



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**ETUDE DE DRAINAGE D'UN PERIMETRE D'AIN
HOUTZ (100 Ha) (W. TLEMCEN)**

Présenté par :
ATTAR Riadh

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Mr. KAHLERRAS Djilali	M.C.A	Président
Mr. BENKACI Ali Tarik	M.C.A	Examineur
Mr. BOUZIANE Omar	M..AA	Examineur
Mr. Dernouni Youcef	M.A.A	Promoteur

Session: Juillet 2025

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma famille et à mes parents, pour leur amour, leur patience et leur soutien constant tout au long de mon parcours. Leur confiance m'a donné la force d'avancer et de croire en moi. À tous ceux qui me sont chers, merci pour votre présence, vos encouragements et vos mots réconfortants qui m'ont accompagné jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à remercier **Dieu** tout-puissant, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sa présence m'a accompagné et soutenu tout au long de ce parcours.

J'exprime toute ma reconnaissance à **ma famille**, pour son amour, son soutien constant et ses encouragements précieux, qui ont été une source essentielle de motivation dans les moments difficiles comme dans les réussites.

Je remercie sincèrement mon encadrant, **Monsieur DERNOUNI Youcef**, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son accompagnement rigoureux. Son engagement et sa bienveillance ont été déterminants dans l'avancement et la qualité de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants et au personnel administratif de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (**ENSH**) de Blida, pour leur encadrement, leur soutien et la richesse des connaissances transmises.

Je tiens également à remercier mes amis, pour leur présence, leur bonne humeur, et leur soutien tout au long de cette expérience. Leur compagnie m'a apporté du réconfort dans les moments difficiles et a rendu ce parcours bien plus agréable.

Enfin, j'adresse toute ma gratitude et mon respect aux membres du jury, pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail, ainsi que pour leurs remarques et conseils enrichissants.

ملخص

يركز هذا البحث على تحسين إدارة المياه والتربة في المحيط الزراعي بعين الحوت، الواقعة في ولاية تلمسان. الهدف الرئيسي هو تصميم شبكة صرف زراعي فعالة لتحسين الإنتاجية الزراعية، والحد من ملوحة التربة، والوقاية من الفيضانات المؤقتة. لتحقيق ذلك، تم إجراء دراسة شاملة للمناخ المحلي، والموارد المائية، وخصائص التربة. كما تم تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الرئيسية، وتحديد أبعاد شبكة الصرف باستخدام طرق هيدروليكية مناسبة. وقد تم أيضاً أخذ مياه الصرف الصحي المعالجة بعين الاعتبار كمصدر إضافي للري. أظهرت النتائج أن إنشاء شبكة صرف جيدة التصميم ضروري لضمان زراعة مستدامة في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: الصرف الزراعي، الاحتياجات المائية، الموارد المائية، ملوحة التربة، عين الحوت

Résumé

Ce mémoire traite de l'optimisation de la gestion de l'eau et du sol dans le périmètre agricole d'Ain El Hout, situé dans la wilaya de Tlemcen. L'objectif principal est de concevoir un réseau de drainage adapté afin d'améliorer la productivité agricole, limiter la salinisation et prévenir les inondations temporaires. Pour cela, une étude approfondie du climat, des ressources en eau et des caractéristiques pédologiques a été menée. Les besoins en eau des principales cultures ont été estimés, et un système de drainage a été dimensionné en utilisant des méthodes hydrauliques appropriées. Les eaux usées traitées ont également été prises en compte comme source d'irrigation complémentaire. Les résultats montrent que la mise en place d'un réseau de drainage bien conçu est essentielle pour garantir une agriculture durable dans la région.

Mots-clés : Drainage agricole, besoins en eau, ressources hydriques, salinisation, Ain El Houtz.

Abstract (English)

This thesis focuses on optimizing water and soil management in the agricultural area of Ain El Hout, located in the wilaya of Tlemcen. The main objective is to design an effective drainage network to enhance agricultural productivity, reduce soil salinization, and prevent temporary flooding. To achieve this, a comprehensive study of the local climate, water resources, and soil characteristics was carried out. The water requirements for key crops were estimated, and the drainage system was dimensioned using appropriate hydraulic methods. Treated wastewater was also considered as an alternative irrigation source. The results demonstrate that implementing a well-designed drainage system is crucial for ensuring sustainable agriculture in the region.

Keywords: Agricultural drainage, water needs, water resources, salinization, Ain El Hout.

Sommaire

I. CHAPITRE I :	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 Cadre géographique	2
I.2.1 Situation géographique générale	2
I.2.2 Situation et localisation de la zone d'étude.....	2
I.3 Etude géologique.....	3
I.3.1 Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen	3
I.4 Conclusion	9
II. CHAPITRE II : ÉTUDE CLIMATIQUE DE LA ZONE	10
II.1 Introduction.....	10
II.2 Étude du climat	10
II.3 Étude des paramètres climatologiques.....	10
II.3.1 Les précipitations.....	10
II.3.2 Température	12
II.3.3 Le vent	14
II.3.4 Humidité	15
II.3.5 La gelée.....	16
II.4 Les indices climatiques.....	17
II.4.1 Indice d'aridité annuel de De Martonne	17
II.4.2 Indice d'aridité mensuel de De Martonne.....	18
II.4.3 Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER.....	19
II.4.4 Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen.....	20
II.5 Conclusion	21
III. CHAPITRE III : RESSOURCES EN EAU ET EN SOL	21

III.1	Introduction	21
III.2	Ressources en eau	21
III.2.1	Ressources en eau potentielles	21
III.2.2	Effets des Sels et du Sodium sur les Plantes et les Sols	29
III.2.3	Aperçu hydrogéologique du périmètre d'Ain Houtz	31
III.2.4	Agriculture	31
III.3	Ressources en sol	32
III.3.1	Classification des sols	32
III.3.2	Étude pédologique	33
III.4	Étude Hydrologique	35
III.4.1	Choix de la Station Pluviométrique	35
III.4.2	Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique	36
III.4.3	Ajustement statistique des pluies	38
III.5	Conclusion	43
IV.	CHAPITRE IV : EVALUATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES	44
IV.1	Introduction	44
IV.2	Besoins en eau des cultures	44
IV.2.1	Évaluation des besoins en eau d'une culture	44
IV.2.2	Calcul de l'évapotranspiration	45
IV.3	Calcul de la Pluie Efficace	47
IV.4	Calcul de la réserve en eau du sol	47
IV.5	Choix des cultures	48
IV.5.1	Occupation des sols	48
IV.5.2	Autres notions	48
IV.6	Estimation des coefficients culturaux (Kc)	49

IV.7	Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures	50
IV.8	Estimation des besoins en eau des cultures choisies	50
IV.8.1	Estimation des besoins en eau des céréales.....	50
IV.8.2	Estimation des besoins en eau des cultures fourragères	51
IV.8.3	Estimation des besoins en eau des maraîchages.....	52
IV.8.4	Estimation des besoins en eau des arboricultures.....	53
IV.9	Calcul en eau pour l'assolement.....	54
IV.10	Lessivage des sols.....	55
IV.11	Conclusion.....	56
V.	CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DU DRAINAGE	57
V.1	Introduction.....	57
V.2	Objectifs du drainage agricole	57
V.2.1	Prévention des inondations temporaires	57
V.2.2	Prévention de la salinisation.....	57
V.2.3	Amélioration de la structure du sol.....	57
V.2.4	Protection contre l'érosion	57
V.3	Le réseau de drainage et ses composantes	57
V.3.1	Plan global d'un système de drainage.....	58
V.3.2	Éléments clés du système de drainage	58
V.3.3	Modes de drainage.....	59
V.4	Conception d'un système de drainage	60
V.5	Avantages du drainage.....	60
V.5.1	Amélioration des rendements	60
V.5.2	Réduction des risques de maladies	60
V.5.3	Augmentation de la durée de vie des terres	61
V.6	Calcul du débit caractéristique	61

V.6.1	Cas où l'excès provient des pluies.....	61
c.	Le débit caractéristique (qc) en régime permanent sans stockage	64
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	67
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
VI.	CHAPITRE VI : L'ENTRETIEN DU RESEAU ET L'ESTIMATION	
DES DEVIS		74
VI.1.	Introduction.....	74
VI.2.	Causes de non fonctionnement des réseaux de drainage.....	74
VI.2.1.	Facteurs techniques.....	74
VI.2.2.	Obstructions naturelles.....	74
VI.3.	L'entretien du réseau	75
VI.4.	Devis quantitatif et estimatif	75
VI.5.	Conclusion	75

Liste des figures

Figure I-1 : situation géographique de la zone d'étude, wilaya de Tlemcen (2023).	2
Figure I-2 : Situation géographique du village d'Ain El Houtz (Google Maps 2023).....	3
Figure I-3: Log litho-stratigraphique synthétique de la région étudiée	4
Figure I-4: Coupe schématique de plateau d'Hennaya (Bensaoula F., 2006).....	7
Figure I-5 : Présentation des conglomérats de base (Bensaoula F., 2006).....	7
Figure I-6 : Disposition observée au niveau de la source d'Ain Hallilifa (Bensaoula F., 2006).....	8
Figure II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya).....	12
Figure II-2 : Répartition des températures moyenne Mensuelle de la station de Hennaya	13
Figure II-3 : Courbes les températures moyennes mensuelles.	14
Figure II-4 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).....	15
Figure II-5 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).....	16
Figure II-6 : Répartition des Moyennes mensuelles des gelés de la station de Tlemcen (2017).	16
Figure II-7 : Abaque d'aridité annuel de De Martonne	18
Figure II-8 : Climatogramme d'EMBERGER.	20
Figure II-9 : Climatogramme de Gaussen.....	20
Figure III-1 : Positions des sources naturelles d'eau dans le périmètre avec une photo satellite prise de Google Earth (Septembre 2023).....	22
Figure III-2: diagramme de classification des eaux d'irrigation (selon USSSL). 30	
Figure III-3 : Diagramme des textures.....	32
Figure III-4: Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN	40
Figure III-5: Teste de khi deux obtenus par le logiciel HYFRAN	41
Figure III-6 : L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN.	42

Figure V-1 : Schéma du réseau de drainage (wikhydro.developpement-durable.gouv.fr)	58
Figure V-2 : Les types de réseaux de drainage	59
Figure V-3 : Drainage par fossés.....	59
Figure V-4 : Les graphiques (hauteur – durée – fréquence pour trimestre 1).....	63
Figure V-5 : Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 2.	63
Figure V-6 : Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 3.	64

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya) (2017).	11
Tableau II-2 : Répartition saisonnières des précipitation (mm) (2017).....	12
Tableau II-3 : Températures moyennes mensuelles Station Tlemcen (2017).....	13
Tableau II-4 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).	14
Tableau II-5 : Répartition de l'humidité moyenne en % de la station de Tlemcen (2017).....	15
Tableau II-6 : Moyennes mensuelles des gelés de la station de Tlemcen (2017).	16
Tableau II-7 : Classification du climat selon la classification de DE MARTONNE	17
Tableau II-8 : Indice d'aridité de Martonne concernant la station de sekkak.	17
Tableau II-9 : Résultats des indices d'aridité mensuels de Martonne	19
Tableau II-10 : Indice d'Emberger.	19
Tableau III-1 : Valeurs de température et du débit de la source d'Ain Houtz	23
Tableau III-2 : Mesure de température et du débit de la source d'Ain Ancor	24
Tableau III-3 : : Volume d'eau épurée a la station d'Ain Houtz.....	25
Tableau III-4 : Les normes d'OMS pour les eaux épurées.....	26
Tableau III-5 : Les résultats des analyses physico-chimiques à la sortie de la Step d'Ain El houtz effectué par ANRH D'Alger	26
Tableau III-6 : Eléments chimiques pour le calcul de SAR.....	29
Tableau III-7 : Classification du sol.....	34
Tableau III-8 : Résultats d'analyse pédologique.....	34
Tableau III-9: La série des Précipitation moyennes mensuelles (1978-2017)....	35
Tableau III-10: la pluie en fonction de la période de retour.	42
Tableau III-11: Calcul de P80%.....	43
Tableau IV-1 : Evapotranspiration de référence ET0 calculée par le logiciel COPWAT.....	46
Tableau IV-2 : Précipitations efficaces de la zone d'étude.....	47
Tableau IV-3 : Occupation des sols.....	48
Tableau IV-4 : Les Cultures proposées.....	48
Tableau IV-5 : Profondeur utile (Z) des cultures en mètres.	49

Tableau IV-6 : Coefficients culturaux des cultures (Kc).....	49
Tableau IV-7 : Calcul des besoins en eau pour le blé.....	50
Tableau IV-8 : Calcul des besoins en eau pour l'orge grain.....	50
Tableau IV-9 : Calcul des besoins en eau de l'orge vert.	51
Tableau IV-10 : Calcul des besoins en eau de la luzerne	51
Tableau IV-11 : Calcul des besoins en eau Pomme de terre de saison.....	52
Tableau IV-12 : Calcul des besoins en eau de la tomate	52
Tableau IV-13 : Calcul des besoins en eau pour la vigne.....	53
Tableau IV-14 : Calcul des besoins en eau pour les Agrumes.....	53
Tableau IV-15 : Calcul des besoins en eau pour l'olivier.....	54
Tableau IV-16 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 1	54
Tableau IV-17 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2.	55
Tableau IV-18 : Dose de lessivage	56
Tableau V-1 Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 1 (sep-oct-nov).	62
Tableau V-2 Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 2 (dec-jan-fev).	62
Tableau V-3 : Les résultats de l'ajustement pour Trimestre 3 (mar-avr-mai)	62
Tableau V-4 : Débit caractéristique En régime permanent sans tenir compte du 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.	72
Tableau V-10 : La longueur totale des drains.	72

Liste des planches :

Planche 1:Plan D'occupation du sol

Planche 2 :plan de situation

Planche 3 : plan du réseau projeté

Planche 4 : Profil en long

Introduction Générale

L'agriculture est un secteur clé pour le développement économique et social, et la gestion efficace des ressources en eau et en sol est essentielle pour garantir une production agricole durable. Dans ce contexte, l'aménagement d'un réseau de drainage agricole revêt une importance capitale afin de prévenir l'engorgement des sols, limiter la salinisation et optimiser l'utilisation des terres cultivables.

Ce mémoire explore cette problématique en se concentrant sur la région d'Ain El Hout, située dans la wilaya de Tlemcen. L'objectif est de comprendre comment optimiser l'utilisation des ressources en eau et en sol pour favoriser une agriculture durable. Pour cela, nous allons analyser en détail le climat, les caractéristiques des sols et les besoins en eau des cultures afin de proposer des solutions adaptées.

Nous commencerons par une étude du cadre géographique et climatique de la zone afin de cerner les conditions naturelles qui influencent la gestion de l'eau. Ensuite, nous nous intéresserons aux ressources en eau disponibles, à leur qualité et aux différentes sources d'approvisionnement possibles. Nous verrons également comment calculer les besoins en eau des cultures et comment optimiser leur irrigation. Enfin, nous nous attarderons sur la mise en place d'un réseau de drainage efficace pour prévenir les problèmes d'inondation et de salinisation des sols.

Chapitre I : **Présentation de la** **zone d'étude**

I. Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est de procéder à une évaluation complète des conditions naturelles de la zone d'étude, en tenant compte de ses aspects géographiques, géologiques, climatologiques 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 Tlemcen est située sur le littoral Nord-ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 120 km. C'est une wilaya frontalière avec le Maroc, avec une superficie de 9 017,69 km². Le Chef-lieu de la wilaya est situé à 432 km à l'Ouest de la capitale, Alger.

I.2.1 Situation géographique générale

La wilaya est située à 432 km à l'Ouest de la capitale, Alger. La wilaya se situe à l'extrémité nord-ouest du pays et occupe l'Oranie occidentale, elle s'étend du littoral au Nord à la steppe au Sud. Elle est délimitée :

- Au nord, par la Méditerranée.
- À l'ouest, par le Maroc.
- Au sud, par la wilaya de Naâma.
- À l'est, par les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Aïn Témouchent.

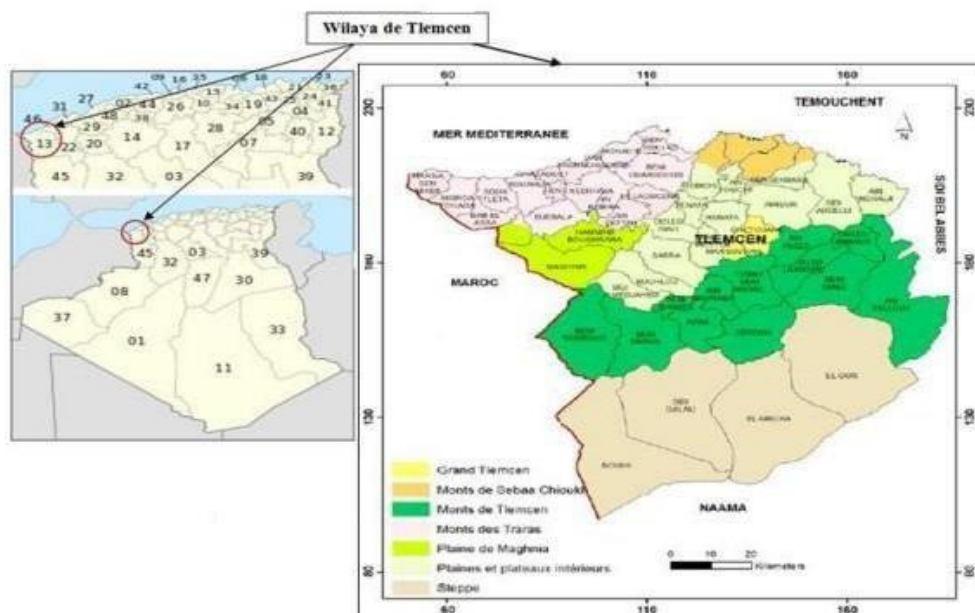


Figure I-1 : situation géographique de la zone d'étude, wilaya de Tlemcen (2023).

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

Le village d'Ain El Houtz, rattaché à la commune de Chetouane, se situe dans la zone nord-est du groupement de Tlemcen. Il a vu le jour à l'occasion du découpage administratif de 1985. Ce village de caractère, implanté à environ huit kilomètres au nord de la ville de Tlemcen, est constitué de deux noyaux urbains distincts. Le premier,

établi à l'est près des tombeaux de Sainte Éponyne, est organisé autour d'une source vitale assurant l'approvisionnement en eau de la population. Le second, nommé Tralimet, se trouve un peu plus à l'ouest et est majoritairement occupé par des travailleurs du secteur agricole. Le territoire du village est délimité comme suit :

- Au sud et à l'ouest par la commune de Tlemcen ;
- À l'est par la commune de Chetouane ;
- Et au nord par la commune de Hennaya.

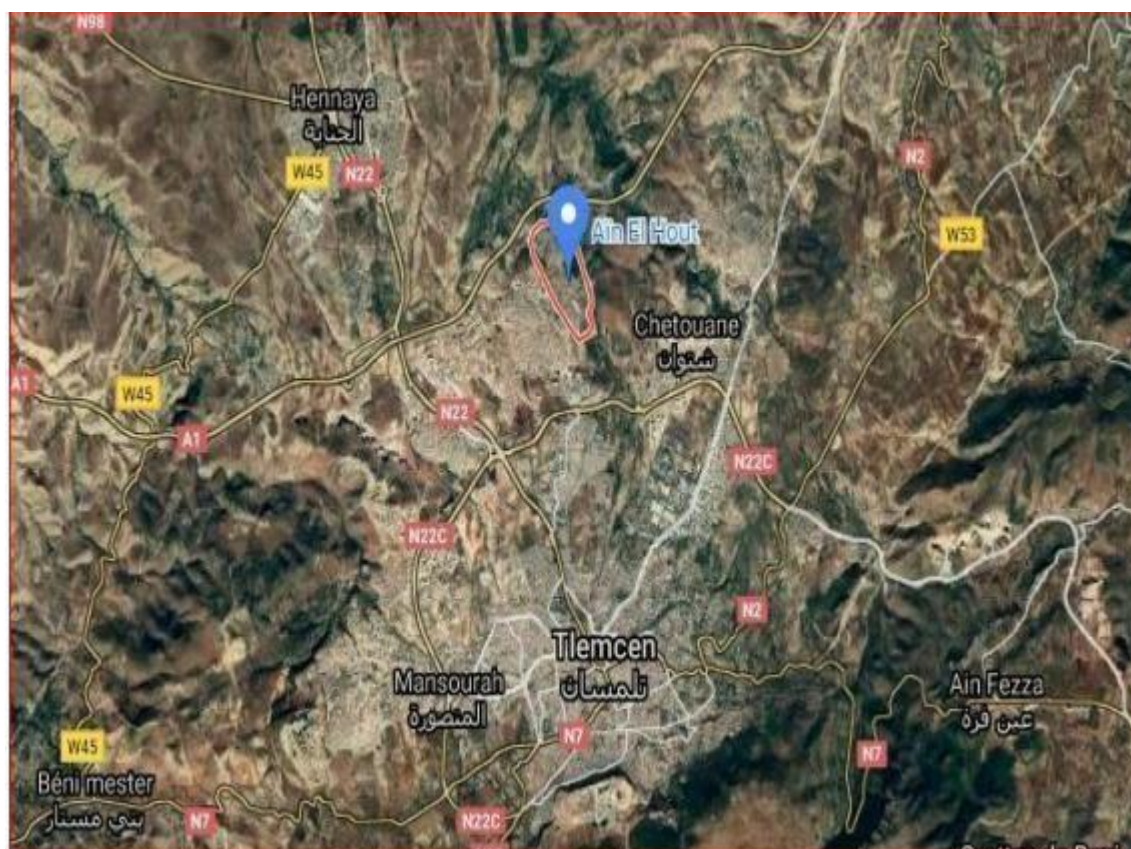


Figure I-2 : Situation géographique du village d'Ain El Houtz (Google Maps 2023).

I.3 Etude géologique :

La géologie, par essence, est la science qui se penche sur l'analyse de la surface terrestre, incluant ses éléments constitutifs, son évolution au cours du temps et les processus qui l'ont façonnée.

Ce type d'étude est fondamental pour mieux appréhender les risques environnementaux, exploiter durablement les ressources naturelles, préserver les milieux naturels et orienter les décisions dans de nombreux secteurs d'activité.

I.3.1 Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen

La séquence litho-stratigraphique présentée dans la figure ci-dessous offre une vision claire des différentes unités géologiques qui composent la région des Monts de Tlemcen. Les calcaires et dolomies datés du Kimméridgien et du Tithonien constituent la majeure partie des plateaux supérieurs, représentant plus de 80 % de leur structure. Toutefois, ces formations sont recouvertes par d'épais dépôts sédimentaires tertiaires,

tant au nord qu'au sud de la zone. Dans la partie méridionale, on distingue des dépôts fluviaux datant de l'Éocène, tandis qu'au nord, la présence de marnes d'âge miocène ainsi que de dépôts continentaux du Plio-Quaternaire est notable.

Il convient également de souligner que ces formations géologiques présentent des variations latérales importantes dans leur faciès, ainsi qu'une épaisseur variable, accompagnées d'une dolomitisation inégale à travers la région des Monts de Tlemcen. Cette description s'appuie principalement sur les travaux de Benest M. (1985), complétés par nos propres observations géologiques de terrain.

