

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**ETUDE DU PERIMETRE D'IRRIGATION D'AIN HOUTZ
(100 Ha) À PARTIR DE LA STEP COMMUNE DE
CHETOUANE WILAYA DE TLEMCEN**

Réalisé par :

BENDEDOUCHE Mohammed Ismail

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
MEDDI Mohamed	Professeur	Président
SADOUNE Samra	M.C.A	Membre
MAZOUZI Sabra	M.A.A	Membre
TOUAHIR Sabah	M.A.A	Promotrice

Session 2022 / 2023



Remerciements

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers mon encadrante, Madame TOUAHIR Sabah, pour son soutien constant et ses précieux conseils tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Ses orientations et ses connaissances approfondies dans le domaine ont grandement contribué à la qualité de ce travail.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à Monsieur MEDDI Mohamed de l'ENSH pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury de ce mémoire. Mes vifs remerciements vont également à Madame SADOUNE Samra de l'ENSH pour avoir accepté de participer à ce jury, ainsi qu'à Madame MAZOUZI Sabra de l'ENSH pour l'intérêt qu'elle a bien voulu porter à ce travail en acceptant de siéger dans ce jury.

À notre Chef de Département, Je saisis cette occasion pour vous exprimer ma profonde gratitude tout en vous témoignant mon respect.

Je suis également très reconnaissant envers toutes les personnes, dont le nombre est très élevé pour les citer toutes ici, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement, à l'aboutissement de ce mémoire.



Dédicaces

À mes chers parents,

*Pour leur soutien constant, leurs encouragements infaillibles, leur présence inestimable, et leur amour indéfectible, je souhaite que les fruits de ce travail soient la récompense ultime de leurs efforts.
Que Dieu vous procure bonne santé et longue vie.*

A mes grands-parents,

*Pour leur affection et leur soutien infaillible durant toute ma période d'études,
Qu'Allah vous protèges.*

A ma sœur Wafaa,

A mon frère Ilyes,

Pour l'amour et la complicité qui nous unissent.

*Je suis profondément reconnaissant d'avoir des frères/sœurs aussi formidables
que vous.*

À Kenza,

À mes amis,

À tous mes enseignants,

Je dédie ce modeste travail.

ملخص

إن إدارة المياه في الجزائر تشكل تحدياً كبيراً. وتركز دراسة "مسح محيط عين الحوتز للري 100 هكتار من محطة تنقية مياه بلدة شتوان في ولاية تلمسان" على عين الحوتز حيث يجري الري التقليدي للأراضي الزراعية على أساس فردي باستخدام الموارد المحلية. والهدف الرئيسي من ذلك هو تحسين استخدام الأراضي الزراعية في هذه المنطقة عن طريق ترشيد استخدام موارد المياه التقليدية والبدلية. ان الطريقة التي يتم بها تحقيق هذا الهدف هي الري بالتنقيط. في قلب هذه الدراسة قمنا بوصف تصميم شبكة توزيع مصممة خصيصاً لتلبية الاحتياجات المحددة. وبعد أن قمنا بتقييم مختلف التوجهات في التعامل مع هذه الشبكة فقد كان اختيارنا متوفراً على مدى 18 ساعة يومياً لتحقيق كفاءة التشغيل بنسبة 60 في المائة. غير أن سعة المعالجة اللازمة لهذه الشبكة تتجاوز السعة المائية المتاحة. ومن أجل سد هذه الفجوة فإن من المقرر إضافة خزان من المياه قدره 1 000 متر مكعب إلى الشبكة في فترات انقطاع العمل. وبالإضافة إلى ذلك تم تطوير الهياكل الأساسية لاستخراج المياه ونقلها إلى المحيط لأغراض الإدارة المثلى للموارد اللازمة لنظام الري الفعال هذا.

الكلمات المفتاحية: الري، الفترة، الشبكات، السقي، عين الحوتز، التحجيم

Résumé

En Algérie, la gestion de l'eau représente un enjeu majeur. L'étude "Étude du Périmètre d'Irrigation d'Ain Houtz (100 Ha) à partir de la Station d'Épuration de la Commune de Chetouane, Wilaya de Tlemcen" se concentre sur Ain El Houtz, où l'irrigation traditionnelle des terres agricoles est réalisée de manière individuelle en exploitant les ressources locales. L'objectif principal est d'améliorer l'utilisation des terres agricoles de cette région en rationalisant l'emploi des ressources en eau, qu'elles soient classiques ou alternatives. La technique choisie pour atteindre cet objectif est l'irrigation au goutte-à-goutte. Au cœur de cette étude, nous décrivons la conception d'un réseau de distribution adapté aux besoins identifiés. Après avoir évalué différentes approches pour ce réseau, notre choix s'est porté sur un fonctionnement de 18 heures par jour, visant une efficacité opérationnelle de 60%. Toutefois, le débit requis pour ce réseau dépasse la capacité en eau disponible ; afin de pallier ce manque, l'ajout d'un réservoir de 1000 mètres cubes est prévu, se rechargeant pendant les interruptions du réseau. De plus, les infrastructures de captage et de transport de l'eau vers le périmètre d'étude ont été dimensionnées pour assurer une gestion optimale des ressources nécessaires à ce système d'irrigation performant.

Mots clés : irrigation, périmètre, réseaux, arrosage, Ain El Houtz, dimensionnement.

Abstract

Water management is a major issue in Algeria. The study "Study of the Irrigation Perimeter of Ain Houtz (100 Ha) from the Purification Station of the Municipality of Chetouane, Wilaya of Tlemcen" focuses on Ain El Houtz, where traditional irrigation of farmland is carried out on an individual basis using local resources. The main objective is to improve the use of agricultural land in this region by rationalizing the use of both conventional and alternative water resources. The technique chosen to achieve this objective is drip irrigation. At the heart of this study is the design of a distribution network adapted to the identified needs. After evaluating various approaches for this network, we opted for 18-hour-a-day operation, aiming for 60% operational efficiency. However, the flow rate required for this network exceeds the available water capacity; to make up for this shortfall, the addition of a 1,000-cubic-meter reservoir is planned, to be recharged during network interruptions. In addition, the infrastructure for collecting and transporting water to the study area has been designed to ensure optimum management of the resources required for this high-performance irrigation system.

Keywords: irrigation, perimeter, networks, watering, Ain El Houtz, dimensioning.

Tables des matières

Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I. Analyse des Conditions Naturelles de la zone d'étude

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.....	3
I.3	Etude géologique.....	3
I.3.1	Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen.....	4
I.3.1.1	Le secondaire.....	5
I.3.1.2	Le tertiaires.....	5
I.3.1.3	Le Quaternaire.....	8
I.4	Conclusion.....	9

Chapitre II. Etude climatique de la zone

II.1	Introduction.....	10
II.2	Etude du climat.....	10
II.3	Etude des paramètres climatologiques.....	10
II.3.1	Les précipitations.....	10
II.3.1.1	Précipitations moyennes annuelles.....	10
II.3.1.2	Précipitations moyennes mensuelles.....	11
II.3.1.3	Précipitations moyennes saisonnières.....	11
II.3.2	Température.....	12
II.3.2.1	Températures moyennes mensuelles.....	12
II.3.3	Le vent.....	14
II.3.4	Humidité.....	14
II.3.5	La gelée.....	15
II.4	Les indices climatiques.....	16
II.4.1	Indice d'aridité annuel de De Martonne.....	16
II.4.2	Indice d'aridité mensuel de De Martonne.....	18
II.4.3	Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER.....	19
II.5	Conclusion.....	21

Chapitre III. Ressources en eau et en sol

III.1	Introduction	23
III.2	Ressources en eau	23
III.2.1	Ressources en eau potentielles	23
III.2.1.1	Source conventionnelle	23
III.2.1.2	Sources non conventionnelles	27
III.2.2	Degré d'adsorption du sodium (SAR)	33
III.2.3	Aperçu hydrogéologique du périmètre d'Ain Houtz	28
III.3	Ressources en sol	35
III.3.2	L'étude pédologique	35
III.4	Etude hydrologique	37
III.5	Conclusion	47

Chapitre IV. Evaluation des besoins en eau des cultures

IV.1	Introduction	49
IV.2	Besoins en eau des cultures	49
IV.2.1	Evaluation des besoins en eau d'une culture :	49
IV.2.2	Calcul de l'évapotranspiration	50
IV.2.2.1	Comment obtenir l' ET_0 ?	51
IV.3	Calcul de la pluie efficace	53
IV.4	Calcul de la réserve en eau du sol	54
IV.5	Choix des cultures	54
IV.5.1	Occupation des sols	55
IV.5.2	Autres notions	55
IV.6	Estimation des coefficients culturaux (K_c)	56
IV.7	Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures	56
IV.8	Estimation des besoins en eau des cultures choisies	57
IV.8.1	Estimation des besoins en eau des céréales	57
IV.8.2	Estimation des besoins en eau des maraichages	59
IV.8.3	Estimation des besoins en eau des arboricultures	61
IV.9	Calcul en eau pour l'assolement	64
IV.9.1	Calcul du débit spécifique	65
IV.9.2	Evaluation du débit caractéristique	65
IV.10	Conclusion	66

Chapitre V. Choix de système d'irrigation

V.1	Introduction	68
V.2	Choix des techniques d'irrigation	68
V.3	Classification des techniques d'irrigation	68
V.3.1	Irrigation gravitaire	68

V.3.1.1	L'irrigation par ruissellement	69
V.3.1.2	Irrigation à la raie	69
V.3.1.3	L'arrosage par submersion	69
V.3.1.4	Avantages et inconvénients de l'irrigation par gravité.....	70
V.3.2	L'irrigation par aspersion	70
V.3.2.1	Avantages et inconvénients par aspersion :	70
V.3.2.2	Différentes installations à la parcelle	71
B.	Installation mobile	71
V.3.3	Irrigation localisée (Goutte à goutte).....	72
V.3.3.1	Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée.....	73
V.4	Choix de la technique d'arrosage.....	73
V.5	Conclusion	74

Chapitre VI. Etude de système d'adduction et de distribution

VI.1	Introduction	76
VI.2	Présentation du réseau de distribution	76
VI.3	Organisation du périmètre.....	78
VI.3.1	Rôle et fonction de la borne d'irrigation	78
VI.3.2	Calcul hydraulique des bornes	78
VI.3.3	Choix du diamètre de la borne	79
VI.3.4	Position des prises	79
VI.3.4.1	Choix de la borne	79
VI.3.5	Plan des bornes :	80
VI.4	Choix du matériau.....	81
VI.4.1	Caractéristique des conduites du réseau de distribution gravitaire	82
VI.4.2	Vitesse admissibles	82
VI.4.3	Les pressions à garantir au bornes.....	82
VI.4.4	Calcul des pressions des bornes	82
VI.5	Etude de pompage.....	84
VI.5.1	Généralités sur les pompes	84
VI.5.1.1	Les turbopompes	84
VI.5.2	Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation.....	84
VI.5.3	Calcul des frais d'amortissement	85
VI.5.4	Calcul des frais d'exploitation	86
VI.6	Puissance absorbée par la pompe	86
VI.7	Dimensionnement des ouvrages hydraulique.....	87
VI.7.1	Dimensionné l'adduction de STEP- réservoir (R 1)	87
VI.7.2	Dimensionné le réservoir (R1) du captage de source de Ain Ancor	86

