \frac{2 \times 1000 \times 361.8}{(34.7+273)^2 - (1.4+273)^2} = 37.33$$

Q = Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

M : moyennes des températures maximales du mois le plus chaud (°K).

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°K).

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne (°K).

Avec : $K = T (^{\circ}\text{C}) + 273$.

Tableau I. 13. Indice d'Emberger.

Station	P moy (mm)	M (°K)	m (°K)	Q
Oum El Bouaghi	361.8	307.7	274.4	37.33

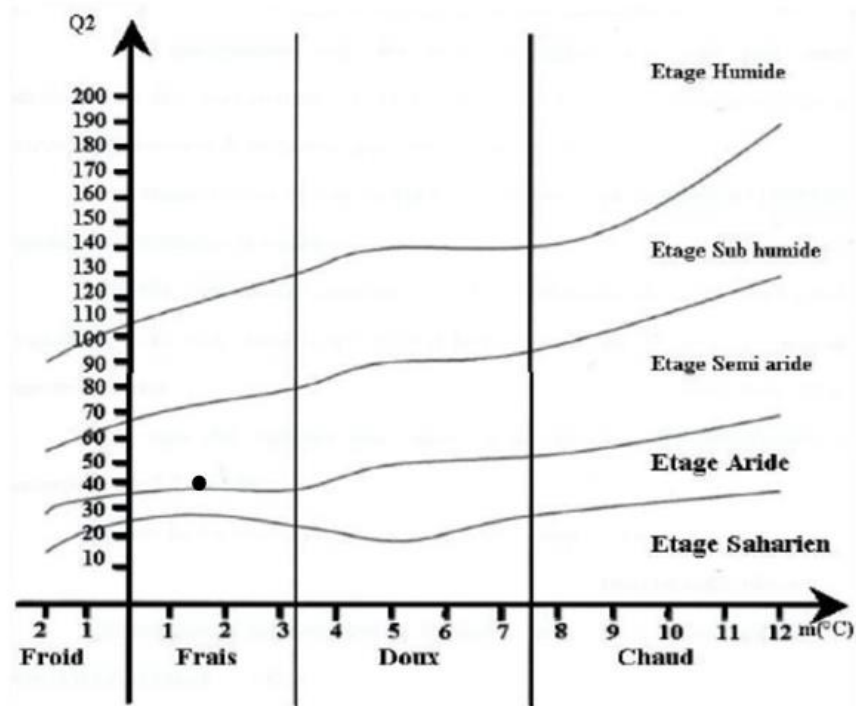


Figure I. 8. Climatogramme d'EMBERGER.

La figure montre que le point représentatif sur le climatogramme d'EMBERGER correspond à un climat semi-aride à hiver Chaud.

I.5.4. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen ont développé des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche tout au long de l'année. Les mois secs sont identifiés lorsque la courbe des précipitations se trouve en dessous de celle des températures moyennes.

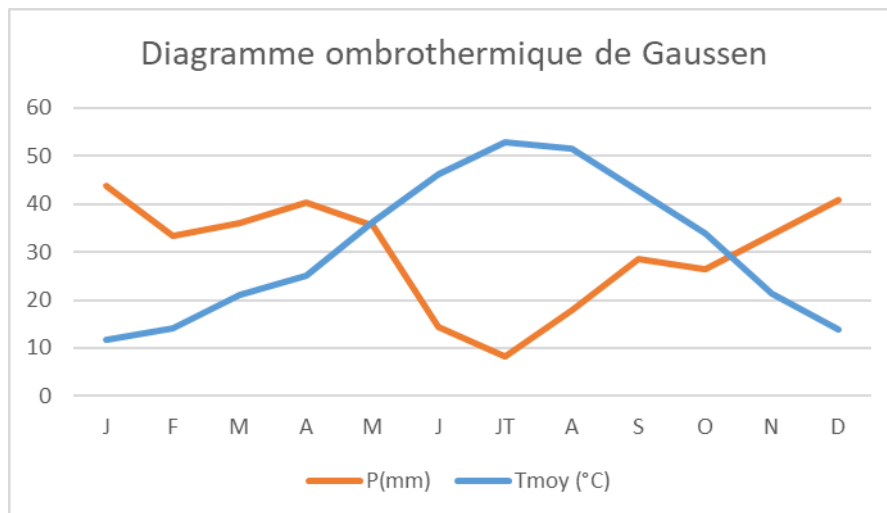


Figure I. 9. Diagramme ombrothermique de Gausse.

Description du graphe

D'après le graphe on remarque que la saison sèche s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre, et la saison humide du mois de Septembre jusqu'à le mois de Mai.

I.6. Conclusion

La zone d'étude de Sedrata dans la wilaya de Souk Ahras est caractérisée par une géologie complexe et un climat continental avec des variations importantes de température et de précipitations. Ces conditions influencent fortement l'aptitude des sols et la potentialité agricole de la région. L'analyse des données géographiques, géologiques et climatiques permet de mieux comprendre les contraintes et les opportunités pour le développement agricole durable et l'aménagement du territoire.

CHAPITRE II

Ressources en eau et en sol

CHAPITRE II : Ressources en eau et en sol

II.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'effectuer une étude des ressources en sol et en eau dans le cadre de l'aménagement hydrologique de notre zone d'étude.

II.2. Ressources En Eau

II.2.1. Hydrogéologie de la zone d'étude

Dans le cadre de l'étude de l'hydrogéologie de la région de Sedrata, wilaya de Souk-Ahras, le projet se concentre sur la caractérisation des systèmes aquifères présents dans cette région, en mettant l'accent sur leur nature lithologique, leur structure et leur potentiel en ressources souterraines. L'étude identifie principalement deux types d'aquifères : l'aquifère détritique composé de galets, graviers et sables d'âge Mio-Plio-Quaternaire, et l'aquifère karstique des calcaires fissurés du Maestrichtien. L'hydro climatologie, avec des précipitations irrégulières et un bilan hydrique complexe, joue un rôle crucial dans la recharge de ces nappes.

a. Aquifère détritique

Un aquifère détritique est constitué de matériaux non consolidés tels que des sables, des graviers et des argiles. L'eau y circule principalement entre les grains de ces matériaux.

b. Aquifère Karstique

Un aquifère karstique est formé dans des roches solubles, principalement des calcaires, qui subissent un processus de karstification par dissolution. Ce processus crée un réseau complexe de conduits et de cavités.

I.1.2. Eaux superficielles

Les ressources en eaux superficielles utilisées pour l'irrigation dans la zone d'étude viennent de deux sources principales : Oued charef et barrage de l'oued charef

La qualité des ressources en eau doit être évaluée en les classant en bonnes, médiocres ou mauvaises. Cette évaluation de la qualité de l'eau est nécessaire pour anticiper les besoins de traitement et de filtration éventuels pour son utilisation dans l'irrigation.

La principale ressource en eau pour notre zone d'étude est assurée à partir des eaux superficielles emmagasinées dans le barrage Oued Charef.

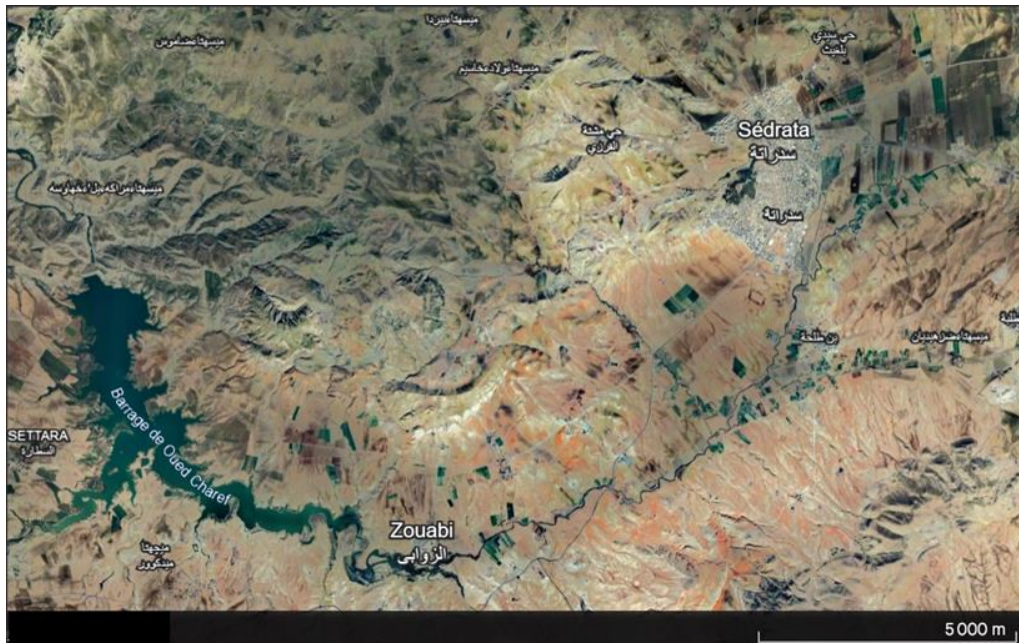


Figure II. 1. Situation géographique du barrage Oued Charef.

(Google Earth- juillet 2024).

II.2.2. Les caractéristiques techniques du Barrage Oued Charef

Tableau II. 1. Caractéristiques techniques du barrage Oued Charef.

Type	Digue en terre à noyau argileux.
cote de la retenue normale	745 m
cote de la retenue maximale	750 m
Hauteur	60 m
Largeur en crête	9 m
Volume total de la retenue	150 hm ³

II.2.3. Caractéristiques physico-chimique des eaux du barrage**Tableau II-2 : Résultats des Analyse de l'eau brute de l'Oued Charef.**

(Station Moulin Rachefort).

Eléments	mg/l	meq/l
Ca ⁺⁺	110.28	5.5
Mg ⁺⁺	30.38	2.5
Na ⁺	301.3	13.1
K ⁺	1,14	0,72
Cl ⁻	55	1.55
(SO4) ⁻²	270	5.62
(CO3) ⁻²	00	0,00
(HCO3) ⁻	140,3	2,3
Résidus secs (mg/l)	1344	
Conductivité 25°C (ms/cm)	2.1	
PH	7,5	
SAR	6.55	

Source : Le laboratoire de chimie A.N.R.H.

II.2.4. Classifications de l'eau d'irrigation

La classification des eaux d'irrigation est basée principalement sur deux éléments essentiels :

La conductivité électrique : une mesure essentielle pour évaluer la qualité de l'eau, utilisée pour détecter la présence de sels dissous dans cette eau, est permet de déterminée la salinité. Exprimée en (mS/cm) ou (mmhos/cm) à 25°C.

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

CE en mS/cm	Classe
CE < 0,25	Classe C1: Eau de faible salinité, appropriée pour la plupart des sols et des cultures sans risque significatif de salinisation.
0,25 < CE ≤ 0,75	Classe C2: Eaux de salinité modérée, peut être utilisée sur des sols bien drainés, recommandée pour des cultures modérément tolérantes au sel.
0,75 < CE ≤ 2,25	Classe C3 : Eaux dont la salinité est élevée, peut causer des problèmes de salinisation dans certains sols, nécessite une gestion appropriée de l'irrigation et du drainage. recommandée pour des cultures tolérantes au sel.
CE > 2,25	Classe C4: Eaux de salinité très élevée, généralement inadaptée pour l'irrigation sauf pour des sols très bien drainés et des cultures très tolérantes au sel, nécessite une gestion intensive pour éviter la salinisation.

Source: United States Salinity Laboratory, U.S.S.L, 1954

Pour l'eau du barrage Oued Charef CE= 2.1 mS/cm, selon cette classification elle appartient à la catégorie C3.

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio ou Rapport d'Adsorption de Sodium) : un indice utilisé pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation, basé sur la proportion de sodium par rapport au calcium et magnésium présents dans l'eau.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{Equation II-1}$$

Avec :

Na : Sodium en meq/l ;

Ca : Calcium en meq/l ;

Mg : Magnésium en meq/l.

Donc dans notre cas : SAR= 6.55

Tableau II. 3. Classification des eaux en fonction du SAR.

Classe	Danger d'alcalinisation
S1	Risque faible
S2	Risque moyen
S3	Risque élevé
S4	Risque très élevé

Selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation (USSL, 1954), l'eau du barrage Oued Charef fait partie de la classe C3S2, de qualité moyenne, utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse, et avec l'exclusion des plantes sensibles.

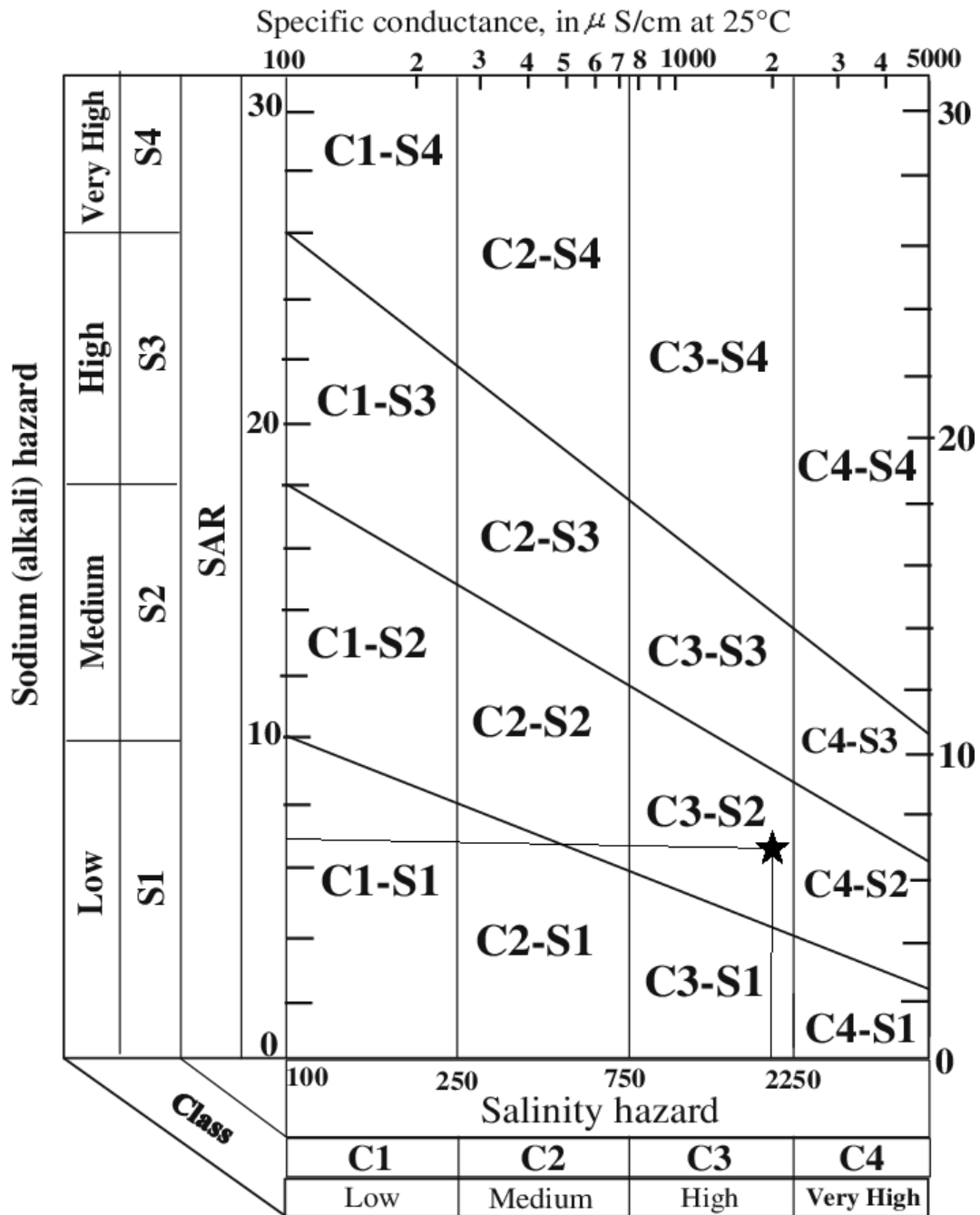


Figure II. 2. Diagramme de classification des eaux d'irrigation (selon USSL, 1954)

II.3. Ressources En Sol

L'objectif de l'étude agro-pédologique est de déterminer les sols appropriés à l'irrigation ou de repérer les zones à irriguer, ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques de ces sols, essentielles pour le calcul des doses d'arrosage et l'emplacement des réseaux d'irrigation et de drainage.

II.3.1. Zones Homogènes

Les sols aptes à l'irrigation dans cette région appartient aux catégories I, II, III.

Catégorie I : zones de mise en valeur prioritaire, à irriguer donc en premier lieu. Ce sont des zones qui ne posent pas de problèmes majeurs de mise en valeur. Ce sont des sols profonds dont les aptitudes sont, dans l'ensemble, bonnes à moyennes.

Catégorie II : zones dont les sols sont profonds mais qui nécessitent obligatoirement avant d'être irrigués et mis en valeur des travaux et des aménagements tels que l'assainissement de surface, l'apport d'amendements et des labours profonds et ce en raison de leur texture fine à très fine associée à une structure défavorable.

Catégorie III : zones dont les sols sont peu profonds, ne dépassant guère 60 cm. Leur aptitude est bonne pour les cultures céréalières, fourragères et maraîchères. A irriguer en dernier lieu.

II.3.2. Caractéristiques du sol

On peut distinguer trois types d'horizon pour l'ensemble de profils observés :

0-20cm : sec, brun, texture argileux-limoneuse, structure polyédrique fine à moyenne, bonne porosité, vive effervescence à HCL généralisée.

20-55cm : sec à frais, texture argileuse, structure polyédrique moyenne à grossière, peu poreux, vive effervescence à HCL généralisée.

Au-delà de 55cm : frais, brun jaunâtre, texture argilo- limoneuse, structure polyédrique à prismatique bien développé, vive effervescence à HCL généralisée.

Classification :

- **Classe :** Sols calcimagnésiques.
- **Sous classe :** Sol carbonatés.
- **Groupe :** Bruns calcaires.
- **Sous-groupe :** Vertique.
- **Famille :** Colluvions calcaires de texture fine.
- **Type :** Limono-Argileux.