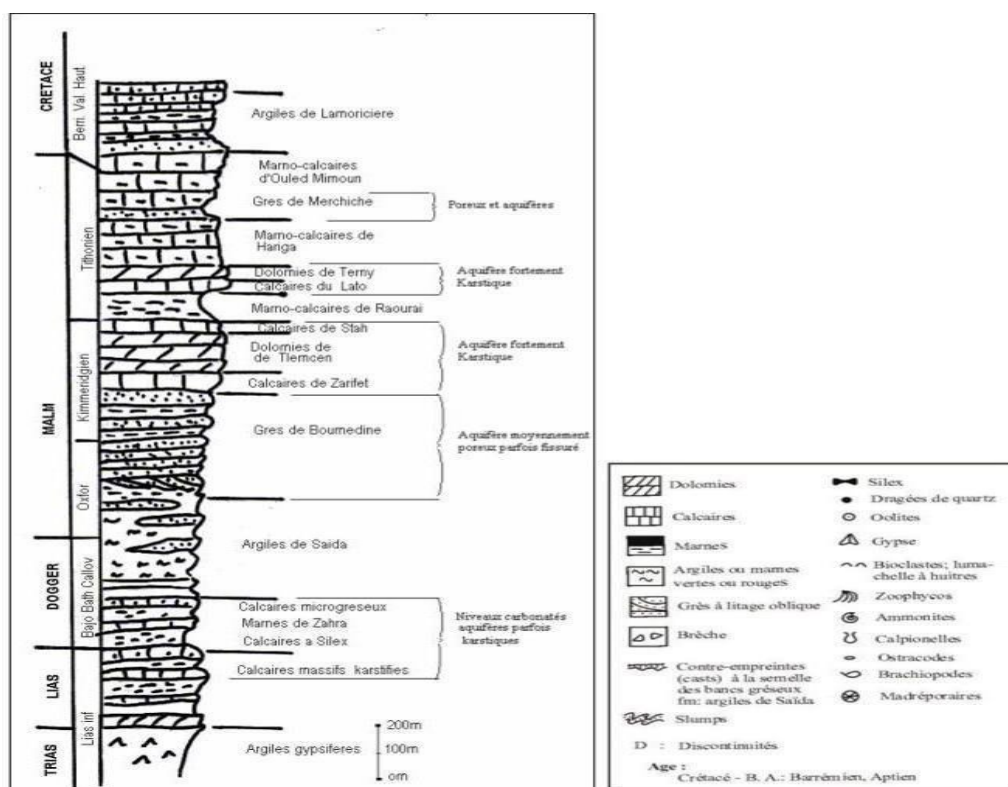


Figure I-3: Log litho-stratigraphique synthétique de la région

I.3.1.1 Le secondaire

La majeure partie des formations géologiques secondaires de la région est représentée par le Jurassique supérieur, qui se subdivise en plusieurs ensembles distincts :

a) Grès de Boumediene :

Ces grès possèdent une faible capacité naturelle à conduire l'eau. Cependant, ils comprennent des bancs épais de grès insérés au sein de marnes, ce qui les rend intéressants en raison de la présence de fissures (diaclasses) augmentant leur perméabilité. Par ailleurs, les réseaux de failles qui les parcourent peuvent générer des sources d'eau importantes, même si l'alimentation principale provient en réalité des bassins calcaires dolomitiques, les grès jouant essentiellement un rôle de filtre [Bouanani, 2004].

b) Dolomies de Tlemcen :

Ces dolomies sont largement répandues dans le groupement, avec des affleurements remarquables au Djebel Tefatisset, à Ain El Houtz et à Boudjlida. Elles se distinguent par la présence de cavités remplies de calcite très dure. L'épaisseur de cette formation peut atteindre près de 300 mètres, ce qui illustre son importance géologique dans la région [Bouanani, 2004].

c) Marno-calcaires de Raourai :

Cette unité lithologique est caractérisée par une alternance de marnes aux teintes allant du gris verdâtre au blanchâtre et de calcaires marneux durs. La formation est majoritairement calcaire, avec une épaisseur moyenne d'environ 40 mètres. Elle est particulièrement développée au Djebel Tefatisset, à la limite ouest du groupement, notamment dans la zone ZHUN Champ Tir, ainsi qu'au Djebel Ain El Houtz et à El Hadid, situés au nord de Chetouane [Bouanani, 2004].

1.3.1.2 Le tertiaire :

A. L'éocène

À Ain Berkouk, la formation géologique n'apparaît qu'à travers une surface très réduite. Elle est composée de grès alternant avec des lits de poudingues, visibles dans la partie inférieure de la vallée de l'Oued Isser, non loin de sa confluence avec l'Oued Tafna. Cette série, dont l'épaisseur est estimée entre 100 et 150 mètres, remonte à l'Éocène supérieur [Medane & Bekadi, 2004].

B. Le Moicene

Les dépôts marins du Miocène se rencontrent presque exclusivement sur le versant nord des monts de Tlemcen, où plusieurs formations distinctes peuvent être identifiées, reflétant des phases variées de sédimentation marine. On peut distinguer :

a. Le cartésien :

Le Miocène marin se développe presque exclusivement sur le versant nord des monts de Tlemcen. Cette zone constitue le principal secteur d'affleurement de ces dépôts marins, qui se subdivisent en plusieurs formations distinctes. Chaque formation représente une étape particulière de la sédimentation marine, illustrant différentes conditions environnementales et évolutions géologiques survenues au cours du Miocène.

b. L'Helvetien :

Cette unité est dominée par une épaisse couche de marnes, dont la couleur varie du gris au bleuâtre, pouvant virer à l'ocre sous l'effet de l'altération. On y trouve également plusieurs bancs de grès jaunes, souvent décamétriques, qui se multiplient vers la partie supérieure. Cette formation est bien visible dans la vallée, notamment sur la rive droite de l'Oued Sikkak, où son épaisseur atteint environ 100 mètres (Medane & Bekadi, 2004).

c. Le Tortonien :

Cette période est caractérisée par des grès jaunes fissurés, parfois accompagnés de fines couches marneuses. Ces grès sont assez compacts, mais leurs limites sont parfois floues. Par endroits, le Tortonien présente des variations lithologiques, avec la présence d'argiles plus ou moins sableuses, contribuant à la complexité géologique de Tlemcen. Ces argiles, en particulier les smectites réputées pour leur gonflement, sont responsables de nombreux désordres géotechniques en ville, liés aux phénomènes de retrait et de gonflement du sol, qui se sont accentués durant les sécheresses récentes. L'épaisseur de cette formation est comprise entre 20 et 30 mètres [Bouanani, 2004].

d. Pliocène (conglomérats de la plaine d'Hennaya) :

Dans les secteurs de résurgence de la nappe d'Hennaya — tels que Aïn Boukoura, Aïn Ouahab, Aïn Halilifa et Aïn El Kahla — une formation continue de conglomérats s'étend du nord de la ville d'Hennaya jusqu'à Aïn Halilifa. Ces conglomérats sont constitués de poudingues polygéniques, caractérisés par la diversité de la taille des galets (hétérométrie), un fort degré de consolidation, des éléments majoritairement dolomitiques et calcaires, liés par un ciment calcaire.

En ce qui concerne leur origine chronologique, deux hypothèses principales sont évoquées :

- Ils pourraient être immédiatement postérieurs aux grès tortoniens, ce qui suggérerait qu'ils se sont formés à la fin du Miocène lors de la phase régressive.
- Une autre possibilité est qu'ils datent du Pliocène.
- La première suggère qu'ils se seraient déposés juste après les grès tortoniens, dans un contexte régressif de la fin du Miocène.
- La seconde les attribue au Pliocène.

Ces poudingues, qui recouvrent les formations tortoniennes et en réutilisent certains matériaux, atteignent en moyenne 7 mètres d'épaisseur, comme en témoignent les résultats des forages réalisés par Medane & Bekadi (2004).

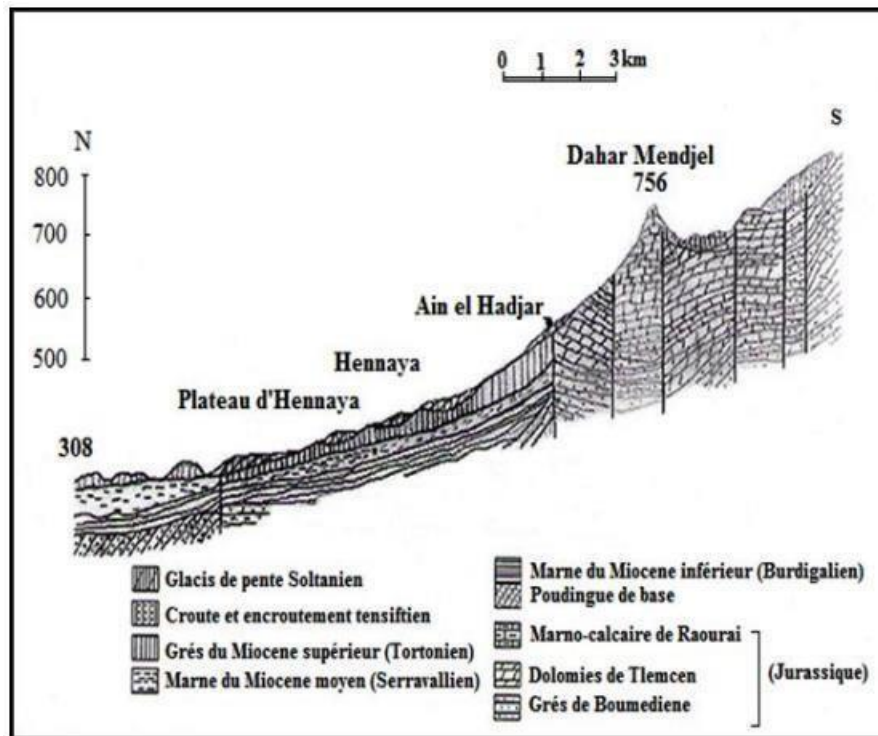


Figure I-4: Coupe schématique de plateau d'Hennaya (Bensaoula F., 2006).

La figure 5 illustre clairement les conglomérats décrits, tandis que la figure 6 présente l'organisation géologique observée au niveau de la source d'Aïn Halilifa.

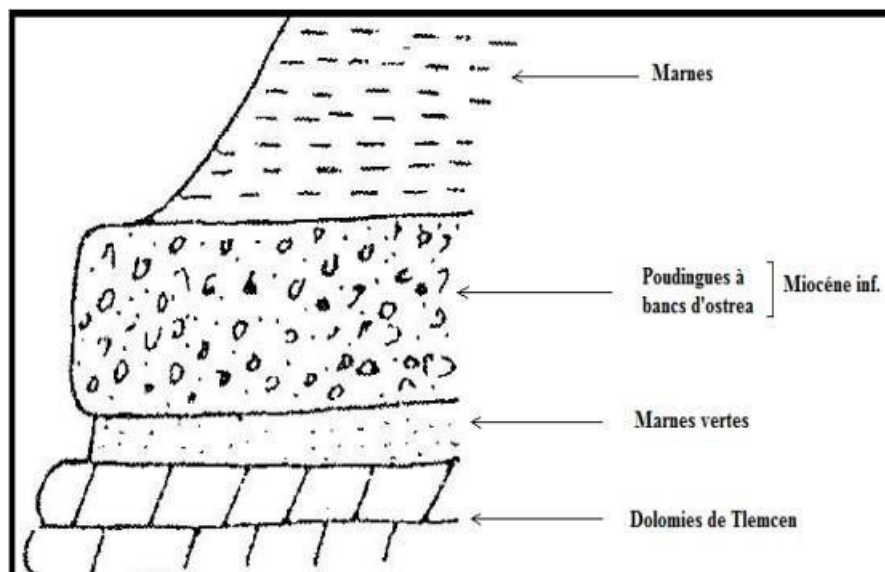


Figure I-5 : Présentation des conglomérats de base (Bensaoula F., 2006).

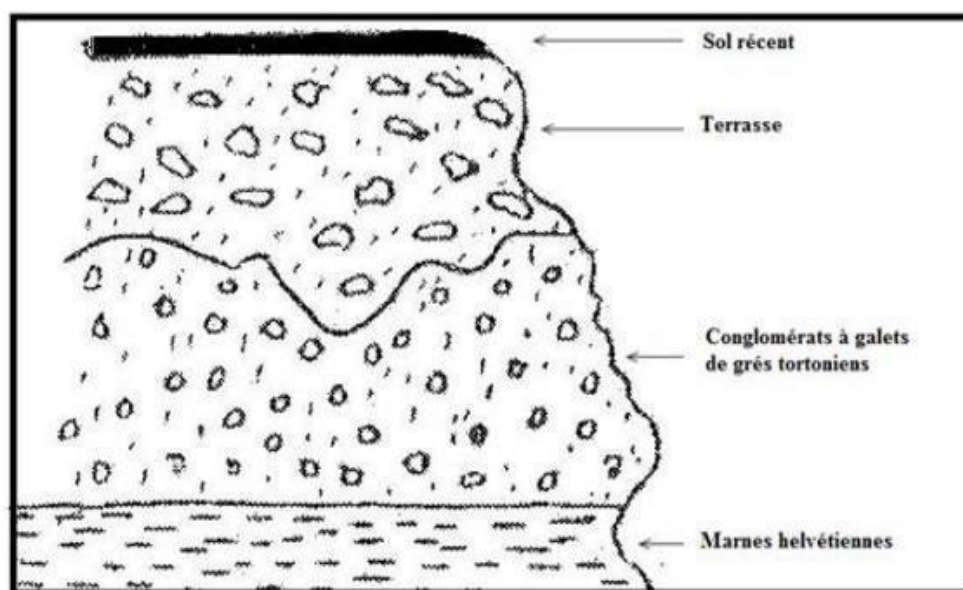


Figure I-6 : Disposition observée au niveau de la source d'Ain Hallilifa (Bensaoula F., 2006).

Une coupe réalisée à l'emplacement d'Aïn Ouahab révèle la séquence géologique suivante :

Une analyse stratigraphique effectuée à Aïn Ouahab met en lumière l'enchaînement suivant :

- Des conglomérats apparaissent à la base du lit de l'Oued, directement superposés aux marnes de l'Helvétien.
- Ces conglomérats incorporent des fragments de grès jaune, attribuables au Tortonien.
- Sur la rive droite de l'Oued, une croûte épaisse, solidement indurée et présentant des caractéristiques similaires aux formations moulouyennes, surmonte les poudingues.

Ces éléments suggèrent que les poudingues présents dans la plaine d'Hennaya ne sont vraisemblablement pas issus du Quaternaire, comme le confirment les conclusions de Medane & Bekadi (2004).

I.3.1.3 Le Quaternaire

La période quaternaire se caractérise uniquement par des formations continentales dont la datation précise demeure complexe. Dans la partie septentrionale des Monts de Tlemcen, les dépôts alluvionnaires sont peu étendus, leur épaisseur ne dépassant que rarement 100 mètres. Ces accumulations sont principalement composées de marnes sableuses et d'argiles à faible perméabilité. Une analyse détaillée de ces sédiments continentaux a été menée par Guardia en 1975, offrant un aperçu approfondi de leur nature et de leur répartition.

- **Le complexe de piémont présente une diversité d'éléments géologiques distincts, chacun témoignant de processus sédimentaires et morphologiques spécifiques :**

- **Éboulis de piémont** : Situés en bordure des massifs secondaires, ces accumulations de débris rocheux sont souvent recouvertes par une mince croûte. Cette dernière, bien que relativement fine, contribue à la stabilisation de ces éboulis, comme le soulignent Medane & Bekadi (2004).
- **Travertins** : Ces dépôts calcaires massifs se développent en terrasses épaisses, donnant naissance à des falaises remarquables, notamment sur le plateau de Lalla Setti. Leur épaisseur peut excéder 60 mètres, et ils résultent principalement de la dissolution interne des massifs calcaires dolomitiques. Ces formations témoignent ainsi de l'importance hydrologique des résurgences dans la région.
- **Carapace calcaire** : Cette couche calcaire qui recouvre les formations du Miocène forme la surface supérieure et horizontale des plateaux. Selon Guardia (1975) et les observations de Medane & Bekadi (2004), cette carapace est particulièrement développée dans la plaine d'Hennaya ainsi qu'à l'est de la région des Ouled Alaa, où elle atteint parfois une épaisseur d'environ 10 mètres.
- **Croûte calcaire** : Cette couche d'encroûtement se caractérise par une teinte claire et une structure lamellaire. Présente de façon notable dans la plaine d'Hennaya, elle recouvre partiellement les grès tortoniens, mais reste mince, avec une épaisseur d'environ un mètre.
- **Glacis de pente soltanien** : Composés principalement de formations limono-argileuses, ces glacis représentent des surfaces d'érosion relativement planes. Les parties des marnes non altérées par l'érosion récente sont recouvertes de vastes nappes de sols rouges, en liaison avec les terrasses soltaniennes, comme l'indiquent les travaux de Medane & Bekadi (2004).
- **Terrasses soltaniennes** : Ces lambeaux de terrasses sont situés à une altitude de 10 à 12 mètres au-dessus des alluvions récentes du lit majeur de l'Oued Sikkak. Elles sont essentiellement constituées de limons et d'argiles à coloration brique, et ne présentent pas de croûte superficielle.
- **Alluvions anciennes et encroûtements carbonatés** : Dans les vallées du groupement, ainsi que dans les dépôts de ruissellement, on trouve des matériaux plus grossiers, comprenant des cailloux mélangés à des sédiments limoneux, souvent consolidés par des encroûtements carbonatés.

I.4 Conclusion

En conclusion de ce chapitre consacré à l'analyse des conditions naturelles de la région d'Ain El Houtz, nous avons entrepris une évaluation approfondie de l'environnement géographique et géologique de cette zone. Cette évaluation revêt une importance cruciale dans la planification et la mise en œuvre du projet agricole à Ain El Houtz

Chapitre II : Étude **climatique de la** **zone**

II. Chapitre II : Étude climatique de la zone

II.1 Introduction

La climatologie représente une branche scientifique majeure consacrée à l'analyse des phénomènes atmosphériques dans leur régularité, en vue de mettre en évidence les principes et processus qui les gouvernent. Cette discipline s'attache à l'étude des variations climatiques selon les dimensions spatiale, saisonnière et temporelle, en prenant en compte des indicateurs essentiels tels que la température, les régimes de vent, ainsi que la distribution et l'intensité des précipitations. Il est important de souligner que la variabilité constitue une propriété intrinsèque du climat, se traduisant par des fluctuations naturelles sur différentes périodes, ce qui peut rendre l'identification de tendances climatiques plus complexe.

Ce chapitre vise à caractériser avec rigueur le climat dominant de la zone d'étude à partir d'un corpus étendu de données recueillies auprès de la station météorologique de Tlemcen. Ces données, issues d'une série chronologique d'observations pluriannuelles, ont permis une lecture fine des conditions climatiques locales. L'analyse vise à dégager les traits majeurs du climat régional, à identifier les spécificités saisonnières, les évolutions observables dans le temps, ainsi que les phénomènes météorologiques récurrents. Cette approche constitue un fondement essentiel à la compréhension des interactions climat-environnement dans la région et permet de mieux évaluer les effets potentiels des dynamiques climatiques futures.

II.2 Étude du climat

L'étude du climat implique une observation approfondie et prolongée des phénomènes météorologiques dans une région spécifique, afin d'en dégager les configurations générales, les variations saisonnières et les évolutions à long terme. Cette analyse s'inscrit dans un cadre complexe où interviennent à la fois des facteurs naturels — tels que les cycles solaires, les courants océaniques et les dynamiques atmosphériques — et des influences humaines, notamment les émissions polluantes, l'urbanisation croissante et la dégradation des écosystèmes.

Comprendre ces interactions s'avère crucial pour plusieurs secteurs clés, comme la planification des espaces urbains, la sécurité alimentaire, la gestion des ressources environnementales et l'élaboration de réponses aux dérèglements climatiques. L'objectif est de concevoir des stratégies résilientes et durables, capables de limiter les impacts du changement climatique et de renforcer la capacité d'adaptation des sociétés et des infrastructures.

II.3 Étude des paramètres climatologiques

II.3.1 Les précipitations

Le mot « précipitations » regroupe toutes les formes d'eau provenant de l'atmosphère qui atteignent la surface terrestre, qu'il s'agisse de formes liquides comme la pluie, la

bruine ou les averses, ou de formes solides telles que la neige, le grésil ou la grêle. Sont également incluses les précipitations dites occultes, comme la rosée, le givre et la gelée blanche. Ces phénomènes se produisent généralement à la suite de variations de la température ou de la pression atmosphérique.

Ces précipitations jouent un rôle fondamental dans le cycle hydrologique puisqu'elles alimentent principalement les systèmes d'eau douce continentaux, notamment les bassins versants. Leur analyse est donc indispensable pour comprendre la gestion et la dynamique des ressources en eau, en particulier dans un contexte de changements climatiques.

II.3.1.1 Précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles représentent la quantité globale d'eau provenant des précipitations, telles que la pluie ou la neige, enregistrée en moyenne sur une année dans une région spécifique. Exprimée en millimètres ou centimètres, cette mesure est un indicateur clé pour caractériser le climat d'un territoire. Elle permet d'estimer la ressource en eau disponible à long terme ainsi que les variations entre les années. Cette donnée est cruciale pour la gestion efficace des ressources hydriques, la planification agricole et la modélisation climatique, jouant un rôle déterminant dans l'élaboration de stratégies adaptées face aux défis posés par les changements climatiques.

II.3.1.2 Précipitations moyennes mensuelles

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles permet de suivre les variations saisonnières des précipitations dans une région. Elle identifie les périodes de précipitations maximales ou minimales, révélant les rythmes climatiques locaux. Cette information est cruciale pour anticiper les besoins en eau, notamment pour l'agriculture et la gestion hydrique, en identifiant les mois à risque de surplus ou de déficit. Elle aide également à affiner les modèles climatiques et à optimiser la gestion des infrastructures hydrauliques.

Tableau II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya) (2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	AN
P(m m)	45.8 6	52.3 9	54,1 9	47.2 3	33.8 8	6.6 8	2. 1	4.2 2	18.2 9	31.7 3	49.4 7	44. 7	390.7 5

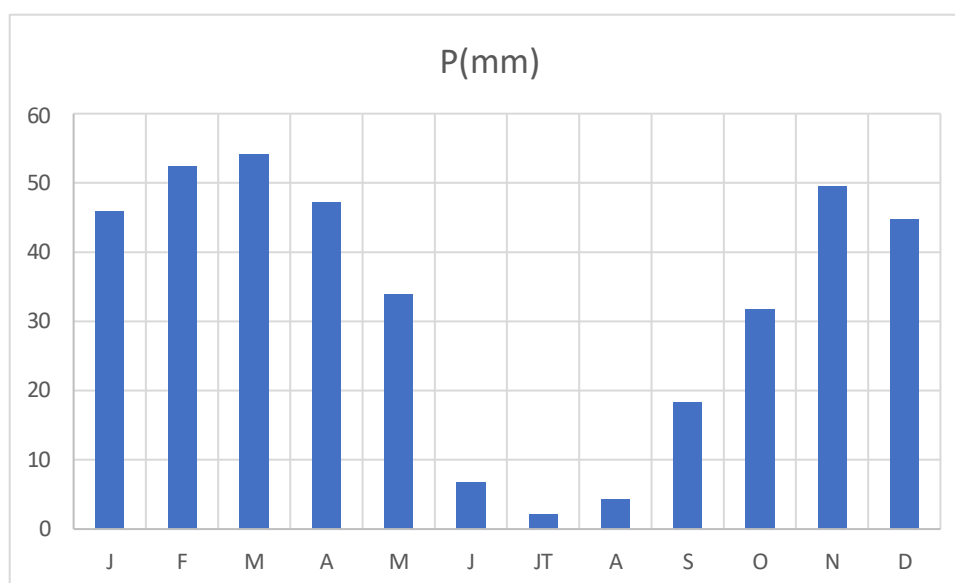


Figure II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya).