VI.7.3	Dimensionné l'adduction de source Ain Ancor - réservoir (R 1).....	89
VI.7.4	Dimensionné le réservoir R1 (captage sources – STEP).....	91
VI.7.5	Détermination du volume du réservoir de mise en charge R2.....	93
VI.8	Dimensionnement du réseau d'irrigation par goutte à goutte	95
VI.9	Besoin d'irrigation des cultures en irrigation localisé	95
VI.9.1	Influence du taux de couverture du sol.....	95
VI.9.2	Dose nette pratique.....	96
VI.9.3	Fréquence et espacement des arrosages (Fr).....	97
VI.10	Calculs hydrauliques :.....	98
VI.10.1	Dimensionnement des canalisations du réseau :	98

Chapitre VII. Evaluation économique du proje

VII.1	Introduction	103
VII.2	Différents type de travaux à entreprendre	103
VII.2.1	Travaux concernant l'adduction et le réseau de distribution.....	103
VII.2.1.1	Exécution des tranchés	103
VII.2.1.2	Pose des conduites.....	103
VII.2.1.3	Jointage et soudure de la canalisation	104
VII.2.1.4	Remblayage des tranchées	104
VII.2.1.5	Nivellement et compactage.....	104
VII.2.2	Calcul du volume du terrassement.....	104
VII.3	Calcul du volume du déblai.....	105
VII.3.1	Calcul du volume de lit de sable	106
VII.3.2	Calcule de volume de remblai	106
VII.3.3	Estimation de cout total du projet	108
VII.3.3.1	Estimation de cout de pose de canalisation du réseau :.....	108
VII.3.3.2	Estimation du cout des conduites du réseau :.....	109
VII.3.3.3	Estimation cout des bornes d'irrigation.....	109
VII.3.3.4	Devis du réseau d'irrigation localisée.....	110
VII.4	La station de pompage	111
VII.5	Le réservoir de stockage.....	112
VII.6	Devis des travaux.....	112
VII.7	Conclusion.....	113

Conclusion Générale

Références

Annexe

Liste des figures

Chapitre I : Analyses des conditions naturelles

Figure I-1 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen 2023.....	2
Figure I-2: Situation géographique du village d'Ain El Houtz (Google Maps).....	3
Figure I-3 : Log litho-stratigraphique synthétique de la région étudiée	4
Figure I-4: Coupe schématique de plateau d'Hennaya.....	7
Figure I-5 : Présentation des conglomérats de base.	7
Figure I-6: Disposition observée au niveau de la source d'Ain Hallilifa.	8

Chapitre II : Etude climatique

Figure II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya).....	11
Figure II-2 : Répartition des températures moyenne Mensuelle de la station de Hennaya.	13
Figure II-3 : Courbes les températures moyennes mensuelles.	13
Figure II-4 : Abaque d'aridité annuel de De Martonne.....	18
Figure II-5 : Climatogramme d'EMBERGER.....	20

Chapitre III : Ressources en eau et en sol

Figure III-1 : Positions des sources naturelles d'eau dans le périmètre avec une photo satellite prise de Google Earth.	24
Figure III-2 : diagramme de classification des eaux d'irrigation (selon USSL).....	30
Figure III-3 : Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN.....	42
Figure III-4 : Test de khi deux obtenus par le logiciel HYFRAN.....	43
Figure III-5 : L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN.....	44

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

Figure V-1 : Irrigation à la raie.	69
Figure V-2 : Irrigation par enrouleur.	71
Figure V-3 : Irrigation par pivot.	72
Figure V-1 : Présentation du réseau globale	77

Chapitre VII : Calcul technico-économique

Figure VII-1 : Schéma d'un tranché.	105
--	-----

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude climatique de la zone

Tableau II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya).	11
Tableau II-2 : Répartition saisonnières des précipitation (mm).	12
Tableau II-3: Températures moyennes mensuelles Station Tlemcen.	12
Tableau II-4 : Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen.	14
Tableau II-5 : Répartition de l'humidité moyenne en % de la station de Tlemcen.	15
Tableau II-6 : Moyennes mensuelles des gelés de la station de Tlemcen.	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.	18
Tableau II-10: Indice d'Emberger.	19

Chapitre III : Ressources en eau et en sol

Tableau III-1: Valeurs de température et du débit de la source d'Ain Houtz.	25
Tableau III-2 : Mesure de température et du débit de la source d'Ain Ancor.	26
Tableau III-3 : Volume d'eau epurée a la station d'Ain Houtz.	27
Tableau III-4 : Les normes d'OMS pour les eaux epurées.	28
Tableau III-5 : Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques après traitement	29
Tableau III-6 : Eléments chimiques pour le calcul de la SAR.....	28
Tableau III-7 : Caractéristique de l'eau.....	28
Tableau III-8 : Résultats d'analyse pédologique.....	Error! Bookmark not defined.
Tableau III-9 : La série des Précipitation moyennes mensuelles (1978-2017).....	38
Tableau III-10 : Tableau présentant le test de Wilcoxon.....	40
Tableau III-11 : la pluie en fonction de la période de retour.....	42
Tableau III-12 : Calcul de P80%.....	43

Chapitre IV : Evaluation des besoins en eau des cultures

Tableau IV-1 : Evapotraspiration de référence ET0 calculée par le logiciel COPWAT.....	51
Tableau IV-2 : Précipitations efficaces de la zone d'étude.....	52
Tableau IV-3 : Occupation du sol	53
Tableau IV-4 : Les cultures proposés.....	53
Tableau IV-5 : Profondeur utile (Z) pour les cultures existant en mètre.....	53
Tableau IV-6 : Coefficients culturaux des cultures (Kc).....	54
Tableau IV-7 : Calcul des besoins en eau pour le Blé	55
Tableau IV-8 : Calcul des besoins en eau pour l'orge grain.....	56
Tableau IV-9 : Calcul des besoins en eau pomme de terre de saison.....	57
Tableau IV-10 : Calcul des besoins en eau de la tomate.....	58
Tableau IV-11 : Calcul des besoins en eau pour la vigne.....	59
Tableau IV-12 : Calcul des besoins en eau pour les agrumes.....	60
Tableau IV-13 : Calculs des besoin en eau pour l'olivier.....	61
Tableau IV-14 : Récapitulatif des besoins net (mm) pour l'assolement 1.....	62
Tableau IV-15 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2.....	62

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

Tableau V-1 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par gravité.....	70
Tableau V-2 : Avantages et inconvénients par aspersion.	70
Tableau V-3 : Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée.	73
Tableau V-4 : Analyse multicritère de choix de technique d'arrosage.....	73

Chapitre VI : Etude de système d'adduction et de distribution

Tableau VI-1 : Choix du diamètre de la borne	79
Tableau VI-2 : Calcul des débits des ilots et choix du diamètre et type de bornes.	80
Tableau VI-3 : Les calculs hydrauliques du réseau de distribution.	83
Tableau VI-4 : Caractéristique de la conduite de refoulement.....	87
Tableau VI-5 : Caractéristique de la pompe de refoulement.....	87
Tableau VI-6 : Les altitudes de la STEP et Réservoir (R1).	88
Tableau VI-7 : Les caractéristiques de la conduite (STEP-R1).....	88
Tableau VI-8 : Les résultats de logiciel EPANET pour l'adduction (STEP-R1).	88
Tableau VI-9 : Les résultats de logiciel EPANET pour l'adduction (STEP-R1) pour le diamètre (160mm)	89
Tableau VI-10 : Les altitudes d'Ain Ancor et réservoir (R1)	90
Tableau VI-11 : Les caractéristiques de la conduite (Ain Ancor -R1).....	90
Tableau VI-12 : Les résultats de logiciel EPANET pour l'adduction (Ain Ancor -R1).....	90
Tableau VI-13 : Détermination du volume de réservoir (R1) avec la méthode analytique.....	90
Tableau VI-14 ; Détermination du volume de réservoir (R2) avec la méthode analytique.....	92
Tableau VI-15 : Les pertes de charges de la rampe.	101
Tableau VI-16 : Les pertes de charge de la porte rampes.	101

Chapitre VII : Evaluation économique du projet

Tableau VII-1 : Calcul du volume de déblai pour les canalisations du réseau.....	105
Tableau VII-2 : Tableau de calcul de volume de sable pour les canalisations du réseau.	106
Tableau VII-3 : Calcul du volume de remblai pour les canalisations de distribution.....	107
Tableau VII-4 : Estimation du cout de pose de canalisation du réseau.	108
Tableau VII-5 : Estimation du coût des conduites du réseau.	109
Tableau VII-6 : Estimation de coup des bornes d'irrigation.	109
Tableau VII-7 : Estimation du coût des goutteurs	110
Tableau VII-8 : Estimation du coût des portes rampes.	110
Tableau VII-9 : Estimation du cout de la station de pompage.....	111
Tableau VII-10 : Estimation du cout du réservoir de stockage.	112
Tableau VII-11 : Devis estimatif total.	112

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

ET0 : évapotranspiration de référence (évapotranspiration potentielle).

ETM : Evapotranspiration maximale.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

hcc : humidité à la capacité au champ

hpf : humidité au point de flétrissement

MES : Matières en suspension.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ONID : Office National de l'Irrigation et du Drainage.

ONM : Office nationale de la météorologie.

RFU : La réserve facilement utilisable.

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

SAT : Superficie agricole totale.

SAU : Superficie agricole utile.

STEP : Station d'épuration.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Compagne agricole.

ANNEXE II : Paramètres physico-chimiques des eaux épurées destinés à l'irrigation.

ANNEXE III : Paramètres physico-chimiques des eaux épurées destinés à l'irrigation.

Liste des planches

Planche 1 : Plan de situation.

Planche 2 : Plan d'occupation.

Planche 3 : Plan de distribution de réseaux goutte à goutte.

Planche 4 : Plan d'adduction et de distribution.

Planche 5 : Profil en long.

Introduction générale

L'eau joue un rôle crucial dans le développement économique d'un pays, une importance d'autant plus manifeste en Algérie. L'économie et la société algériennes dépendent largement de la gestion efficace de l'irrigation. L'agriculture occupe une place centrale dans notre pays, mais elle doit relever des défis majeurs, notamment la rareté des précipitations et leur répartition inégale dans le temps et l'espace. Par ailleurs, la croissance démographique rapide de l'Algérie accentue la pression sur notre capacité à produire suffisamment de denrées alimentaires pour répondre aux besoins fondamentaux de la population et améliorer son bien-être.