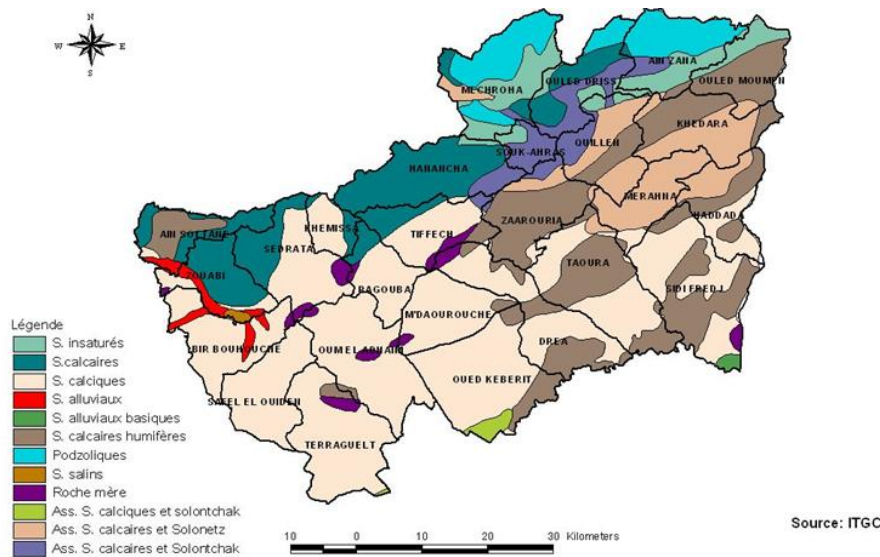


Figure II. 3. Carte des classes de sols de la wilaya de Souk Ahras.

Source : I.T.G.C.

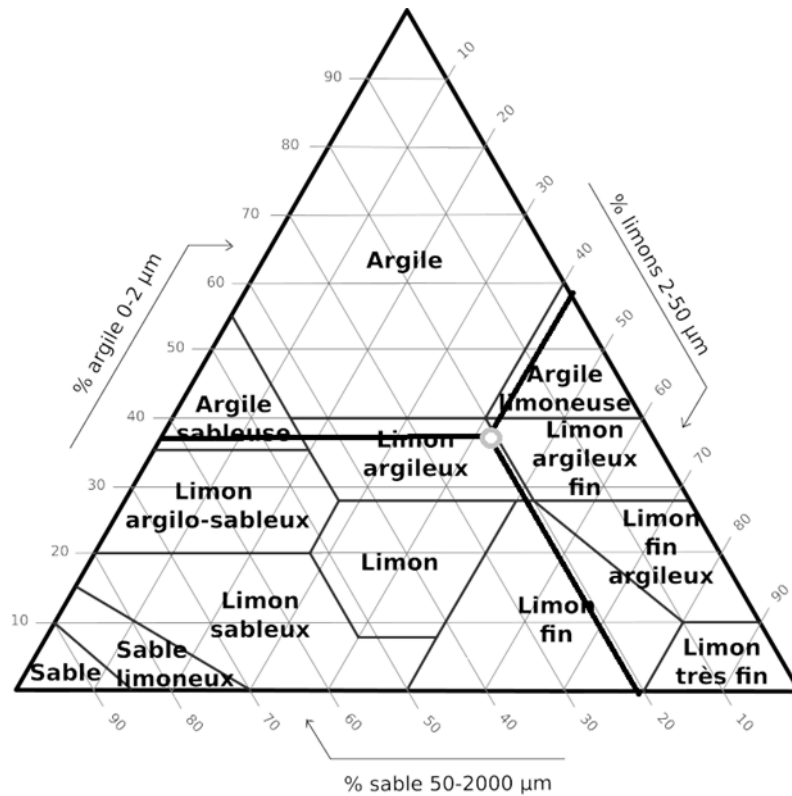


Figure II. 4. Classification du sol dans le triangle de texture (USDA).

D'après les Analyses physico-chimiques de profil, on voit que la texture est limono-argileuse selon la projection du triangle de texture (USDA).

Texture : Limono-Argileuse.

Argile : **38.59%**.

Limon : **41.31%**.

Sable : **20.1%**.

Humidité à la capacité au champ : **31%**.

Humidité au point de flétrissement : **17%**.

II.3.3. Résultats des analyses physico-chimiques de sol

Tableau II. 4. Résultats d'analyse physico-chimiques du sol.

Paramètre	Moyenne
Argile %	38.59
Limon %	41.31
Sable %	20.1
Densité apparente	1.35
Ph	8-8.5
C.E mmhos/cm	3
Perméabilité K cm/h	2.52
Ca CO ₃ actif %	12-18
Sulfates SO ₄ ⁻ %	0.04
Chlorures Cl ⁻ %	0.02

II.4. Conclusion

La compréhension approfondie des caractéristiques du sol et de l'eau est indispensable pour le succès des projets des systèmes de drainage agricole. En tenant compte des résultats des analyses de texture, de structure, de salinité et de SAR, il est possible de concevoir des systèmes de drainage et des stratégies de gestion de l'eau qui maximisent la productivité agricole tout en minimisant les impacts environnementaux. Une gestion efficace du drainage contribue non seulement à l'amélioration des rendements des cultures, mais aussi à la durabilité des ressources en eau et des sols.

CHAPITRE III
Etude hydrologique

CHAPITRE III : Etude hydrologique

III.1. Introduction

L'étude hydrologique est essentielle dans les études de drainage agricole. Elle permet de comprendre les régimes hydriques, de gérer efficacement les besoins en eau des cultures et de concevoir des systèmes de drainage qui préviennent l'excès et le déficit d'eau. Les données hydrologiques sont également indispensables pour la planification à long terme, anticipant les changements climatiques et assurant une gestion durable des ressources en eau.

III.2. Choix de la station pluviométrique

Deux critères principaux ont été pris en compte lors du choix des stations pluviométriques: leur localisation géographique et la période d'observation disponible pour chacune. Ces critères visent à assurer une représentation précise des conditions pluviométriques dans la zone d'étude.

Tableau III. 1. Caractéristique de la station.

Station	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Période
M'daourouch	36°17'11''	7°57'42''	870	1990/2020

Tableau III. 2. La série des Précipitation moyennes mensuelles (1990-2020).

DATE	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	ANNEE
1990-1991	20	54.7	23.5	8.7	23.3	75	19.7	82.1	125.3	36.3	36.7	13.6	43.2
1991-1992	0	10.8	53	78.6	16.9	34.1	19.2	12.9	55.1	6.6	0	4.1	24.3
1992-1993	0	9.2	0	48.8	33.1	44.3	9.3	18	6.5	0	16.6	0	15.5
1993-1994	10.1	37.2	0	13.4	44.8	0	33.1	31.5	0	58.1	1	14.3	20.3
1994-1995	108.2	31.1	6.7	18.1	36.5	126.5	46.8	46.7	45.2	10.3	0	3.6	40.0
1995-1996	13.8	0	4.5	4	35.3	9.9	16.6	41.9	7.6	10.2	12.3	22.3	14.9
1996-1997	48.1	16.8	71.9	79	18.4	31.5	23.2	47.7	19.4	10.2	0	5.2	31.0
1997-1998	41.6	26.9	76.7	11.2	46.6	23.3	49.4	8.2	19	12.8	28.1	18.2	30.2
1998-1999	29.9	0	26.2	50.8	4.2	3	24.6	12.8	79.3	48.2	0	17.3	24.7
1999-2000	26	46.7	0	9.3	80.7	51.2	37.1	30.8	51.5	0	0	5.4	28.2
2000-2001	71.5	17.2	17.6	11.4	6.9	4	0	17.4	41	5	22.8	26.8	20.1
2001-2002	2.1	35.2	101.3	78	213.4	44.1	10.5	103.3	43.2	0	29.6	39.3	58.3
2002-2003	26.6	44.2	7.6	83.8	45.8	6.2	30.8	35.1	101.5	55.9	4.1	15.7	38.1
2003-2004	37.9	23.2	118.4	131.9	61.5	37.6	7.4	36.2	0		21.8	28.8	45.9
2004-2005	0	0	5.1	69.4	80.6	27.4	29.9	26.7	40	6.2	14.6	27.3	27.3
2005-2006	48.5	7.2	9.3	54.7	15.4	26.6	120.1	53.3	8.4	42.9	0	7.8	32.9
2006-2007	32.3	25.6	6.2	32.2	8.2	0	33.2	9.2	54.7	8.1	0	27.2	19.7
2007-2008	42.9	49.4	18.4	50.5	55.8	27.8	72.8	96.7	21.9	0	0	69.6	42.2
2008-2009	50.6	19.3	0	10.7	48.7	34.3	37.9	71.8	31.2	17.2	0	16.1	28.2
2009-2010	11.8	6.2	99.9	4.4	20.8	132.1	26.1	45.3	59.2	61.1	8.1	4.2	39.9
2010-2011	4.8	59.5	18.9	54.9	35	83.4	29.9	32.9	10.8	0	8	7.6	28.8
2011-2012	56.4	21.3	0	11.6	34.9	47.6	28.8	42	21.4	0	15.6	42.8	26.9
2012-2013	13.2	7.8	87	33.1	29.6	33.3	93.2	0	50.3	14.8	6.4	3	31.0
2013-2014	3.8	9.8	8.6	78	91.7	61.5	51.1	0	16.3	12.7	16.5	0	29.2
2014-2015	18.3	52.9	59	0	45	7.6	69.3	39.5	60.7	6	0	37.6	33.0
2015-2016	0	12.6	34.3	59.2	84.1	0	4.4	47.8	0	5.6	0	0	20.7
2016-2017	26.4	23.2	45.3	26.9	11.4	0	26.8	50.2	55.3	0	0	41.9	25.6
2017-2018	39.1	104.4	42.8	40	67.4	31.6	51.2	64	39.7	6.3	0	34.1	43.4
2018-2019	49.4	42.4	42.7	25.1	7.2	0	40.6	85.6	0	0	1.2	0	24.5
2019-2020	26	0	25	46	13.5	0	41.6	20	0	41.9	10.5	7.2	19.3
Moy	28.6	26.5	33.7	40.8	43.9	33.5	36.2	40.3	35.5	16.4	8.5	18.0	30.2

Source : A.N.R.H.

III.2.1. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

Le test de Wilcoxon est un test statistique non paramétrique utilisé dans l'analyse des données pluviométriques pour évaluer l'homogénéité d'une série. Voici les étapes de son processus :

1. Division de la série : La série pluviométrique complète est divisée en deux sous-séries, appelées X et Y. En général, la sous-série X est plus grande que la sous-série Y, avec des tailles respectives n et m.

2. Création d'une série combinée : Une série combinée, notée X union Y, est formée en ordonnant de manière croissante les données pluviométriques d'origine. Chaque valeur dans cette série classée est ensuite attribuée à l'une des deux sous-séries, X ou Y, selon son rang.

3. Évaluation de l'homogénéité : Wilcoxon a démontré que la série est homogène avec une probabilité de 95 % (selon Touaibia, 2004) si la relation est satisfaite.

Ce test permet de déterminer si la série pluviométrique est statistiquement homogène. Cela est crucial pour évaluer la stabilité des régimes de précipitations dans la région étudiée et pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion de l'eau.

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad \text{Equation III-1}$$

Avec :

- W_x : Somme des rangs de sous-séries.

- $$W_{\min} = \frac{n(n+m+1)}{2} - 1.96 \left(n \times m \left(\frac{n(n+m+1)}{12} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equation III-2}$$

- $$W_{\max} = \frac{n(n+m+1)}{2} + 1.96 \left(n \times m \left(\frac{n(n+m+1)}{12} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equation III-3}$$

Les résultats du test de Wilcoxon sont décrits comme suit :

Tableau III. 3. Test de Wilcoxon.

X	Y	XUY	série d'origine	Rang
518.9	337.8	178.4	X	6
291.3	479.2	185.8	X	3
185.8	345.7	231.7	Y	30
243.5	322.4	236.9	X	17
479.7	371.7	241.6	X	11
178.4	350	243.5	X	4
371.4	395.9	248	Y	26
362	248	291.3	X	2
296.3	307.4	294.2	Y	29
338.7	520.6	296.3	X	9
241.6	294.2	307.4	Y	27
700	231.7	322.4	Y	22
457.3		327.2	X	15
504.7		337.8	Y	19
327.2		338.7	X	10
394.2		345.7	Y	21
236.9		350	Y	24
505.8		362	X	8
		371.4	X	7
		371.7	Y	23
		394.2	X	16
		395.9	Y	25
		457.3	X	13
		479.2	Y	20
		479.7	X	5
		504.7	X	14
		505.8	X	18
		518.9	X	1
		520.6	Y	28
		700	X	12

On a selon le tableau :

$$n=18$$

$$m=12$$

$$W_{\min} = \frac{18(18+12+1)}{2} - 1.96(18 \times 12 \left(\frac{18(18+12+1)}{12}\right))^{\frac{1}{2}} = 82.57$$

$$W_{\max} = \frac{18(18+12+1)}{2} + 1.96(18 \times 12 \left(\frac{18(18+12+1)}{12}\right))^{\frac{1}{2}} = 475.43$$

$$W_x = 465$$

$$\text{Donc : } 82.57 < W_x < 475.43$$

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

III.2.2. Ajustement statistique des pluies

En analysant les données de pluies annuelles, il est fréquent d'ajuster ces données à diverses lois statistiques afin de trouver celle qui propose le meilleur ajustement. Les lois d'ajustement les plus fréquemment employées pour les précipitations annuelles sont les suivantes :

- La loi normale de Gauss.
- La loi log-normale de Galton.

III.2.3. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale

On dit qu'une variable suit une distribution normale lorsque sa fonction de répartition prend la forme :

$$F(x) = \frac{-1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1x^2}{2}} dx \quad \text{Equation III-4}$$

U Est la variable réduite de Gauss, Elle est donnée par :

$$U = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad \text{Equation III-5}$$

Le processus d'ajustement suit les étapes suivantes :

Tri des valeurs de l'échantillon par ordre croissant.

Attribution d'un numéro d'ordre aux valeurs triées.

Calcul de la fréquence expérimentale.

Calcul de la variable réduite de Gauss, notée u .

Calcul des caractéristiques empiriques de la loi, telles que la moyenne arithmétique \bar{x} , la variance σ , le coefficient de variation Cv , et le coefficient d'asymétrie Cs .

Traçage de la droite de Henry sur un papier de probabilité gaussienne.

L'équation de la droite de Henry est :

$$x_{p\%} = \bar{x} + \sigma \cdot u_{p\%} \quad \text{Equation III-6}$$

$x_{p\%}$: Précipitation de probabilité $P\%$.

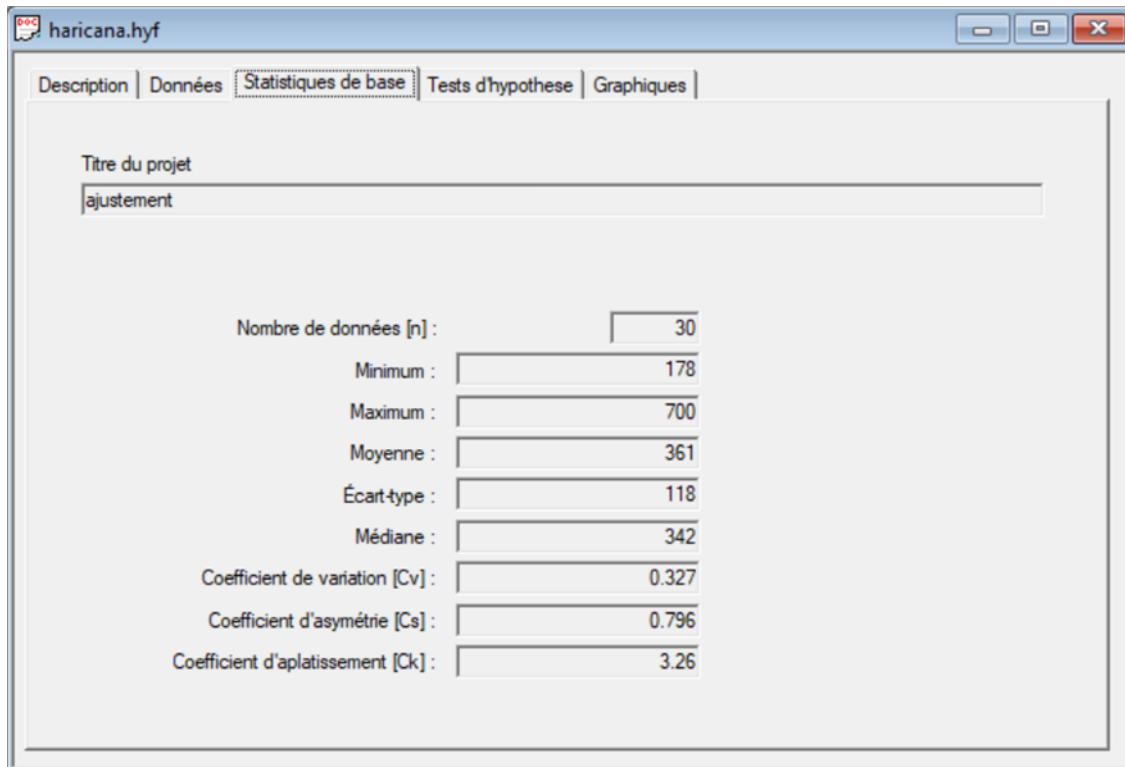


Figure III. 1. Statistiques descriptives par le logiciel HYFRAN.

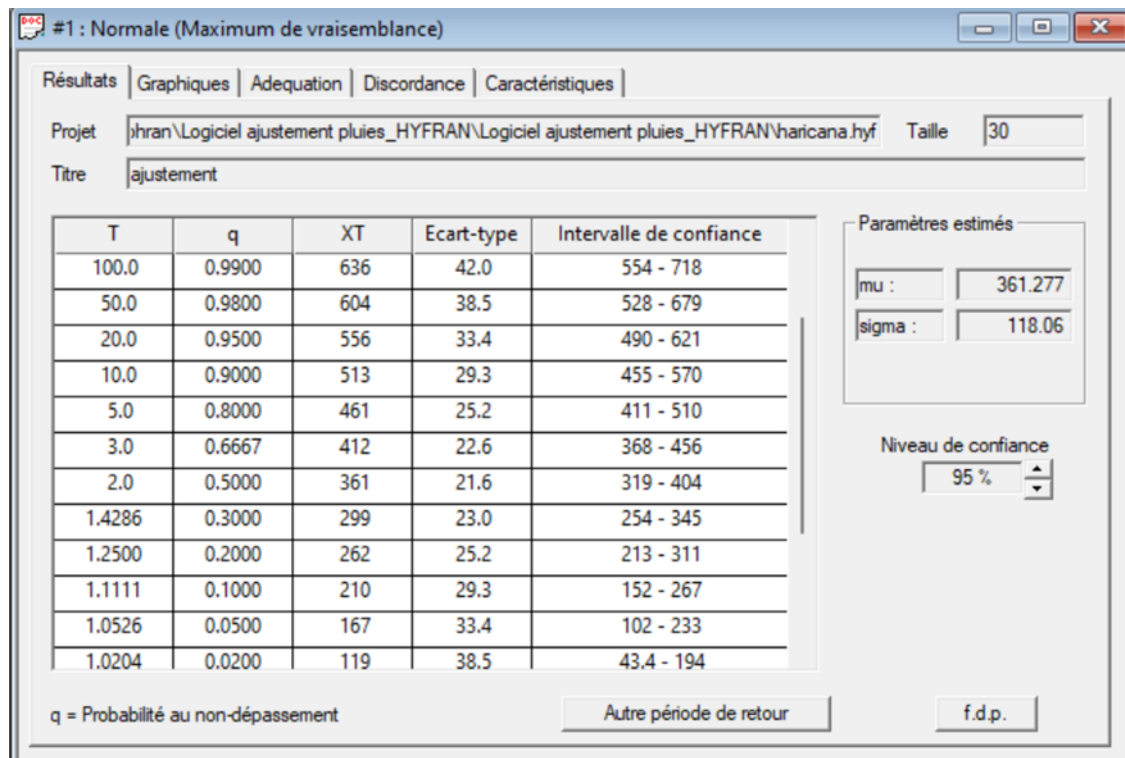


Figure III. 2. Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN.