L'analyse du graphique révèle que le mois de mars connaît un taux de précipitations important, culminant à 54,19 mm, alors qu'en juillet, celles-ci diminuent considérablement pour atteindre seulement 2,10 mm.

II.3.1.3 Précipitations moyennes saisonnières

Les "précipitations moyennes saisonnières" désignent la quantité moyenne de précipitations (pluie, neige, etc.) qui se produisent au cours d'une saison spécifique dans une région donnée. Cette mesure permet d'analyser les variations des précipitations au fil de l'année, en se concentrant sur les saisons principales telles que le printemps, l'été, l'automne et l'hiver. L'étude des précipitations saisonnières est essentielle pour évaluer les variations climatiques saisonnières et leur impact sur l'environnement, l'agriculture et d'autres secteurs liés à la gestion des ressources naturelles.

Tableau II-2 : Répartition saisonnières des précipitation (mm) (2017).

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été
Station Hennaya	111.5	142.5	129.7	9.7

II.3.2 Température

La température est un facteur clé pour caractériser le climat d'une région et joue un rôle essentiel dans l'évaluation des déficits de débit d'eau. Dans la zone d'étude, seule la station d'Ain El Houtz a fourni des données sur une période suffisamment longue pour être prises en compte (de 1995 à 2017). Le tableau suivant résume les variations mensuelles des températures minimales, maximales et moyennes enregistrées à cette station.

II.3.2.1 Températures moyennes mensuelles

Les températures moyennes mensuelles correspondent aux moyennes des relevés thermiques effectués chaque mois au cours de l'année. Elles sont indispensables pour appréhender les fluctuations saisonnières et pour étudier les évolutions climatiques sur une longue période. Ces données sont particulièrement importantes dans des secteurs tels que l'agriculture, la gestion de l'eau et la planification énergétique. Le tableau ci-après présente les températures moyennes maximales et minimales observées à la station météorologique de Tlemcen.

Tableau II-3 : Températures moyennes mensuelles Station Tlemcen (2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
Tmax (°C)	15	16.6	18.4	19.9	24	28.6	33.1	34	28.9	23.8	19.8	19.7	23.2
Tmin (°C)	5.3	5.9	7.7	9	11.9	14.9	18.2	20.1	16.5	12.9	9.8	7.5	11.6
Tmoy (°C)	9.87	11.2	12.96	14.11	17.45	21.03	25	25.09	22.56	18.51	14.62	11.73	17,09

Source ANRH de Tlemcen (année 2017)

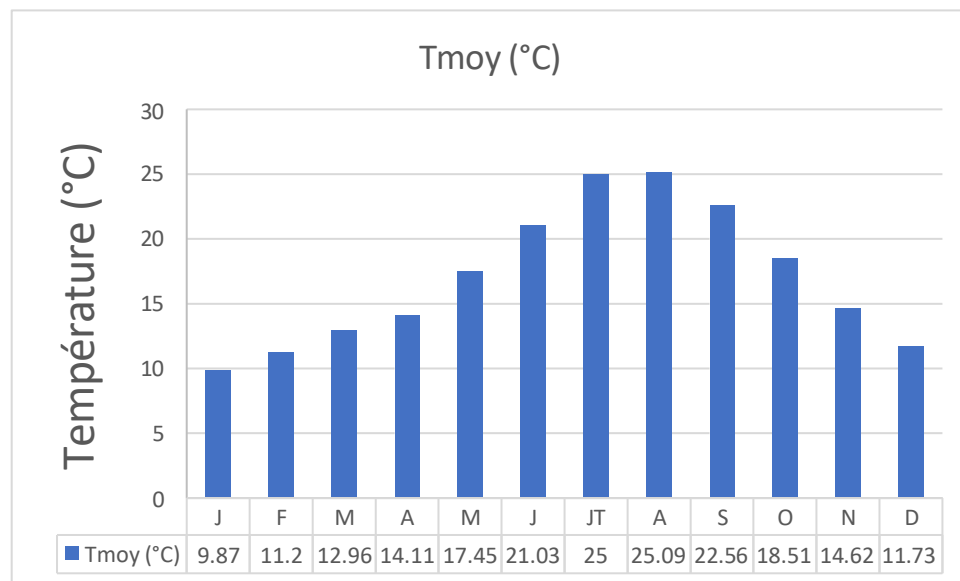


Figure II-2 : Répartition des températures moyenne Mensuelle de la station de Hennaya.

Les températures moyennes maximales atteignent 25,09 °C, tandis que les minimales sont de 9,87 °C. La température moyenne mensuelle est de 17,09 °C.

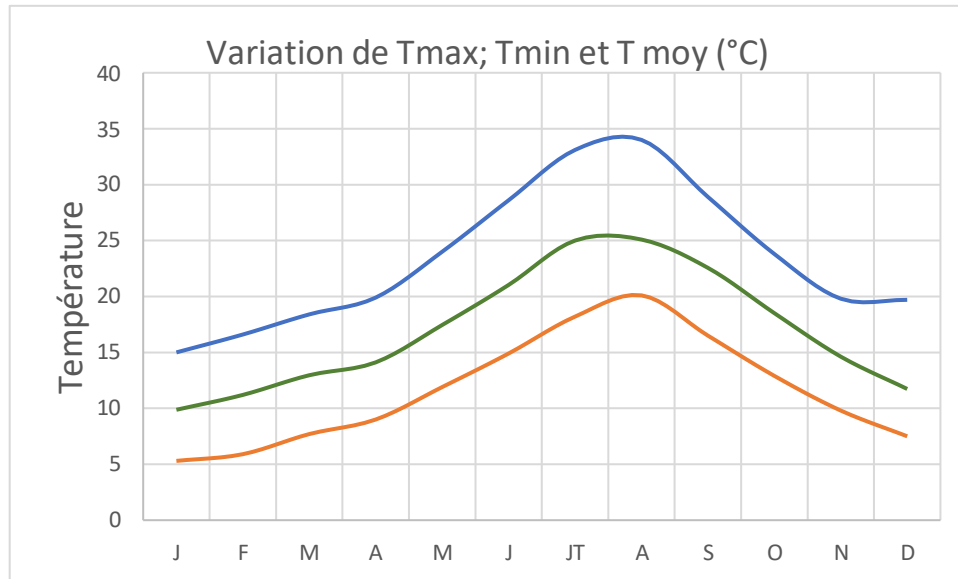


Figure II-3 : Courbes les températures moyennes mensuelles.

D'après la figure, les températures moyennes mensuelles atteignent 25°C en juillet-août, avec des maximales entre 33,1°C et 34°C. Le point le plus bas est en janvier, avec une moyenne de 9,87°C et un minimum de 5,3°C.

II.3.3 Le vent

Le vent correspond au déplacement de l'air dans l'atmosphère terrestre, généré par des écarts de pression et de température. Il joue un rôle central dans la circulation atmosphérique, assurant le transfert de chaleur et d'humidité, et contribuant à l'apparition de divers phénomènes météorologiques, tels que les tempêtes, les vents forts et les brises marines. Cette énergie naturelle est utilisée par les technologies éoliennes pour la production d'électricité, participant au développement des énergies propres. Le tableau suivant expose les variations de la vitesse du vent observées dans la zone d'étude.

Tableau II-4 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	AN
V moy (m/s)	2.16	2.28	2.32	2.7	2.42	2.56	2.51	2.48	2.28	2.01	2.4	2.37	3.37

Source ANRH de Tlemcen

La vitesse moyenne du vent dans la région d'Ain El Houtz est de 3,37 mètres par seconde, ce qui équivaut à environ 12,13 kilomètres par heure. Ce débit d'air modéré est assez important pour affecter les conditions climatiques locales, tout en restant en dessous du seuil des vents forts.

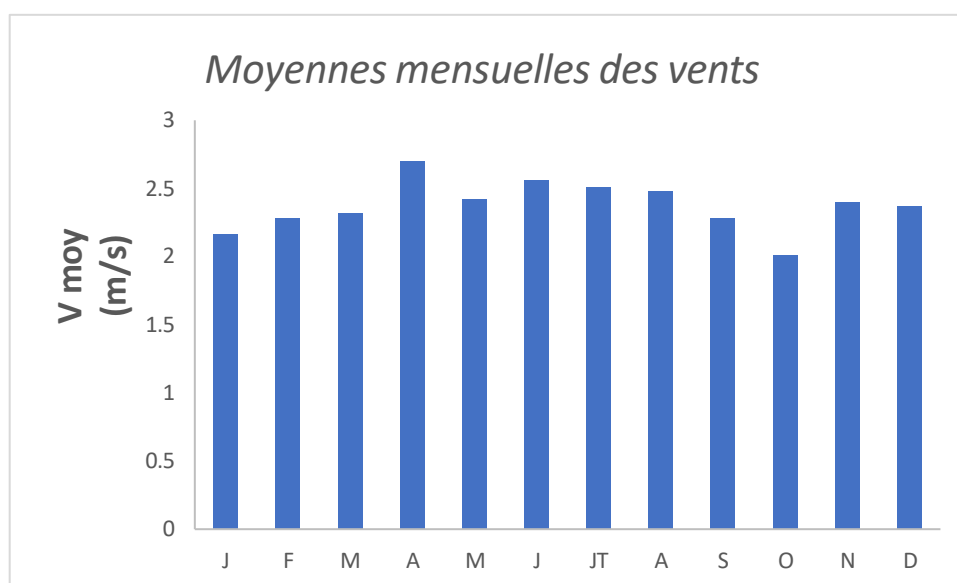


Figure II-4 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).

II.3.4 Humidité

- L'humidité mesure la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la quantité maximale qu'il peut contenir à une température et une pression spécifique. Elle est exprimée sous forme d'humidité relative, en pourcentage.
- L'humidité relative est un paramètre crucial en météorologie, en climatologie, et dans de nombreux autres domaines, car elle influence directement la perception du climat et le développement de certains phénomènes atmosphériques.

Tableau II-5 : Répartition de l'humidité moyenne en % de la station de Tlemcen (2017).

Mois	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Ans
Station de Tlemcen	73	71	72	75	68	66	60	60	56	63	69	77	68
Moyenne trimestrielle	72			70			59			70			/
Saisons	Hiver			Printemps			Eté			Automne			/

La valeur 59 % à l'Été est la plus petite dans les quatre saisons mais l'Hiver prenant la première place avec la valeur de 72 %

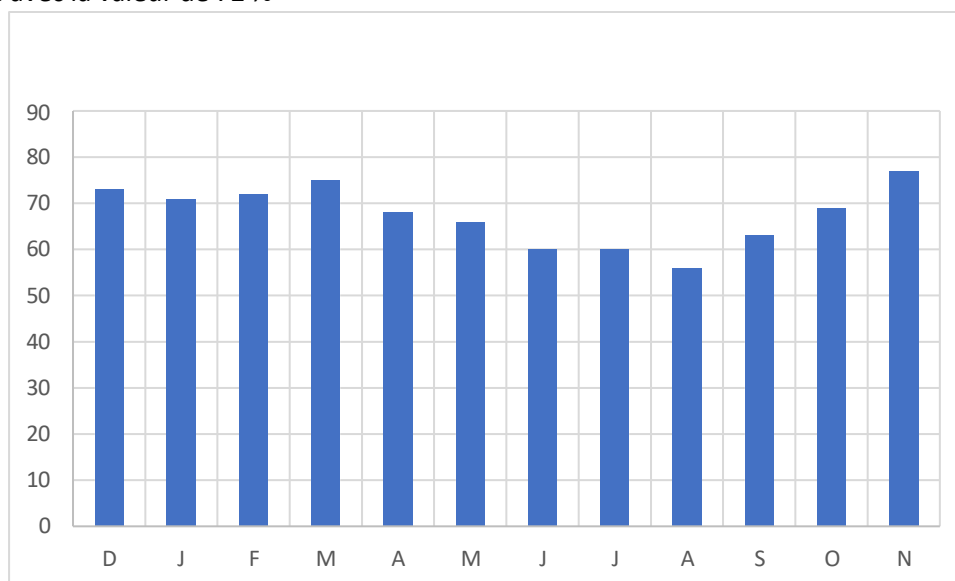


Figure II-5 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).

II.3.5 La gelée

La prise en compte des périodes de gel est primordiale, car elles peuvent avoir des effets néfastes sur les cultures et modifier la structure du sol. Cette information est essentielle pour orienter le choix des cultures adaptées. Les gelées sont plus fréquentes durant l'hiver, avec un pic d'intensité au début du printemps.

Tableau II-6 : Moyennes mensuelles des gelés de la station de Tlemcen (2017).

Année	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Gelée (Jours)	10	5	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5

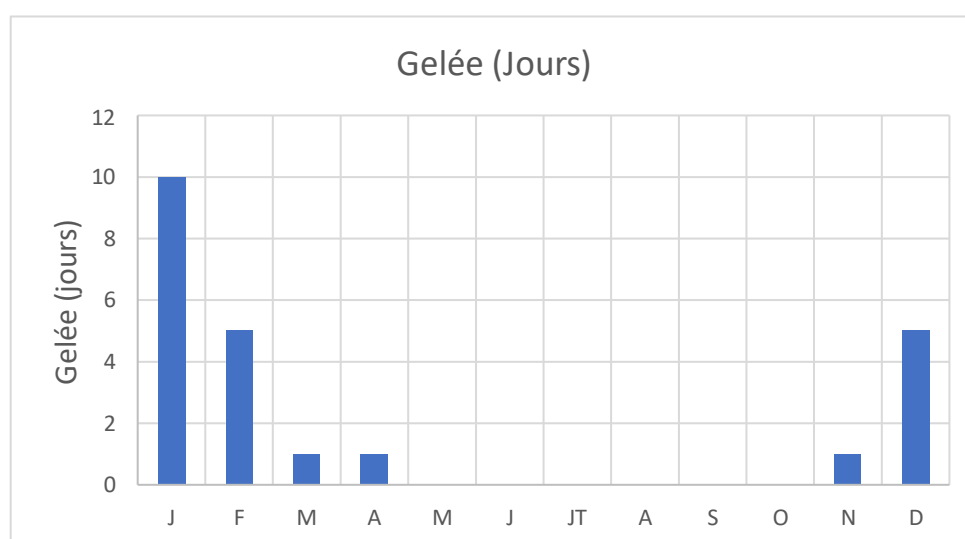


Figure II-6 : Répartition des Moyennes mensuelles des gelés de la station de Tlemcen (2017).

II.4 Les indices climatiques

Les indices climatiques sont des paramètres utilisés pour caractériser les conditions d'une région ou d'une période donnée, en résumant des données complexes du climat sous forme de mesures quantitatives. L'étude du climat peut se faire par :

- Des méthodes de visualisation des périodes sèches et humides,
- Le calcul d'indices climatiques annuels et mensuels, basés sur les précipitations et températures pour caractériser le climat.

II.4.1 Indice d'aridité annuel de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne est un outil précieux en géographie et en climatologie pour analyser les conditions climatiques, notamment en classifiant les climats et en étudiant les zones arides. Il permet de suivre les variations de l'aridité dans le temps et l'espace, offrant ainsi une vue d'ensemble des conditions climatiques.

$$I = \frac{p}{T + 10}$$

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 II-7 : Classification du climat selon la classification de DE MARTONNE

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

Dans notre cas :

Tableau II-8 : Indice d'aridité de Martonne concernant la station de sekkak.

Pmoy (mm)	Tmoy(°C)	I (mm /°C)
418,61	17,09	14,42

La valeur calculée de l'indice I, située entre 10 et 20 d'après l'abaque de De Martonne, caractérise la région étudiée. Avec des précipitations de 390,75 mm et une température moyenne de 17,09 °C, l'indice I atteint 14,87. En le reportant sur l'abaque de De Martonne, il est établi que la région se classe dans un régime semi-aride.

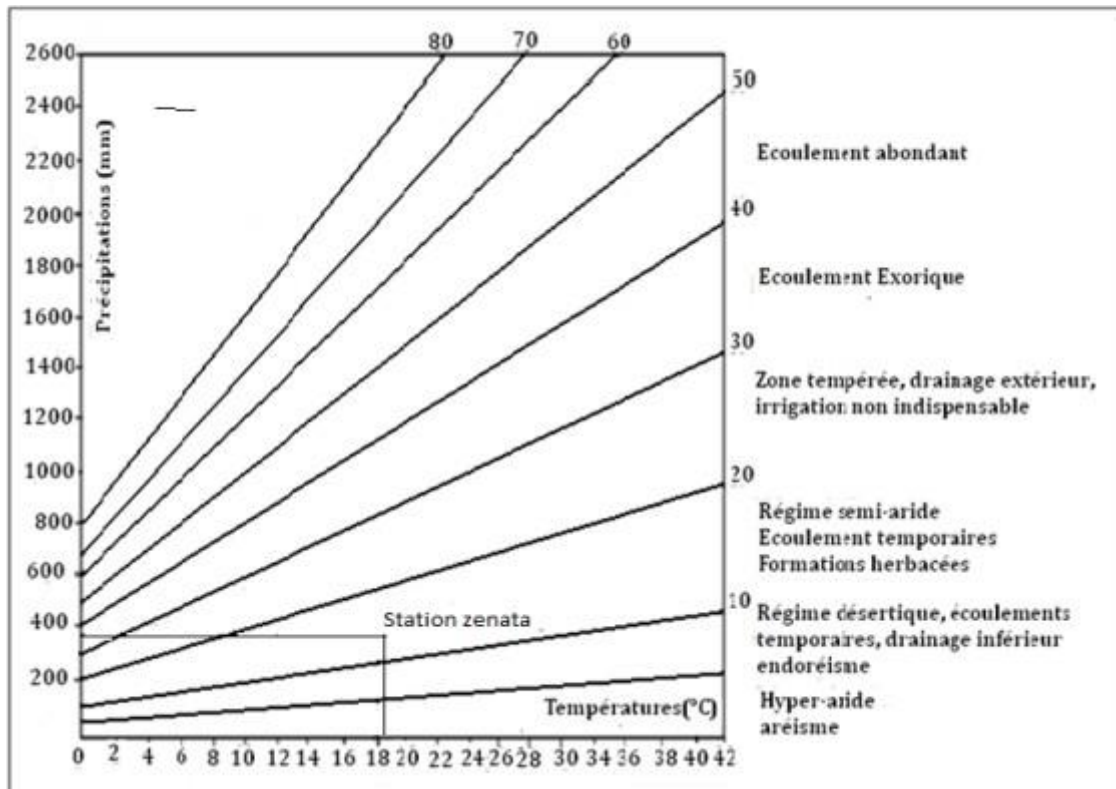


Figure II-7 : Abaque d'aridité annuel de De Martonne.

II.4.2 Indice d'aridité mensuel de De Martonne

L'indice d'aridité mensuel de De Martonne est une déclinaison de l'indice annuel, adaptée pour analyser l'aridité mois par mois. Contrairement à l'indice annuel qui offre une vue globale du climat d'une région sur l'ensemble de l'année, l'indice mensuel examine les fluctuations d'aridité chaque mois. Cela permet d'identifier les périodes plus arides ou plus humides, en offrant une compréhension précise des variations saisonnières d'une région spécifique.

Pour calculer cet indice mensuel, vous devrez utiliser la formule d'origine de De Martonne, mais en adaptant les valeurs pour chaque mois. Par exemple, si la région reçoit 30 mm de précipitations et la température moyenne mensuelle est de 18°C en juillet, l'indice mensuel permettra d'évaluer l'aridité spécifique de ce mois. En procédant ainsi pour chaque mois, on obtient un profil d'aridité saisonnier utile pour des analyses précises, telles que le choix des cultures adaptées aux saisons ou la prévision des besoins en eau.

$$I = \frac{12P}{T + 10}$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau II-9 : Résultats des indices d'aridité mensuels de Martonne.

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
I	27.7	29.65	28.32	23.51	14.81	2.58	0.72	1.41	6.74	13.36	24.11	24.19
Type de régime	T	T	T	T	S	H	H	H	TS	S	T	T

Avec :

- **S** : Semi-aride ;
- **E** : Ecoulement exoréique ;
- **T** : Tempéré ;
- **H** : Hyperaride ;
- **ST** : Steppique.

II.4.3 Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER

Cette méthode repose sur la projection du quotient pluviométrique sur un diagramme conçu par **EMBERGER**, basé sur la température moyenne minimale du mois le plus froid.

La formule de ce quotient, établie par Emberger en 1955, est particulièrement bien adaptée pour analyser les caractéristiques des climats méditerranéens.

$$Q2 = \frac{1000P}{\frac{M+m}{2} \times (M-m)}$$

Q2 : 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** (°C) + 273.

Tableau II-10 : Indice d'Emberger.

Station	P moy (mm)	M (°K)	m (°K)	Q2
Hennaya	390 ,75	307	278 ,3	46.52

La figure indique que le point représenté sur le climatogramme d'EMBERGER situe la région dans un climat semi-aride avec un hiver tempéré.

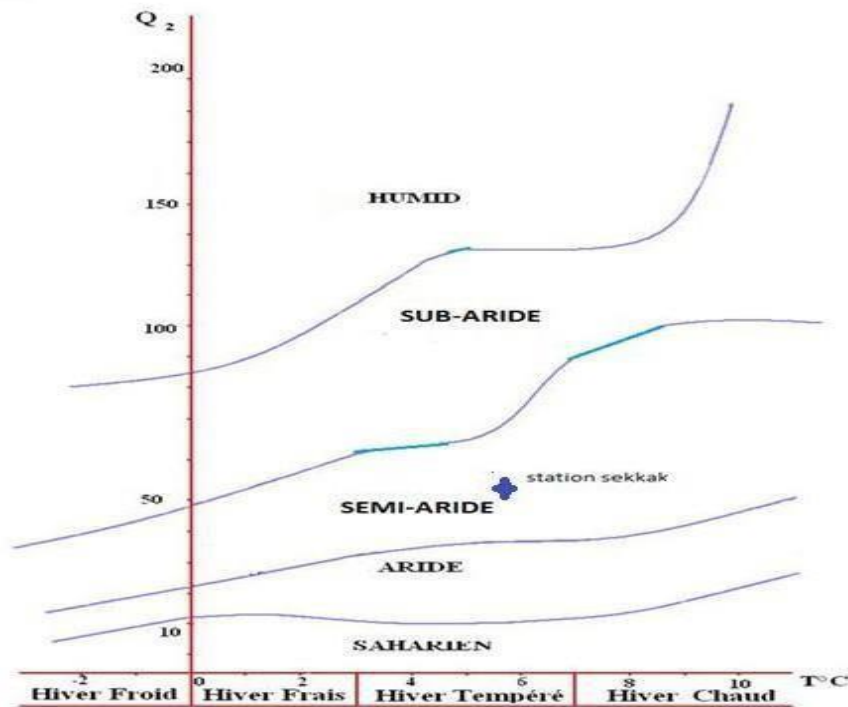


Figure II-8 : Climatogramme d'EMBERGER.

II.4.4 Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen ont mis au point des diagrammes ombrothermiques qui permettent d'évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche au cours de l'année. Selon leur méthode, les mois sont considérés comme secs lorsque la courbe des précipitations passe en dessous de celle des températures moyennes mensuelles. Ce modèle est particulièrement utile pour caractériser les périodes de sécheresse dans différentes régions climatiques.