Dans ce contexte, l'eau devient un enjeu stratégique pour l'Algérie. La nécessité de mobiliser tous les moyens disponibles pour développer la productivité de cette ressource, en particulier dans le secteur agricole, qui en est le plus grand consommateur, est indiscutable. Cette démarche contribuera à réduire notre dépendance alimentaire, même si l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire totale demeure un objectif ambitieux. Pendant de nombreuses années, l'irrigation traditionnelle à Ain El Houtz reposait sur l'exploitation individuelle des sources locales.

Cependant, l'objectif principal de cette étude est d'optimiser l'utilisation des terres agricoles de Ain El Houtz en rationalisant l'utilisation des ressources en eau, qu'elles soient conventionnelles ou non conventionnelles, et situées à proximité. Cette démarche se traduit par la proposition de créer un périmètre d'irrigation, prenant en compte tous les facteurs essentiels qui influent sur le choix du mode d'irrigation, notamment les données climatiques, agropédologiques, hydrologiques et qualitatives.

Toutefois, la problématique centrale qui a émergé au cours de notre étude est le défi hydrique résultant d'un faible débit provenant de la station d'épuration d'Ain El Houtz. Nos observations sur le terrain ont clairement montré que ce périmètre nécessite un dimensionnement spécifique, ce qui constitue l'objectif central de notre étude. Dans ce mémoire, nous proposons la création d'un périmètre d'irrigation à Ain El Houtz, visant à diversifier les cultures et à augmenter les rendements agricoles, grâce à l'installation d'un réseau d'irrigation sous pression et à une distribution précise au niveau de chaque parcelle par le biais de la technique du goutte-à-goutte.

Chapitre I

Analyse des Conditions

Naturelles de la zone d'étude

I. Analyse des Conditions Naturelles 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 située 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.

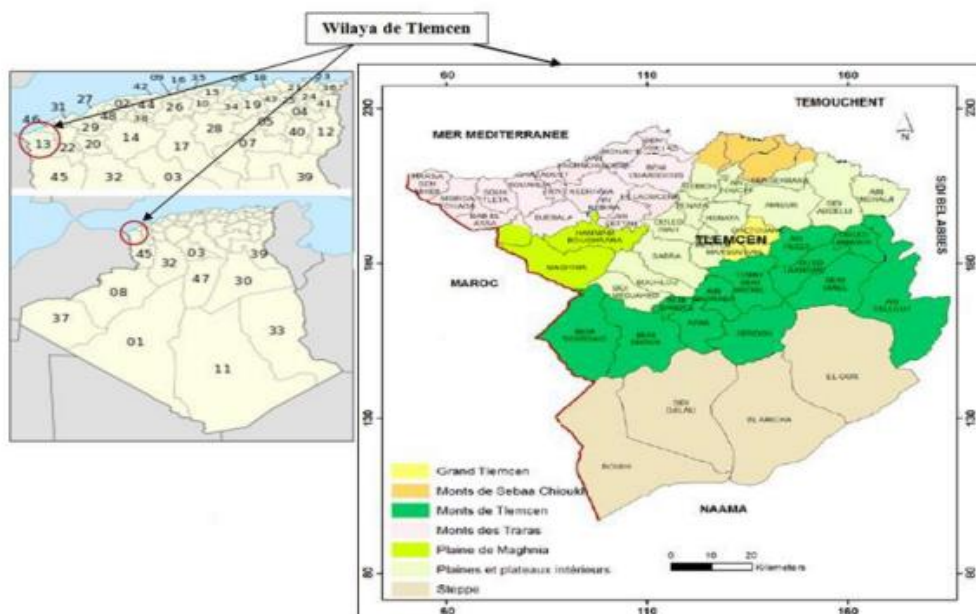


Figure I-1 : situation géographique de la zone d'étude, wilaya de Tlemcen (2023).

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

Ain El Houtz est un village situé au nord-est du groupement de Tlemcen, faisant partie de la commune de Chetouane. Ce village a été créé lors du découpage administratif en 1985. Ce petit village pittoresque, niché à environ huit kilomètres au nord de Tlemcen, se compose de deux agglomérations distinctes. La première est située à l'est, près des tombeaux de Saint Eponyne, et entoure une source essentielle qui alimente le village en eau. La seconde agglomération, appelée Tralimet, se trouve légèrement plus à l'ouest et abrite principalement des ouvriers agricoles. Elle est limitée :

- Au Sud et à l'Ouest par la Commune de Tlemcen.
- À l'Est par la Commune de Chetouane.
- 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

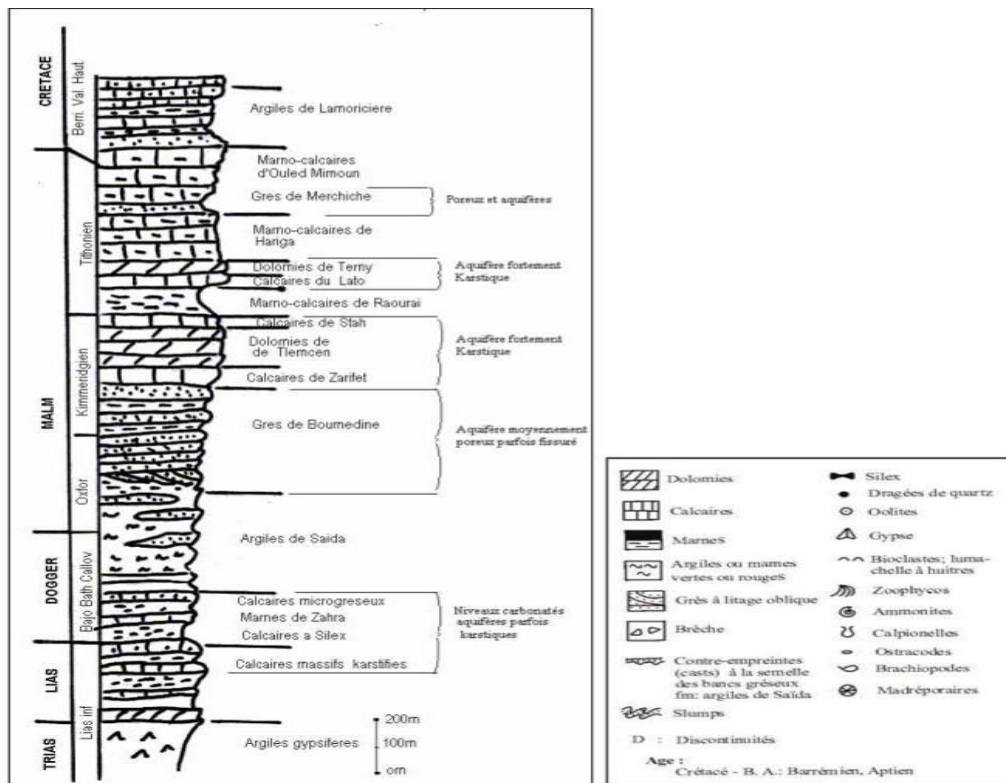
La géologie, par essence, est la science qui se penche sur l'analyse de la surface terrestre, incluant ses éléments constitutifs, son évolution au cours du temps et les processus qui l'ont façonnée.

Ces études sont essentielles pour la gestion durable des ressources naturelles, la compréhension des risques naturels, la préservation de l'environnement et la prise de décision dans de nombreux domaines,

I.3.1 Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen

La séquence litho-stratigraphique illustrée dans la Figure ci-dessous offre un aperçu des différentes formations géologiques présentes dans la région des Monts de Tlemcen. Les calcaires et les dolomies du Kimméridgien et du Tithonien constituent la majeure partie des plateaux supérieurs, représentant plus de 80% de leur composition. Cependant, au Sud et au Nord de cette zone, ces formations sont recouvertes par des dépôts sédimentaires tertiaires épais. Au sud, on observe des dépôts fluviaux datant de l'Éocène, tandis qu'au nord, on trouve des marnes d'âge miocène ainsi que des dépôts continentaux du Plio-Quaternaire.

Il est important de noter que ces formations géologiques montrent des variations latérales dans leur faciès, une épaisseur variable et une dolomitisation irrégulière à travers la région des Monts de Tlemcen. Cette description des formations est principalement basée sur les recherches de Benest M. (1985), ainsi que sur nos propres relevés géologiques.



I.3.1.1 Le secondaire

Il est représenté par le jurassique supérieur. On peut distinguer :

A. Grés de Boumediene :

Ils ne drainent que peu d'eau. Cependant, ils présentent des bancs de grés qui sont assez puissants s'intercalant dans les marnes et sont jugés intéressants parce que ces roches présentent des diaclases qui augmentent leur perméabilité. Grâce aussi à des jeux de failles, ils peuvent apparemment donner naissance à de grandes sources qui sont en réalité alimentées par des impluviums calcaires dolomitiques. Les grés ne jouant que le rôle d'écran filtre [Bouanani, 2004].

B. Les dolomies de Tlemcen

Elles sont assez largement répandues dans le groupement puisqu'elles affleurent au Djebel Tefatisset, Ain El Houtz et Boudjlida. Ce sont des cavités remplies de calcites très dures. L'épaisseur de cette formation est impressionnante puisqu'elle peut atteindre les 300 mètres [Bouanani, 2004].

C. Les marno calcaires de Raourai

Il s'agit d'alternance de marnes grise verdâtre ou blanchâtre et de calcaire marneux durs. En fait, c'est une formation plutôt calcaire que marneuse. Son épaisseur est en moyenne de 40 m. Cette formation est particulièrement bien développée sur le Djebel Tefatisset à la limite Ouest du Groupement au niveau de la ZHUN champ Tir, Djebel Ain el Houtz et El Hadid au Nord de Chetouane [Bouanani, 2004].

I.3.1.2 Le tertiaires

A. L'Eocène

La formation affleure sur une très faible surface au niveau d'Ain Berkouk. C'est un ensemble gréseux de passage de bancs de poudingues dans la basse vallée de l'Oued Isser près de la confluence avec l'Oued Tafna. Ces alternances forment une série de 100 à 150 m d'épaisseur, d'âge éocène supérieur [Medane & Bekadi, 2004].

B. Le Miocène

Le miocène marin se développe presque uniquement sur le versant Nord des monts de Tlemcen. On peut distinguer :

- a. **Le Carténien** : Est constitué par des marnes grises. D'après Doumergue (1910), il fait partie de la miocène inférieure [Medane & Bekadi, 2004].
- b. **L'Helvétien** : Est constitué par une épaisse série des marnes grises ou bleutées dont la masse devient ocrés par altération. Au sein de cette série, s'intercalent de nombreux

bancs décamétriques de grès jaunes, plus fréquent au sommet. Ces marnes sont très développées dans la vallée de la rive droite de l'Oued Sikkak où leur puissance est de l'ordre de 100 mètres [Medane & Bekadi, 2004].