III.2.4. Ajustement des pluies annuelles à la loi de lognormale

Une variable aléatoire X suit une loi lognormale si le logarithme naturel de X suit une loi normale. Formellement, si $Y=\ln(X)$ suit une loi normale de paramètres μ et σ^2 , alors X suit une loi lognormale, notée LN (μ, σ^2).

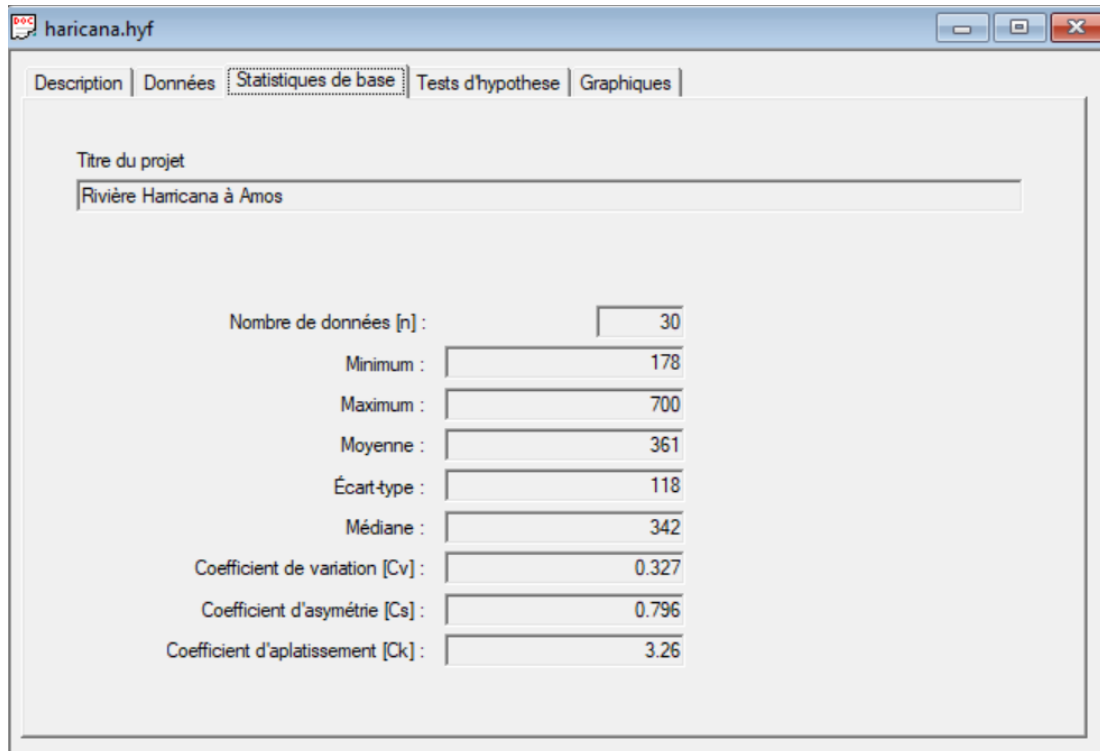


Figure III. 3. Statistiques descriptives par le logiciel HYFRAN.

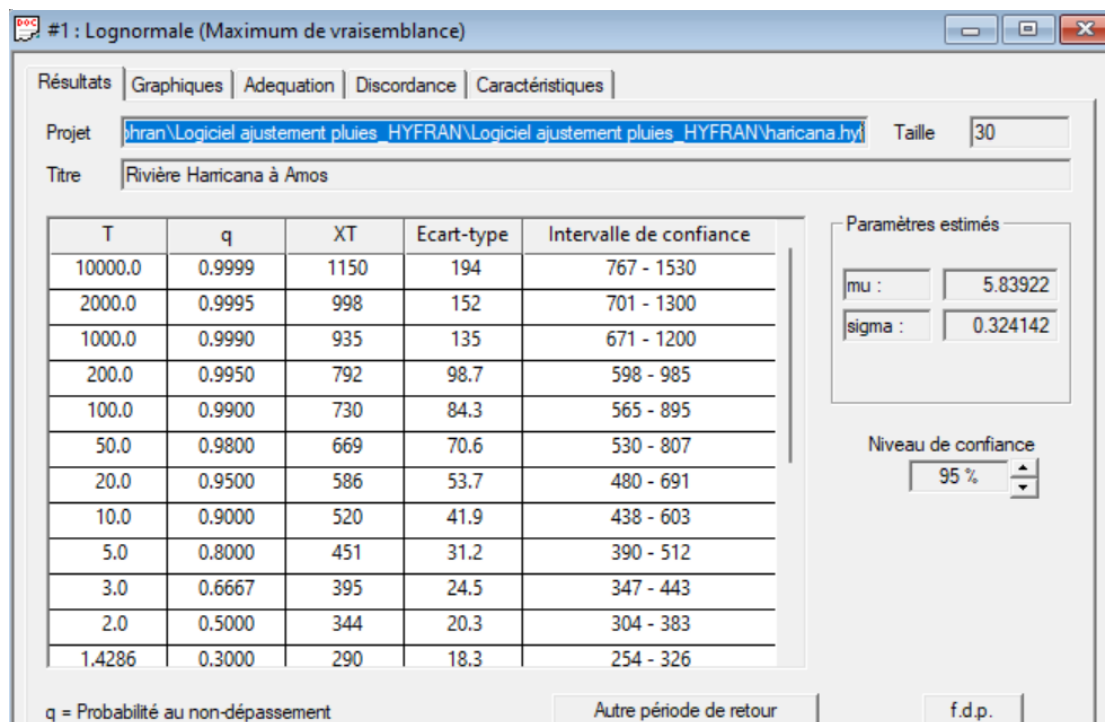


Figure III. 4. Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN.

III.2.5. Test de validité d'un ajustement

Pour vérifier la validité de l'ajustement, il est nécessaire de déterminer si la distribution choisie représente correctement l'échantillon. L'erreur due au choix d'une distribution particulière est appelée erreur d'adéquation. La comparaison de l'adéquation de plusieurs distributions est donc cruciale pour sélectionner la meilleure. Le test du khi-carré (χ^2) est l'un des outils les plus utilisés à cette fin.

Prenons un échantillon de N valeurs, triées par ordre croissant ou décroissant, et supposons qu'une distribution F(X) a été déterminée pour cet échantillon. Nous divisons cet échantillon en K classes, chaque classe contenant Ni valeurs observées. La valeur théorique Vi, qui représente le nombre attendu de valeurs dans chaque classe selon la distribution F(X) pour un échantillon de N valeurs, est calculée comme suit :

$$p_i = N \int_{x_{i+1}}^x f(x) dx = N[F(x_i) - F(x_{i+1})] \quad \text{Equation III-7}$$

(X) : étant la fonction de densité de probabilité associée à la distribution théorique.

La variable aléatoire χ^2 , dont la distribution a été analysée par Pearson, est définie par l'expression suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_i^f)^2}{n_i^f} \quad \text{Equation III-8}$$

On détermine la valeur de χ^2 et le nombre de degrés de liberté est calculé comme suit :

$$\gamma = k - 1 - m \quad \text{Equation III-9}$$

On obtient la valeur de χ^2 théorique à partir de la table de Pearson. Avec :

m : Le nombre de paramètres de la distribution sur laquelle dépend la loi de répartition (m=2).

La distribution est considérée appropriée à un niveau de confiance de $\alpha = 0.05$ si et seulement si: χ^2 calculé < χ^2 théorique

Les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel HYFRAN.

- **Loi normale**

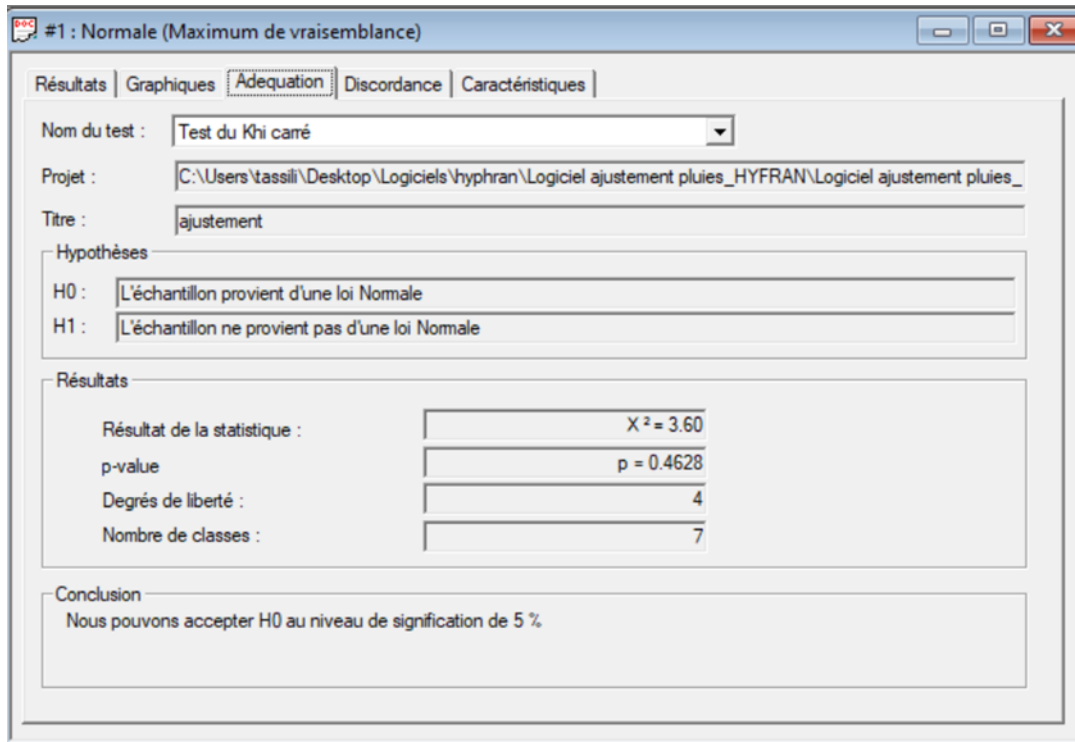


Figure III. 5. Teste de khi carré obtenus par le logiciel HYFRAN.

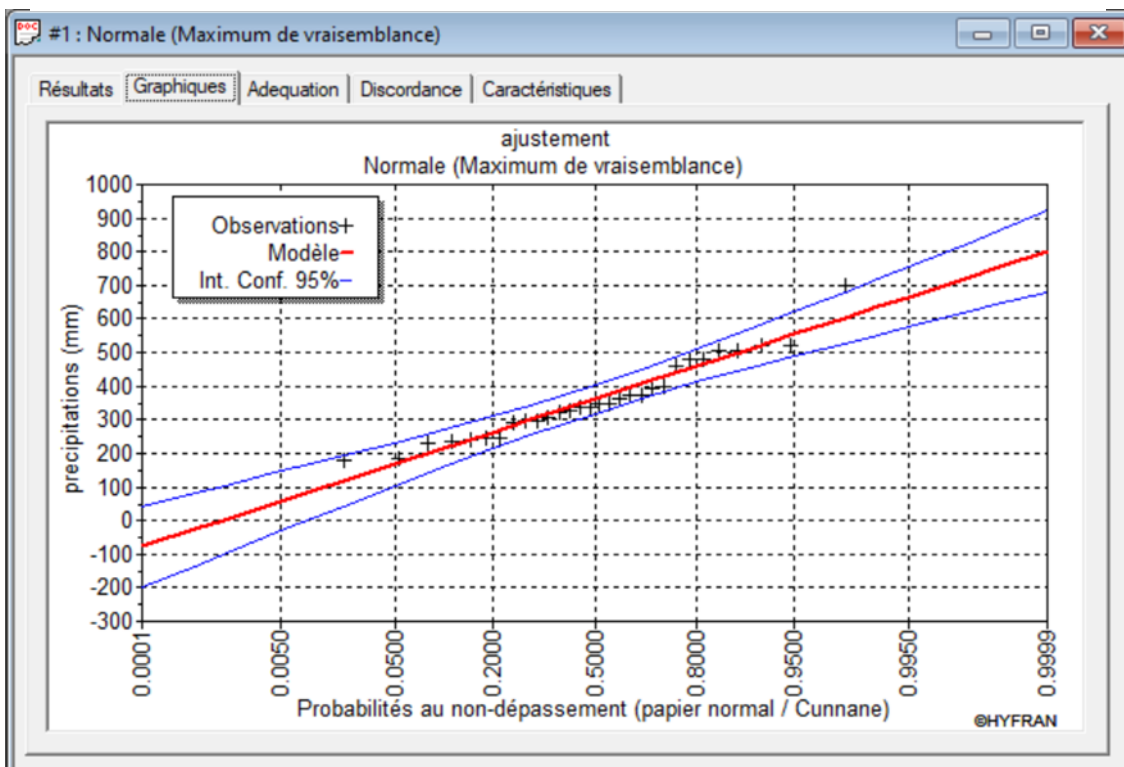


Figure III. 6. L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN.

- Log normale

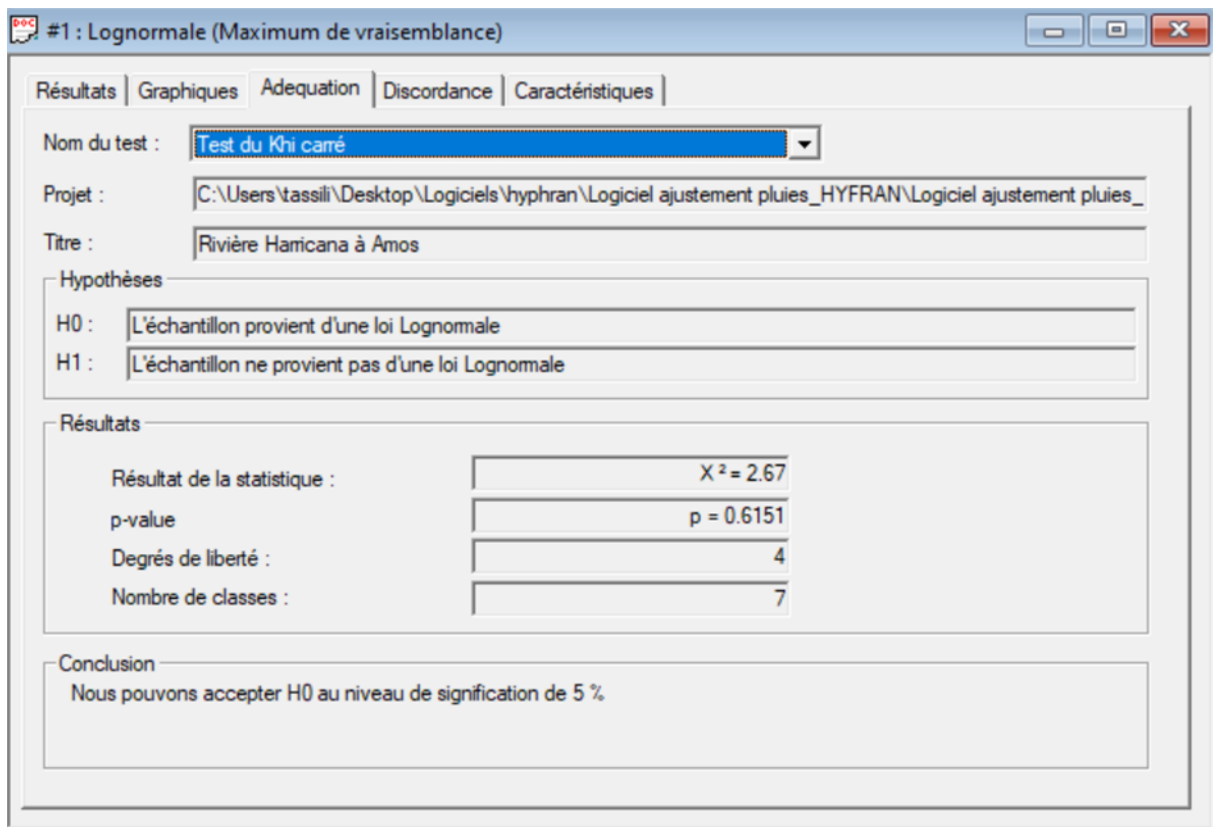


Figure III. 7. Teste de khi carré obtenus par le logiciel HYFRAN.

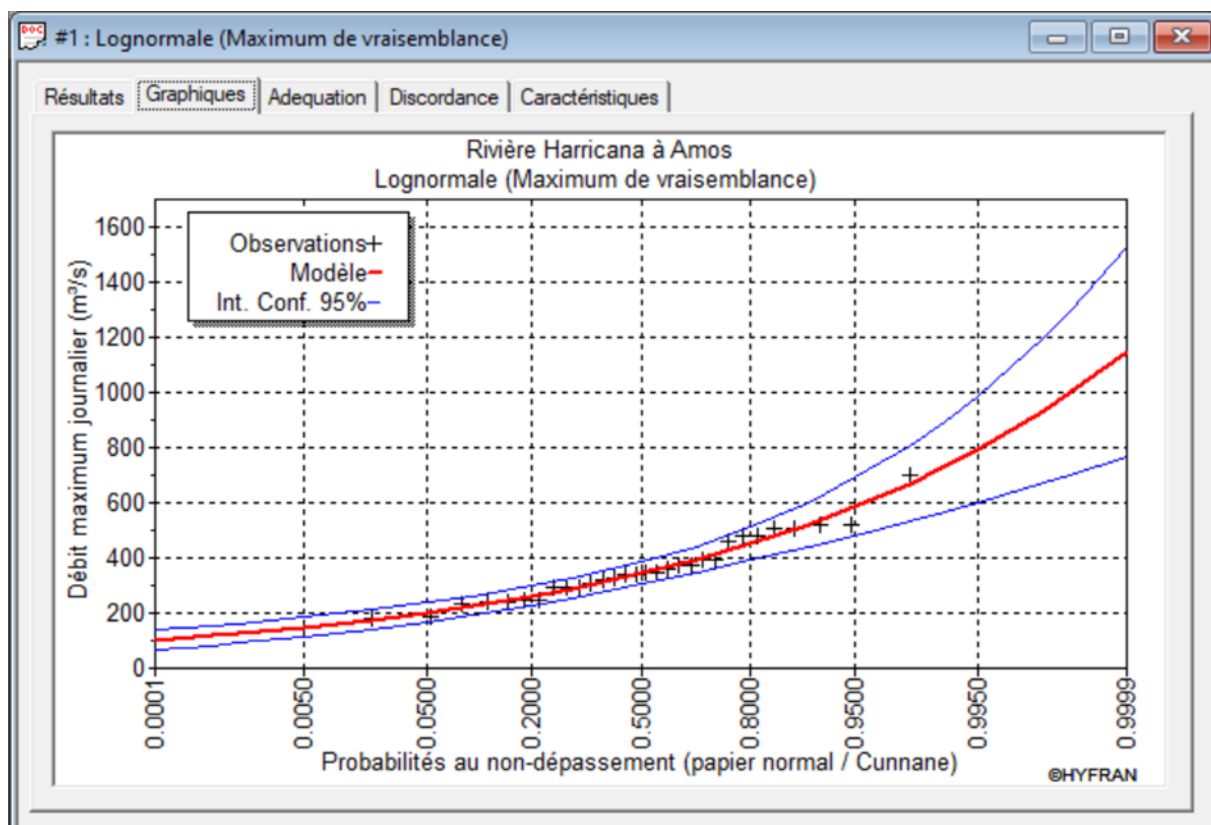


Figure III. 8. L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN.