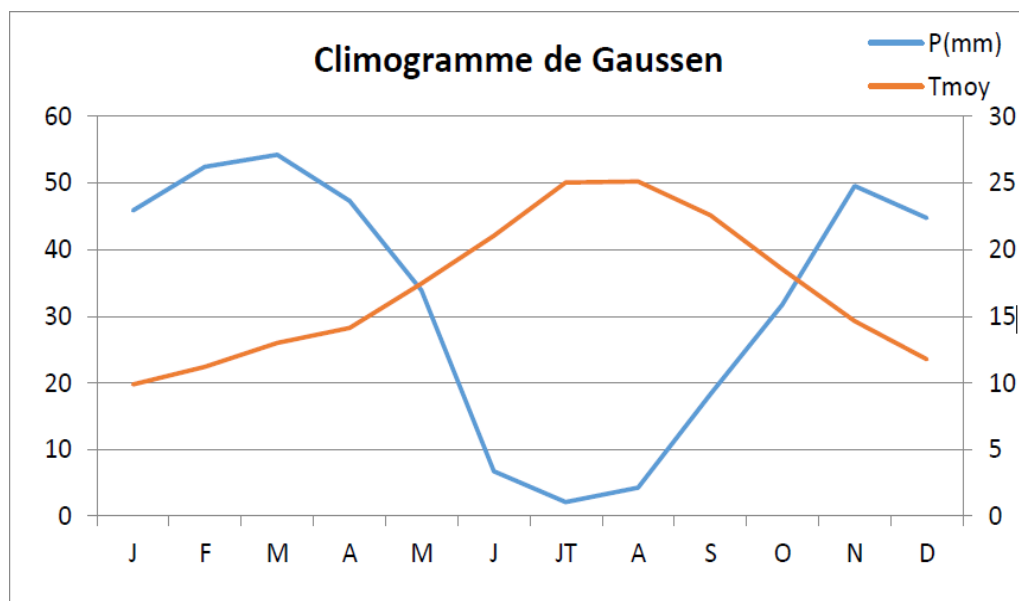


Figure II-9 : Climatogramme de Gaussen.

Description du graphe :

Le graphe montre une alternance saisonnière marquée. La saison sèche s'étend d'avril à octobre, période durant laquelle les précipitations restent inférieures aux températures moyennes. La saison humide débute en octobre et se termine en avril, avec des précipitations plus élevées qui dominent cette période.

II.5 Conclusion

Cette analyse climatique de la région d'Ain El Houtz, appuyée par les données de la station de Tlemcen, dresse un portrait détaillé du climat local. Classée comme semi-aride à hiver tempéré selon les indices climatiques d'Emberger et de De Martonne, la région présente des précipitations saisonnières, de fortes variations de température et une humidité fluctuante. Ces caractéristiques influencent la gestion des ressources en eau, l'agriculture et l'aménagement du territoire. Une connaissance approfondie de ce climat est cruciale pour s'adapter aux changements climatiques et soutenir un développement durable dans la région.

Chapitre III :
Ressources en eau
et en sol

III. Chapitre III : Ressources en eau et en sol

III.1 Introduction

La région d'Ain Houtz, située dans la wilaya de Tlemcen, est dotée de ressources naturelles essentielles, parmi lesquelles les ressources en eau et en sol occupent une place de choix. Ce chapitre vise à examiner en profondeur ces ressources vitales, qui sont fondamentales pour le quotidien des habitants, l'agriculture, l'industrie, et la préservation de l'environnement.

III.2 Ressources en eau

En matière d'irrigation, plusieurs aspects liés à l'eau doivent être pris en compte, notamment sa nature, sa quantité et sa qualité. Cette ressource peut être obtenue par des sources souterraines, telles que les puits et les forages, ou par des sources de surface, comme les rivières, les cours d'eau, et les captages naturels. L'agriculteur doit ainsi s'assurer de la disponibilité de l'eau durant les périodes de forte demande pour évaluer la surface pouvant être irriguée. De plus, il est crucial d'examiner la qualité de l'eau, en la classant selon qu'elle est de bonne, médiocre ou mauvaise qualité. Une telle évaluation permet d'anticiper les éventuels traitements ou filtrations requis avant son usage pour l'irrigation.

III.2.1 Ressources en eau potentielles

Pour satisfaire les besoins en eau dans le périmètre étudié, on peut distinguer deux types de sources : les sources conventionnelles et non conventionnelles.

III.2.1.1 Source conventionnelle

Deux points d'eau principaux se trouvent dans la zone d'Ain Houtz, identifiés par leurs coordonnées UTM :

- **Ain Houtz** : $x = 652922$, $y = 3866608$, $z = 515$ (selon la carte d'état-major 270 Tlemcen).
- **Ain Ancor** : $x = 653900$, $y = 3865223$, $z = 540$ (carte d'état-major 270 Tlemcen).

Ces sources constituent des apports hydriques potentiels pour l'irrigation et d'autres usages dans la région.

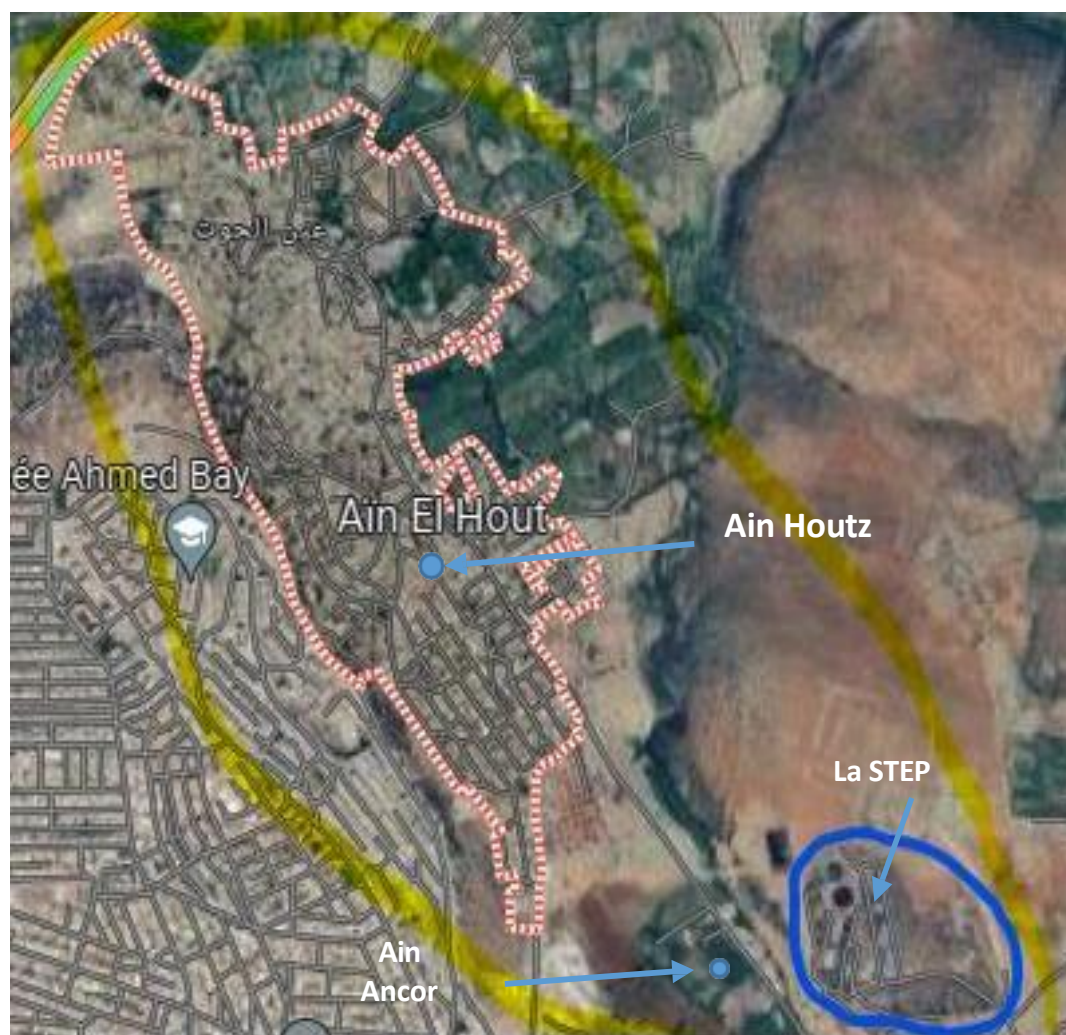


Figure III-1 : Positions des sources naturelles d'eau dans le périmètre avec une photo satellite prise de Google Earth (Septembre 2023).

Les données relatives aux débits et aux températures de l'eau de la source d'Ain Houtz, recueillies par l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH) entre 2010 et 2012, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-1 : Valeurs de température et du débit de la source d'Ain Houtz.

Date	Débit 1 (l/s)	Débit 2	moy (D1 et D2)	T °C eau	T °C air
07/06/2016	27	31	29	10	20
01/07/2016	26	28	27	20	25
05/08/2016	24	26	25	21	25
12/09/2016	25	26	25,5	19	26
06/10/2016	30	33	31,5	19	20
02/11/2016	28	32	30	18,5	16
05/12/2016	26	28	27	19	14
09/01/2017	25	27	26	19	16
06/02/2017	25	26	25,5	17	12
07/03/2017	28	30	29	18,5	13
05/04/2017	25	27	26	19	17
08/05/2017	27	29	28	18	19
06/07/2017	24	26	25	19	26
08/08/2017	24	27	25,5	21	34
08/09/2017	26	26	26	19,6	26
05/10/2017	28	29	28,5	19	27
03/11/2017	27	26,5	26,75	20	25
04/12/2017	49,5	48,5	49	19	11
02/01/2017	28	26	27	19	15
02/09/2017	24	26	25	25	20
		moy G	28,11		

Source ANRH

Interprétation :

Le débit moyen de la source est de 28,11 litres par seconde, d'après les échantillons prélevés, avec un débit maximal de 31,5 litres par seconde et un débit minimal de 25 litres par seconde.

Par ailleurs, les relevés des débits et des températures de l'eau de la source de Ain Ancor, collectés par l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH) entre 2016 et 2017, sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-2 : Mesure de température et du débit de la source d'Ain Ancor.

Date	Débit 1	Débit 2(l/s)	Moy (D1 et D2)	T °C eau	T °C air
04/11/2014	7,3	4	5,65	10	20
01/03/2015	14	13	13,5	20	25
04/04/2015	24	25	24,5	21	25
14/05/2015	9,2	10	9,6	19	26
07/06/2015	11	11	11	19	20
01/07/2015	11	11	11	18,5	16
05/08/2015	11	11	11	19	14
12/09/2015	7	6	6,5	19	16
06/10/2015	7	7	7	17	12
02/11/2015	9,5	10	9,75	18,5	13
05/12/2015	10,5	10	10,25	19	17
09/01/2016	7	7	7	18	19
06/02/2016	6,5	7	6,75	19	26
07/03/2016	8	8	8	21	34
05/04/2016	7	7	7	19,6	26
08/05/2016	9,25	10	9,625	19	27
05/06/2016	11	11	11	20	25
06/07/2016	6	6	6	19	11
08/08/2016	6	6	6	19	15
08/09/2016	6	6	6	25	20
05/10/2016	5	5	5	25	20
04/12/2016	27	27	27	25	20
02/01/2017	16	14	15	25	20
02/09/2017	4,8	4	4,4	25	20
moy G			9,94	Source ANRH	

Le débit moyen de cette source est de 9,94 litres par seconde. D'après ces relevés, la source enregistre un débit maximal de 24,5 litres par seconde et un débit minimal de 4,4 litres par seconde.

III.2.1.2 Sources non conventionnelles

À proximité du périmètre se situe la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) d'Ain El Houtz. Les eaux traitées par cette station sont actuellement employées pour l'irrigation dans le périmètre de Hennaya, constituant ainsi une source d'eau précieuse. D'après les informations des autorités agricoles et hydrauliques de Tlemcen, une partie de ces eaux traitées sera redirigée vers le périmètre de Ain El Houtz, sujet de notre étude.

➤ Station d'épuration d'Ain El Houtz

Les eaux traitées par la station d'épuration d'Ain El Houtz proviennent des eaux usées urbaines de la ville de Tlemcen, principalement des eaux domestiques, avec une infime proportion d'eaux issues de diverses activités raccordées aux réseaux d'assainissement. Le tableau ci-dessous présente les données concernant le volume des eaux usées traitées par la station d'Ain El Houtz en 2017.

Tableau III-3 : : Volume d'eau épurée a la station d'Ain Houtz

MOIS	Volume d'eau épurée (m3/mois)
JANVIER	437 864
FEVRIER	456 484
MARS	450 940
AVRIL	457 518
MAI	464 127
JUIN	503 200
JUILLET	353 177
AOUT	531 608
SEPTEMBRE	484 432
OCTOBRE	503 162
NOUVEMBRE	481 980
DECEMBRE	504 222
TOTAL ANNUEL	5810654 (m3/mois)

➤ Qualité des eaux de la station d'épuration d'Ain El Houtz

L'irrigation avec des eaux usées non traitées peut poser divers problèmes. Cependant, il est essentiel de noter que chaque type d'eau usée possède des caractéristiques spécifiques. Afin de caractériser les eaux utilisées pour l'irrigation dans notre projet, une comparaison a été effectuée entre les eaux usées issues de la station d'épuration (voir tableau ci-dessous) et les normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau III-4 : Les normes d'OMS pour les eaux épurées.

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6,5-8,5
DBO5	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20 mg/l
NO2	1 mg/l
NO3	<1 mg/l
Température T	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

Tableau III-5 : Les résultats des analyses physico-chimiques à la sortie de la Step d'Ain El houtz effectué par ANRH D'Alger

Paramètres	Unité	Résultat Bassin d'irrigation ONID
Température	° C	15,60
PH	u ph	7,71
Conductivité	µs/cm	747,00
MES	mg/l	4,01
DBO	mg do2/l	18,80
DCO	mg do2/l	26,00
NGL (azote globale)	mg/l	10,10
NTK (azote kjeldhal)	mg/l	6,04
PPO4 ⁻³ (phosphore)	mg/l	0,07
(N-NH4 ⁺)	mg/l	4,01
N N03 ⁻	mg/l	11,60
PT (phosphate total)	mg/l	1,19

Source ANRH D'Alger

D'après les analyses effectuées par la STEP d'Ain Houtz, voici les principales conclusions :

- 1. Matières en Suspension (MES) :** La concentration en matières en suspension est d'environ 4,01 mg/l, ce qui la rend adaptée à l'irrigation avec tout type de système.
- 2. Azote :** L'azote est principalement présent sous forme d'ammoniac (NH₄) avec une concentration avoisinant les 4,01 mg/l, conforme aux normes en vigueur.

Les nitrates (NO_3), quant à eux, sont présents à une concentration d'environ 11,6 mg/l, également dans les limites acceptables.

3. **Phosphore** : La teneur en phosphore, sous forme de phosphate (PO_4), est d'environ 0,07 mg/l, une concentration considérée comme négligeable au regard des normes.
4. **Conductivité Électrique** : Avec une conductivité électrique d'environ 747 $\mu\text{S/cm}$, l'eau est jugée adéquate pour l'irrigation.
5. **Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5)** : La DBO_5 est estimée à 18,8 mg/l d'oxygène, respectant ainsi les normes en vigueur.

En résumé, les analyses indiquent que la qualité des eaux traitées de la STEP d'Ain Houtz est globalement conforme aux normes, les rendant adaptées à l'irrigation et potentiellement réutilisables.

➤ **Les Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) : Gardiennes de l'Équilibre Environnemental**

Les Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) jouent un rôle central dans la protection des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques. En explorant les caractéristiques et le fonctionnement de ces installations, nous découvrons les mécanismes avancés mis en place pour traiter les eaux usées de manière efficace et respectueuse de l'environnement.

Caractéristiques des STEP :

1. Prétraitement Ingénieux

Dégrillage et Désablage : Les eaux usées subissent un tri préliminaire via des grilles pour éliminer les débris, puis passent dans des bassins de désablage pour retirer les particules lourdes comme le sable, assurant la protection des équipements en aval.

2. Traitement Biologique Avancé

Bassins d'Aération : Les eaux prétraitées circulent dans les bassins d'aération, où des micro-organismes décomposent les matières organiques, assurant une dépollution efficace.

Systèmes Séquentiels Batch : Certaines installations alternent les phases aérobies et anaérobies pour maximiser l'élimination des contaminants.

3. Sédimentation Stratégique

Bassins de Sédimentation Secondaire : Après le traitement biologique, les eaux passent par des bassins de sédimentation pour séparer les boues activées de l'eau clarifiée.

4. Désinfection Innovante

Technologies Non-Chlorées : Des alternatives comme l’ozone et les lampes UV garantissent une désinfection écologique.

5. Gestion Éco-responsable des Boues

Biogaz et Engrais Organique : Les boues sont transformées en biogaz ou en engrais organique, contribuant à la durabilité des ressources.

Fonctionnement d'une STEP :

1. Collecte Meticuleuse

Réseau de Collecteurs : Les eaux usées sont acheminées à travers un réseau complexe, couvrant les zones urbaines, industrielles et périurbaines.

2. Prétraitement et Élimination Sélective

Dégrillage Intelligent : Les débris et huiles sont séparés pour éviter l’encrassement des équipements.

3. Traitement Biologique Orchestral

Contrôle de l'Aération : Des systèmes ajustent l’aération pour optimiser l’action des micro-organismes.

4. Sédimentation Calculée

Contrôle de la Sédimentation : La sédimentation est finement réglée pour une eau clarifiée prête à être désinfectée.

5. Désinfection Dynamique

Surveillance en Temps Réel : Les processus de désinfection sont ajustés en temps réel pour une efficacité optimale.

6. Gestion des Boues Complète

Valorisation Maximale : Les boues sont transformées en biogaz et utilisées en agriculture, optimisant chaque ressource.

En somme, le fonctionnement d'une STEP repose sur des processus rigoureux, intégrant des technologies avancées et des pratiques durables, afin de minimiser l'impact environnemental tout en assurant une efficacité maximale.

Degré d'Adsorption du Sodium (SAR) des Eaux de Sources d'Ain El Houtz

Le Sodium Adsorption Ratio (SAR) est un indicateur crucial pour évaluer la qualité de l’eau d'irrigation. En mesurant la proportion des ions sodium par rapport aux ions calcium et magnésium, le SAR permet de classer l’eau en fonction de sa salinité.

Les valeurs obtenues orientent les agriculteurs vers des pratiques adaptées pour préserver la fertilité des sols et assurer une production agricole durable.

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

Avec :

Na : Sodium en mg équiv/l ;

Ca : Calcium en mg équiv/l ;

Mg : Magnésium en mg équiv/l.

D'après les résultats des analyses, l'eau est caractérisée par :

Tableau III-6 : Eléments chimiques pour le calcul de SAR.

Élément	Symbole	Numéro atomique	Masse molaire atomique (g.mol ⁻¹)	Résultats d'analyses En mg/l
Calcium	Ca	20	40,1	94
Magnésium	Mg	12	24,3	51
Sodium	Na	11	23,0	66.25

➤ Degré d'Adsorption du Sodium (SAR) des Eaux de Sources d'Ain El Houtz

Le Sodium Adsorption Ratio (SAR) est un indicateur crucial pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. En mesurant la proportion des ions sodium par rapport aux ions calcium et magnésium, le SAR permet de classer l'eau en fonction de sa salinité. Les valeurs obtenues orientent les agriculteurs vers des pratiques adaptées pour préserver la fertilité des sols et assurer une production agricole durable.

III.2.2 Effets des Sels et du Sodium sur les Plantes et les Sols

Les résultats des analyses indiquent une conductivité électrique des eaux de la source de 906 µS/cm à 25 °C, ce qui révèle une teneur élevée en sels solubles. Cette salinité peut engendrer divers effets sur les plantes et les sols :

1. Impact sur les Plantes :

Stress Salin : Une concentration élevée de sels dans l'eau réduit la capacité des plantes à absorber l'eau, entraînant un stress hydrique et pouvant affecter la croissance.

Accumulation de Sodium : Le sodium peut s'accumuler dans les tissus végétaux, perturbant l'équilibre nutritionnel et inhibant l'absorption de nutriments essentiels comme le potassium et le calcium.

2. Impact sur les Sols :

Dégradation de la Structure du Sol : Le sodium peut provoquer la dispersion des particules d'argile dans le sol, réduisant ainsi sa perméabilité et sa capacité à retenir l'eau.

Augmentation de l'Alcalinité : Une forte concentration en sodium peut élever le pH du sol, rendant certains nutriments moins disponibles pour les plantes et affectant ainsi la productivité agricole.

Ces effets soulignent l'importance de surveiller les niveaux de sel dans les eaux d'irrigation pour garantir la santé des cultures et la durabilité des sols.

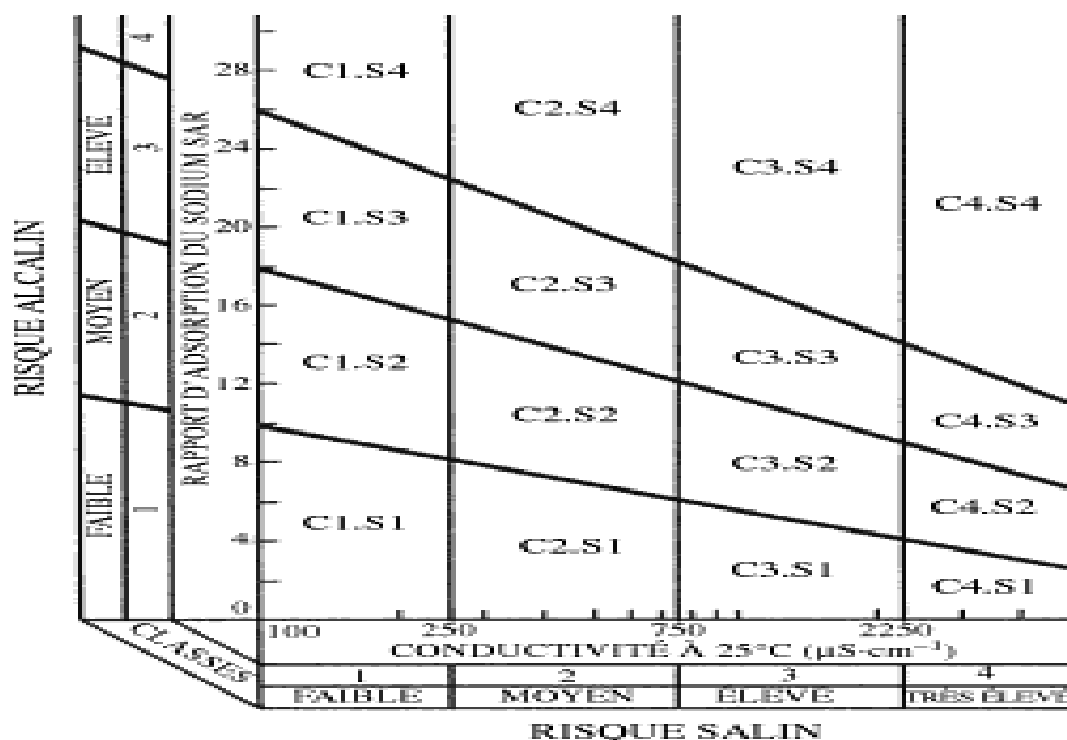


Figure III-2: diagramme de classification des eaux d'irrigation (selon USSL).