- c. **Le tortonien** : Ce sont des grès fissurés jaune avec par endroits de minces poussées marneuses. Les grès sont assez durs, mal limités. Localement ce tortonien peut avoir des faciès différents représentés par des argiles plus ou moins sableuses, ce qui explique la complexité géologique de la ville de Tlemcen. Et c'est justement au niveau de ces smectites ou argiles gonflantes par excellence, qu'un grand nombre de désordre géotechnique de la ville sont enregistré, dues aux tassements et aux retraites. Gonflement surtout pendant les dernières décennies de sécheresse. L'épaisseur de cette formation varie de 20 à 30 mètres [Bouanani, 2004].
- d. **Pliocène (conglomérats de la plaine d'Hennaya)** : Dans les zones de décharge de la nappe d'Hennaya, telles qu'Aïn Boukoura, Aïn Ouahab, Aïn Halilifa et Aïn El Kahla, on observe la présence d'une bande continue de conglomérats s'étendant du nord de l'agglomération d'Hennaya à Aïn Halilifa. Ces conglomérats sont constitués de poudingues polygéniques, caractérisés par leur hétérométrie, leur consolidation élevée, leur composition en éléments calcaires dolomitiques, et leur ciment calcaire.

Concernant les conglomérats de la plaine d'Hennaya, deux hypothèses sont avancées quant à leur origine temporelle :

- 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.

Ces poudingues, qui recouvrent et remanient les grès tortoniens, affichent en moyenne une épaisseur de 7 mètres, comme cela a été établi par des sondages effectués par Medane & Bekadi en 2004.

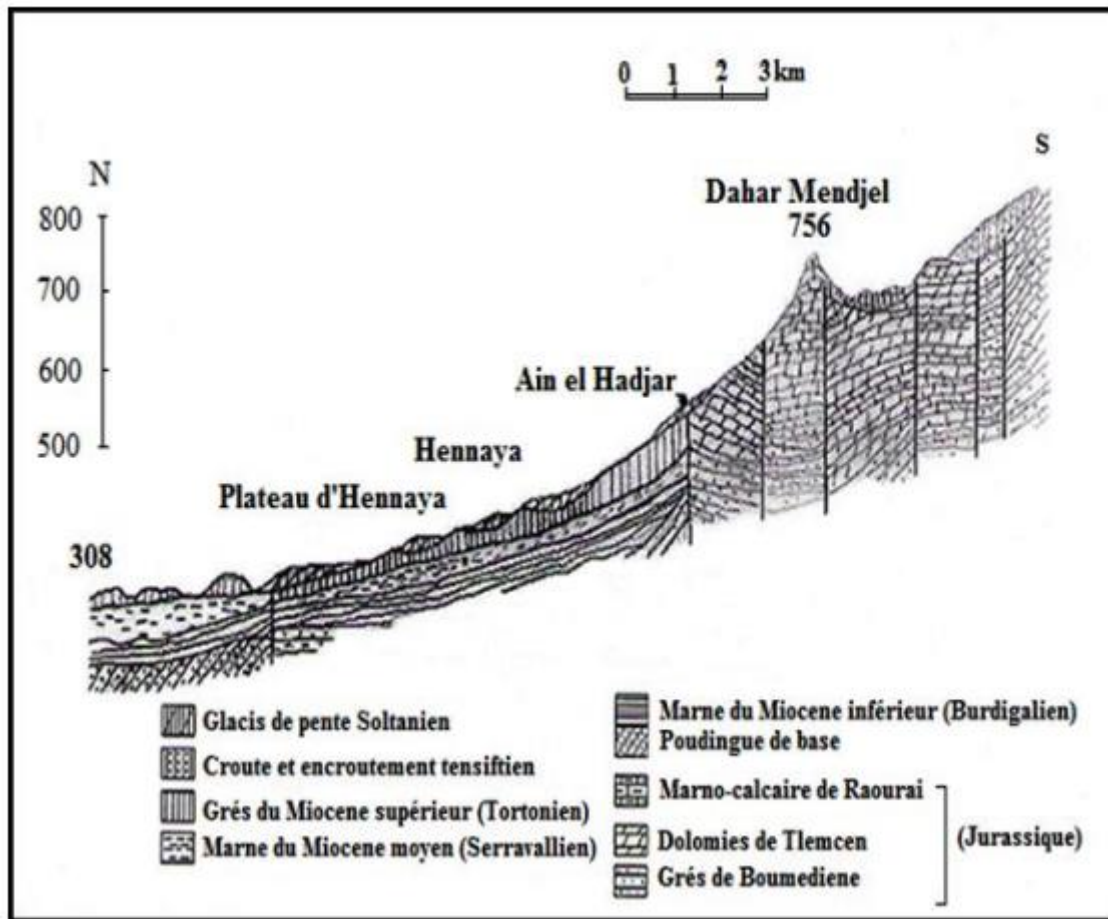


Figure I-4: Coupe schématique de plateau d'Hennaya (Bensaoula F., 2006).

Les conglomérats sont bien illustrés dans la figure 5. Ainsi, la figure 6 illustre la disposition observée au niveau de la source Ain Hallilifa.

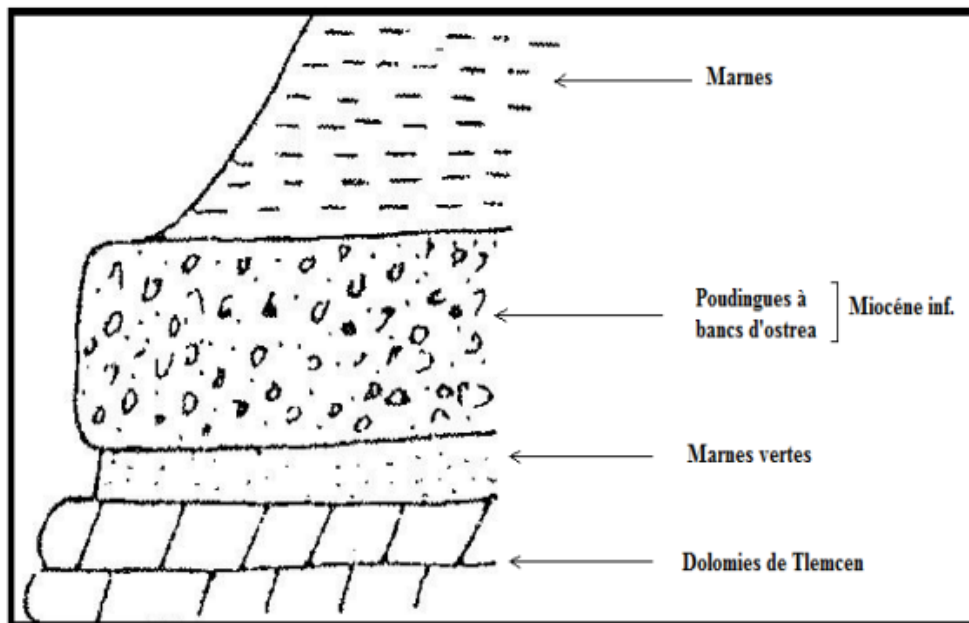


Figure I-5 : Présentation des conglomérats de base (Bensaoula F., 2006).

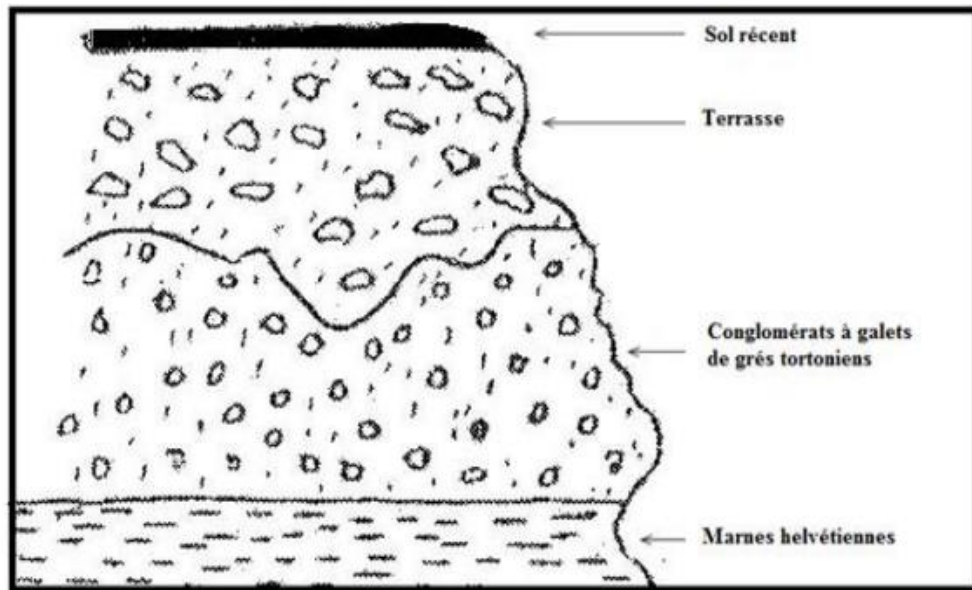


Figure I-6: Disposition observée au niveau de la source d'Ain Hallilifa (Bensaoula F., 2006).

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

- Au fond du lit de l'Oued, on trouve des conglomérats reposant sur les marnes de l'Helvétien.
- Ces conglomérats renforcent des éléments de grès jaune de l'époque tortonienne.
- Du côté droit de l'Oued, une croûte épaisse et bien consolidée, présentant une structure similaire à celles datées du Moulouyen, fait son apparition au-dessus des poudingues. Ces observations suggèrent que les poudingues de la plaine d'Hennaya ne font probablement pas partie du cycle quaternaire, comme indiqué dans les recherches de **Medane & Bekadi en 2004**.

1.3.1.3 Le Quaternaire

La période quaternaire est caractérisée exclusivement par la présence de formations continentales dont la datation précise s'avère complexe. Au sein des Monts de Tlemcen, dans la région septentrionale, les dépôts alluvionnaires s'étendent rarement au-delà de 100 mètres. Ces dépôts consistent en des marnes sableuses ou des argiles présentant une faible perméabilité. Une analyse approfondie de ces dépôts continentaux a été entreprise par Guardia en 1975.

- **Le complexe de piémont** se caractérise par plusieurs éléments géologiques distincts :
 - **La périphérie des massifs** secondaires est marquée par des éboulis de piémont, recouverts plus ou moins par une croûte d'une épaisseur relativement mince, comme l'ont noté Medane & Bekadi en 2004.