Suite à l'analyse des ajustements effectués, et d'après le graphique il apparaît que la série des précipitations annuelles de la station présente une bonne adéquation avec la distribution log normale.

III.2.6. Détermination de l'année de calcul

Étant donné que la loi normale est la plus adéquate pour représenter la distribution de la pluviométrie, nous l'utilisons pour estimer la pluviométrie moyenne annuelle qui reflète la région, avec une probabilité de 80%.

Tableau III. 4. La pluie en fonction de la période de retour.

T (ans)	Fréquence	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
10	0.9	520	41.9	438 - 603
5	0.8	451	31.2	390 - 512
2	0.5	344	20.3	304 - 383
1.25	0.2	262	18.1	226 - 297

La probabilité pour laquelle on assure l'irrigation est donnée souvent pour la fréquence 80 %.

Pmoy 80% de chaque mois = x * Pmoy de chaque mois

$$x = \frac{P_{théorique}(80\%)}{P_{théorique}(50\%)} \quad \text{Equation III-10}$$

P_{théorique} (80%)=262 mm, P_{théorique} (50%)=344 mm

$$P_{moy}(80\%) = \frac{262}{344} P_{moy}$$

Tableau III. 5. Calcul de P80%.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Pmoy mm/mois	28.6	26.5	33.7	40.8	43.9	33.5	36.2	40.3	35.5	16.4	8.5	18.0
P%80 mm/mois	21.5	19.2	24.5	29.6	31.9	26.1	26.3	30.3	26.6	12.3	6.8	14.5

III.3. Conclusion

Pour conclure ce chapitre sur l'étude de l'hydrologie et l'ajustement des pluies, il est essentiel de souligner l'importance de l'analyse hydrologique pour la gestion durable des ressources en eau, notamment dans les zones agricoles. L'étude des séries pluviométriques, à travers des tests comme celui de Wilcoxon, a permis de confirmer l'homogénéité des données, garantissant ainsi la fiabilité des analyses effectuées.

L'ajustement des précipitations annuelles aux lois statistiques, en particulier la loi normale, a démontré une bonne adéquation avec les données observées, renforçant la pertinence de l'approche choisie pour modéliser les régimes pluviométriques. Cela permet non seulement de mieux comprendre les tendances actuelles, mais aussi d'anticiper les besoins futurs en irrigation, en assurant un approvisionnement en eau adapté à une probabilité de 80 %.

En somme, ce chapitre établit une base solide pour la planification et la gestion des ressources en eau, en utilisant des méthodes statistiques rigoureuses pour analyser et ajuster les données pluviométriques, contribuant ainsi à une agriculture plus résiliente face aux variations climatiques.

CHAPITRE IV

Besoins en eau des cultures

CHAPITRE IV : Besoins en eau des cultures

IV.1. Introduction

La détermination des besoins en eau pour l'irrigation est essentielle pour planifier les projets hydro-agricoles. Elle évalue la quantité d'eau nécessaire par unité de surface pour une production agricole optimale, ces besoins en eau correspondent à la quantité à ajouter aux précipitations. Cette évaluation prend en compte les facteurs climatiques, les caractéristiques du sol et la qualité de l'eau d'irrigation, dont les données ont été précédemment établies.

IV.2. Le choix des cultures

Plusieurs facteurs influencent le choix des cultures à cultiver, tels que :

- **Les conditions climatiques et environnementales :** Il est essentiel d'opter pour des cultures adaptées aux conditions climatiques et environnementales de la région. Par exemple, certaines cultures sont favorisées par des climats chauds et secs, alors que d'autres requièrent des climats frais et humides.
- **Les ressources en eau :** Il est également essentiel de tenir compte de la disponibilité et de la qualité de l'eau lors de la sélection des cultures. Certaines cultures ont besoin d'une quantité d'eau considérable, tandis que d'autres ont besoin de moins d'eau.
- **Qualité du sol :** Les caractéristiques des sols doivent être prises en compte pour déterminer les cultures appropriées. Les sols sableux, argileux ou limoneux ont des capacités de rétention d'eau et de nutriments différentes. De plus, certaines cultures nécessitent un pH spécifique pour absorber les nutriments de manière optimale.
- **La Demande du Marché:** Il est également essentiel de considérer la demande du marché local ou régional lors du choix des cultures agricoles. Les produits qui sont en forte demande et ont une valeur économique élevée peut offrir une rentabilité accrue pour les agriculteurs.
- **Les pratiques agricoles locales :** Le choix des cultures peut aussi être influencé par les pratiques agricoles traditionnelles. Les agriculteurs peuvent privilégier des cultures qui s'alignent avec leurs méthodes de travail établies et qui possèdent une valeur culturelle ou historique pour leur communauté.

En tenant compte de ces facteurs, on peut choisir des cultures qui maximisent le rendement et la rentabilité.

IV.2.1. Occupation des sols

Après avoir analysé ces facteurs, il est essentiel d'établir un plan d'occupation du sol et de répartition des cultures dans le périmètre pour pouvoir évaluer les besoins en eau des cultures de la zone d'étude.

Tableau IV. 1. Occupation des sols.

Culture	Céréales	Fourragères	Maraichères	Arboricultures	Totale
Occupation%	35	25	15	25	100
Surface ha	39.9	28.5	17.1	28.5	114

IV.2.2. Profondeurs racinaires des cultures

La profondeur des racines dépend du type de culture, chaque espèce ayant un système racinaire adapté pour répondre à ses besoins en eau et en nutriments, certaines n'atteignent que 60 cm de profondeur, d'autres peuvent atteindre 10 m ou plus.

Tableau IV. 2. Profondeur utiles (Z) pour les cultures choisies (m).

Culture	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Blé		0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	1	1.2	0.87	0.23		
Orge grain			0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6		
Orge vert			0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7			
Luzerne	0.4	0.4	0.7	0.9	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Pomme de terre						0.25	0.5	0.5	0.5			
Tomate							0.6	0.9	1.2	1.2		
Oignon		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4						
Poivron et Piment								0.3	0.4	0.5	0.6	0.6
Olivier	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Pommier	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

IV.2.3. Estimation des coefficients cultureux (Kc)

Les coefficients culturels (Kc) pour chaque type de culture ont été déterminés en respectant les recommandations de Doorenbos (FAO, 2003). Ces coefficients diffèrent selon le stade de croissance de la plante et les conditions climatiques à la région.

Tableau IV. 3. Coefficients culturaux des cultures (KC).

Culture	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Blé		0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	1.0	1.2	0.87	0.23		
Orge grain			0.4	0.6	0.75	0.9	0.95	0.75	0.6	0.4		
Orge vert			0.3	0.3	0.5	0.5	1	1.15	1			
Luzerne			0.7	0.8	0.9	0.95	1.05	1.05	1.15			
Pomme de terre						0.5	0.7	1.0	0.75			
Tomate							0.5	0.85	1.15	0.85		
Oignon		0.4	0.75	0.95	0.9	0.7						
Poivron et Piment								0.3	0.6	1.1	1.1	0.8
Olivier	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.85	0.85	0.85	0.85
Pommier	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.75	0.9	1	1.1	1.1

IV.3. Evaluation des besoins en eau des cultures

IV.1.1. Calcul de l'évapotranspiration référence (ET₀)

L'évapotranspiration de référence (ET₀) représente la quantité d'eau évaporée du sol et transpirée par les plantes dans des conditions idéales, sans contraintes d'eau, avec une surface de référence (comme de l'herbe ou une culture courte) et des conditions météorologiques standard. C'est un paramètre clé en agronomie, gestion de l'eau et irrigation. Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'ET₀, la méthode de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) est l'une des plus répandues, appelée méthode de Penman-Monteith.

$$ET_0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e^* - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u^2)} \quad \text{Equation IV-1}$$

Où:

ET₀ : L'évapotranspiration de référence [mm jour⁻¹];

Δ : La pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C⁻¹];

R_n : Le rayonnement net reçu à la surface [MJ m⁻² jour⁻¹];

G : Densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m⁻² jour⁻¹];

γ : Constante psychrométrique [kPa °C⁻¹];

T : Température moyenne de l'air [°C];

u₂ : La vitesse du vent à une certaine hauteur au-dessus du sol [m s⁻¹];

es : La pression de vapeur d'eau saturante à la température de l'air [kPa] ;

ea : La pression de vapeur d'eau effective à la température de l'air [kPa].

Nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour calculer l'évapotranspiration de référence (ET₀) en appliquant la méthode de Penman-Monteith. Pour ce faire, nous avons saisi les données mensuelles suivantes dans le logiciel :

- **Température** : Températures minimales et maximales mensuelles.
- **Humidité de l'air** : Humidité relative de l'air, en pourcentage (%).
- **Insolation journalière** : Nombre d'heures d'insolation par jour.
- **Vitesse du vent** : Vitesse du vent, en mètres par seconde (m/s).

Les résultats de l'évapotranspiration de référence (ET₀), obtenus avec la formule modifiée de Penman-Monteith à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0, sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 4. Evapotranspiration de référence calculée par le logiciel CROPWAT.

Mois	TMin C°	T Max C°	Humidité%	Vent (m/s)	Insolation (h)	Ray (MJ/m ² /j)	ET ₀ (mm/j)
Septembre	14.8	28.4	62.7	1.5	8.1	18.2	120.66
Octobre	11.1	23.5	70.2	1.6	7.1	14	85.19
Novembre	5.4	16.9	73.8	1.8	6.1	10.4	51.25
Décembre	2.4	12	79.2	1.4	5.3	8.6	31.67
Janvier	1.4	11.3	79.6	1.5	5.2	9.1	32.23
Février	1.6	13	76.4	1.2	6.8	12.9	41.08
Mars	4.6	16.8	70.9	0.9	7.8	17	70.69
Avril	6.4	19	69.9	0.9	8.3	20.4	90.72
Mai	11.1	25.4	59	1.0	9.1	23.1	129.15
Juin	15.2	30.7	54.3	0.8	9.6	24.3	145.44
Juillet	17.8	34.7	50.4	1.2	11.4	26.5	185.09
aout	17.9	33.7	49.6	1.1	9.8	22.9	162.88
moy	9.14	22.11	66.3	1.24	7.8	17.3	<u>1146.03</u>

IV.3.1. Calcul de la pluie efficace

Définie comme la proportion des précipitations totales réellement utilisée par la culture, et cela dépend de la région, de la nature des précipitations et des caractéristiques du sol. Diverses approches sont disponibles pour évaluer ces précipitations. Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour la méthode du pourcentage fixe.

$$Pluie\ efficace(mm/mois) = A \times Pluie\ totale(mm/mois)$$

Avec :

A : coefficient de perte égal à 0.8.

Tableau IV. 5. Pluie efficace de la zone d'étude.

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Pmoy 80% (mm)	21.5	19.2	24.5	29.6	31.9	26.1	26.3	30.3	26.6	12.3	6.8	14.5
Peff (mm)	17.2	15.4	19.6	23.7	25.5	20.9	21.0	24.2	21.3	9.8	5.4	11.6

IV.3.2. Calcul de la réserve en eau du sol

La réserve d'eau utile désigne la quantité d'eau présente dans la zone du sol explorée par les racines des plantes, entre le point de ressuyage (où l'eau est épuisée) et le point de flétrissement permanent (où la plante commence à se dessécher de façon irréversible).

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) \times Y \times Da \times Z \quad \text{Equation IV-2}$$

Où:

- H_{cc} : Humidité a la capacité aux champs (27%).
- H_{pf} : Humidité au point de flétrissement (16%).
- Da : densité apparente (1.35).
- Y : degré de tarissement (2/3).
- Z : profondeur d'enracinement en mm.

IV.3.4. Besoins en eau d'irrigation

L'évaluation de la quantité d'eau requise pour l'irrigation des cultures se fait en analysant le bilan hydrique suivant :

$$Bnet_i = ETM_i - (Peff_i + K \times RFU_{i-1}) \quad \text{Equation IV-3}$$

Où:

- ETM : est l'évapotranspiration maximale ou besoins des cultures en mm ($ETM=ET0*kC$)
- Kc : le coefficient culturel de la culture considérée.
- $Peff$: représente la précipitation utile (efficace)
- RFU : La réserve utile.

IV.3.3. Estimation des besoins en eau des cultures

a. Estimation des besoins en eau des céréales/fourragères

Tableau IV. 6. Besoins en eau du Blé.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19						
nov	24.5	19.6	51.25	0.4	20.50	0.3	29.70	14.85	0.90
dec	29.6	23.7	31.67	0.65	20.59	0.5	49.50	49.50	
janv	31.9	25.5	32.23	0.9	29.01	0.5	49.50	49.50	
fev	26.1	20.9	41.08	1	41.08	0.6	59.40	59.40	
mars	26.3	21	70.69	1.05	74.22	0.6	59.40	29.7	
avril	30.3	24.2	90.72	0.85	77.11	0.6	59.40	29.7	23.21
mai	26.6	21.3	129.15	0.6	77.49	0.6	59.40	19.80	26.49
juin	12.3	9.8	145.44	0.35	50.90	0.6	59.40	0	21.30
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 7. Besoins en eau de l'Orge en grain.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19						
nov	24.5	19.6	51.25	0.4	20.50	0.3	29.70	14.85	0.90
dec	29.6	23.7	31.67	0.65	20.59	0.5	49.50	49.50	
janv	31.9	25.5	32.23	0.9	29.01	0.5	49.50	49.50	
fev	26.1	20.9	41.08	0.9	36.97	0.6	59.40	59.40	
mars	26.3	21	70.69	0.9	63.62	0.6	59.40	29.7	
avril	30.3	24.2	90.72	0.85	77.11	0.6	59.40	29.7	23.21
mai	26.6	21.3	129.15	0.6	77.49	0.6	59.40	19.80	26.49
juin	12.3	9.8	145.44	0.35	50.90	0.6	59.40	0	21.30
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 8. Besoins en eau de l'Orge vert.

Mois	Pmoy	peff	ET0	kc	ETM	Z	RFU	RFU	Bnet
------	------	------	-----	----	-----	---	-----	-----	------

		(mm)	(mm/mois)		(mm/mois)	(m)	théo	reell	(mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19						
nov	24.5	19.6	51.25	0.3	15.38	0.3	29.70	14.85	
dec	29.6	23.7	31.67	0.3	9.50	0.5	49.50	49.50	
janv	31.9	25.5	32.23	0.5	16.12	0.5	49.50	49.50	
fev	26.1	20.9	41.08	0.5	20.54	0.6	59.40	59.40	
mars	26.3	21	70.69	1	70.69	0.6	59.40	29.70	
avril	30.3	24.2	90.72	1.15	104.33	0.6	59.40	29.70	50.43
mai	26.6	21.3	129.15	1	129.15	0.7	69.30	23.10	78.15
juin	12.3	9.8	145.44						
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 9. Besoins en eau de la Luzerne.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19						
nov	24.5	19.6	51.25	0.7	35.88	0.7	69.30	34.65	16.28
dec	29.6	23.7	31.67	0.8	25.34	0.9	89.10	89.10	
janv	31.9	25.5	32.23	0.9	29.01	1	99.00	99.00	
fev	26.1	20.9	41.08	0.95	39.03	1.2	118.80	118.80	
mars	26.3	21	70.69	1.05	74.22	1.2	118.80	59.40	
avril	30.3	24.2	90.72	1.05	95.26	1.2	118.80	59.40	11.66
mai	26.6	21.3	129.15	1.05	135.61	1.2	118.80	39.60	54.91
juin	12.3	9.8	145.44						
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

b. Estimation des besoins en eau des cultures maraichères

Tableau IV. 10. Besoins en eau du Pomme de terre saison.