Dans notre cas, et d'après les analyses des eaux de la source Ain Houtz, cette eau fait partie de la classe : **C3-S1**

Ansi que :

Après une analyse comparative, il est observé que les paramètres de qualité des eaux usées de la station sont globalement inférieurs aux seuils définis par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Par ailleurs, dans notre cas, la source totale d'eau est issue

de trois sources, dont deux fournissent de l'eau douce. Cette combinaison contribue à réduire la concentration de polluants grâce à l'effet de dilution, minimisant ainsi les risques potentiels liés à l'usage des eaux traitées.

III.2.3 Aperçu hydrogéologique du périmètre d'Ain Houtz

Le périmètre projeté d'Ain Houtz est situé dans le bassin versant du mont de Tlemcen, couvrant une superficie de 1090 km². Cette région présente un relief montagneux influencé par des climats maritimes, caractérisée par des affleurements calcaires et des calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur. Le substratum imperméable, principalement constitué de marnes, favorise la formation des principales nappes souterraines, tandis que les grès, en raison de leur position stratigraphique, contribuent peu à l'alimentation de ces nappes.

Les failles géologiques ont permis l'émergence de grandes sources alimentées par les eaux de ruissellement dans les formations calcaires et dolomitiques, comme Ain Houtz, située aux contreforts du Djebel Boudjellida, et Ain El Horra, au pied du Djebel El Horra. Ces sources alimentent l'approvisionnement en eau du périmètre d'Ain El Houtz.

➤ Types de nappes hydrogéologiques

1. **Nappe perchée** : présente de manière continue dans les formations calcaires, marno-calcaires, dolomitiques, ou sous forme de lentilles du Jurassique supérieur.
2. **Nappe libre à captive** : située dans les dolomies et calcaires du Kimméridgien.
3. **Nappe captive** : présente dans les grès.

III.2.4 Agriculture

La commune de Chatouane possède une forte orientation agricole. Elle dispose d'une superficie agricole totale (SAT) de 3500 hectares, dont 3061 hectares de superficie agricole utile (SAU), avec 800 hectares destinés à l'irrigation.

III.2.4.1 Répartition des activités agricoles

Chatouane :

- **Superficie totale : 4500 ha**
- **SAT : 3500 ha**
- **SAU : 3061 ha**
- **Superficie irriguée : 800 ha (400 ha de plantations, 400 ha de cultures maraîchères)**
- **Superficie non irriguée : 2260 ha**

Ain El Houtz :

- SAT : 800 ha
- Superficie irriguée : 650 ha (320 ha d'agrumes, 80 ha d'arbres fruitiers, 250 ha de cultures maraîchères)
- Superficie non irriguée : 150 ha
- Nombre de bovins : 280

III.3 Ressources en sol

L'analyse des ressources en sol revêt une importance capitale pour la gestion durable de l'environnement, les sols étant essentiels pour l'agriculture, le cycle de l'eau, la régulation climatique, et la préservation de la biodiversité. L'étude vise à identifier les zones ayant un fort potentiel d'irrigation dans la région.

III.3.1 Classification des sols

L'étude agro-pédologique montre une homogénéité des sols de la région : ils présentent une texture équilibrée, une bonne teneur en matière organique, et des couleurs allant du brun clair au brun foncé, ce qui favorise la diversité des cultures.

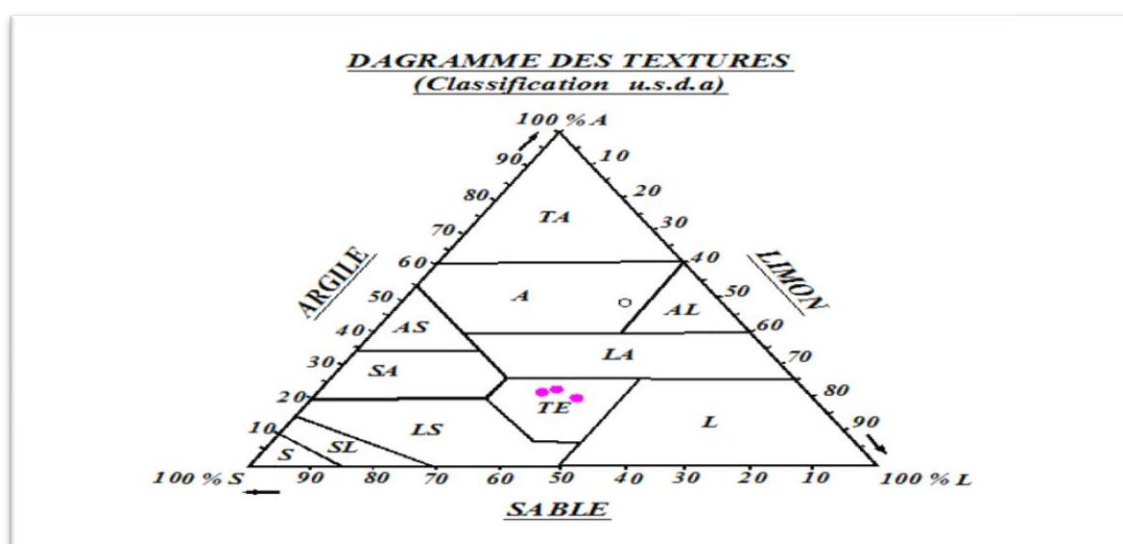


Figure III-3 : Diagramme des textures.

Les sols du périmètre d'Ain Houtz présentent une richesse en calcaire, héritée du matériau parental calcaire dominant. Le taux moyen de calcaire total est de 47 %, et le calcaire actif représente environ 15 % de ce total.

➤ Facteurs pédogénétiques

Les sols du périmètre sont façonnés principalement par deux facteurs :

- a) **Le calcaire actif et total** : Ces sols sont très calcaires, avec plusieurs zones montrant un encroûtement calcaire sous forme de poudre, particulièrement sur les collines dispersées dans le périmètre.
- b) **Le climat** : Les précipitations influencent fortement la pédogenèse en entraînant le lessivage du calcaire en profondeur, modifiant ainsi la couleur du sol, généralement brun clair à blanchâtre. Aux alentours des zones non cultivées, des croûtes calcaires en formation sont également visibles.

III.3.2 Étude pédologique

L'étude pédologique vise à évaluer les capacités des sols pour soutenir les cultures prévues, en recherchant un équilibre entre rendement économique et conservation des ressources. Les objectifs de cette évaluation sont :

- **Évaluer la capacité de rétention en eau des sols** pour l'irrigation.
- Adapter les techniques d'irrigation (**aspersion, goutte à goutte, submersion**) **aux caractéristiques du sol et aux types de cultures.**
- Établir des lignes directrices de gestion **de l'eau pour éviter les risques de pollution et optimiser l'irrigation en fonction des besoins des cultures.**

III.3.2.1 Analyse de laboratoire

Les analyses en laboratoire ont révélé des caractéristiques pédologiques à différentes profondeurs :

- **0 – 15 cm** : Sol frais, brun clair, texture limono-argileuse avec structure massive compacte, peu poreuse et riche en racines, présence de matière organique, réaction positive à l'HCl, transition nette.
- **15 – 37 cm** : Sol frais à sec, brun foncé, texture équilibrée, structure polyédrique grossière, compacte et peu poreuse, faible activité biologique, présence de calcaire sous forme de tâches blanchâtres et petits graviers, réaction faible à l'HCl.
- **37 - 120 cm** : Sol frais, brun foncé avec structure prismatique massive, peu poreux, présence de calcaires blanchâtres et gravillons avec effervescence marquée à l'HCl (++)).

Ces caractéristiques illustrent une variabilité en profondeur, influençant les stratégies de gestion des ressources en sol et en eau pour le périmètre d'Ain Houtz.

Tableau III-7 : Classification du sol

Classification	
Classe	Sols calcimagnésiques
Sous classe	Carbonatés
Groupe	Sols bruns calcaires
Sous-groupe	Modal
Famille	Colluvions calcaires de texture équilibrée.
Série	Profond
Type	Limono-argileux.

Tableau III-8 : Résultats d'analyse pédologique

Profondeur (cm)		0-15	15-37	37-120
Argile %		20	23	23
Limon fin%		28	24	24
Limon grossier%		12	12	11
Sable fin%		16	16	16
Sable grossier%		20	22	22
Densité réelle		2,61	2,47	2.48
Ph		7,24	7,21	7,22
C.E mmhos/cm		1,93	1,74	1,58
Perméabilité K Hénin		1.89	2.5	2.92
pF4.2		14.29	13.5	13.62
pF2.5		25.85	24.95	25.16
C ‰		19.1	14.6	15
N ‰		1.93	1.61	1.6
C/N		9.89	9.06	9.37
Ca CO3 total		47.1	47.03	47.58
Ca CO3 actif		15.25	15.25	15.5
P2 O5 total ‰		2.64	2.35	2.35
Complexe absorbant (meq/100 g)	Ca++	25.8	25.65	24.98
	Mg++	3.83	4.39	4.06
	Na+	2.55	4.25	3.33
	K+	1.18	0.75	0.85
	T	14.47	17.5	13.74

III.4 Étude Hydrologique

L'analyse hydrologique constitue un volet essentiel dans la conception des systèmes d'irrigation et de drainage, car elle permet d'évaluer avec précision les niveaux de précipitations en tenant compte de leur fréquence. Cette démarche est fondamentale pour notre projet d'aménagement hydro-agricole, puisqu'elle offre une compréhension approfondie des régimes pluviométriques et facilite l'élaboration de stratégies adaptées à la gestion efficace de l'eau. Une estimation rigoureuse des précipitations est indispensable pour garantir une disponibilité constante en eau, élément clé pour assurer la réussite et la pérennité des activités agricoles.

III.4.1 Choix de la Station Pluviométrique

Le choix des stations pluviométriques utilisées pour estimer les précipitations dans le bassin versant s'appuie sur deux critères principaux :

1. **Emplacement géographique** : Un emplacement bien réparti des stations dans le bassin versant est essentiel pour capturer les variations spatiales des précipitations et obtenir une représentation fidèle des conditions pluviométriques de la zone.
2. **Période d'observation** : Une période d'observation suffisamment longue pour chaque station assure la fiabilité des données pluviométriques recueillies, permettant ainsi une analyse précise des tendances annuelles et saisonnières.

Ces critères permettent de garantir une représentation globale et détaillée des conditions pluviométriques, essentielle pour orienter les décisions de gestion des ressources en eau dans la région.

Tableau III-9: La série des Précipitation moyennes mensuelles (1978-2017).

DATE	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV R	MAR S	AVR	MAI	JUIN	JUI L	AOU T
1978-1979	3,4	4,3	8,2	96,0	1,4	126,5	214,2	84,6	0,0	3,2	0,0	0,0
1979-1980	18,4	35,0	19,3	0,0	9,5	69,1	96,5	279,3	57,0	6,8	0,0	11,3
1980-1981	22,2	4,7	99,3	9,0	45,2	89,5	31,5	137,5	80,7	15,4	7,6	15,8
1981-1982	36,7	65,2	26,9	64,5	102,5	36,0	41,8	7,2	46,3	4,2	12,5	14,6
1982-1983	0,0	26,8	110,3	16,2	74,6	11,8	38,2	79,2	27,2	4,2	0,0	3,8
1983-1984	0,0	66,0	47,0	12,5	23,1	142,7	38,8	25,8	16,9	2,2	5,4	2,0
1984-1985	20,9	74,2	79,3	64,4	9,3	74,3	104,8	29,8	15,3	0,0	0,0	0,6
1985-1986	16,0	31,4	40,2	204,3	18,7	73,4	53,6	61,8	10,7	47,6	0,0	2,5
1986-1987	6,4	0,4	0,0	16,4	24,4	55,0	1,3	0,0	0,0	5,5	0,0	10,0
1987-1988	1,2	22,2	4,3	51,5	0,0	23,7	16,1	10,3	11,7	0,0	0,7	0,5
1988-1989	0,0	0,0	3,4	77,3	44,7	39,8	29,9	12,6	88,7	3,2	0,0	0,0
1989-1990	10,0	1,1	107,2	28,4	45,2	20,3	54,0	21,4	51,7	0,0	0,0	0,0
1990-1991	9,8	0,8	55,0	45,0	79,9	86,3	76,9	40,2	2,5	8,0	0,0	6,8
1991-1992	28,3	30,2	87,1	35,9	36,5	146,9	18,6	2,2	12,5	2,5	25,7	6,9
1992-1993	4,7	34,4	26,1	30,8	25,3	31,6	7,1	28,9	28,9	7,7	0,9	0,0

1993-1994	17,8	11,1	44,8	8,5	19,1	23,4	178,0	35,9	26,1	5,2	2,1	12,6
1994-1995	10,2	6,0	15,8	38,3	144,9	0,0	25,0	65,8	16,7	5,2	3,0	3,0
1995-1996	17,5	10,5	41,0	80,0	36,9	65,7	158,9	4,9	23,0	0,0	0,0	0,5
1996-1997	31,1	42,2	13,9	32,7	15,6	21,7	101,7	83,3	124,0	30,9	1,0	1,4
1997-1998	0,6	19,1	34,5	20,1	0,0	70,0	16,6	71,5	88,5	0,0	0,0	1,0
1998-1999	9,0	2,0	71,3	3,5	100,3	57,4	6,2	19,3	22,2	0,2	5,6	0,0
1999-2000	36,9	30,8	33,2	13,5	28,7	68,2	176,9	15,1	1,1	9,0	0,0	3,2
2000-2001	12,3	32,3	19,8	63,8	75,2	94,8	100,4	41,5	46,3	5,3	3,1	3,6
2001-2002	36,1	39,8	0,8	32,3	102,3	0,2	4,4	148,0	14,3	3,7	0,6	12,1
2002-2003	78,7	38,5	57,6	67,3	30,1	44,5	45,3	23,2	77,8	0,4	0,6	0,7
2003-2004	13,9	6,5	47,5	11,0	107,8	69,9	93,6	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0
2004-2005	26,9	24,9	73,9	74,7	0,0	0,0	4,8	11,4	38,5	0,0	0,0	0,0
2005-2006	14,4	77,2	69,0	39,5	65,7	48,4	6,9	4,0	9,2	4,0	0,8	0,0
2006-2007	25,2	38,6	150,8	30,7	1,8	7,3	27,0	88,7	75,1	1,0	0,0	28,2
2007-2008	0,0	21,8	97,0	20,4	104,6	84,9	16,8	28,8	13,8	3,1	0,0	0,1
2008-2009	8,9	33,2	53,9	108,4	45,3	23,2	75,5	37,3	75,2	9,0	1,2	0,6
2009-2010	2,4	31,7	35,6	88,0	21,3	70,3	55,5	19,1	4,9	1,1	0,2	0,5
2010-2011	20,2	29,1	32,5	15,7	70,1	53,1	21,0	23,8	63,4	3,3	1,5	0,0
2011-2012	35,4	11,7	4,3	50,4	26,7	33,5	30,5	85,6	2,6	0,0	0,0	0,2
2012-2013	7,9	73,1	59,2	10,5	23,7	18,0	9,4	16,1	55,4	4,3	0,5	0,0
2013-2014	38,2	87,7	99,7	99,8	111,5	28,7	19,5	51,3	5,6	10,0	0,0	0,0
2014-2015	71,0	1,6	57,8	23,0	46,6	53,6	64,5	54,1	12,6	20,1	6,7	12,9
2015-2016	19,7	96,0	38,0	34,2	48,8	28,8	24,9	66,4	69,1	23,8	0,0	8,3
2016-2017	0,9	75,2	63,9	24,8	21,1	50,8	27,0	25,9	6,0	8,3	2,3	0,9
Moy mois	18,3	31,7	49,5	44,7	45,9	52,4	54,2	47,2	33,9	6,7	2,1	4,2

Les données du tableau révèlent une forte irrégularité dans la répartition des précipitations et une variabilité mensuelle notable sur la période de 1978 à 2017. On observe que les précipitations sont particulièrement faibles durant les mois de juin, juillet et août, tandis qu'elles atteignent un niveau moyen au printemps et culminent en hiver. Cette fluctuation mensuelle peut influencer de manière significative la gestion de l'eau et l'irrigation dans la région d'étude, nécessitant une planification et une répartition soigneuse des ressources en eau pour garantir l'approvisionnement continu et assurer une production agricole optimale tout au long de l'année.

III.4.2 Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique

Le test de Wilcoxon est employé pour évaluer l'homogénéité d'une série pluviométrique. Il se déroule en plusieurs étapes pour déterminer si la série est statistiquement homogène :

- **Division en sous-séries** : La série pluviométrique totale est divisée en deux sous-séries, nommées X et Y, où la taille de X est généralement supérieure à celle de Y, respectivement notées par n et m.

- **Classement et attribution de rangs** : La série complète ($X \cup Y$) est ordonnée par ordre croissant. À chaque valeur de cette série classée est attribué un rang, indiquant son appartenance à l'une des sous-séries X ou Y.
- **Interprétation des résultats** : Selon Wilcoxon, la série peut être considérée comme homogène avec une probabilité de 95 % si elle satisfait une relation spécifique, telle que rapportée par Touaibia (2004).

Ce test permet de vérifier l'homogénéité statistique de la série, ce qui est essentiel pour évaluer la stabilité des régimes de précipitations dans la région d'étude et pour prendre des décisions éclairées dans la gestion des ressources en eau.

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

Avec :

- **W_x** : Somme des rangs de sous-séries.

$$W_{min} = \frac{n(n + m + 1)}{2} - 1.96 \left(n \cdot m \left(\frac{n + m + 1}{12} \right) \right)^{1/2}$$

$$W_{max} = \frac{n(n + m + 1)}{2} + 1.96 \left(n \cdot m \left(\frac{n + m + 1}{12} \right) \right)^{1/2}$$

X	Y	XUY	Série d'origine	Rang
541,8	416,6	119.4	X	1
602,2	498,4	142.2	X	2
558,4	394,6	226.4	X	3
458,4	464,7	255.1	Y	4
392,3	352,5	278.1	Y	5
382,4	255,1	280.9	Y	6
472,9	339,1	297	X	7
560,2	474,4	299.6	X	8
119,4	391,3	307.1	Y	9
142,2	471,7	321.9	X	10
299,6	330,6	330.6	Y	11
339,3	333,7	333.7	Y	12
411,2	280,9	333.9	X	13
433,3	278,1	339.1	Y	14
226,4	552	339.3	X	15
384,6	424,5	352.5	Y	16
333,9	458	382.4	X	17
438,9	307,1	384.6	X	18
499,5		391.3	Y	19
321,9		392.3	X	20

297		394.6	Y	21
		411.2	X	22
		416.6	Y	23
		424.5	Y	24
		433.3	X	25
		438.9	X	26
		458	Y	27
		458.4	X	28
		464.7	Y	29
		471.7	Y	30
		472.9	X	31
		474.4	Y	32
		498.4	Y	33
		499.5	X	34
		541.8	X	35
		552	Y	36
		558.4	X	37
		560.2	X	38
		602.2	X	39

On a alors selon le tableau :

- $n = 21$
- $m = 18$
- $W_{\min} = \frac{21(21+18+1)}{2} - 1.96 \left(nxm \left(\frac{21+18+1}{12} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = 350.42$
- $W_{\max} = \frac{21(21+18+1)}{2} + 1.96 \left(nxm \left(\frac{21+18+1}{12} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = 489.57$
- $W_x = 429$

Donc :

$$350.42 < W_x < 489.57$$

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

III.4.3 Ajustement statistique des pluies

Dans l'analyse des données de pluies annuelles, il est fréquent de procéder à un ajustement statistique pour identifier la loi qui modélise le mieux la distribution des précipitations. Ce processus d'ajustement permet d'obtenir une représentation fidèle des précipitations annuelles et facilite les prévisions et la gestion des ressources en eau. Les

lois d'ajustement les plus souvent appliquées aux séries pluviométriques annuelles incluent :

- **La loi de Gauss (ou loi normale)** : utilisée pour les distributions symétriques autour de la moyenne, elle est adaptée aux séries de données qui suivent une répartition régulière autour d'une valeur moyenne.
- **La loi de Galton (ou loi log-normale)** : particulièrement efficace pour les données de pluies caractérisées par une asymétrie, elle est utilisée lorsque les précipitations annuelles montrent une forte variabilité avec des valeurs extrêmes.

L'ajustement de la série pluviométrique à ces lois permet de mieux comprendre les régimes de précipitations et d'adapter les stratégies de gestion des ressources hydriques en fonction des tendances observées.

III.4.3.1 Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss (ou loi normale)

Une variable aléatoire suit une distribution normale, ou loi de Gauss, lorsque sa fonction de répartition cumulative peut être représentée sous la forme :

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

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

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Processus d'ajustement des pluies annuelles à la loi normale :

- Trier les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Attribuer un numéro d'ordre aux valeurs triées.
- Calculer la fréquence expérimentale de chaque valeur.
- Calculer la variable réduite de Gauss **u**.
- Calculer les caractéristiques empiriques : moyenne $\bar{x}$, variance σ , coefficient de variation **Cv**, et coefficient d'asymétrie **Cs**.
- Tracer la droite de Henry pour vérifier l'ajustement à la distribution normale.

L'équation de la droite de Henry est :

$$x_{p\%} = \bar{x} + u_{p\%} \cdot \sigma$$

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

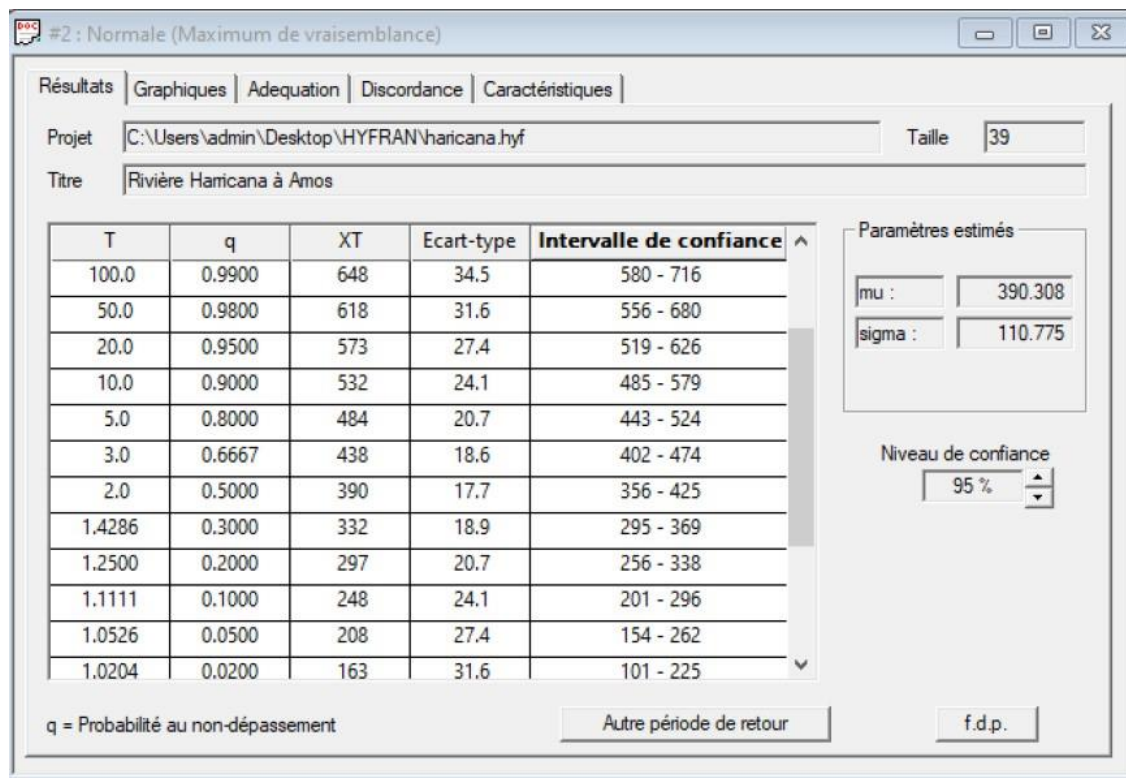


Figure III-4: Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN.