- **Les travertins**, quant à eux, représentent d'épaisses couches disposées en terrasses, formant d'imposantes falaises, notamment sur le plateau de Lalla Setti. Ces dépôts, dont l'épaisseur peut dépasser les 60 mètres, résultent de la dissolution interne des massifs calcaires dolomitiques et témoignent de l'importance des résurgences.
- **La carapace calcaire** recouvre les formations miocènes et constitue la partie supérieure horizontale des plateaux, selon les travaux de Guardia en 1975 tels que rapportés par Medane & Bekadi en 2004. Elle est particulièrement bien développée dans la plaine d'Hennaya et vers l'est de la région des Ouled Alaa, où son épaisseur peut atteindre 10 mètres.
- **La croûte calcaire** est formée par l'encroûtement, présentant une teinte claire et des croûtes lamellaires. Cet encroûtement est remarquable dans la plaine d'Hennaya, où il recouvre partiellement les grès tortoniens. Cependant, son épaisseur est relativement mince, d'environ un mètre.
- **Le glaciais de pente soltanien** consiste généralement en des formations soltaniennes, souvent limono-argileuses. Les parties des marnes non affectées par l'érosion récente présentent de vastes glaciais de sols rouges qui se rattachent aux terrasses soltaniennes, comme indiqué par Medane & Bekadi en 2004.
- **Les terrasses soltaniennes** sont des lambeaux de terrasses qui se situent à une élévation de 10 à 12 mètres au-dessus des alluvions récentes du lit majeur de l'Oued Sikkak. Elles sont généralement composées de limon et d'argile de teinte brique, sans formation de croûte.
- Enfin, **les alluvions** anciennes et les encroûtements carbonatés sont constitués de matériaux plus grossiers, comprenant des cailloux et des sédiments limoneux, et se trouvent dans les vallées du groupement, ainsi que dans les dépôts de ruissellement

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

Etude climatique de la zone

II. Etude climatique de la zone

II.1 Introduction

La climatologie est une discipline scientifique visant à identifier les régularités dans les phénomènes atmosphériques observés et à définir les principes qui les dirigent. Cela englobe l'analyse des tendances géographiques et saisonnières des éléments tels que la température, les vents, les précipitations, tout en reconnaissant que la variabilité demeure un élément fondamental du climat.

Ce chapitre est dédié à l'identification du type de climat prédominant dans la zone de notre étude. Pour parvenir à cette évaluation, nous avons exploité les données climatiques recueillies à partir de la station météorologique de Tlemcen.

II.2 Etude du climat

L'étude du climat implique l'analyse des conditions météorologiques sur une longue période dans une région donnée. Elle vise à comprendre les schémas climatiques, les variations saisonnières, et les tendances à long terme. Cette discipline scientifique examine l'impact des facteurs naturels et humains sur le climat, ce qui est crucial pour la prise de décision dans de nombreux domaines, y compris la planification urbaine, l'agriculture, la conservation de l'environnement et l'adaptation aux changements climatiques.

II.3 Etude des paramètres climatologiques

II.3.1 Les précipitations

Le terme "précipitations" englobe toutes les formes de précipitations météoriques qui atteignent la surface terrestre, qu'elles soient liquides (comme la bruine, la pluie ou les averses) ou solides (comme la neige, le grésil ou la grêle), ainsi que les précipitations déposées ou occultes (comme la rosée, la gelée blanche ou le givre). Ces précipitations sont généralement déclenchées par des variations de température ou de pression atmosphérique. Il est important de noter que les précipitations représentent la principale source d'approvisionnement des principaux systèmes hydrologiques continentaux, tels que les bassins versants.

II.3.1.1 Précipitations moyennes annuelles

Précipitations moyennes annuelles se réfère à la quantité moyenne de précipitations, qu'elles soient sous forme de pluie, de neige ou d'autres types de précipitations, qui tombent sur une région donnée au cours d'une année complète. Cette mesure est souvent exprimée en millimètres ou en centimètres d'eau et elle est essentielle pour comprendre le climat d'une zone spécifique ainsi que ses variations saisonnières. Elle joue également un rôle important dans la

gestion des ressources en eau, la planification agricole et d'autres aspects de la planification et de la prise de décision liées au climat.

II.3.1.2 Précipitations moyennes mensuelles

L'étude des précipitations moyennes mensuelles est une analyse cruciale pour comprendre les variations saisonnières des précipitations dans une région donnée. Elle permet d'identifier les mois les plus pluvieux, les plus secs et les tendances saisonnières, offrant ainsi une perspective précieuse sur les schémas climatiques locaux. Cette information est essentielle pour la planification agricole et la gestion des ressources en eau.

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

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	AN
P(mm)	45.86	52.39	54,19	47.23	33.88	6.68	2.1	4.22	18.29	31.73	49.47	44.7	390.75

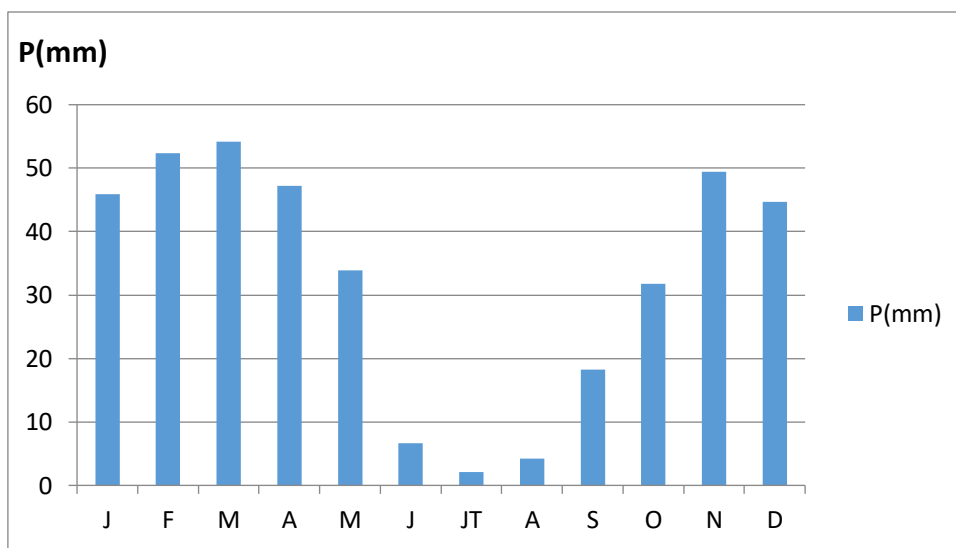


Figure II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (Station Hennaya).

En observant la courbe graphique, il est évident que le pourcentage de précipitations est considérable au mois de Mars, atteignant une valeur significative de 54.19 mm, tandis qu'en juillet, il devient presque négligeable, avec seulement 2.10 mm.

II.3.1.3 Précipitations moyennes saisonnières

Les "précipitations moyennes saisonnières" font référence à la quantité moyenne de précipitations, telles que la pluie, la neige, ou d'autres formes de précipitations, qui surviennent au cours d'une saison particulière dans une région donnée. Cette mesure permet de comprendre

comment les précipitations varient tout au long de l'année, en se concentrant sur les saisons clés comme le printemps, l'été, l'automne et l'hiver. L'analyse des précipitations moyennes saisonnières est importante pour évaluer les changements climatiques saisonniers et leurs impacts sur l'environnement, l'agriculture et d'autres domaines d'activité.

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

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Station Hennaya	111.5	142.5	129.7	9.7

II.3.2 Température

Il s'agit d'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 enregistré des données sur une période suffisamment longue pour être prises en considération (de 1995 à 2017). Le tableau synthétise les variations mensuelles des températures minimales, maximales et moyennes enregistrées à cet endroit.

II.3.2.1 Températures moyennes mensuelles

Les températures moyennes mensuelles représentent les valeurs moyennes des températures enregistrées pour chaque mois de l'année dans une région donnée. Elles sont cruciales pour la planification, la prévision météorologique et l'analyse des tendances climatiques à long terme. Ces données influencent divers secteurs tels que l'agriculture, l'énergie et le tourisme.

Les données concernant les températures moyennes maximales et minimales pour la station météorologique de Tlemcen sont présentées dans le tableau ci-dessous :

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	9.0	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)

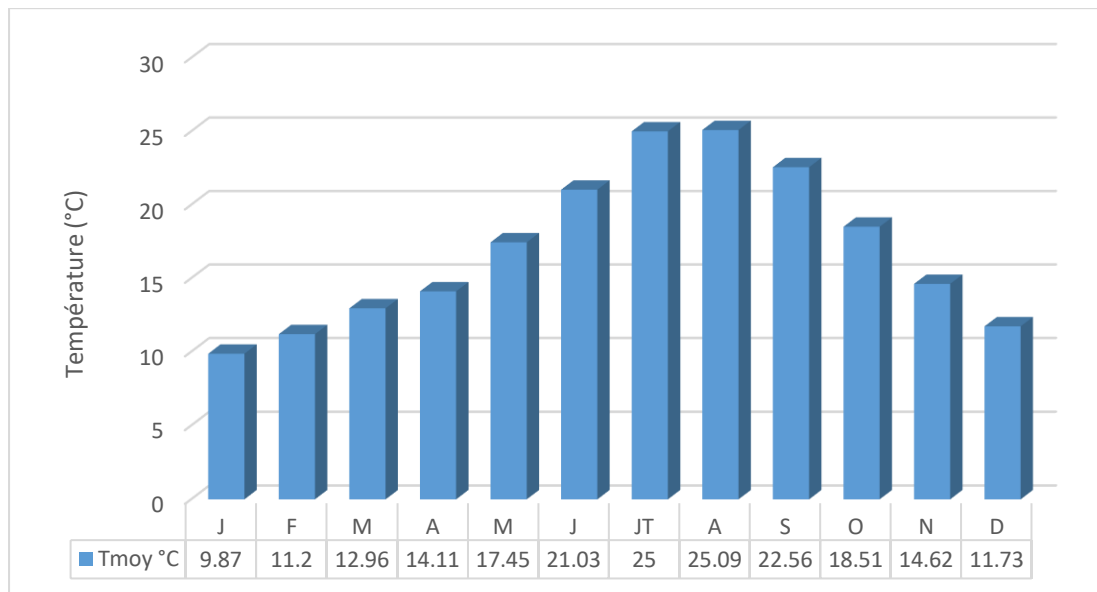


Figure II-2 : Répartition des températures moyenne Mensuelle de la station de Hennaya.

- Températures moyennes maximales : **25.09 (°C)**.
- Températures moyennes minimales : **9.87 (°C)**.
- Températures moyennes mensuelles : **17,09 (°C)**.