Mois	Pmoy	peff	ET0	kc	ETM	Z	RFU	RFU	Bnet
------	------	------	-----	----	-----	---	-----	-----	------

		(mm)	(mm/mois)		(mm/mois)	(m)	théo	reell	(mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19	0.5	42.60	0.4	39.60	13.20	27.20
nov	24.5	19.6	51.25	0.7	35.88	0.6	59.40	29.7	3.08
dec	29.6	23.7	31.67	1	31.67	0.6	59.40	59.40	
janv	31.9	25.5	32.23	0.75	24.17	0.6	59.40	59.40	
fev	26.1	20.9	41.08						
mars	26.3	21	70.69						
avril	30.3	24.2	90.72						
mai	26.6	21.3	129.15						
juin	12.3	9.8	145.44						
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 11. Besoins en eau du Pomme de terre arrière-saison.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19						
nov	24.5	19.6	51.25						
dec	29.6	23.7	31.67						
janv	31.9	25.5	32.23						
fev	26.1	20.9	41.08						
mars	26.3	21	70.69	0.75	53.02	0.4	39.60	19.80	32.02
avril	30.3	24.2	90.72	1.1	99.79	0.6	59.40	29.70	55.79
mai	26.6	21.3	129.15	1.2	154.98	0.6	59.40	19.80	103.98
juin	12.3	9.8	145.44	0.75	109.08	0.6	59.40	0	79.48
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 12. Besoins en eau du Tomate.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						

oct	19.2	15.4	85.19						
nov	24.5	19.6	51.25						
dec	29.6	23.7	31.67						
janv	31.9	25.5	32.23						
fev	26.1	20.9	41.08						
mars	26.3	21	70.69	0.5	35.35	0.7	69.30	34.65	14.35
avril	30.3	24.2	90.72	0.85	77.11	0.9	89.10	44.55	18.26
mai	26.6	21.3	129.15	1.15	148.52	1.2	118.80	39.60	82.67
juin	12.3	9.8	145.44	0.9	130.90	1.2	118.80	0	81.50
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 13. Besoins en eau de l'Oignon.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19	0.5	42.60	0.4	39.60	13.20	27.20
nov	24.5	19.6	51.25	0.75	38.44	0.4	39.60	19.80	5.64
dec	29.6	23.7	31.67	0.95	30.09	0.4	39.60	39.60	
janv	31.9	25.5	32.23	0.95	30.62	0.4	39.60	39.60	
fev	26.1	20.9	41.08	0.75	30.81	0.4	39.60	39.60	
mars	26.3	21	70.69						
avril	30.3	24.2	90.72						
mai	26.6	21.3	129.15						
juin	12.3	9.8	145.44						
juil	6.8	5.4	185.09						
aout	14.5	11.6	162.88						

Tableau IV. 14. Besoins en eau du Poivron et Piment.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66						
oct	19.2	15.4	85.19						

nov	24.5	19.6	51.25						
dec	29.6	23.7	31.67						
janv	31.9	25.5	32.23						
fev	26.1	20.9	41.08						
mars	26.3	21	70.69						
avril	30.3	24.2	90.72	0.3	27.22	0.3	29.70	14.85	3.02
mai	26.6	21.3	129.15	0.6	77.49	0.4	39.60	13.20	41.34
juin	12.3	9.8	145.44	1.1	159.98	0.5	49.50	0	136.98
juil	6.8	5.4	185.09	1.1	203.60	0.6	59.40	0	198.20
aout	14.5	11.6	162.88	0.8	130.30	0.6	59.40	0	118.70

c. Estimation des besoins en eau de l'arboriculture

Tableau IV. 15. Besoins en eau de l'Olivier.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66	0.7	84.46	1.5	148.50	0	67.26
oct	19.2	15.4	85.19	0.7	59.63	1.5	148.50	49.50	44.23
nov	24.5	19.6	51.25	0.7	35.88	1.5	148.50	74.25	
dec	29.6	23.7	31.67	0.65	20.59	1.5	148.50	148.50	
janv	31.9	25.5	32.23	0.65	20.95	1.5	148.50	148.50	
fev	26.1	20.9	41.08	0.65	26.70	1.5	148.50	148.50	
mars	26.3	21	70.69	0.65	45.95	1.5	148.50	74.25	
avril	30.3	24.2	90.72	0.65	58.97	1.5	148.50	74.25	
mai	26.6	21.3	129.15	0.7	90.41	1.5	148.50	49.50	
juin	12.3	9.8	145.44	0.85	123.62	1.5	148.50	0	64.32
juil	6.8	5.4	185.09	0.85	157.33	1.5	148.50	0	151.93
aout	14.5	11.6	162.88	0.85	138.45	1.5	148.50	0	126.85

Tableau IV. 16. Besoins en eau du Pommier.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	21.5	17.2	120.66	0.9	108.59	1.7	168.30	0	91.39
oct	19.2	15.4	85.19	0.8	68.15	1.7	168.30	56.10	52.75
nov	24.5	19.6	51.25	0.7	35.88	1.7	168.30	84.15	

dec	29.6	23.7	31.67	0.7	22.17	1.7	168.30	168.30	
janv	31.9	25.5	32.23	0.6	19.34	1.7	168.30	168.30	
fev	26.1	20.9	41.08	0.6	24.65	1.7	168.30	168.30	
mars	26.3	21	70.69	0.6	42.41	1.7	168.30	84.15	
avril	30.3	24.2	90.72	0.75	68.04	1.7	168.30	84.15	
mai	26.6	21.3	129.15	0.9	116.24	1.7	168.30	56.10	10.79
juin	12.3	9.8	145.44	1	145.44	1.7	168.30	0	79.54
juil	6.8	5.4	185.09	1.1	203.60	1.7	168.30	0	198.20
aout	14.5	11.6	162.88	1.1	179.17	1.7	168.30	0	167.57

IV.3.4. Calcul des besoins en eau pour les assolements

Tableau IV. 17. Calcul des besoins en eau pour l'assolement 1.

Mois	Blé	Orge vert	Pomme de terre saison	Poivron et Piment	Olivier	Pommier	Totale
Sept					67.26	91.39	158.656
Oct			27.195		44.23	52.75	124.18
Nov	0.9		3.075				3.975
Dec							0
Janv							0
Fev							0
Mars							0
Avril	23.212	50.43		3.02			76.656
Mai	26.49	78.15		41.34		10.79	156.765
Juin	21.304			136.98	64.32	79.54	302.152
Juil				198.20	151.93	198.20	548.3245
Aout				118.70	126.85	167.57	413.122

Tableau IV. 18. Calcul des besoins en eau pour l'assolement 2.

Mois	Orge en grain	Luzerne	Pomme de terre arriere-saison	Tomate	Oignon	Olivier	Pommier	Totale
Sept						67.26	91.39	158.656
Oct					27.195	44.23	52.75	124.18
Nov	0.9	16.275			5.6375			22.8125
Dec								0
Janv								0

Fev								0
Mars			32.02	14.345				46.3625
Avril	23.212	11.656	55.79	18.262				108.922
Mai	26.49	54.9075	103.98	82.6725			10.79	278.835
Juin	21.304		79.48	81.496		64.32	79.54	326.144
Juil						151.93	198.20	350.1255
Aout						126.85	167.57	294.416

IV.3.5. Lessivage des sols :

Le lessivage est une technique essentielle pour gérer la salinité des sols. En appliquant de l'eau en excès, cette méthode permet d'éliminer les sels solubles accumulés en surface, améliorant ainsi la fertilité du sol et la croissance des cultures. Une gestion précise du lessivage est cruciale pour optimiser l'utilisation de l'eau et éviter les problèmes d'érosion tout en assurant une production agricole durable.

La fraction de lessivage (LR), déterminée par Rhoades (1976), indique la quantité minimale de lessivage requise pour contrôler la salinité lorsqu'on utilise des techniques d'irrigation de surface courantes. Cette fraction est censée être totalement efficace et s'infiltrer lentement dans le sol.

Rhoades a élaboré un modèle qui permet de réduire les besoins en eau, à condition que le sol soit maintenu dans un état hydrique optimal grâce à des apports réguliers ou :

$$LR = \frac{Ce_{iw}}{5C_{ees} - Ce_{iw}} \quad \text{Equation IV-4}$$

avec :

- Ce_{iw} : conductivité électrique d'eau d'irrigation.
- C_{ees} : salinité de la patte saturé.

$$LR = \frac{2.1}{5 \times 3 - 2.1} = 16\%$$

Dans la pratique, en raison de l'hétérogénéité du sol, une partie de l'eau s'infiltrerait rapidement à travers des voies préférentielles, comme les limites entre le sol et les racines ou les fissures, sans générer un effet de lessivage réel. Par conséquent, il est important de considérer l'efficacité de lessivage (Le), qui varie en fonction de la texture et de la structure du sol.

Le nouveau LR égal à :

$$LR_{eff} = \frac{LR}{Le} \quad \text{Equation IV-5}$$

Avec:

Le : l'efficacité de lessivage $Le=60\%$

LR eff= 27%

Le volume d'eau de lessivage et calculer comme suite :

$$V = ETM \times \frac{\frac{LR}{Le}}{1 - \frac{LR}{Le}} \quad \text{Equation IV-6}$$

Tableau IV. 19. Dose de lessivage.

culture/Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Ble			7.58	7.61	10.73	15.19	27.45	28.52	28.66	18.83		
orge en grain			7.58	7.61	10.73	13.67	23.53	28.52	28.66	18.83		
orge vert			5.69	3.51	5.96	7.60	26.15	38.59	47.77			
luzerne			13.27	9.37	10.73	14.43	27.45	35.23	50.16			
pomme de terre saison		15.75	13.27	11.71	8.94							
Pomme de terre arriere-saison							19.61	36.91	57.32	40.34		
Poivron et Piment								10.07	28.66	59.17	75.30	48.19
Tomate							13.07	28.52	54.93	48.41		
Oignon	31.07	15.75	14.22	11.13	11.32	11.40						
Olivier	31.24	22.06	13.27	7.61	7.75	9.88	16.99	21.81	33.44	45.72	58.19	51.21
Pommier	40.16	25.21	13.27	8.20	7.15	9.12	15.69	25.17	42.99	53.79	75.30	66.27

IV.3.6. Estimations des besoins en eau totaux

La connaissance des volumes d'irrigation totaux permet de gérer les ressources en eau de manière plus efficace, d'optimiser la planification de l'irrigation et de favoriser une utilisation durable des ressources hydriques en agriculture.

Tableau IV. 20. Volume totale pour l'assolement 1.

	Assolement1						
	Blé	Orge vert	Pomme de terre saison	Poivron et Piment	Olivier	Pommier	Totale
S (ha)	39.90	28.50	9.12	7.98	17.10	11.40	114
Bnet (m ³ /ha)	719.06	1285.78	302.70	4982.43	4545.96	6002.38	17838.31
Brute (m ³ /ha)	958.75	1714.37	403.60	6643.24	6061.27	8003.17	23784.41

volume lessivage (m ³ /ha)	144.58	135.26	49.68	221.40	319.16	382.32	1252.40
Btotale (m ³)	44022.76	52714.51	4133.89	54779.81	109105.49	95594.59	360351.04

Tableau IV. 21. Volume totale pour l'assolement 2.

	Assolement 2							Totale
	Orge en grain	Luzerne	Pomme de terre A saison	Tomate	Oignon	Olivier	Pommier	
S (ha)	39.90	28.50	7.98	5.70	3.42	17.10	11.40	114
Bnet (m ³ /ha)	719.06	828.39	2712.70	1967.76	328.33	4545.94	6002.38	17104.54
Bgru (m ³ /ha)	958.75	1104.51	3616.93	2623.67	437.77	6061.25	8003.17	22806.05
volume lessivage (m ³ /ha)	139.14	160.64	154.18	144.94	94.89	319.16	382.32	1395.28
Btotale (m ³)	43805.65	36056.97	30093.47	15781.10	1821.68	109105.04	95594.59	332258.48

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les besoins en eau pour notre zone agricole, en choisissant les cultures en fonction de divers éléments, tels que les propriétés du sol et les conditions climatiques spécifiques à la région.

Une fois les cultures sélectionnées, nous avons appliqué la méthode de Penman afin d'évaluer les besoins en eau de chaque culture. Cette méthode nous a aidés à estimer l'évapotranspiration en tenant compte des différentes variables climatiques.

Nous avons ensuite calculé les quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation au cours de la période de croissance, en intégrant un pourcentage adéquat pour le lessivage. Cela vise à

garantir un approvisionnement constant en eau, essentiel au développement optimal des cultures, tout en gérant efficacement la salinité du sol.

Ces évaluations des besoins en eau, des volumes d'irrigation, et du pourcentage de lessivage (LR) sont cruciales pour une gestion efficace des ressources en eau. Elles nous permettent de planifier de manière proactive, d'ajuster précisément les apports en eau, et d'assurer que les cultures reçoivent l'eau nécessaire pour leur croissance optimale.

CHAPITRE V

Dimensionnement du reseau de drainage

CHAPITRE V : Dimensionnement du réseau de drainage

V.1. Introduction

Le drainage agricole est une pratique essentielle pour la gestion des terres cultivables, visant à éliminer l'excès d'eau dans la couche supérieure du sol afin de lutter contre la salinité. En améliorant les conditions de culture, le drainage permet d'assurer un sol sain, de prévenir l'anoxie des racines, et d'optimiser la productivité agricole. Ce processus peut se faire par le drainage de surface, qui évacue l'eau à travers des fossés, ou par le drainage souterrain, utilisant des drains pour évacuer l'eau infiltrée.

V.2. Objectifs du drainage agricole

Le drainage agricole vise plusieurs objectifs, qui varient en fonction des caractéristiques du terrain et des conditions climatiques locales :

V.2.1. Prévention des inondations temporaires

L'un des objectifs principaux est de prévenir l'accumulation d'eau de surface ou d'eau souterraine dans les champs, ce qui pourrait entraîner l'asphyxie des racines des plantes et une stagnation de la croissance des cultures. En évacuant l'eau rapidement, le drainage permet d'améliorer l'aération du sol et de maintenir des conditions optimales pour les racines.

V.2.2. Prévention de la salinisation

Dans les régions arides et semi-arides, l'accumulation de sels dans le sol peut être dévastatrice pour l'agriculture. Un système de drainage bien conçu aide à éliminer l'eau excédentaire et les sels dissous, réduisant ainsi les risques de salinisation des sols irrigués.

V.2.3. Amélioration de la structure du sol

Le drainage favorise la création d'une structure de sol saine, en réduisant la compaction et en permettant aux racines de s'étendre plus librement. Cela améliore également l'infiltration de l'eau et des nutriments, contribuant à une meilleure absorption par les plantes.

V.2.4. Protection contre l'érosion

En contrôlant les flux d'eau dans les champs, le drainage aide à prévenir l'érosion des sols. Il canalise les excédents d'eau de manière contrôlée, évitant ainsi le ruissellement intense qui pourrait entraîner la perte de la couche arable.

V.3. Le réseau de drainage et ses composantes

Un réseau de drainage abaisse la nappe phréatique en dessous de la profondeur racinaire des plantes. Il se compose de deux éléments principaux : les canalisations enterrées et les tranchées à découvert, formant ainsi un drainage horizontal. Dans certains cas, des puits verticaux sont utilisés pour pomper l'excès d'eau, appelé drainage vertical.

V.3.1. Plan global d'un système de drainage

Ce système comprend des canalisations qui dirigent l'eau drainée vers un exutoire, généralement une voie d'eau naturelle aménagée ou non. Le point de jonction entre le système de drainage et l'exutoire est appelé bouche de décharge.

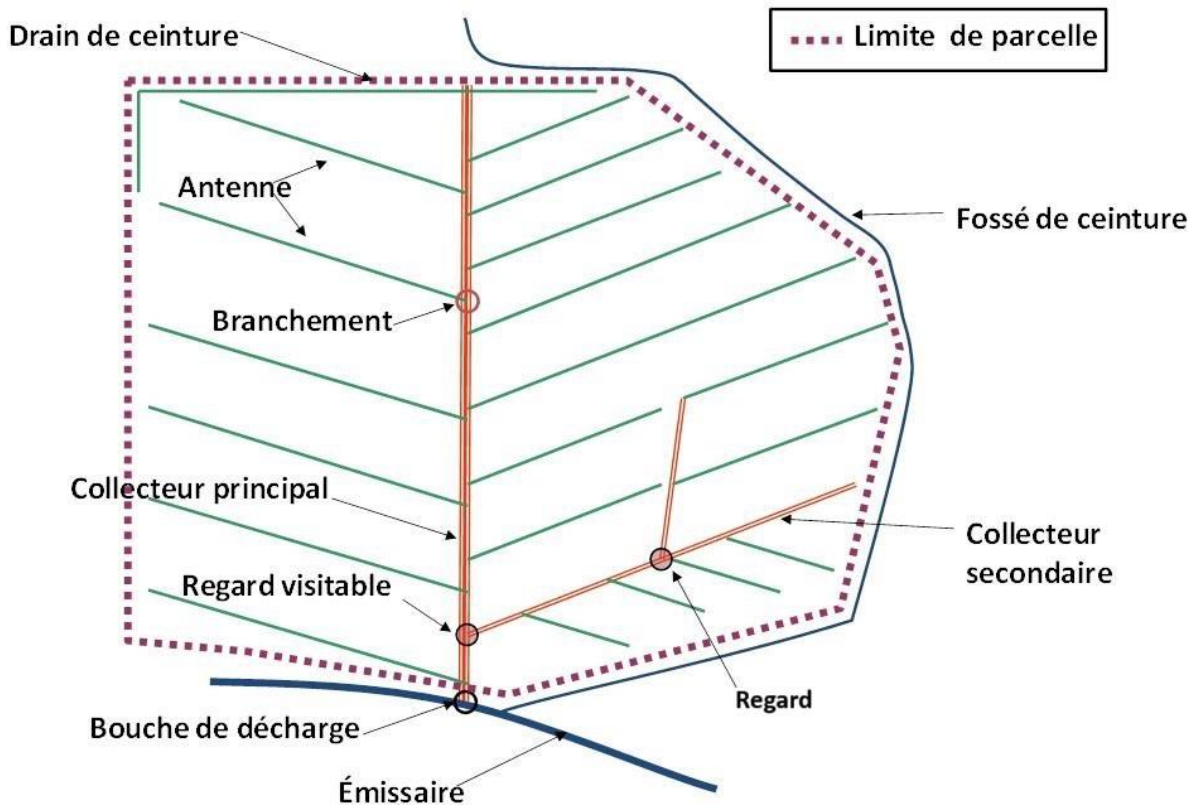


Figure V.1 . Schéma du réseau de drainage
(wikydro.developpement-durable.gouv.fr)

V.3.2. Éléments clés du système de drainage

Les composants essentiels incluent

- Les drains latéraux,
- Les collecteurs et
- Les structures complémentaires.

Il existe trois configurations de réseaux dans lesquelles les drains sont disposés spatialement de la manière suivante :

- Un réseau naturel,
- En arête de poisson,
- Ou parallèle.

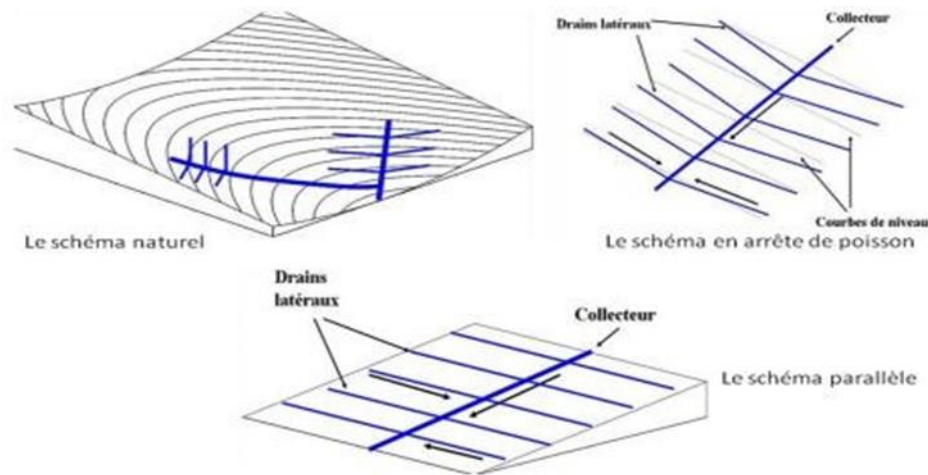


Figure V. 2. Les types de réseaux de drainage

V.3.3. Modes de drainage

Avant d'investir dans un système de drainage, des solutions temporaires, comme le labour profond, sont souvent explorées. En cas de décision d'installation, deux types de drainage sont généralement envisagés :

a. Drainage de surface

Il s'agit d'évacuer l'excès d'eau en utilisant des fossés ouverts. Bien que simple, cette méthode présente des inconvénients comme la perte de terres cultivables.