III.4.3.2 Test de validité d'un ajustement

L'évaluation de la qualité d'un ajustement repose sur la vérification que la loi statistique retenue reflète de manière satisfaisante la distribution observée dans l'échantillon. L'écart entre la loi choisie et les données réelles est qualifié d'erreur d'adéquation. Pour minimiser cette erreur, il est nécessaire de confronter plusieurs lois statistiques et de sélectionner celle qui s'adapte le mieux aux données disponibles. Le test du khi carré (χ^2) constitue une méthode largement reconnue et utilisée pour mesurer cette adéquation et guider ce choix.

- **Procédure de test de validité d'ajustement avec le khi carré :**
 1. **Classer les données :** Organiser l'échantillon de N valeurs en ordre croissant ou décroissant.
 2. **Définir les classes :** Diviser cet échantillon en K classes, chaque classe ayant un nombre observé de valeurs N_i .
 3. **Calculer les valeurs théoriques :** Pour chaque classe, déterminer le nombre théorique V_i de valeurs selon la loi de répartition $F(X)$, calculée à partir de l'échantillon N.

Le test consiste ensuite à comparer les valeurs observées N_i et théoriques V_i pour chaque classe.

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

Ici, $f(X)$ représente la densité de probabilité associée à la loi théorique. Ensuite, nous calculons la variable aléatoire χ^2 , dont la distribution a été étudiée par Pearson, à l'aide de l'expression suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(ni - ni')^2}{ni'}$$

Nous calculons χ^2 et déterminons le nombre de degrés de liberté à l'aide de la formule :

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

Ensuite, nous cherchons la valeur critique χ^2 théorique dans la table de Pearson. Pour ce faire, nous prenons en compte le nombre de paramètres de la loi, m qui dépend de la loi de répartition (dans ce cas $m=2$).

La loi est considérée comme adéquate avec une erreur $\alpha=0.05$ si et seulement si et seulement si $\chi^2_{\text{calculé}}$ est inférieur à $\chi^2_{\text{théorique}}$

Il convient de noter que pour effectuer ces calculs, nous avons utilisé le logiciel HYFRAN.

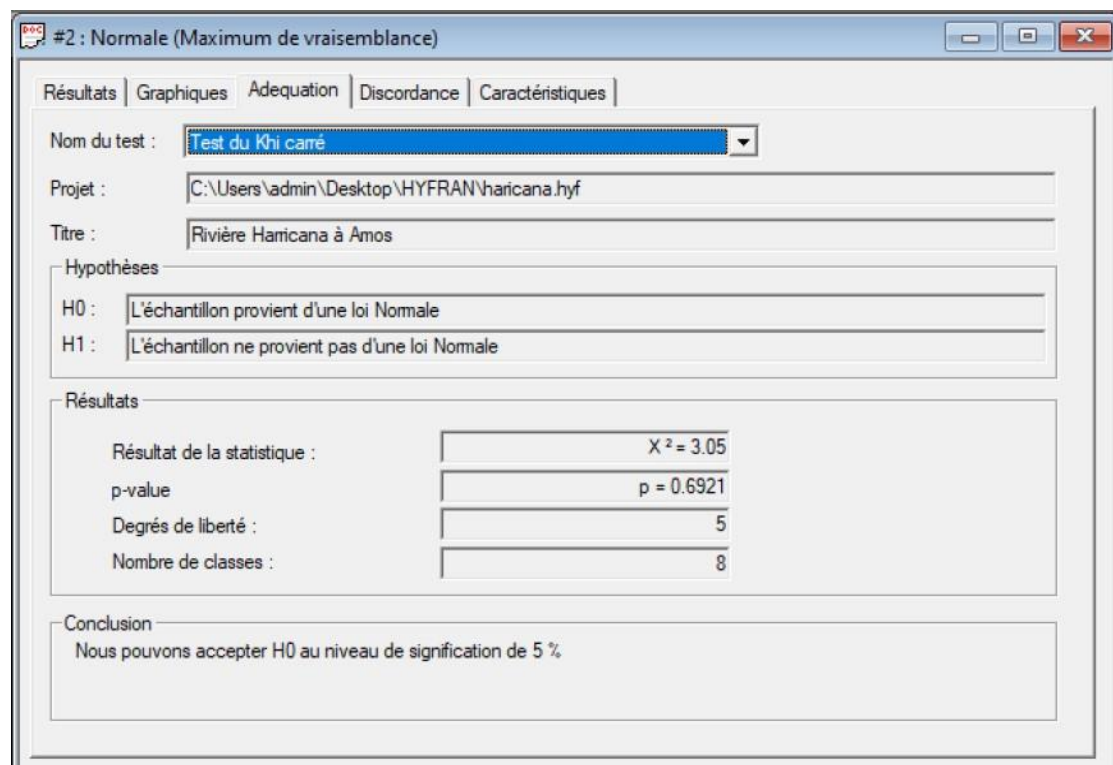


Figure III-5: Teste de khi deux obtenus par le logiciel HYFRAN

Après examen des ajustements obtenus, il ressort un bon ajustement par la loi normale de la série des pluies annuelles.

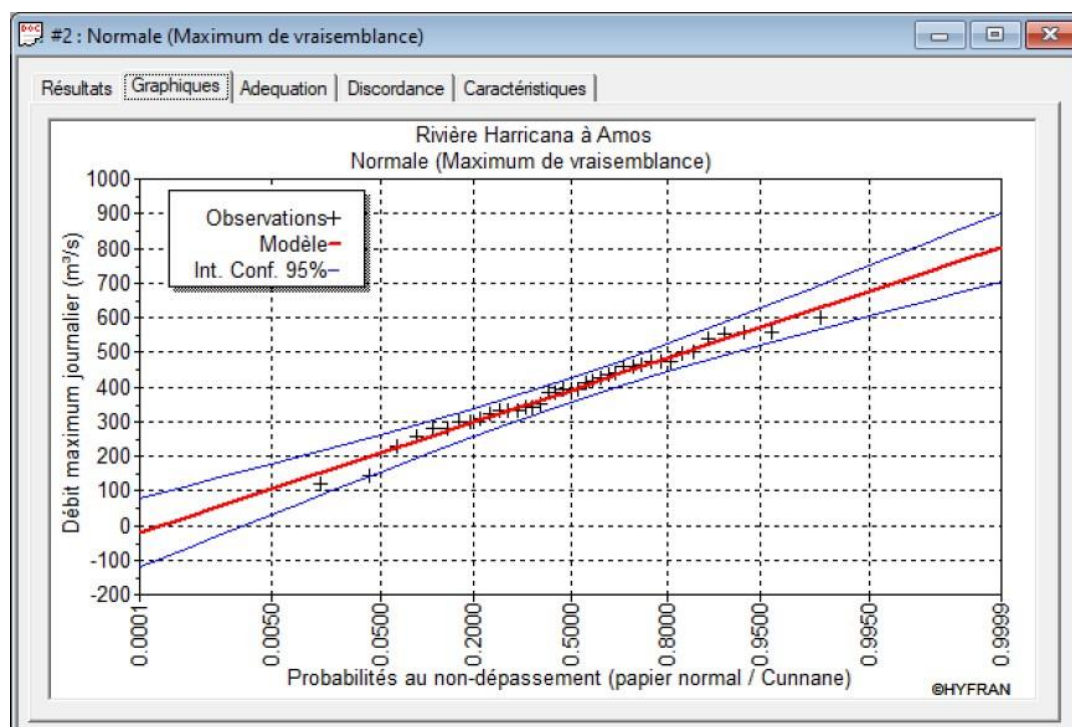


Figure III-6 : L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN.

III.4.3.3 Détermination de l'année de calcul

Puisque la loi normale offre le meilleur ajustement à la distribution des données pluviométriques, elle est utilisée pour estimer la valeur moyenne annuelle des précipitations représentatives de la région, avec un niveau de probabilité fixé à 80 %.

Tableau III-10: la pluie en fonction de la période de retour.

T (ans)	Fréquence	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
10	0.9	532	24.1	485 – 579
5	0.8	484	20.7	443 – 524
2	0.5	390	17.7	356 – 425
1.25	0.2	297	20.7	256 – 338

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

$P_{moy\ 80\% \text{ de chaque mois}} = P_{moy \text{ de chaque mois}}$

$$x = \frac{P_{theorique\ (80\%) \text{ annuelle}}}{p_{theorique\ (50\%) \text{ annuelle}}}$$

Tableau III-11: Calcul de P80%.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aout
Pmoy mm/mois	18,3	31,7	49,5	44,7	45,9	52,4	54,2	47,2	33,9	6,7	2,1	4,2
P%80 mm/mois	14,64	25,36	39,6	35,76	36,72	41,92	43,36	37,76	27,12	5,36	1,68	3,36

III.5 Conclusion

Cette étude met en évidence l'importance critique des ressources en eau et en sol dans la région d'Ain Houtz, en Algérie. Elle montre que ces ressources sont adéquates pour soutenir les activités agricoles et industrielles de la région, tout en soulignant l'importance de gérer ces ressources de manière durable pour préserver l'environnement. En fin de compte, cette analyse joue un rôle essentiel dans la prise de décisions éclairées et le développement responsable de la région. Après examen des ajustements obtenus, il ressort que la loi normale ajuste bien la série des pluies annuelles.

Chapitre IV : Evaluation des besoins en eau des cultures

IV. Chapitre IV : Evaluation des besoins en eau des cultures

IV.1 Introduction

La quantification des besoins en eau dans une zone spécifique représente une phase cruciale pour la planification rationnelle d'un projet d'aménagement hydro-agricole. Ce chapitre a pour but d'estimer avec exactitude le volume d'eau requis pour l'irrigation, en tenant compte de multiples paramètres, tels que les conditions climatiques, la nature des sols et la qualité de l'eau disponible pour l'irrigation. Ces aspects ont été traités dans les sections précédentes.

IV.2 Besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures correspondent à la quantité d'eau indispensable pour conserver un niveau d'humidité optimal dans le sol, condition essentielle à une production agricole maximale. Cela implique d'apporter aux plantes l'eau nécessaire au bon moment pour garantir un rendement optimal.

IV.2.1 Évaluation des besoins en eau d'une culture

Pour évaluer précisément les besoins en eau d'une culture, il est essentiel de prendre en compte plusieurs facteurs liés au climat, au sol et aux caractéristiques propres à la plante. Voici les principaux éléments à analyser :

1. **Données climatiques** : Elles influencent directement la consommation d'eau des plantes. Des données comme les précipitations, l'humidité de l'air, la température et l'ensoleillement permettent d'estimer la demande en eau des cultures.
2. **Paramètres pédologiques** La capacité du sol à stocker et restituer l'eau dépend de sa texture, de sa profondeur, de sa perméabilité et de sa capacité de rétention. Ces paramètres déterminent la quantité d'eau disponible pour les racines.
3. **Données culturales** : Chaque plante a des besoins spécifiques qui varient selon son type, son stade de développement et ses exigences nutritionnelles. Une bonne connaissance de ces éléments permet d'ajuster l'irrigation tout au long du cycle de croissance.

En combinant ces différents paramètres, il devient possible d'estimer les besoins en eau de manière adaptée aux conditions locales. Cela permet d'optimiser l'irrigation, d'améliorer les rendements et de préserver les ressources en eau.

IV.2.2 Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration constitue un indicateur essentiel pour évaluer la quantité d'eau perdue à la fois par évaporation du sol et par transpiration des plantes. Elle permet ainsi d'estimer avec précision les besoins en eau d'une culture ou d'une région.

- **Évaporation** : Processus par lequel l'eau se transforme en vapeur à la surface du sol, influencé par des facteurs climatiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent et l'ensoleillement.
- **Transpiration** : Il s'agit du processus par lequel l'eau présente à la surface du sol s'évapore sous forme de vapeur. Ce phénomène est influencé par plusieurs facteurs climatiques, tels que la température, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et l'ensoleillement.
- **Évapotranspiration (ET)** : Elle représente la somme de l'évaporation et de la transpiration. L'ET reflète ainsi la perte totale d'eau d'un système sol-plante dans une zone donnée. Son estimation repose sur l'analyse de paramètres climatiques tels que la température, l'humidité relative, la vitesse du vent et l'ensoleillement.
- **Applications** : Le calcul de l'évapotranspiration est fondamental pour une gestion efficace de l'irrigation en agriculture. Il permet d'ajuster les apports en eau selon les besoins réels des cultures, contribuant ainsi à une utilisation rationnelle de la ressource, à l'anticipation des épisodes de sécheresse et à la préservation durable des réserves en eau

IV.2.2.1 Méthode de calcul de l'évapotranspiration de référence (ET₀)

L'ET₀, ou évapotranspiration de référence, est une mesure standard de la quantité d'eau potentiellement perdue par évaporation et transpiration dans des conditions idéales. La méthode de Penman-Monteith, recommandée par la FAO, est couramment utilisée pour la calculer.

➤ Étapes de calcul de l'ET₀ avec la méthode de Penman-Monteith :

1. **Collecte des données météorologiques** : Les données nécessaires incluent la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, l'ensoleillement et la pression atmosphérique. Ces valeurs sont idéalement relevées plusieurs fois par jour.
2. **Préparation des données** : Ces données sont organisées en fonction des besoins de précision pour le calcul, que ce soit par jour ou par heure.
3. **Calcul de l'ET₀** : La méthode Penman-Monteith utilise une formule intégrant les variables climatiques mentionnées pour estimer l'ET₀ en millimètres par jour. Voici une version simplifiée de cette formule :

$$ET0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T + 273} \times U2(es - ea)}{(\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U2))}$$

- **ET0** : Évapotranspiration de référence [mm/jour]
 - **Δ** : Pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C⁻¹]
 - **R_n** : Rayonnement net à la surface [MJ/m²/jour]
 - **G** : Flux de chaleur dans le sol [MJ/m²/jour]
 - **γ** : Constante psychrométrique [kPa °C⁻¹]
 - **T** : Température moyenne de l'air [°C]
 - **U2** : Vitesse du vent [m/s]
 - **es** : Pression de vapeur saturante [kPa]
 - **ea** : Pression de vapeur effective [kPa]
4. **Interprétation des résultats** : L'ET0 est obtenue en millimètres par jour, représentant la quantité d'eau potentiellement perdue par évaporation et transpiration dans des conditions idéales.
5. **Utilisation** : L'ET0 permet de planifier l'irrigation, de déterminer les besoins en eau des cultures et de gérer les ressources en eau plus efficacement.

Dans notre cas, nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour calculer l'ET0 selon la méthode Penman-Monteith modifiée. Les données mensuelles saisies dans le logiciel incluent :

- **Température** : Minimale et maximale
- **Humidité relative** : En pourcentage (%)
- **Insolation** : Nombre d'heures d'ensoleillement par jour
- **Vitesse du vent** : En mètres par seconde (m/s)

Ces calculs nous aident à obtenir une estimation précise de l'ET0, ce qui permet une gestion d'irrigation optimale, maximisant les rendements agricoles tout en conservant les ressources hydriques.

Les résultats obtenus via **CROPWAT 8.0** sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV-1 : Evapotranspiration de référence ET0 calculée par le logiciel COPWAT.

Mois	T Min C°	T Max C°	Humidité %	Vent (km/j)	Insolation (h)	Ray (MJ/m2/j)	ET0 (mm/j)
Septembre	16,5	28,9	63	1.7	8,6	19,1	136,52
Octobre	12,9	23,8	69	1.5	7,8	15,1	93,78
Novembre	9,8	19,8	77	1.7	6,9	11,5	59,8
Décembre	7,5	16,7	73	1.8	6,3	9,8	50,73
Janvier	5,3	15	67	1.7	6,3	10,5	49,63
Février	5,9	16,6	71	1.8	6,7	13,1	56,82
Mars	7,7	18,4	72	2	7,5	16,9	82,38
Avril	9	19,9	75	2.4	8,9	21,4	110,44
Mai	11,9	24	68	2.3	9,9	24,3	141,99

Juin	14,9	28,6	66	2.1	10,5	25,6	168,69
Juillet	18,2	33,1	60	1.9	11,3	26,5	198,05
Aout	20,1	34	60	1.8	10,5	24,1	195,52
moy	11,6	23,2	68,4	1.9	8,4	18,2	1284.35

IV.3 Calcul de la Pluie Efficace

La pluie efficace désigne la fraction des précipitations totales réellement absorbée et utilisée par les cultures, une fois déduites les pertes causées par le ruissellement, l'évaporation ou l'infiltration profonde. Elle dépend de divers facteurs, tels que la localisation géographique, les caractéristiques des précipitations (intensité, fréquence, durée) et les propriétés du sol.

Pour notre étude, nous avons appliqué la **méthode du pourcentage fixe** afin d'estimer la pluie efficace, comme décrit ci-dessous :

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

Où :

- **A** représente le coefficient de pertes, fixé à **0,8** pour cette étude.

Les résultats obtenus avec cette méthode sont présentés dans le tableau suivant, montrant les pluies efficaces calculées pour chaque mois :

Tableau IV-2 : Précipitations efficaces de la zone d'étude

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Pmoy 80% (mm)	14.64	25.36	39.6	35.76	36.72	41.92	43.36	37.76	27.12	5.36	1.68	3.36
Peff	11.712	20.28	31.68	28.61	29.38	33.54	34.68	30.2	21.69	4.28	1.34	2.68

IV.4 Calcul de la réserve en eau du sol

La réserve en eau du sol représente la quantité d'eau disponible dans la couche de sol explorée par les racines des plantes, comprise entre le point de saturation et le point de flétrissement. Lorsque l'humidité du sol se rapproche du point de flétrissement, il devient de plus en plus difficile pour les plantes de capter l'eau nécessaire.

➤ Réserve Facilement Utilisable (RFU)

La RFU se calcule en appliquant la formule suivante :

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

- **hcc : humidité à la capacité au champ (27%)**
- **hpf : humidité au point de flétrissement (16%)**
- **Z : profondeur racinaire**

- **Y : coefficient dépendant de la nature du sol (ici, $Y = 2/3$)**
- **Da : densité apparente du sol (1.2)**

La réserve en eau du sol pour le mois précédent (i-1) est ensuite déterminée avec l'équation suivante :

$$RS = K \times RFU$$

K est un coefficient qui peut être égal à 1, 1/2, 1/3, ou 0 si la réserve en eau est nulle.

IV.5 Choix des cultures

Le choix des cultures à cultiver dépend de plusieurs paramètres, parmi lesquels :

- La situation naturelle de l'exploitation agricole
- La position économique de l'exploitation par rapport aux marchés et aux infrastructures
- La prise en compte de la conjoncture économique actuelle
- L'exploitation des capacités et des potentialités propres à l'exploitation.

IV.5.1 Occupation des sols

Avant d'analyser les besoins en eau des cultures dans la zone d'étude, il est essentiel de définir au préalable un plan d'occupation des sols et de répartition des cultures à l'intérieur du périmètre concerné. Cette planification doit intégrer plusieurs contraintes, notamment les conditions climatiques, les facteurs socio-économiques et les caractéristiques agro-pédologiques de la région.

Tableau IV-3 : Occupation des sols

Culture	Céréale	Fourragères	Olivier	Agrumes	Maraichère	Vigne	Somme
Occupation (%)	25	10	30	15	10	10	100

Les Cultures proposées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-4 : Les Cultures proposées.

Céréaliculture	Cultures fourragères	Cultures maraichères	Cultures arboricoles
Blé	Orge vert	Pomme de terre	Vignes
Orge grain	Luzerne	Tomate	Olivier
			Agrumes

IV.5.2 Autres notions

➤ Profondeur utile :

La profondeur d'enracinement d'une culture dépend des caractéristiques du sol et, parfois, du sous-sol qui l'abrite. Selon les espèces, les racines peuvent rester peu

CHAPITRE IV : EVALUATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

profondes, autour de 60 cm, ou s'étendre profondément jusqu'à 10 mètres et plus. Le tableau ci-dessous présente les profondeurs d'enracinement, en mètres, des différentes cultures cultivées à Ain El Houtz.

Tableau IV-5 : Profondeur utile (Z) des cultures en mètres.

Culture	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aou
Agrumes	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
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
Vigne	1.2						1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
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	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6			
Luzerne								0.45	0.55	1.15	0.9	
Pomme de terre (Saison)						0.25	0.5	0.5	0.5			
Tomate							0.6	0.9	1.2	1.2		

IV.6 Estimation des coefficients culturaux (Kc)

Les coefficients culturaux (Kc) pour chaque type de culture ont été établis conformément aux recommandations de Doorenbos (FAO, 2003). Ces coefficients varient en fonction du stade de développement des plantes ainsi que des conditions climatiques propres à la région.

Tableau IV-6 : Coefficients culturaux des cultures (Kc)

Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
Blé		0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	1	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												
Luzerne												
Pomme de terre												
						0.5	0.7	1	0.75			
Tomate							0.5	0.85	1.15	0.85		
Vigne	0.4	0.4	0	0	0	0	0.2	0.45	0.6	0.7	0.7	0.45
Olivier	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.85	0.85	0.85

Agrumes	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7
----------------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----

IV.7 Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures

Le calcul des quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation est réalisé périodiquement, en évaluant le bilan hydrique pour chaque stade de croissance des cultures à l'aide de l'équation suivante :

$$Bi = ETM - (Pe_{eff} + K \times RFU_{i-1})$$

Où :

- **ETM** : Évapotranspiration maximale ou besoins en eau des cultures (en mm), avec :

$$ETM = ET_0 \times K_c$$

- **K_c** : Coefficient culturel de la culture concernée ;
- **Pe_{eff}** : Pluie efficace ;
- **RFU_{i-1}** : Réserve utile.

IV.8 Estimation des besoins en eau des cultures choisies

IV.8.1 Estimation des besoins en eau des céréales

Tableau IV-7 : Calcul des besoins en eau pour le blé.