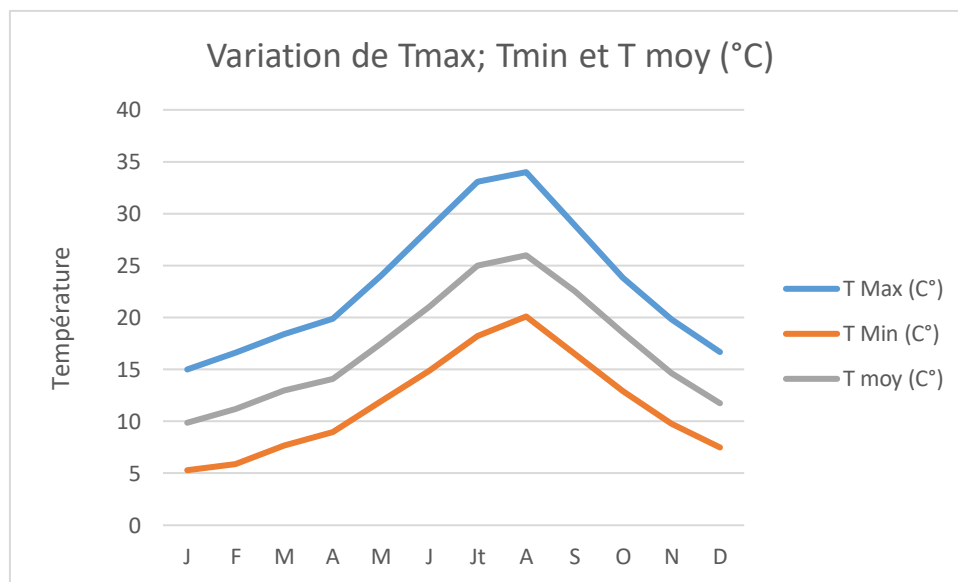


Figure II-3 : Courbes les températures moyennes mensuelles.

Selon la Figure, les températures moyennes mensuelles atteignent leur point culminant en Juillet-Août, avec des valeurs de 25C et 25.09°C, tandis que les températures moyennes maximales se situent entre 33,1°C et 34°C. Leur niveau le plus bas est enregistré en Janvier, avec une moyenne de 9.87°C, correspondant à un minimum de 5,3°C.

II.3.3 Le vent

Le vent est le mouvement de l'air à travers l'atmosphère terrestre, résultant de variations de pression et de température. Il joue un rôle essentiel dans la circulation atmosphérique, le transport de chaleur et d'humidité, ainsi que dans la formation de phénomènes météorologiques tels que les vents forts, les ouragans et les brises marines. Les éoliennes exploitent l'énergie cinétique du vent pour produire de l'électricité, contribuant ainsi aux énergies renouvelables. Les valeurs qui correspondent la variation de la vitesse du vent au tour de ce périmètre d'étude, sont résumés au tableau ci-dessous.

Tableau II-4 : 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 zone d'Ain El Houtz s'élève à 3,37 mètres par seconde, équivalant à environ 12,132 kilomètres par heure.

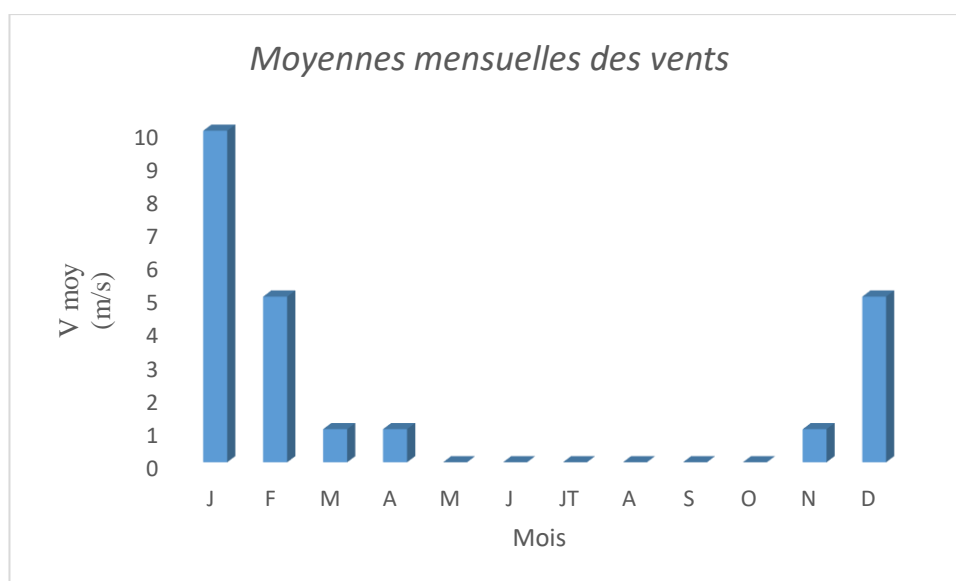


Figure II-4 : Répartition Moyennes mensuelles des vents de la station de Tlemcen (2017).

II.3.4 Humidité

L'humidité est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à la quantité maximale que cet air pourrait contenir à une température et une pression données. Elle est exprimée en pourcentage sous forme d'humidité relative.

L'humidité relative est un indicateur important en météorologie, en climatologie et dans de nombreux autres domaines.

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			/

Source ANRH de Tlemcen

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

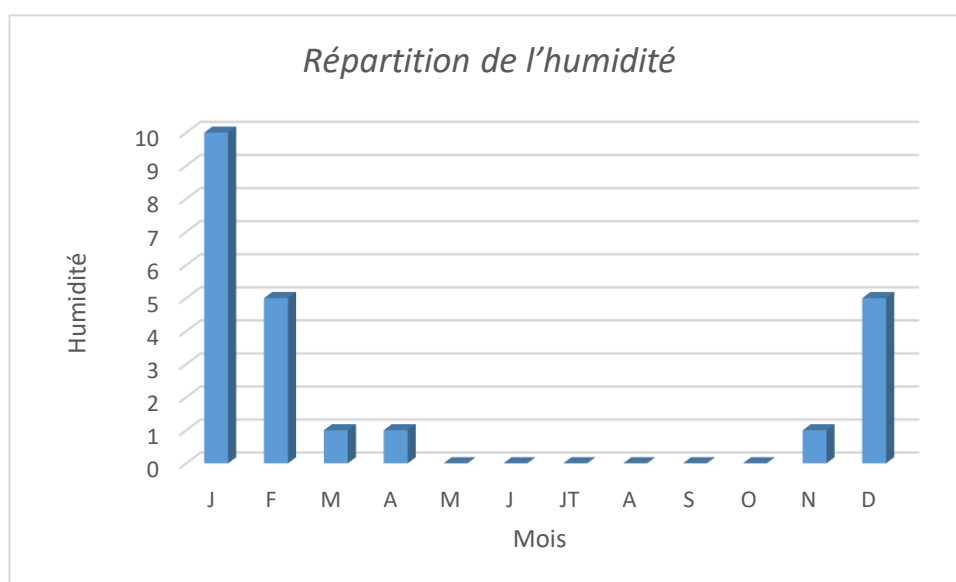


Figure II-4 : Répartition de l'humidité moyenne en % de la station de Tlemcen (2017).

II.3.5 La gelée

La prise en considération des dates de gel est impérative, car elles ont un effet néfaste sur les cultures et peuvent dégrader la structure du sol. Elles revêtent donc une importance capitale dans le processus de sélection des cultures à cultiver. Les gelées sont plus fréquentes pendant la saison hivernale, notamment au 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

Source ONM

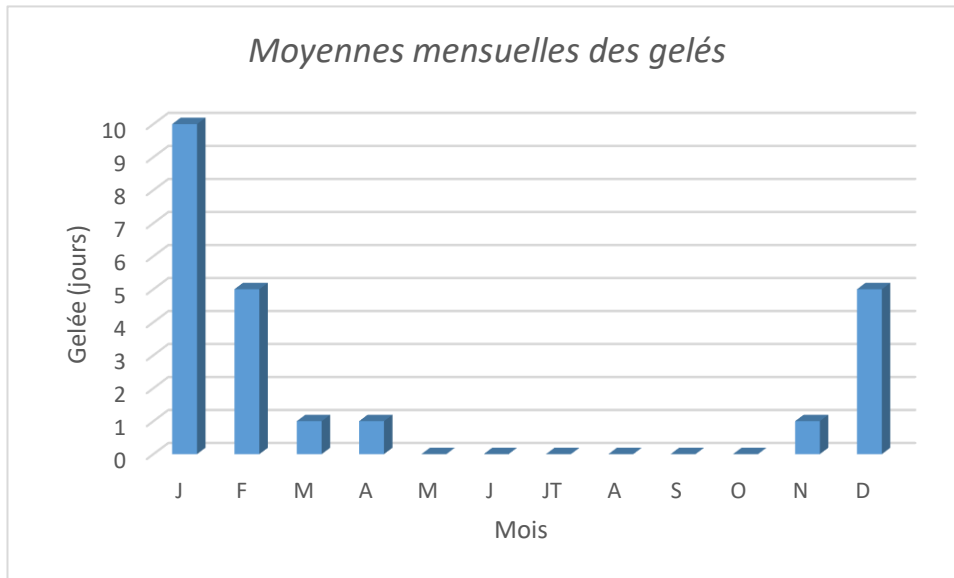


Figure II-5 : Répartition des Moyennes mensuelles des gelés de la station de Tlemcen (2017).

II.4 Les indices climatiques

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

L'étude du climat peut être réalisée à partir de :

- méthodes de Visualisation, des périodes sèches et des périodes humides.
- calcul des indices climatiques annuels et mensuels permettant à partir des précipitations et températures la détermination du climat.

II.4.1 Indice d'aridité annuel de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne est un outil utile pour évaluer les conditions climatiques dans différentes régions du monde et pour aider à comprendre les variations de l'aridité à travers le temps et l'espace. Il est couramment utilisé en géographie et en climatologie pour classer les climats et étudier les régions arides.

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

Où :

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

P : Précipitation annuelle moyenne en millimètres (mm).

T : Température annuelle moyenne en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

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 ($^{\circ}\text{C}$)	I (mm / $^{\circ}\text{C}$)
418,61	17,09	14,42

La valeur calculée de I est comprise entre 10 et 20 et selon l'abaque de Martonne.