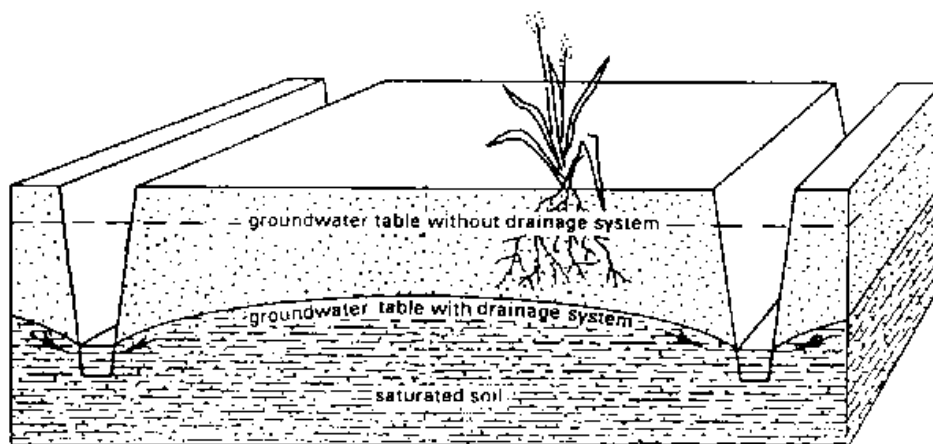


Figure V. 3. Drainage par fossés.

b. Drainage par tuyaux enterrés

Cette méthode remplace les fossés par des tuyaux enterrés avec des ouvertures permettant d'évacuer l'eau excédentaire vers un collecteur, conduisant à un exutoire. Les drains peuvent être espacés selon les besoins du sol et des cultures.

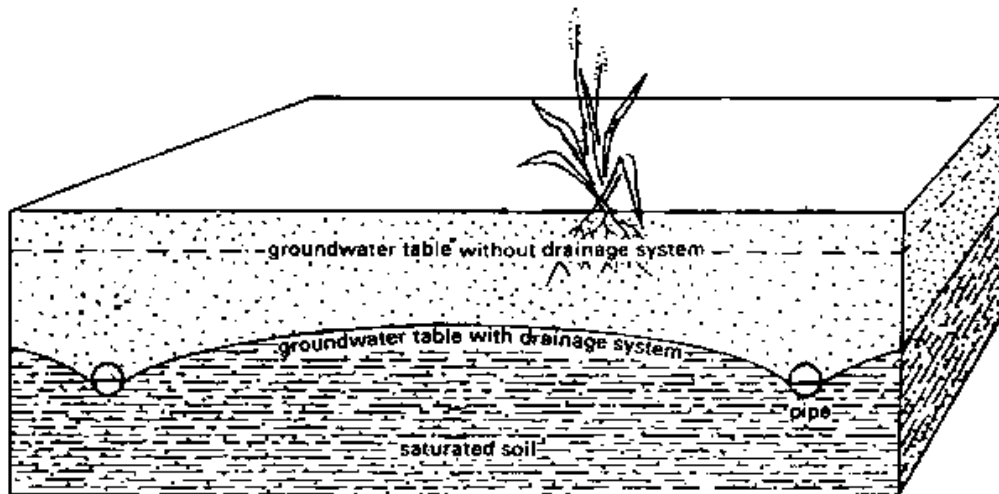


Figure V. 4. Drainage souterrain.

V.4. Conception d'un système de drainage

La conception d'un système de drainage agricole nécessite une analyse approfondie du terrain, incluant :

Topographie : L'étude de la pente du terrain est essentielle pour déterminer le sens et la vitesse d'écoulement de l'eau.

Type de sol : Les sols argileux, par exemple, retiennent plus d'eau et nécessitent un drainage plus intense que les sols sableux, qui ont une meilleure perméabilité.

Conditions climatiques : Les précipitations annuelles et leur répartition doivent être prises en compte pour dimensionner le système de drainage en fonction des périodes de pluie abondante.

Cultures : Certaines cultures sont plus sensibles à l'excès d'humidité que d'autres. Le type de plantation influence donc les besoins en drainage.

V.5. Avantages du drainage

Un système de drainage bien conçu offre de nombreux avantages à l'agriculture :

a. Amélioration des rendements

En créant un environnement propice à la croissance des plantes, le drainage permet d'améliorer considérablement les rendements agricoles, même dans des conditions difficiles.

b. Réduction des risques de maladies

L'excès d'eau favorise le développement de maladies fongiques et bactériennes dans les cultures. En assurant un bon drainage, ces risques sont nettement réduits.

c. Augmentation de la durée de vie des terres

Le drainage contribue à la durabilité des sols agricoles en prévenant l'accumulation d'eau et de sels, deux des principaux facteurs de dégradation des sols dans les zones irriguées.

V.6. Calcul du débit caractéristique

Le débit caractéristique d'un réseau de drainage représente le débit par unité de surface maximale que le réseau doit pouvoir évacuer efficacement. Le calcul de ce débit (noté q_c) varie en fonction du régime de drainage adopté et de la considération, ou non, de la capacité de stockage.

V.6.1. Cas où l'excès provient des pluies

Pour calculer le débit caractéristique provenant des précipitations, il est d'abord nécessaire de réaliser une analyse fréquentielle des pluies. Ensuite, les séries pluviométriques obtenues doivent être ajustées en suivant la loi de Gumbel.

Dans le domaine du drainage, ce ne sont pas tant les précipitations totales annuelles ou mensuelles qui posent le plus de problèmes, mais plutôt les épisodes pluvieux de courte durée et de forte intensité. Ces événements, en dépassant les capacités naturelles de drainage, peuvent entraîner la formation ou l'élévation d'une nappe phréatique jusqu'à la surface du sol.

a. L'Analyse fréquentielle de la série pluviométrique

Nous disposons d'une série de données pluviométriques journalières couvrant la période de 1990 à 2020, en provenance de la station de M'Daourouch.

Dans un premier temps, il est nécessaire de classer et de traiter statistiquement ces données pour mettre en évidence les pluies maximales sur des périodes de courte durée (1, 2, 3, 4, 5 jours) ainsi que leurs fréquences d'apparition.

Ce travail peut être effectué annuellement, mais pour plus de rigueur, il est recommandé de le faire par trimestre. Cette approche permet de prendre en compte la période durant laquelle se produisent les pluies critiques en relation avec les stades sensibles des différentes cultures.

b. Ajustement par la loi de Gumbel

Après avoir relevé les pluies maximales de 1, 2, 3, 4 et 5 jours au cours de n années d'observation, on classe ces valeurs par ordre croissant. Ensuite, pour chaque valeur, on attribue une fréquence $F(x)$ au non dépassement :

$$F(x) = \frac{r-0.5}{n} \quad \text{Equation V-1}$$

- r : est le rang de l'observation.
- n : nombre total d'années d'observation.

La formule de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \quad \text{Equation V-2}$$

$F(x)$ fonction de répartition= fréquence au dépassement de la valeur de x .

x_0 et α coefficient d'ajustement avec :

- x_0 : paramètre de position (mode).
- α : paramètre d'échelle différent de zéro.

En effectuant un changement de variable, on aura :

$$y = \alpha(x - x_0) \quad \text{Equation V-3}$$

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad \text{Equation V-4}$$

- $y = \alpha(x - x_0)$: variable réduite de Gumbel.
- $F(y)$: fréquence au non dépassement de la variable y .

L'ajustement par la loi de Gumbel est fait par logiciel HYFRAN , les résultats de l'ajustement sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau V. 1. Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 1 (sep-oct-nov).

Durée/fréquence	2ans	3ans	5ans	10ans
1J	14	18.7	24	30.6
2J	17.8	25.2	33.4	43.7
3J	28.1	40.7	54.8	72.5
4J	20	31.9	49.6	69.6
5J	16.7	29.6	43.9	61.9

Tableau V. 2. Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 2 (dec-jan-fev).

Durée/fréquence	2ans	3ans	5ans	10ans
1J	17.4	23.1	29.5	37.6
2J	29.3	39.8	51.4	66
3J	28.1	40.7	54.8	72.5
4J	26.6	42.9	65.1	79.8
5J	30.8	47.7	66.4	90

Tableau V. 3. Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 3 (mar-avr-mai).

Durée/fréquence	2ans	3ans	5ans	10ans
1J	13.5	18.6	24.2	31.3
2J	29.5	39.2	50.1	63.8
3J	26.7	39	52.7	70
4J	17.4	27.9	39.5	54.2
5J	17.7	29.5	42.7	59.2

On peut par la suite tracer les graphiques : Hauteur-Durée-Frequence.

Les graphiques permettent de déterminer rapidement pour une période de retour et une durée données la hauteur max probable.

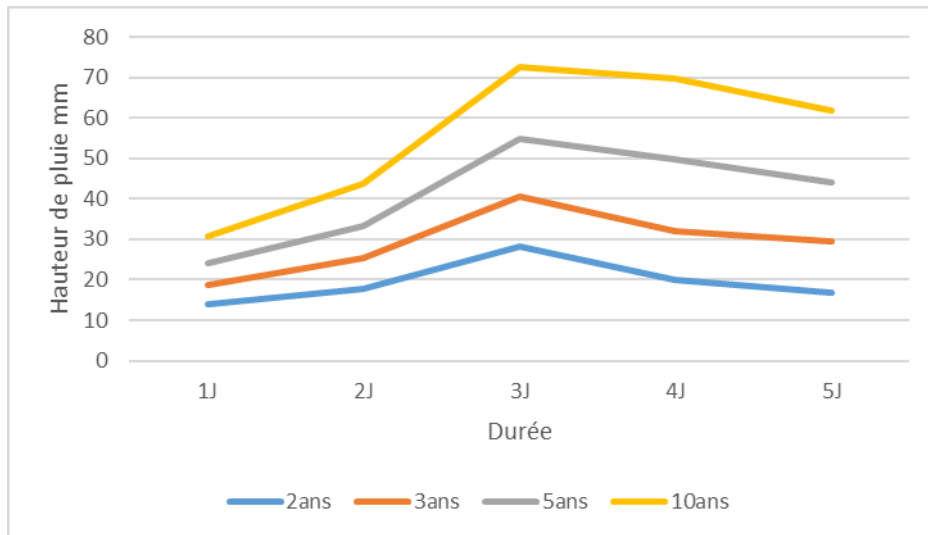


Figure V. 4. Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 1.

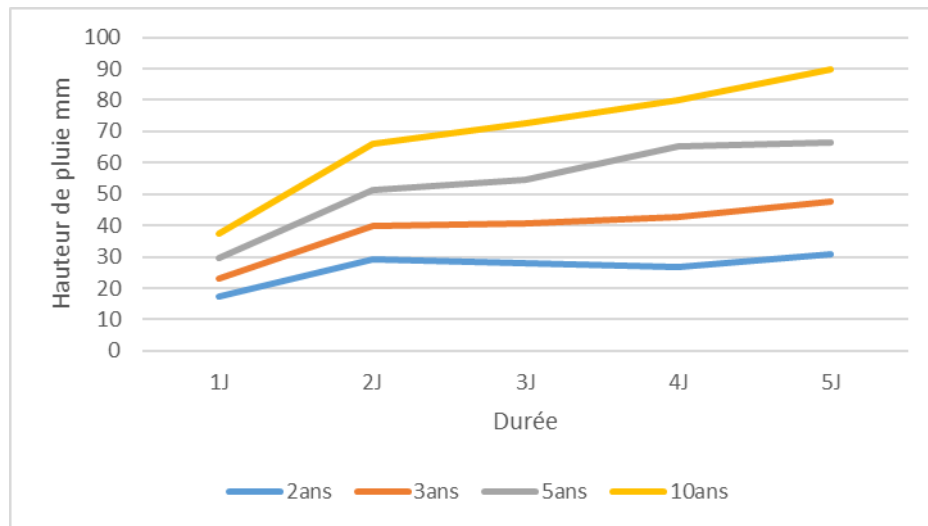


Figure V. 5. Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 2.

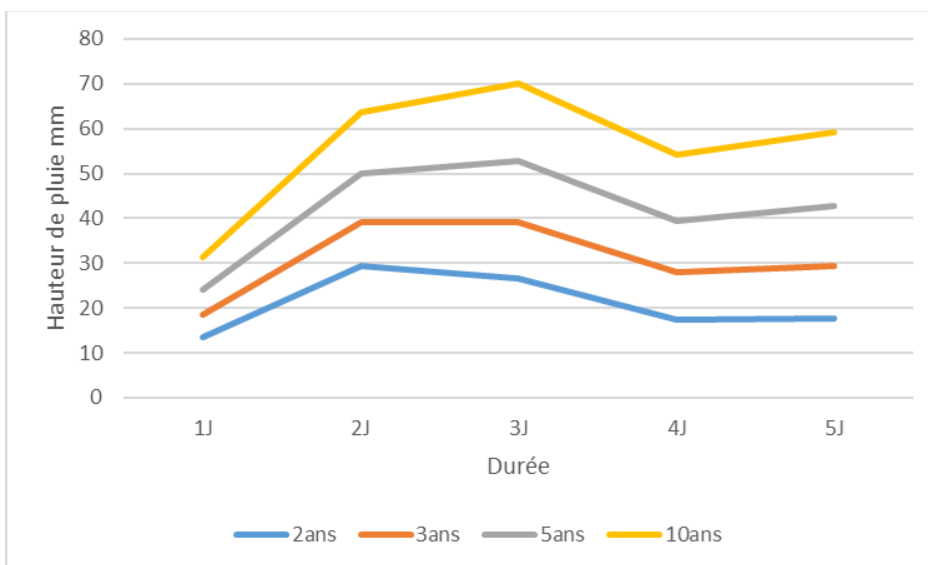


Figure V. 6. Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 3.

c. Débit caractéristique en régime permanent avec stockage

Le q_c pour un régime variable :

$$q_c = \frac{P-E-S}{\theta} \quad \text{Equation V-5}$$

On a dans ce cas:

Avec:

q_c : débit caractéristique (mm/j).

- P : pluie critique (mm).
- E : l'évaporation (mm).
- θ : durée de submersion admissible.
- S : le stockage du sol (mm).

$$S = hc \times \mu \quad \text{Equation V-6}$$

- μ : porosité de drainage %.

Et on prend en considération que :

Pour l'arboriculture : Les pluies de 5 jours avec une période de retour de 5 ans ;

Pour les céréales : Les pluies de 3 jours avec une période de retour de 3 ans ;

Pour les maraichères : Les pluies de 2 jours avec une période de retour de 2 ans.

Tableau V. 4. Le Q_c en régime permanent avec stockage.

Cultures	Arboricultures	Maraichères	Céréales
θ (j)	5	2	3
hc	0.6	0.4	0.3
μ %	0.05	0.05	0.05
P (mm)	66.4	29.5	40.7
E(mm/j)	0	0	0
S(mm)	30	20	15
Q_c (mm/j)	7.28	4.75	8.57

Le plus grand débit c'est des céréales : $q_c=8.57$ mm/j.

V.6.2. Cas où l'excès provient de l'irrigation

Nous allons estimer le débit caractéristique de l'excès d'eau pouvant résulter de l'irrigation gravitaire. Ce système d'irrigation offre une efficacité de 70 % lorsqu'il est correctement mis en œuvre, mais chute à 45 % en cas de mauvaise réalisation, entraînant ainsi des pertes par percolation qui alimentent la nappe.

Dans notre périmètre, l'efficacité du système d'irrigation en place est de 60 %, ce qui génère une perte totale de 40 %. De ces pertes, 30 % sont attribuées à la percolation et 10 % à l'évaporation.

- $B_{net} = 198.2 \text{ mm}$.
- $B_{brut} = B_{net}/0.6$.
- $B_{brut} = 198.2/0.6 = 330.33 \text{ mm}$.
- $RFU_{theo} = 59.4 \text{ mm}$.
- Dose brute = Dose nette/0.6 = $59.4/0.6 = 99 \text{ mm}$.
- Nombre d'irrigation = $B_{brut}/\text{dose brute} = 330.33/99 = 4 \text{ fois}$.
- Fréquence d'irrigation = $30/4 = 7.5$ (on prend 7 jours).
- Dose percolé = $99 * 30\% = 29.7 \text{ mm}$.

Donc on doit évacuer 29.7 mm en 7 jours.

Le débit de drainage :

$$q_c = 29.7/7 = 4.24 \text{ mm/j.}$$

V.6.3. Cas où l'excès provient du lessivage

Pour calculer le débit à évacuer, on choisit la plus grande valeur des doses de lessivages.

D'après le calcul fait dans le chapitre IV le poivron est le plus exigeant avec une dose de 75.3 mm en mois de juillet.

$$q_c = \frac{v}{ess \times N} \quad \text{Equation V-9}$$

$$q_c = \frac{75.3}{7 \times 4} = 2.69 \text{ mm/j}$$

Avec:

ess: espacement d'arrosage.

N: Fréquence d'arrosage.

Remarque :

Pour le dimensionnement du réseau de drainage on doit prendre la valeur la plus grande entre le débit caractéristique calculé par la pluie, l'irrigation et le lessivage .

Alors le débit caractéristique destiné au dimensionnement du drainage

$$q_c = 8.57 \text{ mm/j}$$

V.7. Calcul de l'écartement entre les drains

V.7.1. Equation de Hooghoudt

a. Cas où les drains reposent sur la couche imperméable

$$E^2 = \frac{4 \times k \times hc^2}{q_c} \quad \text{Equation V-10}$$

Où:

E: Ecartement entre les drains (m).

K : Conductivité hydraulique de sol (m/j).

hc : Hauteur critique (m).

q_c : Débit caractéristique ($\text{mm/j} \cdot 10^{-3}$).

b. Cas où les drains ne reposent pas sur la couche imperméable

$$E^2 = \frac{4 \times k_1 \times hc^2 + 8 \times k_2 \times d \times hc}{q_c} \quad \text{Equation V-11}$$

Où:

E: Ecartement entre les drains (m).

k_1 : Conductivité hydraulique en dessus des drains (m/j).

k_2 : Conductivité hydraulique en dessous des drains (m/j).

d : Profondeur équivalente (m).

hc : Hauteur critique (m).

q_c : Débit caractéristique ($\text{mm/j} \cdot 10^{-3}$).