Mois	Pmoy	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	k _c	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
Sept	18.3	11.71	136.52						
Oct	31.7	20.28	93.78						
Nov	49.5	31.68	59.8	0.4	24	0.3	26.4	13.2	
Dec	44.7	28.6	50.73	0.65	33	0.5	44	44	
Janv	45.9	29.37	49.63	0.9	45	0.5	44	44	
Fev	52.4	33.53	56.82	0.9	51	0.6	52.8	52.8	
Mars	54.2	34.68	82.38	0.9	74	0.6	52.8	26.4	
Avril	47.2	30.2	110.44	0.85	94	0.6	52.8	26.4	37.27
Mai	33.9	21.69	141.99	0.6	85	0.6	52.8	17.6	37.1
Juin	6.7	4.28	168.69	0.35	59	0.6	52.8		37.16
Juil	2.1	1.34	198.05						
Aout	4.2	2.68	195.52						

Tableau IV-8 : Calcul des besoins en eau pour l'orge grain

Mois	Pmoy	pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	k _c	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52						
oct	31.7	20.28	93.78						

CHAPITRE IV : EVALUATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

nov	49.5	31.68	59.8	0.4	24	0.3	26.40	13.20	
dec	44.7	28.6	50.73	0.65	33	0.5	44.00	44.00	
janv	45.9	29.37	49.63	0.9	45	0.5	44.00	44.00	
fev	52.4	33.53	56.82	0.9	51	0.6	52.80	52.80	
mars	54.2	34.68	82.38	0.9	74	0.6	52.80	26.40	
avril	47.2	30.2	110.44	0.85	94	0.6	52.80	26.40	37.27
mai	33.9	21.69	141.99	0.6	85	0.6	52.80	17.60	37.10
juin	6.7	4.28	168.69	0.35	59	0.6	52.80		37.16
juil	2.1	1.34	198.05						
aout	4.2	2.68	195.52						

IV.8.2 Estimation des besoins en eau des cultures fourragères

Tableau IV-9 : Calcul des besoins en eau de l'orge vert.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52						
oct	31.7	20.28	93.78						
nov	49.5	31.68	59.8	0.3	18	0.3	26.40	13.20	
dec	44.7	28.6	50.73	0.3	15	0.5	44.00	44.00	
janv	45.9	29.37	49.63	0.5	25	0.5	44.00	44.00	
fev	52.4	33.53	56.82	0.5	28	0.6	52.80	52.80	
mars	54.2	34.68	82.38	1	82	0.6	52.80	26.40	
avril	47.2	30.2	110.44	1.15	127	0.6	52.80	26.40	70.41
mai	33.9	21.69	141.99	1	142	0.7	61.60	20.53	93.90
juin	6.7	4.28	168.69						
juil	2.1	1.34	198.05						
aout	4.2	2.68	195.52						

Tableau IV-10 : Calcul des 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	18.3	11.71	136.52						
oct	31.7	20.28	93.78						
nov	49.5	31.68	59.8	0.7	42	0.7	61.60	30.80	10.18
dec	44.7	28.6	50.73	0.8	41	0.9	79.20	79.20	

CHAPITRE IV : EVALUATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

janv	45.9	29.37	49.63	0.9	45	1	88.00	88.00	
fev	52.4	33.53	56.82	0.95	54	1.2	105.60	105.60	
mars	54.2	34.68	82.38	1.05	86	1.2	105.60	52.80	
avril	47.2	30.2	110.44	1.05	116	1.2	105.60	52.80	32.96
mai	33.9	21.69	141.99	1.05	149	1.2	105.60	35.20	74.60
juin	6.7	4.28	168.69						
juil	2.1	1.34	198.05						
aout	4.2	2.68	195.52						

IV.8.3 Estimation des besoins en eau des maraîchages

Tableau IV-11 : Calcul des besoins en eau Pomme de terre de saison.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52						
oct	31.7	20.28	93.78	0.5	47	0.4	35.20	11.73	26.61
nov	49.5	31.68	59.8	0.7	42	0.6	52.80	26.40	
dec	44.7	28.6	50.73	1	51	0.6	52.80	52.80	
janv	45.9	29.37	49.63	0.75	37	0.6	52.80	52.80	
fev	52.4	33.53	56.82						
mars	54.2	34.68	82.38						
avril	47.2	30.2	110.44						
mai	33.9	21.69	141.99						
juin	6.7	4.28	168.69						
juil	2.1	1.34	198.05						
aout	4.2	2.68	195.52						

Tableau IV-12 : Calcul des besoins en eau de la tomate.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52						
oct	31.7	20.28	93.78						
nov	49.5	31.68	59.8						
dec	44.7	28.6	50.73						
janv	45.9	29.37	49.63						

CHAPITRE IV : EVALUATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

fev	52.4	33.53	56.82						
mars	54.2	34.68	82.38	0.5	41	0.7	61.60	30.80	6.51
avril	47.2	30.2	110.44	0.85	94	0.9	79.20	39.60	32.87
mai	33.9	21.69	141.99	1.15	163	1.2	105.60	35.20	102.00
juin	6.7	4.28	168.69	0.9	152	1.2	105.60		112.34
juil	2.1	1.34	198.05						
aout	4.2	2.68	195.52						

IV.8.4 Estimation des besoins en eau des arboricultures

Tableau IV-13 : Calcul des besoins en eau pour la vigne.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52	0.4	55	1.2	105.60		42.90
oct	31.7	20.28	93.78	0.4	38				17.23
nov	49.5	31.68	59.8						
dec	44.7	28.6	50.73						
janv	45.9	29.37	49.63						
fev	52.4	33.53	56.82						
mars	54.2	34.68	82.38	0.15	12	1.2	105.60	52.80	
avril	47.2	30.2	110.44	0.45	50	1.2	105.60	52.80	
mai	33.9	21.69	141.99	0.6	85	1.2	105.60	35.20	10.70
juin	6.7	4.28	168.69	0.7	118	1.2	105.60		78.60
juil	2.1	1.34	198.05	0.7	139	1.2	105.60		137.30
aout	4.2	2.68	195.52	0.45	88	1.2	105.60		85.30

Tableau IV-14 : Calcul des besoins en eau pour les Agrumes

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52	0.7	96	1.5	132.00		83.85
oct	31.7	20.28	93.78	0.7	66	1.5	132.00	44.00	45.37
nov	49.5	31.68	59.8	0.7	42	1.5	132.00	66.00	
dec	44.7	28.6	50.73	0.65	33	1.5	132.00	132.00	
janv	45.9	29.37	49.63	0.65	32	1.5	132.00	132.00	

CHAPITRE IV : EVALUATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

fev	52.4	33.53	56.82	0.65	37	1.5	132.00	132.00	
mars	54.2	34.68	82.38	0.65	54	1.5	132.00	66.00	
avril	47.2	30.2	110.44	0.65	72	1.5	132.00	66.00	
mai	33.9	21.69	141.99	0.65	92	1.5	132.00	44.00	4.60
juin	6.7	4.28	168.69	0.65	110	1.5	132.00		61.37
juil	2.1	1.34	198.05	0.7	139	1.5	132.00		137.30
aout	4.2	2.68	195.52	0.7	137	1.5	132.00		134.18

Tableau IV-15 : Calcul des besoins en eau pour l'olivier.

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18.3	11.71	136.52	0.7	96	1.5	132.00		83.85
oct	31.7	20.28	93.78	0.7	66	1.5	132.00	44.00	45.37
nov	49.5	31.68	59.8	0.7	42	1.5	132.00	66.00	
dec	44.7	28.6	50.73	0.65	33	1.5	132.00	132.00	
janv	45.9	29.37	49.63	0.65	32	1.5	132.00	132.00	
fev	52.4	33.53	56.82	0.65	37	1.5	132.00	132.00	
mars	54.2	34.68	82.38	0.65	54	1.5	132.00	66.00	
avril	47.2	30.2	110.44	0.65	72	1.5	132.00	66.00	
mai	33.9	21.69	141.99	0.7	99	1.5	132.00	44.00	11.70
juin	6.7	4.28	168.69	0.85	143	1.5	132.00		95.11
juil	2.1	1.34	198.05	0.85	168	1.5	132.00		167.00
aout	4.2	2.68	195.52	0.85	166	1.5	132.00		163.51

IV.9 Calcul en eau pour l'assolement

Tableau IV-16 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement¹

Mois	Blé	Luzerne	Pomme de terre de saison	Vignes	Olivier	Agrumes	Totale
Sept				42.9	83.85	83.85	210.6
Oct			26.61	17.23	45.37	45.37	134.58
Nov		10.18					10.18
Dec							0
Janv							0
Fev							0

Mars							0
Avril	37.2 7	32.96					70.23
Mai	37.1	74.6		10.7	11.7	4.6	138.7
Juin	37.1 6			78.6	95.11	61.37	272.24
Juil				137.3	167	137.3	441.6
Aout				85.3	163.51	134.18	382.99

Tableau IV-17 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2.

Mois	Orge grain	Orge vert	Tomate	Vignes	Olivier	Agrumes	Totale
Sept				42.9	83.85	83.85	210.6
Oct				17.23	45.37	45.37	107.97
Nov							0
Déc							0
Jan							0
Fév							0
Mar			6.51				6.51
Avr	37.27	70.41	32.87				140.55
Mai	37.1	93.9	102	10.7	11.7	4.6	260
Juin	37.16		112.34	78.6	95.11	61.37	384.58
Juill				137.3	167	137.3	441.6
Août				85.3	163.51	134.18	382.99

IV.10 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 où :

$$LR = \frac{Ce_{iw}}{5C_{ees} - Ce_{iw}}$$

Avec :

- **Ceiw** : conductivité électrique d'eau d'irrigation.
- **Cees** : salinité de la patte saturée.

$$LR = \frac{0.7}{5 \times 4 - 0.7} = 3.6\%$$

Dans la pratique, à cause de l'hétérogénéité du sol, une partie de l'eau s'infiltre rapidement par des voies préférentielles, comme les interfaces entre le sol et les racines ou les fissures, sans provoquer un lessivage réel. Il est donc important de prendre en compte l'efficacité de lessivage (Le), qui varie selon la texture et la structure du sol.

Le nouveau **LR** égal à :

$$LR_{eff} = \frac{LR}{Le}$$

Avec :

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

LR eff= 6%

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

$$V = ETM \times \frac{LR}{1 - \frac{LR}{Le}}$$

Tableau IV-18 : Dose de lessivage.

Culture/Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Blé			1.53	2.11	2.87	3.26	4.72	6.00	5.43	3.77		
Orge grain			1.53	2.11	2.87	3.26	4.72	6.00	5.43	3.77		
Orge vert			1.15	0.96	1.60	1.79	5.23	8.11	9.06			
Luzerne			2.68	2.62	2.87	3.45	5.49	7.40	9.51			
Pomme de terre saison		3.00	2.68	3.26	2.36							
Tomate							2.62	6.00	10.40	9.70		
Vigne	3.51	2.43					0.77	3.19	5.43	7.53	8.87	5.62
Olivier	6.13	4.21	2.68	2.11	2.04	2.36	3.45	4.60	6.32	9.13	10.72	10.60
Agrumes	6.13	4.21	2.68	2.11	2.04	2.36	3.45	4.60	5.87	7.02	8.87	8.74

IV. 1 Conclusion

Ce chapitre met en exergue l'importance capitale de la détermination précise des besoins en eau pour la réussite des aménagements hydro-agricoles. Il présente une méthodologie rigoureuse qui intègre les facteurs climatiques, pédologiques ainsi que la qualité de l'eau d'irrigation. L'analyse aborde également le calcul de

l'évapotranspiration, l'évaluation de la pluie efficace et l'estimation des capacités de stockage en eau du sol.

Chapitre V :
Dimensionnement du
réseau du drainage

V. CHAPITRE V : Dimensionnement du réseau du drainage

V.1 Introduction

Le drainage agricole est une technique essentielle pour gérer les terres cultivables en éliminant l'excès d'eau dans la couche supérieure du sol, ce qui permet de lutter efficacement contre la salinité. En favorisant de meilleures conditions pour les cultures, il assure la santé du sol, prévient le manque d'oxygène au niveau des racines et optimise les rendements agricoles. Ce drainage peut être réalisé soit par drainage de surface, à travers des fossés, soit par drainage souterrain, grâce à des conduits enterrés qui évacuent 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 buts essentiels du drainage est de prévenir la présence excessive d'eau stagnante, qu'elle soit en surface ou en profondeur, dans les champs. Cette accumulation peut entraîner un manque d'oxygène pour les racines, causant leur asphyxie et ralentissant la croissance des plantes. En assurant une évacuation rapide de l'eau, le drainage favorise une meilleure circulation de l'air dans le sol, garantissant ainsi un environnement optimal pour le développement des racines.

V.2.2 Prévention de la salinisation

Dans les régions arides et semi-arides, l'accumulation de sels dans les sols constitue une menace majeure pour l'agriculture. Un système de drainage efficace permet d'évacuer l'eau excédentaire ainsi que les sels dissous, contribuant ainsi à limiter les risques de salinisation des terres irriguées.

V.2.3 Amélioration de la structure du sol

Le drainage aide à garder un sol en bon état, en évitant qu'il devienne trop compact. Cela permet aux racines de mieux se développer et facilite l'entrée de l'eau et des nutriments, que les plantes peuvent alors absorber plus facilement.

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 permet de faire baisser la nappe phréatique en dessous de la zone racinaire des plantes. Il comprend généralement deux éléments principaux : des canalisations souterraines et des tranchées ouvertes, formant un système de drainage horizontal. Dans certains cas, des puits verticaux sont utilisés pour extraire l'excès d'eau, on parle alors de 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.

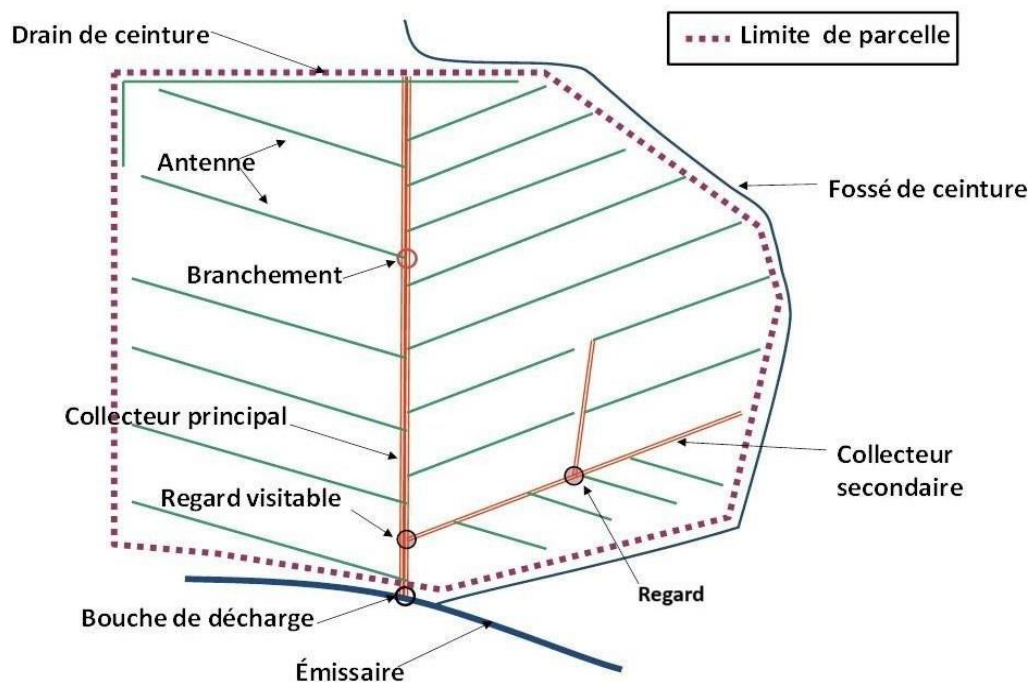


Figure V-1 : Schéma du réseau de drainage (wikhydro.developpement-durable.gouv.fr)

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.

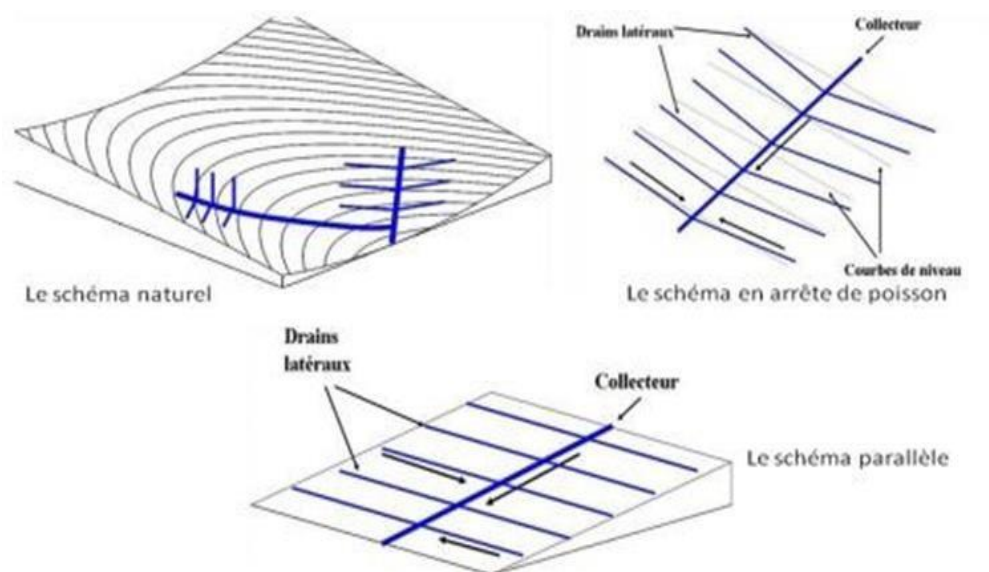


Figure V-2 : Les types de réseaux de drainage.

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 :

V.3.3.1 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.

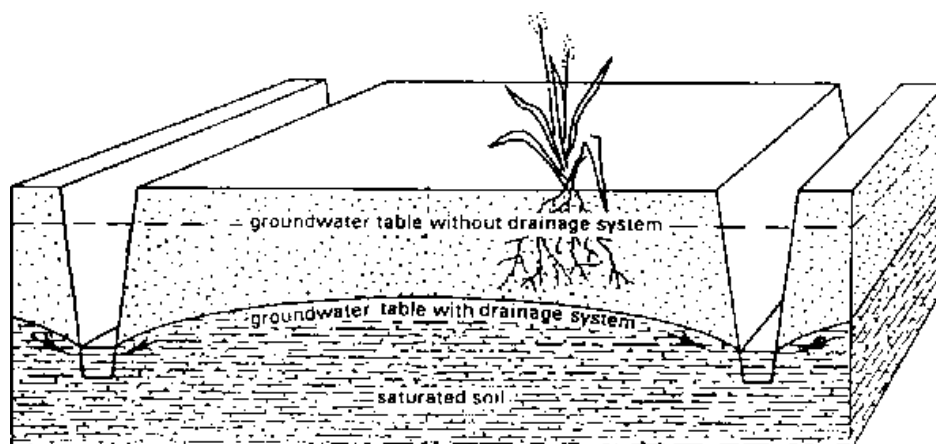


Figure V-3 : Drainage par fossés.

V.3.3.2 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.

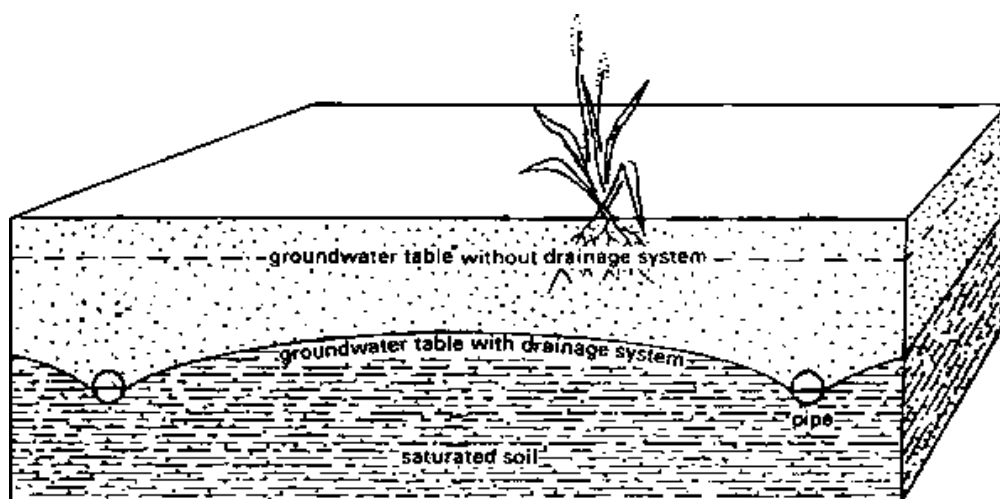


Figure V. 1. Drainage souterrain.

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 :

V.5.1 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.

V.5.2 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.

V.5.3 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 système de drainage correspond au débit maximal par unité de surface que le réseau doit être capable d'évacuer efficacement. Sa détermination (notée qc) dépend du type de drainage mis en place ainsi que de la prise en compte éventuelle de la capacité de rétention en eau du sol.

V.6.1 Cas où l'excès provient des pluies

Lorsqu'il s'agit de dimensionner le réseau en fonction des précipitations, il est indispensable de réaliser une analyse fréquentielle des épisodes pluvieux. Les données pluviométriques doivent ensuite être ajustées à l'aide de la loi de Gumbel, couramment utilisée pour modéliser les événements extrêmes.

En drainage agricole, les volumes totaux de pluie à l'échelle annuelle ou mensuelle ne sont pas les plus problématiques. Ce sont plutôt les pluies intenses et de courte durée qui posent des risques majeurs, en saturant temporairement le sol et en provoquant une remontée rapide de la nappe phréatique jusqu'en surface.

V.6.1.1 L'Analyse fréquentielle de la série pluviométrique

Les données utilisées pour cette étude proviennent des relevés journaliers enregistrés à la station de M'Daourouch sur la période 1990–2020.

La première étape consiste à trier et à analyser statistiquement ces données, afin d'identifier les valeurs maximales de précipitations sur des périodes courtes (1 à 5 jours) ainsi que leur fréquence d'occurrence.

Bien que ce traitement puisse être réalisé sur une base annuelle, il est conseillé de l'effectuer par trimestre. Cette méthode permet de mieux cerner les périodes où surviennent les pluies critiques, en lien avec les phases sensibles du développement des cultures.

V.6.1.2 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 :

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

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

La formule de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}}$$

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 :

$$y = \alpha(x - x_0)$$

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

- $y = \alpha(x - x_0)$: 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	1.83	2.52	3.39	1.22
2J	6.76	8.90	11.6	4.83
3J	8.89	12.1	16.2	5.96
4J	13.5	18.5	24.8	8.96
5J	18	25.6	35	11.3

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

Durée/fréquence	2ans	3ans	5ans	10ans
1J	1.26	1.94	2.71	3.66
2J	6.63	9.04	11.7	15.1
3J	8.01	12.2	16.9	22.8
4J	8.3	12.6	17.4	23.4
5J	8.65	14.5	21	29.2

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

Durée/fréquence	2ans	3ans	5ans	10ans
1J	1.12	1.66	2.26	3.01
2J	4.13	5.88	7.82	10.3
3J	5.49	8.54	11.9	16.2
4J	11.6	17.2	23.4	31.2
5J	16.7	25.6	35.4	47.8

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

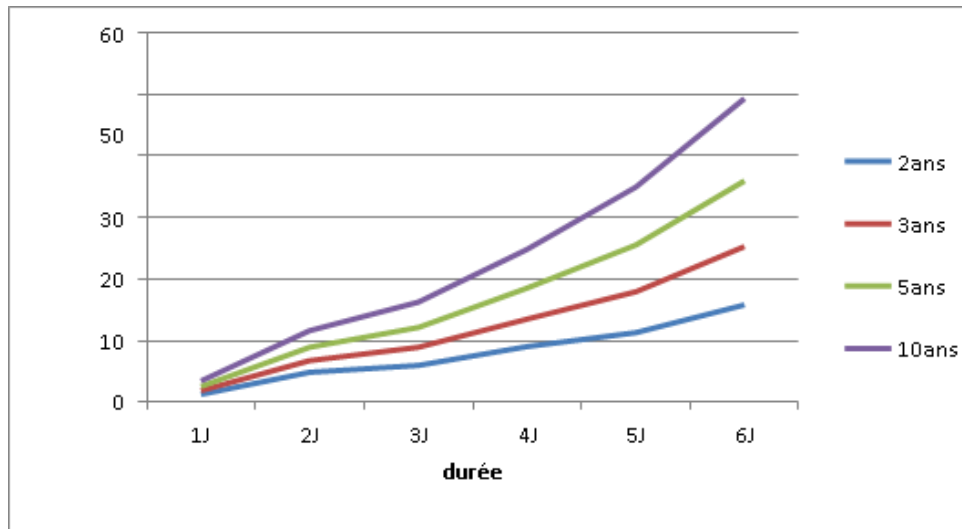


Figure V-4 : Les graphiques (hauteur – durée – fréquence pour trimestre 1)

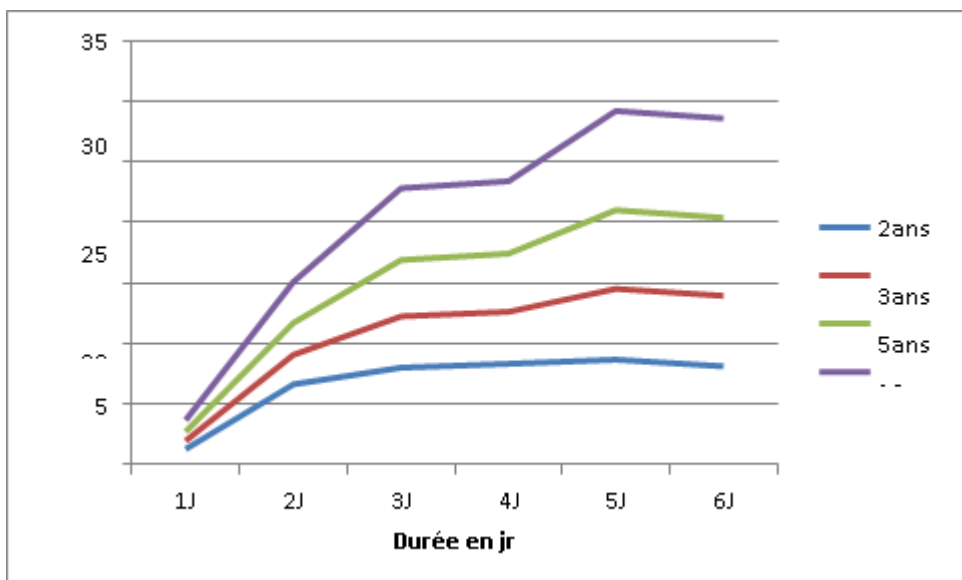


Figure V-5 : Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 2.