Pour la région d'étude :

$$P = 390.75\text{mm}$$

$$T = 17.09\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$I = 14,87$$

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

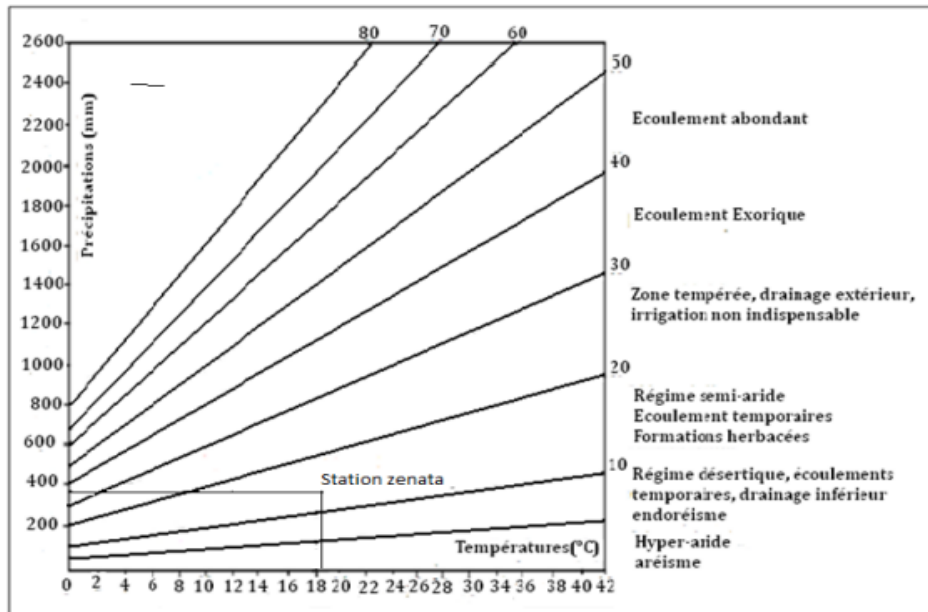


Figure II-4 : Abaque d'aridité annuel de De Martonne.

II.4.2 Indice d'aridité mensuel de De Martonne

L'indice d'aridité mensuel de De Martonne est une variation de l'indice d'aridité annuel de De Martonne que j'ai décrit précédemment. Contrairement à l'indice annuel qui offre une vue d'ensemble du climat tout au long de l'année, l'indice d'aridité mensuel est calculé pour chaque mois de l'année. Cela permet d'obtenir une compréhension plus détaillée des variations saisonnières de l'aridité dans une région donnée.

$$I = \frac{12P}{T+10} \tag{Équation II-2}$$

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	27.70	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 exorémique ;

T : Tempéré ; H : Hyperaride ; ST : Steppique.

II.4.3 Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER

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

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

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

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

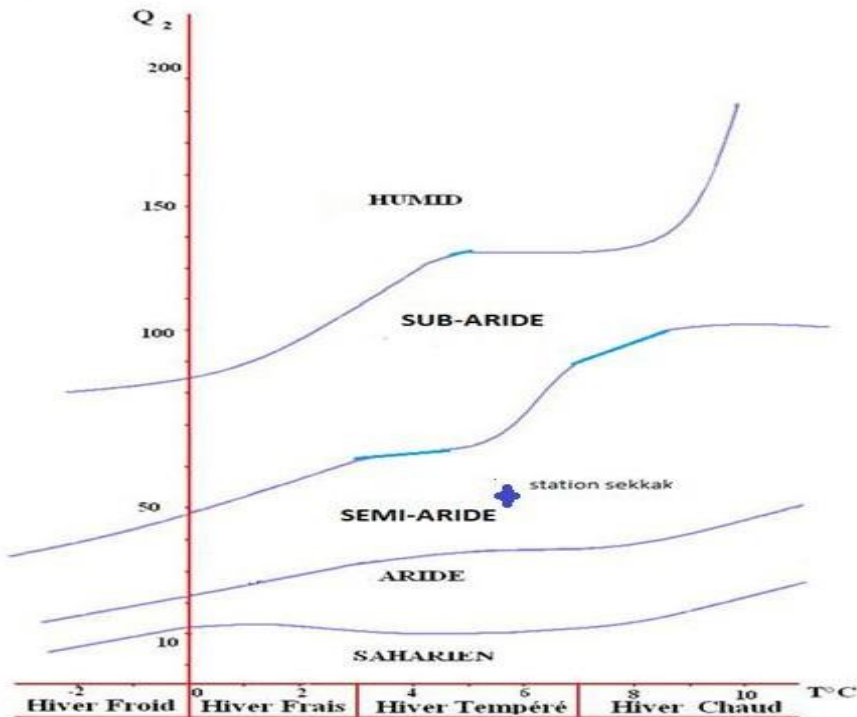


Figure II-5 : Climatogramme d'EMBERGER.

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

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

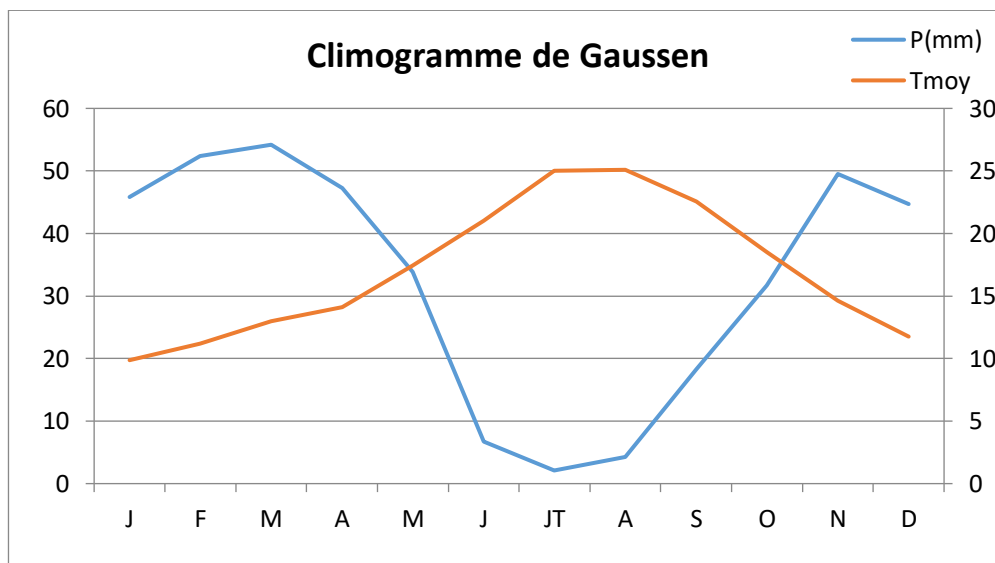


Figure II-6 : Climatogramme de Gaussen.

Description du graphe :

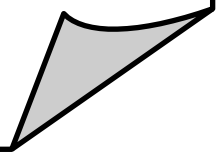
D'après le graphe on remarque que la saison sèche s'étale du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre, et la saison humide du mois d'Octobre jusqu'à le mois d'avril.

II.5 Conclusion

Cette analyse climatique de la région d'Ain El Houtz, basée sur les données de la station météorologique de Tlemcen, offre une description approfondie du climat local. Elle met en évidence un climat semi-aride à hiver tempéré, caractérisé par des précipitations saisonnières, des variations de température significatives, et une humidité variable. En utilisant les indices climatiques d'Emberger et de De Martonne, cette région est catégorisée comme semi-aride à hiver tempéré, avec d'importantes implications pour la gestion des ressources en eau, l'agriculture, l'aménagement urbain et les décisions liées au climat. Une compréhension précise du climat local s'avère essentielle pour s'adapter aux changements climatiques et promouvoir un développement durable dans la région d'Ain El Houtz.

Chapitre III

Ressources en eau et en sol



III. Ressources en eau et en sol

III.1 Introduction

Ain Houtz, située dans la région de Tlemcen, est une zone géographique dotée de ressources naturelles vitales, dont les ressources en eau et en sol occupent une place prépondérante. Ce chapitre se consacre à l'exploration et à la compréhension de ces précieuses ressources, essentielles à la vie quotidienne, à l'agriculture, à l'industrie et à l'environnement.

III.2 Ressources en eau

Il est essentiel de prendre en considération plusieurs aspects en ce qui concerne l'eau destinée à l'irrigation, incluant sa nature, sa quantité, et sa qualité. Cette ressource peut être puisée soit sous terre, à partir de puits ou de forages, soit à partir de sources d'eau de surface, telles que des rivières, des cours d'eau, ou des points de captage naturels. Dans ce contexte, l'agriculteur doit garantir la disponibilité de l'eau, en particulier pendant les périodes de demande maximale, pour déterminer la superficie qu'il peut irriguer. En outre, il doit évaluer la qualité de cette ressource en la classifiant comme bonne, médiocre ou mauvaise. Cette évaluation de la qualité de l'eau revêt une importance capitale pour anticiper les besoins potentiels en termes de traitement et de filtration nécessaires à son utilisation dans le processus d'irrigation.

III.2.1 Ressources en eau potentielles

Pour répondre aux besoins en eau du périmètre d'étude, deux catégories de sources d'eau peuvent être envisagées : une source classique et une source non conventionnelle.

III.2.1.1 Source conventionnelle

Il existe deux sources au niveau de Ain Houtz dans les coordonnées UTM (Universel Transverse Mercator) sont :

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



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

Les données concernant les débits et les températures de l'eau de la source d'Ain Houtz, collectées par les services de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH) au cours de la période 2010-2012, sont répertoriées 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	

Le débit moyen de la source s'établit à 28.11 litres par seconde, selon les échantillonnages, avec un débit maximal enregistré de 31.5 litres par seconde et un débit minimal de 25 litres par seconde.

En ce qui concerne les relevés des débits et des températures de l'eau de la source de Ain Ancor, collectés par les services de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH) durant la période 2016-2017, ces données sont consignées 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 s'établit à 9.94 litres par seconde. En se basant sur ces relevés, la source présente un débit maximum de 24.5 litres par seconde et un débit minimum de 4.4 litres par seconde.

III.2.1.2 Sources non conventionnelles

À proximité du périmètre se trouve la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) d'Ain El Houtz. Les eaux traitées provenant de cette station sont actuellement utilisées pour l'irrigation dans le périmètre de Hennaya, ce qui constitue une source d'approvisionnement en eau importante. Selon les informations fournies par les autorités agricoles et hydrauliques de Tlemcen, une partie de ces eaux traitées sera redirigée vers le périmètre de Ain El Houtz, qui est l'objet de notre étude.

➤ **Station d'épuration d'Ain El Houtz**

Les eaux traitées par la station d'épuration de Ain El Houtz sont issues des rejets d'eaux urbaines provenant de la ville de Tlemcen, essentiellement des eaux domestiques résiduelles qui peuvent contenir de très faibles quantités d'eaux issues de différentes activités reliées aux réseaux d'assainissement.