Dans notre cas :

hc= 0.3 m.

$q_c = 8.57 \cdot 10^{-3}$ m/j.

$k_1 = k_2 = 0.5$ m/j.

$$E^2 = 21 + 240 \cdot d$$

Et en utilisant la table de profondeur équivalente (**Annexe**), nous pouvons effectuer des itérations de l'équation de Hooghoudt :

$$d = 1.5 \text{ m} \quad E = 19.52 \text{ m}$$

On prend **E= 20 m**.

V.8. Profondeur des drains

D'une manière générale, l'efficacité hydraulique favorise une augmentation de la profondeur de pose des drains. Cependant, les considérations économiques tendent à limiter cette profondeur en raison de la relation directe entre le coût et la profondeur d'installation. Les lignes directrices prennent principalement en compte les conditions locales, telles que le niveau de l'eau à l'exutoire, les caractéristiques pédologiques, le risque d'assèchement excessif du sol, aux plantes, ainsi que le climat. Les profondeurs usuelles pour les drains varient généralement entre 1 et 2 m.

Pour ce périmètre on prend la profondeur des drains $P=1.2$ m.

V.9. La longueur d'installation des drains

Les longueurs "L" sont choisies en fonction des dimensions de la parcelle. La longueur maximale acceptable, "Lmax", est de 1000 m, cette limite étant imposée par le diamètre

maximal des conduites (ϕ max). Les longueurs les plus couramment utilisées se situent entre 200 m et 400 m.

V.10. La pente d'installation

Dans un système de drainage, la pente joue un rôle crucial dans la régulation de la vitesse d'écoulement. Une pente adéquate aide à prévenir la sédimentation des particules, réduisant ainsi le risque d'obstruction des drains. Voici quelques directives, basées sur diverses expérimentations, pour une installation optimale :

Pente minimale absolue ("i min absolue") : Fixée à 0,05 %. Toutefois, cette valeur doit être augmentée pour les petits diamètres (ϕ).

- **i = 0,1%** : pour $\phi < 150$ mm.
- **i = 0,08%** : pour $200 \text{ mm} < \phi < 250$ mm.
- **i = 0,05%** : pour $\phi > 250$ mm.

Pente "i" en fonction du type de sol :

- La pente doit être adaptée au type de sol, en tenant compte de la stabilité du sol pour assurer la stabilité de la pose du drain.
- Prendre en compte la présence de sable.
- Évaluer le risque de colmatage par les dépôts ferrugineux.
- La vitesse d'écoulement dans le drain doit être maintenue entre 1 m/s et 1,25 m/s afin de limiter le colmatage et d'éviter l'effet d'aspiration au niveau des joints et des perforations des drains.

Relation entre le diamètre (ϕ) des drains et la pente (i) : Le diamètre des drains est inversement proportionnel à la pente. Une pente plus forte permet donc de réduire le diamètre des drains, mais il est préférable de ne pas dépasser une pente de 1 %. En pratique, les pentes les plus courantes se situent entre 0,1 % et 1 %.

Le choix de la pente doit être basé sur des facteurs tels que la topographie du terrain, la position des collecteurs, l'emplacement des émissaires, et la longueur totale du système de drainage.

V.11. Débit à évacuer par le drain

$$Qd = q \times S$$

Equation V-12

$$Qd = q \times L \times E$$

Equation V-13

Avec:

- S: La surface drainée par le drain.
- q: Le débit du drain.
- L: La longueur du drain.
- E: Ecartement entre les drains.

V.12. Dimensionnement des drains

Pour les drains perforés annulés on travaille avec l'équation de Chezy- Manning pour le régime non uniforme :

$$Q_{\text{drain}} = 38 \times d^{2.67} \times i^{0.5} \quad \text{Equation V-14}$$

On prend par mesure de sécurité 50% facteur de correction dans le cas de sédimentation.

$$Q' = \frac{Q}{0.5}$$

V.13. Dimensionnement des collecteurs

Pour déterminer le diamètre approprié des collecteurs, il est crucial de d'abord évaluer la pente naturelle du terrain, tout en veillant à ne pas dépasser des pentes importantes, généralement comprises entre 0,1 % et 1 %, en fonction de la topographie. Il est également essentiel de maintenir des vitesses d'écoulement entre 0,5 m/s et 1,5 m/s. Cela permet de prévenir les phénomènes d'aspiration aux joints et aux perforations des drains, ainsi que la sédimentation des particules infiltrées.

Le collecteur reçoit l'eau de l'ensemble des débits des drains reliés à ce dernier.

Nous supposons que l'écoulement est uniforme et que la conduite est lisse, ce qui nous conduit à utiliser la formule de Darcy-Weisbach, sans oublier de prévoir une réduction de 25% de sa capacité due aux particules charriées par les eaux des drains.

$$Q_{\text{collecteur}} = \frac{50 \times d^{2.71} \times i^{0.57}}{0.75} \quad \text{Equation V-15}$$

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau V. 5. Dimensionnement des drains.

Drains	L (m)	Q (m3/j)	ϕ calculé (mm)	ϕ normalisé (mm)
Drain1	343	117.56	78.82	90
Drain2	350	120.15	79.46	90
Drain3	335	114.98	78.16	90
Drain4	320	109.81	76.83	90
Drain5	328	112.40	77.50	90
Drain6	381	130.44	81.94	90
Drain7	24	8.18	29.05	90
Drain8	373	127.89	81.34	90
Drain9	358	122.73	80.10	90
Drain10	366	125.31	80.72	90
Drain11	313	107.23	76.15	90
Drain12	260	89.15	71.06	90
Drain13	268	91.73	71.82	90
Drain14	253	86.57	70.28	90
Drain15	237	81.40	68.68	90
Drain16	245	83.99	69.49	90
Drain17	298	102.06	74.75	90
Drain18	305	104.65	75.46	90
Drain19	290	99.48	74.04	90
Drain20	275	94.32	72.57	90
Drain21	283	96.90	73.31	90
Drain22	132	45.25	55.12	90
Drain23	140	47.83	56.28	90
Drain24	124	42.66	53.92	90
Drain25	109	37.50	51.37	90
Drain26	117	40.08	52.67	90
Drain27	177	60.74	61.55	90
Drain28	185	63.32	62.51	90
Drain29	170	58.16	60.55	90
Drain30	147	50.41	57.40	90
Drain31	162	55.58	59.53	90
Drain32	102	34.91	50.02	90
Drain33	49	16.84	38.06	90
Drain34	57	19.42	40.15	90
Drain35	42	14.25	35.76	90
Drain36	29	9.83	31.11	90
Drain37	34	11.67	33.18	90
Drain38	87	29.75	47.11	90
Drain39	94	32.33	48.60	90
Drain40	79	27.17	45.53	90
Drain41	64	22.00	42.08	90
Drain42	72	24.58	43.86	90
Drain43	152	52.03	58.08	90
Drain44	144	49.28	56.91	90
Drain45	160	54.77	59.21	90
Drain46	176	60.25	61.36	90
Drain47	168	57.51	60.30	90
Drain48	112	38.31	51.79	90
Drain49	104	35.57	50.37	90
Drain50	120	41.06	53.15	90
Drain51	136	46.54	55.71	90
Drain52	128	43.80	54.45	90
Drain53	184	62.99	62.39	90
Drain54	64	21.86	41.98	90
Drain55	56	19.12	39.92	90
Drain56	72	24.60	43.87	90
Drain57	88	30.09	47.31	90
Drain58	80	27.35	45.65	90
Drain59	200	68.48	64.37	90
Drain60	192	65.74	63.40	90
Drain61	32	10.89	32.34	90
Drain62	48	16.38	37.67	90
Drain63	40	13.64	35.17	90
Drain64	224	76.70	67.17	90
Drain65	216	73.96	66.26	90
Drain66	232	79.45	68.06	90
Drain67	248	84.93	69.78	90
Drain68	240	82.19	68.93	90

Tableau V. 6. Dimensionnement des drains.

Drains	L (m)	Q (m ³ /j)	φcalculé (mm)	φnormalisé (mm)
Drain69	222	76.24	67.01	90
Drain70	230	78.82	67.86	90
Drain71	215	73.66	66.16	90
Drain72	208	71.22	65.33	90
Drain73	207	71.07	65.28	90
Drain74	256	87.67	70.62	90
Drain75	381	130.77	82.02	90
Drain76	365	125.17	80.69	90
Drain77	398	136.29	83.30	90
Drain78	96	32.83	48.88	90
Drain79	390	133.70	82.71	90
Drain80	284	97.37	73.44	90
Drain81	264	90.42	71.44	90
Drain82	304	104.32	75.37	90
Drain83	345	118.22	78.98	90
Drain84	325	111.27	77.21	90
Drain85	148	50.58	57.47	90
Drain86	115	39.39	52.33	90
Drain87	165	56.53	59.91	90
Drain88	199	68.30	64.31	90
Drain89	200	68.47	64.37	90
Drain90	152	52.01	58.07	90
Drain91	165	56.70	59.98	90
Drain92	138	47.17	55.99	90
Drain93	116	39.75	52.51	90
Drain94	123	42.09	53.64	90
Drain95	201	69.05	64.58	90
Drain96	145	49.76	57.12	90
Drain97	149	51.10	57.69	90
Drain98	141	48.42	56.54	90
Drain99	213	73.19	66.00	90
Drain100	140	48.12	56.41	90
Drain101	180	61.69	61.91	90
Drain102	190	65.13	63.18	90
Drain103	172	58.84	60.82	90
Drain104	165	56.40	59.86	90
Drain105	162	55.39	59.46	90
Drain106	181	61.94	62.00	90
Drain107	178	61.18	61.71	90
Drain108	184	62.97	62.38	90
Drain109	195	66.92	63.82	90
Drain110	189	64.95	63.11	90
Drain111	150	51.54	57.88	90
Drain112	152	52.21	58.16	90
Drain113	155	53.15	58.55	90
Drain114	171	58.64	60.74	90
Drain115	165	56.67	59.97	90
Drain116	198	67.99	64.20	90
Drain117	109	37.45	51.35	90
Drain118	112	38.41	51.84	90
Drain119	108	36.96	51.10	90
Drain120	173	59.37	61.02	90
Drain121	111	37.91	51.58	90
Drain122	174	59.77	61.18	90
Drain123	187	64.07	62.79	90
Drain124	161	55.14	59.36	90
Drain125	120	41.12	53.18	90
Drain126	128	44.05	54.57	90
Drain127	120	41.17	53.20	90
Drain128	119	40.86	53.06	90
Drain129	116	39.62	52.45	90
Drain130	112	38.46	51.87	90
Drain131	116	39.68	52.47	90
Drain132	118	40.38	52.82	90
Drain133	121	41.64	53.43	90
Drain134	122	41.78	53.50	90
Drain135	122	41.99	53.60	90
Drain136	119	40.66	52.96	90

Tableau V. 7. Dimensionnement des drains.

Drains	L (m)	Q (m ³ /j)	φcalculé (mm)	φnormalisé (mm)
Drain137	113	38.71	51.99	90
Drain138	123	42.20	53.70	90
Drain139	132	45.11	55.06	90
Drain140	98	33.57	49.29	90
Drain141	192	65.91	63.46	90
Drain142	200	68.49	64.38	90
Drain143	117	39.98	52.62	90
Drain144	118	40.32	52.79	90
Drain145	111	37.91	51.59	90
Drain146	126	43.34	54.24	90
Drain147	116	39.89	52.58	90
Drain148	185	63.49	62.57	90
Drain149	192	65.76	63.40	90
Drain150	177	60.76	61.56	90
Drain151	162	55.39	59.46	90
Drain152	172	58.97	60.87	90
Drain153	213	73.06	65.95	90
Drain154	214	73.40	66.07	90
Drain155	214	73.27	66.03	90
Drain156	203	69.74	64.81	90
Drain157	207	70.95	65.24	90
Drain158	156	53.31	58.61	90
Drain159	132	45.32	55.15	90
Drain160	133	45.54	55.25	90
Drain161	133	45.55	55.26	90
Drain162	131	44.86	54.94	90
Drain163	125	42.88	54.02	90
Drain164	146	50.18	57.30	90
Drain165	150	51.31	57.78	90
Drain166	142	48.69	56.66	90
Drain167	138	47.20	56.00	90
Drain168	142	48.66	56.64	90
Drain169	155	52.99	58.48	90
Drain170	155	52.99	58.48	90
Drain171	400	137.12	83.49	90
Drain172	400	137.12	83.49	90
Drain173	400	137.12	83.49	90
Drain174	400	137.12	83.49	90
Drain175	119	40.66	52.96	90
Drain176	126	43.06	54.11	90
Drain177	105	35.87	50.53	90
Drain178	112	38.27	51.77	90
Drain179	147	50.25	57.33	90
Drain180	154	52.65	58.34	90
Drain181	133	45.46	55.21	90
Drain182	140	47.85	56.29	90
Drain183	98	33.47	49.24	90
Drain184	56	19.09	39.90	90
Drain185	63	21.49	41.70	90
Drain186	42	14.30	35.80	90
Drain187	49	16.69	37.94	90
Drain188	84	28.68	46.47	90
Drain189	91	31.07	47.88	90
Drain190	70	23.88	43.39	90
Drain191	77	26.28	44.97	90
Drain192	161	55.04	59.32	90
Drain193	244	83.80	69.43	90
Drain194	251	86.20	70.17	90
Drain195	230	79.01	67.92	90
Drain196	237	81.41	68.68	90
Drain197	272	93.39	72.31	90
Drain198	279	95.79	73.00	90
Drain199	258	88.60	70.89	90
Drain200	265	90.99	71.61	90
Drain201	223	76.61	67.14	90
Drain202	182	62.23	62.11	90
Drain203	189	64.63	62.99	90

Tableau V. 8. Dimensionnement des drains.

Drain	L (m)	Q (m ³ /j)	φcalculé (mm)	φnormalisé (mm)
Drain204	217	74.22	66.34	90
Drain205	210	71.82	65.53	90
Drain206	63	21.49	41.70	90
Drain207	191	65.45	63.29	90
Drain208	178	61.08	61.68	90
Drain209	165	56.71	59.98	90
Drain210	204	69.83	64.85	90
Drain211	242	82.95	69.17	90
Drain212	229	78.57	67.78	90
Drain213	216	74.20	66.34	90
Drain214	153	52.33	58.21	110
Drain215	89	30.46	47.53	110
Drain216	76	26.09	44.85	90
Drain217	400	137.12	83.49	90
Drain218	102	34.84	49.98	90
Drain219	140	47.96	56.33	90
Drain220	127	43.58	54.35	90
Drain221	114	39.21	52.24	90
Drain222	255	87.32	70.51	90
Drain223	388	132.99	82.54	90
Drain224	382	131.06	82.09	90
Drain225	370	126.68	81.05	90
Drain226	394	134.91	82.99	90
Drain227	56	19.09	39.90	90
Drain228	49	16.69	37.94	90
Drain229	42	14.30	35.80	90
Drain230	357	122.31	79.99	90
Drain231	293	100.44	74.30	90
Drain232	280	96.07	73.08	90
Drain233	267	91.69	71.81	90
Drain234	306	104.82	75.50	90
Drain235	344	117.94	78.91	90
Drain236	331	113.56	77.80	90
Drain237	319	109.19	76.67	90
Drain238	400	137.12	83.49	90
Drain239	400	137.12	83.49	90
Drain240	400	137.12	83.49	90
Drain241	400	137.12	83.49	90
Drain242	400	137.12	83.49	90
Drain243	400	137.12	83.49	90
Drain244	400	137.12	83.49	90
Drain245	360	123.53	80.29	90
Drain246	309	106.04	75.83	90
Drain247	258	88.55	70.88	90
Drain248	400	137.12	83.49	90
Drain249	396	135.82	83.20	90
Drain250	400	137.12	83.49	90
Drain251	400	137.12	83.49	90
Drain252	80	27.42	45.69	90
Drain253	75	25.71	44.60	90
Drain254	70	24.00	43.47	90
Drain255	130	44.56	54.81	90
Drain256	207	71.06	65.27	90
Drain257	156	53.57	58.72	90
Drain258	105	36.08	50.64	90
Drain259	140	47.99	56.35	90
Drain260	140	47.99	56.35	90
Drain261	400	137.12	83.49	90
Drain262	400	137.12	83.49	90
Drain263	400	137.12	83.49	90
Drain264	315	107.98	76.35	90
Drain265	315	107.98	76.35	90
Drain266	315	107.98	76.35	90
Drain267	315	107.98	76.35	90
Drain268	315	107.98	76.35	90
Drain269	315	107.98	76.35	90
Drain270	315	107.98	76.35	90

Tableau V. 9. Dimensionnement des collecteurs.

Collecteurs	L (m)	Q (m ³ /j)	ϕ calculé (mm)	ϕ normalisé (mm)
Collecteur1	1963	10682.66	403.42	400
Collecteur2	819	5255.67	310.52	315
Collecteur3	311	18349.26	492.55	500

Tableau V. 10. La longueur totale des drains.

Diametre (m)	Longueur (m)
90	52425
110	1007
315	819
400	1963
500	311

V.14. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé au dimensionnement précis du réseau de drainage, en prenant en compte les particularités de notre situation. Le réseau se compose de 270 drains, installés à une profondeur de 1,2 mètre, avec une pente de 0,1 %. Les drains, dont les longueurs varient entre 24 et 400 mètres, sont dotés de diamètres normalisés de 90 mm et 110 mm, adaptés aux exigences hydrauliques. Les dimensions ont été calculées en fonction du débit caractéristique maximal de 8,57 mm/jour, qui représente les conditions les plus exigeantes.

Le réseau inclut également des collecteurs, installés avec une pente de 0,4 %, pour garantir une évacuation efficace des eaux drainées. Les collecteurs, dont les longueurs varient de 311 à 1963 mètres, possèdent des diamètres normalisés de 315 mm à 500 mm. L'espacement entre les drains, fixé à 20 mètres, a été déterminé en utilisant la loi de Hooghoudt, tenant compte des conditions du sol et des besoins du régime permanent. Ces ajustements assurent une performance optimale du système de drainage, permettant de gérer les excès d'eau tout en réduisant les risques d'obstruction et de sédimentation.

CHAPITRE VI

L'entretien du réseau et
L'estimation de devis

CHAPITRE VI : L'entretien du réseau et l'estimation des devis

VI.1. Introduction

Divers problèmes peuvent survenir et affecter la performance des réseaux de drainage. Un aperçu détaillé des principales causes de dysfonctionnement, ainsi que des solutions pour les maintenir en bon état, est indispensable pour garantir leur durabilité. Il est également nécessaire de réaliser une estimation économique du projet.