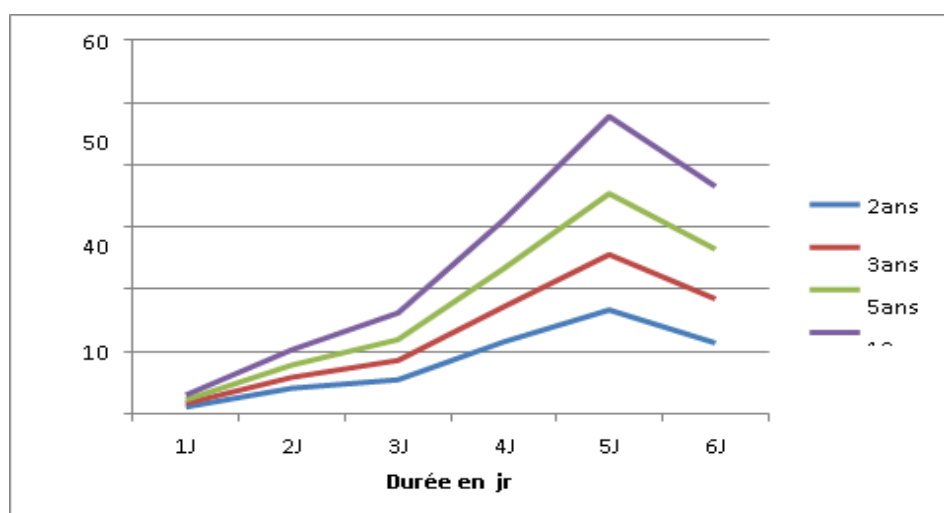


Figure V-6 : Les graphiques : hauteur – durée – fréquence pour trimestre 3.

c. Le débit caractéristique (q_c) en régime permanent sans stockage

En considérant l'intensité de la pluie critique (i_p) et la quantité de précipitations qui survient pendant une période donnée, nous supposons que la partie de cette précipitation à évacuer par le réseau de drainage est la somme du ruissellement direct et de l'infiltration :

$$(r+i) = (1-e)$$

Le débit à évacuer par unité de surface est :

$$q_s = (1-e) i_p \text{ (mm/j)}$$

Tableau V-4 : Débit caractéristique En régime permanent sans tenir compte du stockage

Cultures	θ	1-e	P (mm)	i_p (mm/j)	q_s (mm/j)
Maraichères	2	0.9	6.76	3.38	3.04
céréales	3	0.8	12.2	6.1	4.88
Arboricultures	5	0.5	35	17.5	8.75

Le plus grand débit c'est des Arboricultures : $q_c=8.75 \text{ mm/j}$.

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.

- $B_{net} = 167 \text{ mm}$.
- $B_{brut} = B_{net}/0.6$.
- $B_{brut} = 167/0.6 = 278.33 \text{ mm}$.

- $RFU_{theo} = 132 \text{ mm}$.
- Dose brute = Dose nette/0.6 = $132/0.6 = 220 \text{ mm}$.
- Nombre d'irrigation = Bbrut/dose brute = 2 fois.
- Fréquence d'irrigation = $30/2 = 15$ (on prend 15 jours).
- Dose percolée = $220 * 30\% = 66 \text{ mm}$.

Donc on doit évacuer 66 mm en 15 jours.

Le debit de drainage :

$$qc = 66/15 = 4.4 \text{ mm/j.}$$

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.

$$qc = \frac{v}{ess \times N}$$

$$qc = \frac{10.72}{15 \times 2} = 0.35 \text{ mm/j}$$

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

$qc = 8.75 \text{ mm/j}$

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

$$E^2 = \frac{4 \times k \times hc^2}{qc}$$

Où :

E : Ecartement entre les drains (m).

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

h_c : Hauteur critique (m).

q_c : Débit caractéristique (mm/j*10⁻³).

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

$$E^2 = \frac{4 \times k_1 \times h_c^2 + 8 \times k_2 \times d \times h_c}{q_c}$$

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).

h_c : Hauteur critique (m).

q_c : Débit caractéristique (mm/j*10⁻³).

Avec:

- h_c : hauteur critique =0.6 m
- P : profondeur de la pose des drains = 1.2m
- h_{op} : hauteur optimale (profondeur à maintenir en sec) =0.2m
- d : Profondeur équivalente
- k : perméabilité du sol $k = 0.3\text{m/j}$

Avec une profondeur de la couche imperméable de 15 m.

$$E^2 = 49.37 + 164.57 \times d$$

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

$$d = 1.9 \text{ m} \quad E = 19.02 \text{ m}$$

On prend **$E = 20 \text{ m}$** .

V.8 Profondeur des drains

De façon générale, une plus grande profondeur d'installation des drains améliore l'efficacité hydraulique du système. Toutefois, des contraintes économiques limitent souvent cette profondeur, en raison de l'augmentation des coûts proportionnellement à la profondeur de pose. Le choix de la profondeur optimale dépend principalement des conditions locales, telles que le niveau de l'exutoire, la nature du sol, le risque de dessèchement du sol préjudiciable aux cultures, ainsi que les conditions climatiques. En pratique, les drains sont généralement installés à une profondeur comprise entre 1 et 2 mètres.

Pour ce périmètre on prend la profondeur des drains $P = 1.2 \text{ m}$.

V.9 La longueur d'installation des drains

Les longueurs "L" sont choisies en fonction des dimensions de la parcelle. La longueur maximale acceptable, "L_{max}", 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

$$Qd = q \times S$$

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

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 :

$$Q_{\text{drain}} = 38 \times d^{2.67} \times i^{0.5}$$

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.

$$Q_{\text{collecteur}} = \frac{50 \times d^{2.71} \times i^{0.57}}{0.75}$$

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DU DRAINAGE

Tableau V-5 : Dimensionnement des drains.

Drains	L (m)	Q (m3/j)	ϕ calculé (mm)	ϕ normalisé (mm)
Drain1	211	72.31	65.70	90
Drain2	207	71.04	65.26	90
Drain3	215	73.62	66.14	90
Drain4	245	84.13	69.53	90
Drain5	230	78.88	67.87	90
Drain6	174	59.58	61.10	90
Drain7	164	56.09	59.74	90
Drain8	182	62.37	62.16	90
Drain9	199	68.21	64.28	90
Drain10	190	65.16	63.19	90
Drain11	125	42.74	53.96	90
Drain12	166	56.99	60.09	90
Drain13	83	28.49	46.35	90
Drain14	901	308.77	113.16	90
Drain15	42	14.25	35.76	90
Drain16	269	92.19	71.96	90
Drain17	261	89.33	71.11	90
Drain18	274	94.02	72.49	90
Drain19	208	71.23	65.33	90
Drain20	249	85.48	69.95	90
Drain21	357	122.32	80.00	90
Drain22	338	115.82	78.38	90
Drain23	374	128.10	81.39	90
Drain24	400	137.12	83.49	90
Drain25	386	132.19	82.36	90
Drain26	110	37.87	51.56	90
Drain27	82	28.05	46.08	90
Drain28	160	54.90	59.26	90
Drain29	299	102.64	74.91	90
Drain30	264	90.45	71.45	90
Drain31	122	41.73	53.48	90
Drain32	113	38.67	51.97	90
Drain33	131	44.80	54.92	90
Drain34	153	52.28	58.19	90
Drain35	141	48.48	56.56	90
Drain36	400	137.12	83.49	90
Drain37	400	137.12	83.49	90
Drain38	400	137.12	83.49	90
Drain39	104	35.60	50.38	90
Drain40	400	137.12	83.49	90
Drain42	86	29.58	47.01	90
Drain43	96	33.02	48.99	90
Drain44	88	30.21	47.38	90
Drain45	85	28.99	46.65	90
Drain46	110	37.71	51.48	90
Drain47	107	36.81	51.02	90
Drain48	106	36.43	50.82	90
Drain49	140	48.04	56.37	90
Drain50	124	42.36	53.78	90
Drain51	101	34.65	49.88	90
Drain52	100	34.37	49.72	90
Drain53	108	36.94	51.09	90
Drain54	194	66.65	63.72	90
Drain55	189	64.85	63.07	90
Drain56	118	40.34	52.80	90
Drain57	135	46.34	55.62	90
Drain58	123	42.08	53.64	90
Drain59	123	42.09	53.65	90
Drain60	135	46.19	55.55	90
Drain61	110	37.75	51.50	90
Drain62	400	137.12	83.49	90
Drain63	256	87.59	70.59	90
Drain64	400	137.12	83.49	90
Drain65	400	137.12	83.49	90
Drain66	381	130.62	81.99	90
Drain67	211	72.36	65.72	90
Drain68	300	102.77	74.94	90
Drain69	400	137.12	83.49	90

Tableau V-6 : Dimensionnement des drains.

Drains	L (m)	Q (m ³ /j)	φcalculé (mm)	φnormalisé (mm)
Drain70	308	105.65	75.73	90
Drain71	256	87.59	70.59	90
Drain72	132	45.08	55.04	90
Drain73	140	48.14	56.42	90
Drain74	116	39.71	52.49	90
Drain75	123	42.02	53.61	90
Drain76	149	51.03	57.66	90
Drain77	127	43.57	54.34	90
Drain78	231	79.33	68.02	90
Drain79	163	55.88	59.65	90
Drain80	246	84.50	69.65	90
Drain81	251	85.90	70.08	90
Drain82	263	90.24	71.38	90
Drain83	238	81.66	68.76	90
Drain84	240	82.44	69.01	90
Drain85	256	87.59	70.59	90
Drain86	286	97.96	73.61	90
Drain87	314	107.47	76.21	90
Drain88	265	90.99	71.61	90
Drain89	276	94.71	72.69	90
Drain90	239	82.05	68.88	90
Drain91	138	47.47	56.12	90
Drain92	288	98.63	73.80	90
Drain93	203	69.74	64.81	90
Drain94	155	53.15	58.55	90
Drain95	242	82.99	69.18	90
Drain96	250	85.75	70.03	90
Drain97	243	83.27	69.27	90
Drain98	256	87.59	70.59	90
Drain99	256	87.59	70.59	90
Drain100	314	107.78	76.29	90
Drain101	204	69.90	64.87	90
Drain102	186	63.89	62.72	90
Drain103	237	81.18	68.61	90
Drain104	234	80.21	68.30	90
Drain105	190	65.22	63.21	90
Drain106	198	67.75	64.12	90
Drain107	194	66.50	63.67	90
Drain108	190	65.12	63.17	90
Drain109	198	67.84	64.15	90
Drain110	244	83.66	69.39	90
Drain111	274	93.82	72.43	90
Drain112	270	92.59	72.07	90
Drain113	297	101.78	74.67	90
Drain114	279	95.77	72.99	90
Drain115	269	92.30	71.99	90
Drain116	259	88.84	70.96	90
Drain117	252	86.25	70.18	90
Drain118	268	91.92	71.88	90
Drain119	267	91.42	71.73	90
Drain120	206	70.51	65.08	90
Drain121	245	84.07	69.51	90
Drain122	170	58.35	60.63	90
Drain123	189	64.62	62.99	90
Drain124	261	89.49	71.16	90
Drain125	282	96.53	73.21	90
Drain126	288	98.79	73.84	90
Drain127	272	93.24	72.26	90
Drain128	277	94.84	72.72	90
Drain129	244	83.73	69.41	90
Drain130	400	137.12	83.49	90
Drain131	400	137.12	83.49	90
Drain132	400	137.12	83.49	90
Drain133	400	137.12	83.49	90
Drain134	274	93.99	72.48	90
Drain135	342	117.08	78.70	90
Drain136	305	104.69	75.47	90
Drain137	298	102.05	74.75	90

Tableau V-7 : Dimensionnement des drains

Drains	L (m)	Q (m3/j)	$\phi_{calculé}$ (mm)	$\phi_{normalisé}$ (mm)
Drain138	320	109.75	76.81	90
Drain139	296	101.48	74.59	90
Drain140	144	49.23	56.89	90
Drain141	148	50.87	57.59	90
Drain142	145	49.62	57.06	90
Drain143	144	49.43	56.98	90
Drain144	148	50.63	57.49	90
Drain145	150	51.58	57.89	90
Drain146	150	51.34	57.79	90
Drain147	147	50.43	57.41	90
Drain148	147	50.24	57.32	90
Drain149	145	49.82	57.14	90
Drain150	340	116.51	78.55	90
Drain151	358	122.69	80.09	90
Drain152	310	106.25	75.89	90
Drain153	325	111.38	77.24	90
Drain154	378	129.48	81.72	90
Drain155	143	49.06	56.81	90
Drain156	142	48.84	56.72	90
Drain157	149	51.10	57.69	90
Drain158	146	50.02	57.23	90
Drain159	146	50.22	57.31	90
Drain160	148	50.58	57.47	90
Drain161	153	52.54	58.29	90
Drain162	137	46.87	55.85	90
Drain163	145	49.68	57.08	90
Drain164	110	37.70	51.48	90
Drain165	102	34.82	49.97	90
Drain166	136	46.55	55.71	90
Drain167	122	41.91	59.66	90
Drain168	154	52.75	58.38	90
Drain169	112	38.49	51.88	90
Drain170	143	49.00	56.79	90
Drain171	235	80.39	68.36	90
Drain172	149	51.18	57.72	90
Drain173	153	52.28	58.19	90
Drain174	144	49.31	56.93	90
Drain175	145	49.61	57.05	90
Drain176	152	52.07	58.10	90
Drain177	150	51.58	57.89	90
Drain178	221	75.77	66.86	90
Drain179	266	91.27	71.69	90
Drain180	256	87.59	70.59	90
Drain181	305	104.41	75.39	90
Drain182	280	96.15	73.10	90
Drain183	238	81.46	68.70	90
Drain184	400	137.12	83.49	90
Drain185	327	111.93	77.38	90
Drain186	400	137.12	83.49	90
Drain187	400	137.12	83.49	90
Drain188	256	87.59	70.59	90
Drain189	170	58.12	60.54	90
Drain190	284	97.45	73.47	90
Drain191	206	70.70	65.15	90
Drain192	189	64.74	63.03	90
Drain193	271	93.07	72.21	90
Drain194	218	74.86	66.56	90
Drain195	234	80.30	68.33	90
Drain196	256	87.59	70.59	90
Drain197	247	84.81	69.74	90
Drain198	127	43.68	54.40	90
Drain199	127	43.68	54.40	90
Drain200	127	43.68	54.40	90
Drain201	127	43.68	54.40	90
Drain202	110	37.67	51.46	90
Drain203	93	31.71	48.25	90
Drain204	127	43.68	54.40	90
Drain205	127	43.68	54.40	90

Tableau V-8 : Dimensionnement des drains.

Drains	L (m)	Q (m ³ /j)	φcalculé (mm)	φnormalisé (mm)
Drain206	52	18.00	39.02	90
Drain207	116	39.83	52.55	90
Drain208	109	37.23	51.24	90
Drain209	137	47.07	55.94	90
Drain210	125	42.68	53.93	90
Drain211	81	27.64	45.83	90
Drain212	68	23.23	42.94	90
Drain213	101	34.64	49.87	90
Drain214	91	31.30	48.01	90
Drain215	74	25.41	49.46	90
Drain216	174	59.66	68.09	90
Drain217	162	55.63	66.33	90
Drain218	194	66.53	70.92	90
Drain219	186	63.70	69.78	90
Drain220	127	43.68	60.59	90
Drain221	127	43.68	60.59	90
Drain222	150	51.46	64.42	90
Drain223	245	84.08	77.43	90
Drain224	201	68.85	71.84	90
Drain225	227	77.67	75.16	90
Drain226	224	76.64	74.78	90
Drain227	233	79.73	75.90	90
Drain228	230	78.70	75.53	90
Drain229	211	72.47	73.24	90
Drain230	207	71.02	72.68	90
Drain231	220	75.38	74.32	90
Drain232	216	73.92	73.78	90

Tableau V-9 : Dimensionnement des collecteurs.

Collecteurs	L (m)	Q (m ³ /j)	φcalculé (mm)	φnormalisé (mm)
Collecteur1	900	3334.37	241.06	250
Collecteur2	1541	15121.88	421.13	500
Collecteur2	27	16923.18	488.15	500

Tableau V-10 : La longueur totale des drains.

Diametre (mm)	Longueur (m)
90	49368
250	1541
500	2068

Chapitre VI : L'entretien du réseau et l'estimation des devi

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

VI.1. Introduction

Différents problèmes peuvent compromettre le bon fonctionnement des réseaux de drainage. Il est donc essentiel d'identifier les principales causes de dysfonctionnement et d'envisager les solutions appropriées pour assurer leur maintien en bon état. Par ailleurs, une évaluation économique du projet est également nécessaire afin de garantir sa viabilité à long terme.

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

VI.2.1. Facteurs techniques

a. Dimensionnement insuffisant des drains

Les projets, bien qu'établis à partir de calculs précis, reposent sur des modèles théoriques qui ne reflètent pas toujours parfaitement la réalité du terrain. Par conséquent, ces résultats servent de point de départ, mais des ajustements doivent être effectués sur le terrain à travers des essais pratiques. Ces essais permettent d'observer comment le réseau réagit sous différentes conditions d'irrigation et d'adapter des éléments comme le diamètre, l'espacement et la profondeur des drains. La mise en œuvre de projets pilotes, en complément de la conception initiale, aide à simuler ces conditions réelles pour optimiser le système.

b. Pente insuffisante des drains

La pente du réseau doit être minutieusement étudiée afin de garantir un écoulement efficace de l'eau. Une pente insuffisante ralentit le débit, ce qui peut entraîner une accumulation de sédiments. Des erreurs humaines ou techniques lors de l'installation peuvent provoquer des irrégularités dans la pente, souvent dues à un mauvais réglage de la machine de drainage ou à un guidage inadéquat par l'opérateur. Pour prévenir ces problèmes, il est crucial d'utiliser des systèmes de guidage laser et de vérifier régulièrement le bon réglage des équipements.

c. Défauts pendant l'exécution des travaux

Pendant la construction, le système peut subir divers dommages, tels que la rupture des tuyaux lors du remblaiement, la défaillance des connexions entre les tuyaux, ou des problèmes de liaison entre le drain et le collecteur. Ces incidents sont généralement causés par une pression excessive exercée par les machines.

VI.2.2. Obstructions naturelles

a. Accumulation de matières minérales

Les sols instables, tels que ceux à forte teneur en sable ou en argile, sont particulièrement vulnérables à l'ensablement et à l'envasement. Ce phénomène peut survenir rapidement après la pose des tuyaux et persister dans le temps, diminuant l'efficacité du réseau de drainage. Pour limiter l'entrée des particules fines dans les drains, il est essentiel d'installer des filtres ou des revêtements filtrants autour des tuyaux, surtout dans les sols susceptibles à l'envasement.

b. Dépôts liés aux réactions chimiques

Certains sols favorisent la formation de dépôts minéraux dus à des réactions chimiques, notamment en présence d'éléments comme le fer ou le manganèse. Ces dépôts peuvent entraîner des obstructions sérieuses du réseau de drainage. Si ces accumulations ne se résorbent pas

naturellement au bout de quelques années, il est possible d'intervenir en limitant l'aération du système à l'aide d'équipements spécifiques, afin de ralentir leur formation.

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 couts des travaux.

Désignation des travaux	Diamètre (mm)	Quantité	Prix unitaire	Prix total (Da)
Drains	90	49368	325	16044440.23
Collecteur	250	900	1350	1215000.00
	500	2068	2200	4549600.00
Draineuse	/	100h	20000	2000000.00
Total				23809040.23
TVA 19%				4523717.64
Total TTC				28332757.87

VI.5. Conclusion

Un entretien régulier est essentiel pour éviter les dysfonctionnements et prolonger la durée de vie du réseau de drainage. Des inspections fréquentes, en particulier au niveau des points sensibles comme les exutoires, ainsi que l'utilisation de méthodes de nettoyage appropriées, permettent de maintenir le bon fonctionnement du système et d'en assurer la pérennité.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

À travers cette étude menée dans le périmètre d'Ain El Houtz, nous avons mis en évidence l'importance d'une gestion intégrée des ressources en eau et en sol pour garantir une agriculture durable et résiliente face aux contraintes climatiques et environnementales. L'analyse géographique, climatique, hydrologique, pédologique et agricole de la zone a permis d'identifier les potentialités, mais aussi les limites naturelles de la région.

Le diagnostic a révélé la nécessité d'un aménagement hydraulique bien structuré, notamment à travers la mise en place d'un réseau de drainage efficace, afin de prévenir la salinisation, améliorer la structure des sols, et assurer un bon rendement des cultures. Le dimensionnement du réseau de drainage, appuyé par des calculs techniques rigoureux, répond à ces objectifs en tenant compte des spécificités locales.

Par ailleurs, l'intégration des eaux usées traitées comme ressource complémentaire pour l'irrigation illustre une approche durable et innovante, en adéquation avec les exigences actuelles de préservation des ressources et de valorisation des eaux non conventionnelles.

En somme, cette étude propose une base solide pour une gestion optimisée du périmètre agricole d'Ain El Houtz. Elle pourrait servir de modèle reproductible pour d'autres zones similaires confrontées aux mêmes défis de salinité, de disponibilité en eau et de rentabilité agricole. La réussite de ce type de projet repose sur la combinaison d'une analyse scientifique rigoureuse, d'une planification adaptée et d'un suivi technique régulier.