VI.2. Causes de non fonctionnement des réseaux de drainage

VI.2.1. Facteurs techniques

a. Dimensionnement insuffisant des drains

Bien que les projets soient basés sur des calculs précis, ceux-ci s'appuient sur des modèles théoriques et ne tiennent pas toujours compte des variations réelles du terrain. Les résultats de ces études ne fournissent qu'une base de départ, mais l'ajustement final doit être fait sur le terrain, après essais pratiques. Ces essais permettent d'observer le comportement du réseau sous différentes conditions d'irrigation et d'ajuster des paramètres comme le diamètre, l'espacement et la profondeur des drains. La réalisation de projets pilotes, associée à la conception initiale, permet de simuler ces conditions réelles.

b. Pente insuffisante des drains

La pente du réseau doit être soigneusement étudiée pour assurer un écoulement suffisant de l'eau. Une pente trop faible réduit la vitesse de l'écoulement, ce qui favorise l'accumulation des sédiments. En raison des erreurs humaines ou techniques lors de la pose du réseau, la pente peut être irrégulière. Cela peut résulter d'un mauvais réglage de la machine de drainage ou d'un guidage incorrect par l'opérateur. Il est donc essentiel d'utiliser des systèmes de guidage laser et de contrôler régulièrement la configuration de l'équipement pour éviter ces défauts.

c. Défauts pendant l'exécution des travaux

Des dommages peuvent survenir au système pendant la construction, tels que la casse des tuyaux lors du remblaiement, la rupture des connexions entre les tuyaux, ou les problèmes de raccordement entre le drain et le collecteur. Ces défauts peuvent être causés par une force excessive exercée par les machines.

VI.2.2. Obstructions naturelles

a. Accumulation de matières minérales

Les sols instables, comme ceux composés de sable ou d'argile, sont plus sujets à l'ensablement et à l'envasement. Cela peut se produire peu de temps après la pose des tuyaux et persister dans le temps, réduisant l'efficacité du système. Des filtres ou des couvertures

filtrantes doivent être installés autour des drains pour empêcher les particules fines d'entrer dans les tuyaux. Ces précautions sont particulièrement nécessaires dans les sols à risque d'envasement.

b. Dépôts liés aux réactions chimiques

Dans certains sols, des dépôts minéraux peuvent se former à la suite de réactions chimiques, notamment en présence de fer et de manganèse. Ces dépôts peuvent provoquer des obstructions importantes dans le réseau. Si ces dépôts ne disparaissent pas d'eux-mêmes après quelques années, des mesures spécifiques, comme la réduction de l'aération du système à l'aide de dispositifs spéciaux, peuvent être prises pour limiter la formation de ces dépôts.

VI.3. L'entretien du réseau

L'entretien des réseaux de drainage soit souvent négligé, il est crucial pour prévenir les problèmes et assurer leur durabilité. Un programme d'entretien régulier est indispensable, incluant des inspections fréquentes, notamment aux points critiques tels que les bouches de décharge. Le nettoyage des canalisations enterrées se fait généralement par jets d'eau sous pression. Cependant, cette méthode doit être utilisée avec prudence, car elle peut parfois déstabiliser le sol autour des canalisations.

VI.4. Devis quantitatif et estimatif

Tableau VI. 1. Estimation des coûts des travaux.

Désignation des travaux	Diamètre (mm)	Quantité	Prix unitaire	Prix total (Da)
Drains	90	53286	270	14387240.76
	110	242	325	78495.9175
Collecteur	315	819	2200	1801800
	400	1963	3500	6870500
	500	311	5000	1555000
Draineuse	/	100h	20000	2000000
Regards		3		
Total				26693036.68
TVA 19%				5071676.969
Total TTC				31764713.65

VI.5. Conclusion

Un entretien régulier est fondamental pour prévenir les problèmes et assurer la durabilité du réseau. Des inspections fréquentes, notamment aux points critiques comme les bouches de décharge, et l'utilisation de techniques de nettoyage adaptées, garantissent un bon fonctionnement et la viabilité à long terme du système de drainage.

Conclusion générale

La conception et la mise en place d'un réseau de drainage agricole dans le périmètre de Sedrata, dans la wilaya de Souk Ahras, répondent à des besoins vitaux pour l'agriculture dans cette région. Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent l'importance d'une gestion intégrée des ressources en eau et des sols pour garantir une agriculture durable et productive. Le drainage agricole, en tant qu'outil d'aménagement hydro-agricole, permet de répondre à plusieurs défis : l'élimination de l'excès d'eau dans les sols, la prévention des risques de salinisation, l'amélioration de la structure des sols et la protection contre l'érosion.

L'analyse approfondie des ressources en eau a permis de classer les eaux d'irrigation en fonction de leur qualité, et d'évaluer leur impact potentiel sur la productivité agricole. De plus, l'étude pédologique a révélé que les sols de la région, bien que globalement favorables à l'agriculture, présentent des défis en termes de gestion de l'eau, notamment en raison de leur texture et de leur tendance à la compaction en cas de saturation en eau. Le projet de drainage proposé vise à remédier à ces problèmes en assurant une évacuation efficace de l'excès d'eau, tout en maintenant un équilibre hydrique favorable à la croissance des cultures.

Le dimensionnement du réseau de drainage a été réalisé en tenant compte des spécificités locales, notamment les données pluviométriques, les caractéristiques hydrologiques et les besoins en eau des différentes cultures présentes dans la zone d'étude. En utilisant des méthodes statistiques avancées, telles que les ajustements de pluies à la loi normale et le test de Wilcoxon, l'étude a permis de modéliser les régimes hydriques de la région et de concevoir un système de drainage adapté aux variations climatiques saisonnières. Ce système, en évacuant l'eau excédentaire, permettra non seulement de protéger les sols contre la salinisation et l'érosion, mais aussi de maximiser le rendement des cultures.

La mise en œuvre de ce système de drainage contribuera à la durabilité de l'agriculture dans la région de Sedrata, en réduisant les risques liés aux conditions climatiques imprévisibles et en assurant une gestion optimale des ressources en eau. Les avantages du drainage ne se limitent pas à l'amélioration des rendements agricoles, mais incluent également une meilleure utilisation des sols et une protection accrue contre la dégradation environnementale. Ainsi, le projet présenté dans ce mémoire propose une solution durable aux défis agricoles rencontrés dans cette région.

En conclusion, ce mémoire démontre que la conception d'un système de drainage agricole bien adapté aux conditions locales est essentielle pour le développement agricole à long terme dans des régions semi-arides comme Sedrata. Il met en évidence l'importance de combiner des analyses scientifiques rigoureuses avec une compréhension profonde des réalités locales pour proposer des solutions adaptées et efficaces. L'amélioration continue de la gestion de l'eau dans le cadre de l'irrigation et du drainage est primordiale pour répondre aux défis croissants posés par les changements climatiques et la pression croissante sur les ressources naturelles.

Références bibliographiques

Ahmedchaouch Abdelghani (2013) : Etude d'un périmètre d'irrigation de 160 ha a la commune de Sedrata Ain sfa (w. Souk Ahras), E.N.S.H.

A.N.R.H (1994) : Etude agro-pédologique de la plaine de Ksar sbahi.

A.N.R.H (2002) : Etude pédologique de la zone de Sedrata.

Bestaoui Youcef Ibrahim El Khalil (2023) : Étude de la projection d'un système de drainage agricole du périmètre de la basse Tafna Ysser (Wilaya de Tlemcen), E.N.S.H.

Bahbouh L. et Aziez O. (2021) : Polycopie Cours Drainage et Assainissement Agricole, E.N.S.H.

Bendeddouche Mohammed Ismail (2023) : Etude du périmètre d'irrigation d'Ain houtz (100 Ha) à partir de la step commune de Chetouane Wilaya de Tlemcen, E.N.S.H.

O.N.I.D (2005) : Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre de Ksar sbahi et Sedrata.

Mahamat Saleh Moussa et Sadick Hachir Ali (2016) : Caractérisation hydrogéologique de la région M'Daourouch- Dréa, Wilaya de Souk-Ahras

Annexe 1. Profondeur équivalente "d" pour des conduites enterrées (Vlotman et al.,

TABLE 7.1 Equivalent depth 'd' for commonly used pipe drains ($r_e = 4-10$ cm; $u \approx 0.3$ m)

D(m)	L(m)→																					
	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	80	85	90	100	150	200	250			
0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50															
0.75	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75											
1.00	0.65	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
1.25	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15											
1.50		0.90	0.95	1.10	1.20	1.25	1.30	1.30	1.35	1.35	1.35											
1.75		0.90	1.00	1.20	1.30	1.40	1.45	1.50	1.50	1.55	1.55											
2.00			1.10	1.30	1.40	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.70	1.80	1.80	1.80	1.85	1.85	1.90	1.90	1.90	1.95		
2.25			1.15	1.35	1.50	1.70	1.70	1.75	1.80	1.85	1.85											
2.50				1.40	1.55	1.70	1.80	1.85	1.95	2.00	2.00											
2.75				1.40	1.65	1.75	1.90	2.00	2.05	2.10	2.20											
3.00				1.45	1.65	1.85	1.95	2.10	2.15	2.25	2.30	2.50	2.50	2.55	2.55	2.60	2.70	2.80	2.80	2.85		
3.25				1.50	1.70	1.90	2.05	2.15	2.25	2.35	2.40											
3.50				1.50	1.75	1.95	2.10	2.25	2.35	2.45	2.55											
3.75				1.50	1.80	1.95	2.15	2.30	2.45	2.55	2.65											
4.00					1.80	2.00	2.20	2.35	2.50	2.60	2.70	3.05	3.10	3.10	3.15	3.25	3.45	3.60	3.60	3.65		
4.50					1.85	2.10	2.30	2.50	2.65	2.75	2.85											
5.00					1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.50	3.55	3.60	3.65	3.80	4.10	4.30	4.30	4.45		
5.50						2.20	2.45	2.65	2.85	3.00	3.15											
6.00							2.50	2.70	2.90	3.10	3.25	3.85	3.95	4.00	4.10	4.25	4.70	4.95	5.15	5.15		
7.00							2.55	2.80	3.05	3.25	3.45	4.15	4.25	4.35	4.40	4.60	5.20	5.55	5.80	5.80		
8.00							2.55	2.85	3.15	3.35	3.55	4.40	4.50	4.60	4.70	4.95	5.70	6.15	6.45	6.45		
9.00								2.90	3.20	3.45	3.65	4.55	4.70	4.80	4.95	5.25	6.10	6.65	7.00	7.00		
10.00									3.25	3.50	3.75	4.75	4.90	5.05	5.20	5.45	6.45	7.10	7.55	7.55		
12.50												5.00	5.20	5.40	5.55	5.90	7.20	8.05	8.70	8.70		
15.00													5.20	5.40	5.60	5.80	6.25	7.75	8.85	9.65		
17.50													5.30	5.55	5.75	6.00	6.45	8.20	9.45	10.40		
20.00														5.60	5.85	6.10	6.60	8.55	9.95	11.10		
25.00														5.75	5.95	6.20	6.80	9.00	10.70	12.10		
30.00																		9.25	11.30	12.90		
35.00																		9.45	11.60	13.40		
40.00																			11.80	13.80		
45.00																				12.00	13.80	
50.00																					12.10	14.30
60.00																						14.60
~	0.70	0.95	1.15	1.55	1.90	2.25	2.60	2.90	3.25	3.55	3.90	5.40	5.75	6.00	6.25	6.80	9.55	12.20	14.70	14.70		

Roughly
d = constant for D > 1/2 L

Annexes

Annexe 2. Indice croisé SAR/conductivité.

Indice croisé SAR/conductivité	Indication
C1-S1	- Eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols
C1-S2	- Eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées - le sol doit être bien drainé et lessivé
C1S3	- Le sol doit être bien préparé, bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'adjonction de Gypse
C1-S4	- Eau difficilement utilisable dans les sols peu perméables - Le sol doit être bien préparé, très bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'adjonction de Gypse
C2-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel
C2-S2	- Eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité
C2-S3	- Eau convenant aux plantes qui présentent une certaine tolérance au sel - Sol grossier et bien préparé (bon drainage, bon lessivage, addition de matières organiques) - l'adjonction périodique de Gypse peut-être bénéfique
C2-S4	- Eau ne convient généralement pas pour l'irrigation
C3-S1	- Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - Sol bien aménagé (bon drainage) - contrôle périodique de l'évolution de la salinité
C3-S2	- Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - Sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage - Contrôle périodique de l'évolution de la salinité - l'adjonction périodique de Gypse peut-être bénéfique
C3-S3	- Espèces tolérantes au sel - Sol très perméable et bien drainé
C3-S4	- Eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S1	- Eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - Peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
C4-S2	- Eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - Peut-être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
C4-S3	- Eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S4	- Eau ne convient pas à l'irrigation

Annexe 3. Bulletin FAO d'irrigation et drainage n°33 tableau 18.

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

Annexe 4. Guide général pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation
(Landreau A. et Monition L., 1977).

	Sans problème	Probl èmes	Problèmes sérieux
<u>Toxicité spécifique</u>			
absorption par les racines			
Na+ en mg/l	< 70	70 à 200	> 200
Cl- en mg/l	<150	150 à 350	> 350
B en mg/l	< 0.5	0.5 à 2	2 à 10
absorption par les feuilles			
Na+ en mg/l	< 70	> 70	
Cl- en mg/l	<100	> 100	

Annexe 5. Porosité de drainage en fonction de la structure et la texture du sol (F.A.O., 1960).

Texture	Structure	Porosité de drainage %
Argile Terre grasse avec Argile lourde	Massive, très fine ou fine en colonne	1 - 2 %
Argile Terre grasse Argileuse Argilo- Limeuse Argile Sableuse grasse	Très fine ou fine prismatique	1 - 3 %
Argile Argile Limeuse Argile Sableuse Limon Terre grasse Argilo- sableuse	Fine et moyenne prismatique	3 - 8 %
Terre grasse à argile légère Limon Terre grasse à limon Terre grasse à sable très fin Terre grasse franche	moyenne prismatique	6 - 12 %
Terre franche à sable fin et sable	En bloc grossier subangulaire finement émietté	12 - 18 %
Sable et sable fin	Moyennement émietté engrain dissociés	15 - 22 %
Sable moyen	Moyennement émietté engrain dissociés	22 - 26 %
Sable grossier Gravier	Moyennement émietté engrain dissociés	26 - 36 %

Annexe 6. Série pluviométrique station M'daourouch (1990-2020).

	Trimestre1					Trimestre2					Trimestre3				
	1J	2J	3J	4J	5J	1J	2J	3J	4J	5J	1J	2J	3J	4J	5J
1990-1991	29	56	30	0	0	18.5	36.7	55.1	63.5	92.6	83	110	0	0	0
1991-1992	35.2	51.5	63.2	75.2	0	45.5	77.5	89.7	96.7	0	36	52	53.7	0	0
1992-1993	8.6	14	0	0	0	52	92	1.9	60	65	22	25	0	0	0
1993-1994	10.5	18	21	0	0	22.8	24.8	37.1	46	65.6	24	36	48	0	0
1994-1995	32	49	66	0	76.2	32	38.2	41	72.4	0	15	24	26	19.8	1.8
1995-1996	38	10.9	0	0	0	40	68.9	72.8	0	0	32	40.2	47.2	0	0
1996-1997	44.5	85	125	0	0	50.9	69.1	87.1	132.8	98.6	10	18.1	45	0	0
1997-1998	10	0	0	0	0	22.8	41.4	0	0	0	35	68	99	0	0
1998-1999	22.8	29	48	50.3	0	21	41	53	55.8	66.8	38	71	86	81	99
1999-2000	25.9	0.0	71.4	0.0	0.0	17.0	41.9	36.1	0.0	0.0	4.1	19.1	0.0	32.0	43.9
2000-2001	7.0	0.0	42.2	0.0	78.0	16.0	10.9	67.1	97.3	0.0	8.9	11.2	53.9	26.2	0.0
2001-2002	7.1	5.1	0.0	0.0	0.0	24.9	14.0	18.0	42.4	52.8	3.1	11.2	27.2	18.3	0.0
2002-2003	15.0	0.0	33.2	0.0	44.2	27.9	34.0	49.3	0.0	20.1	7.1	24.1	11.2	31.2	49.0
2003-2004	8.9	27.9	58.9	24.9	0.0	2.0	0.0	8.1	24.9	38.9	3.1	94.0	0.0	0.0	62.2
2004-2005	27.9	9.1	0.0	16.5	62.2	31.0	26.9	70.9	26.9	51.8	13.0	70.0	71.1	27.9	62.2
2005-2006	37.1	9.7	51.1	34.0	40.6	11.9	29.0	43.2	0.0	80.0	9.9	13.5	46.2	0.0	0.0
2006-2007	8.9	5.1	45.0	0.0	0.0	11.9	59.9	31.8	0.0	0.0	23.1	8.1	0.0	52.1	84.1
2007-2008	10.0	16.0	43.7	48.0	0.0	3.1	54.1	29.0	116.8	0.0	6.1	5.1	0.0	0.0	41.9
2008-2009	7.9	17.8	46.7	0.0	0.0	9.9	11.2	55.1	50.0	19.3	15.0	31.0	35.1	0.0	0.0
2009-2010	19.1	9.9	70.1	0.0	0.0	30.0	16.8	23.9	11.2	8.9	18.0	24.9	0.0	0.0	36.1
2010-2011	2.0	27.9	32.6	0.0	0.0	4.1	23.9	52.3	134.1	173.0	5.1	63.0	28.2	0.0	61.2
2011-2012	21.1	22.1	14.5	44.5	0.0	13.0	7.1	5.1	0.0	63.0	4.1	26.9	45.0	40.1	0.0
2012-2013	6.1	18.0	2.3	29.0	0.0	8.9	0.0	20.1	9.9	63.3	7.1	7.4	16.2	5.1	0.0
2013-2014	10.0	6.1	17.8	0.0	0.0	25.9	38.1	21.8	31.5	0.0	4.1	6.1	67.3	40.1	0.0
2014-2015	13.0	16.3	20.3	0.0	98.8	4.1	51.1	0.0	88.9	0.0	14.0	13.2	8.6	66.0	0.0
2015-2016	13.0	40.0	58.9	60.2	15.8	5.1	15.2	23.9	0.0	0.0	24.0	41.0	57.0	65.5	72.3
2016-2017	3.5	26.0	32.3	34.0	125.5	7.1	27.9	36.8	91.9	0.0	2.0	20.1	0.0	0.0	46.0
2017-2018	2.0	27.9	0.0	3.8	0.0	19.1	6.1	27.9	0.0	126.2	10.0	23.9	3.8	101.6	0.0
2018-2019	7.9	38.1	5.3	0.0	105.2	9.9	4.1	12.2	23.9	46.0	5.1	35.8	40.9	70.6	62.0
2019-2020	3.1	4.1	0.0	0.0	104.9	7.9	40.1	37.1	49.0	40.1	9.9	36.8	34.0	14.5	0.0