Les données relatives au volume des eaux usées traitées par la station Ain El Houtz au cours de l'année 2017 sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

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 entraîner divers problèmes, mais il est important de noter que chaque eau usée est unique en son genre. Afin de caractériser les eaux utilisées pour l'irrigation dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé une comparaison entre les eaux usées comme indiqué dans le Tableau ci-dessous provenant de la station d'épuration 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/1
DCO	<90 mg/1
MES	<20 mg/1
NO2	1 mg/1
NO3	<1 mg/1
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-NH ₄ ⁺)	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 de la STEP d'AIN HOUTZ, voici un résumé des principales conclusions :

1. Matière en Suspension (MES) : La concentration de matière en suspension (MES) est d'environ 4.01 mg/l, ce qui la rend adaptée à l'irrigation avec n'importe quel système.
2. Azote : L'azote se présente principalement sous forme d'ammoniac (NH₄) à une concentration d'environ 4.01 mg/l, ce qui est conforme aux normes. De plus, les nitrates (NO₃) sont présents à une concentration d'environ 11.6 mg/l, également dans les limites acceptables.
3. Phosphore : La concentration de phosphore sous forme de phosphate (PO₄) est d'environ 0.07 mg/l, ce qui est considéré comme négligeable par rapport aux normes.
4. Conductivité électrique : La conductivité électrique de l'eau est d'environ 747 µs/cm, ce qui indique qu'elle est adaptée à l'irrigation.
5. DBO₅ : La valeur de la Demande Biochimique en Oxygène d'AIN HOUTZ est estimée à 18.8 mg/l d'oxygène, ce qui est conforme aux normes.

En résumé, les analyses montrent que la STEP d'AIN HOUTZ est globalement conforme aux normes, les rendant appropriées pour l'irrigation et potentiellement pour la réutilisation.

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

Les Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) incarnent un maillon essentiel de notre infrastructure environnementale, jouant un rôle crucial dans la préservation de la qualité de l'eau et la protection des écosystèmes aquatiques. Cette exploration approfondie se penchera sur les caractéristiques et le fonctionnement complexes de ces installations, dévoilant les mécanismes sophistiqués déployés pour traiter les eaux usées de manière efficace et écologique.

Caractéristiques des STEP :

1. **Prétraitement Ingénieux :**

- **Dégrillage et Désablage :** Les eaux usées, issues de diverses sources, subissent un premier triage via des grilles pour éliminer les débris grossiers. Les bassins de désablage retirent les particules lourdes telles que le sable, préservant ainsi les équipements en aval.

2. **Traitement Biologique Avancé :**

- **Bassins d'Aération :** Au cœur du processus, les eaux prétraitées affluent dans les bassins d'aération, où des micro-organismes, tels que les bactéries aérobies, entreprennent une danse complexe de décomposition des matières organiques en éléments plus simples. Ce processus biologique évolué garantit une dépollution efficace.
- **Systèmes Séquentiels Batch :** Certains systèmes utilisent des approches séquentielles batch, alternant entre les phases aérobies et anaérobies pour maximiser l'efficacité de l'élimination des contaminants.

3. **Sédimentation Stratégique :**

- **Bassins de Sédimentation Secondaire :** Après le traitement biologique, les eaux passent par des bassins de sédimentation où les boues activées, riches en micro-organismes, sont séparées de l'eau clarifiée. Ce processus assure une qualité d'eau optimale avant la prochaine étape.

4. **Désinfection Innovante :**

- **Technologies Non-Chlorées :** Alors que la chloration demeure courante, des alternatives novatrices comme l'utilisation d'ozone ou de lampes UV gagnent en popularité. Ces méthodes respectueuses de l'environnement garantissent une

désinfection efficace sans les inconvénients associés aux produits chimiques traditionnels.

5. **Gestion Éco-responsable des Boues :**

- **Biogaz et Engrais Organique :** Les boues résiduelles, résidus inévitables du processus, sont transformées en ressources précieuses. La méthanisation produit du biogaz pour l'énergie, tandis que les boues déshydratées deviennent un engrais organique de qualité, fermant ainsi la boucle de durabilité.

Fonctionnement d'une STEP :

1. **Collecte Meticuleuse :**

- **Réseau de Collecteurs :** Les eaux usées sont canalisées à travers un réseau sophistiqué, collectant les flux provenant de zones urbaines, industrielles et périphériques.

2. **Prétraitement et Élimination Sélective :**

- **Dégrillage Intelligent :** Les débris sont éliminés, et les huiles séparées, préservant ainsi les équipements et assurant une entrée fluide dans les phases suivantes.

3. **Traitement Biologique Orchestral :**

- **Contrôle de l'Aération :** Des systèmes automatisés surveillent et ajustent l'aération, créant un environnement propice aux micro-organismes pour une décomposition optimale.

4. **Sédimentation Calculée :**

- **Contrôle de la Sédimentation :** Les bassins de sédimentation sont minutieusement contrôlés pour assurer une séparation efficace des boues activées, garantissant une eau clarifiée prête pour la désinfection.

5. **Désinfection Dynamique :**

- **Surveillance en Temps Réel :** Des dispositifs de surveillance en temps réel ajustent la désinfection selon les besoins, assurant une élimination précise des pathogènes.

6. **Gestion des Boues Complète :**

- **Valorisation Maximale :** Les boues, bien loin d'être des déchets, sont considérées comme des ressources précieuses. De la production de biogaz à l'utilisation en agriculture, chaque étape est optimisée pour la durabilité.

En somme, le fonctionnement détaillé d'une STEP reflète la complexité des processus impliqués dans le traitement des eaux usées, allant du prétraitement à la gestion des boues. L'intégration de technologies avancées et des bonnes pratiques environnementales est essentielle pour garantir l'efficacité de ces installations tout en minimisant leur impact sur l'environnement.

III.2.2 Degré d'adsorption du Sodium (SAR) des eaux de sources d'Ain El houtz

Le Sodium Adsorption Ratio (SAR) est un indicateur essentiel pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Il mesure la proportion des ions sodium par rapport aux ions calcium et magnésium dans l'eau d'irrigation, ce qui est crucial pour la santé des sols et la croissance des cultures. Le SAR est calculé à l'aide d'une formule mathématique, et en fonction de sa valeur, l'eau est classée comme appropriée, modérément sodique ou sodique pour l'irrigation. Il permet aux agriculteurs de prendre des décisions éclairées pour préserver la productivité des sols et des cultures.

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

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

Donc :

$$\text{SAR}=1.36$$

- **Effets des sels et du sodium sur les plantes et sur les sols** : Les résultats analytiques montrent que la conductivité électrique des eaux de la source est de l'ordre de 906 μS/cm à 25 °C, correspondant donc à une eau chargée en sels solubles.

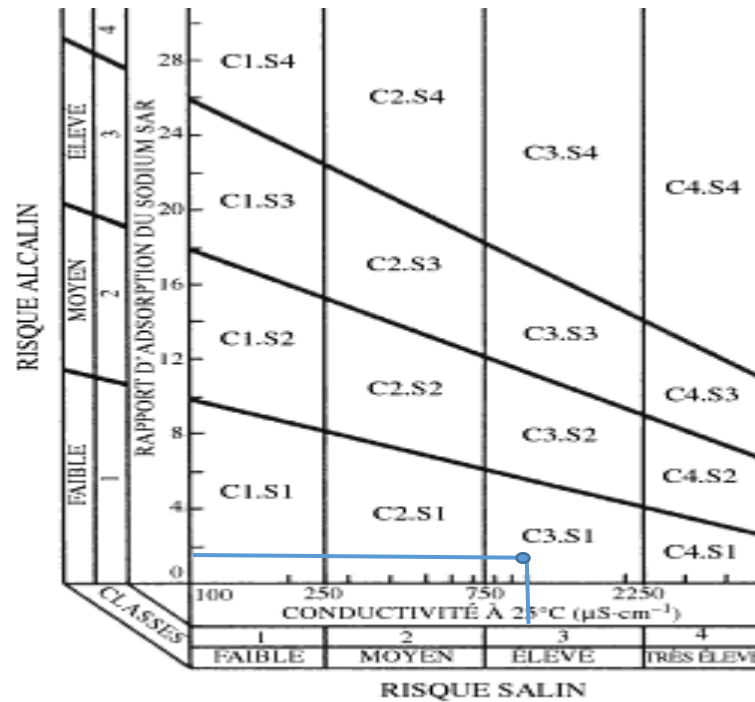


Figure III-2 : diagramme de classification des eaux d’irrigation (selon USSL).

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

Ainsi :

Après une analyse comparative, il est observé que la plupart des paramètres des eaux usées de la station sont généralement inférieurs aux normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). De plus, dans notre cas, la quantité totale d'eau provient de trois sources, dont deux sont des sources d'eau douce. Cette combinaison de trois sources contribue à réduire davantage la concentration de polluants dans l'eau, en favorisant la dilution. Par conséquent, nous sommes considérablement éloignés des risques potentiels associés à l'utilisation des eaux épurées.

III.2.3 Aperçu hydrogéologique du périmètre d’Ain Houtz

Le futur périmètre d'Ain Houtz est situé au sein du bassin versant du mont de Tlemcen, couvrant une étendue de 1090 km². Cette zone se caractérise par un relief montagneux exposé aux influences marines, avec une prédominance géologique marquée par des affleurements calcaires "Karst" et des calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur.

En raison de la nature géologique des formations qui composent le bassin versant, les marnes, formant le substratum, présentent une imperméabilité significative en favorisant la formation

des principales nappes souterraines. Les bancs de grès, en raison de leur position stratigraphique, ont une contribution limitée, voire nulle, à l'alimentation de la nappe.

L'existence de failles a donné naissance à de grandes sources, alimentées principalement par les eaux de ruissellement dans les formations calcaires et dolomitiques. Parmi ces sources, on peut citer Ain Houtz, située aux contreforts du Djebel Boudjellida, et Ain El Horra, au pied du Djebel El Horra. Ces sources anciennes fournissent l'approvisionnement en eau du périmètre d'Ain El Houtz.

- D'un point de vue hydrogéologique, on distingue trois types de nappes :
 - a. La nappe perchée, présente de manière continue dans les calcaires, les marno-calcaires, les dolomies massives, ou les lentilles du Jurassique supérieur.
 - b. La nappe libre à captive, se trouvant dans les dolomies et calcaires du Kimméridgien.
 - c. La nappe captive dans les grès.

Ces caractéristiques géologiques et hydrogéologiques définissent le cadre naturel qui influencera la gestion des ressources en eau dans la région d'Ain Houtz.

III.2.4 Agriculture

La commune de CHATOUANE se caractérise par son orientation agricole. La superficie agricole totale (SAT) de la commune s'élève à 3500 hectares, avec une superficie agricole utile (SAU) de 3061 hectares, dont 800 hectares sont dédiés à l'irrigation.

La répartition des activités agricoles se divise comme suit :

CHETOUANE :

- Superficie totale : 4500 hectares.
- Superficie agricole totale : 3500 hectares.
- Superficie agricole utilisée : 3061 hectares.
- Superficie irriguée : 800 hectares, comprenant 400 hectares de plantations et 400 hectares de cultures maraîchères.
- Superficie non irriguée : 2260 hectares.

AIN EL HOUTZ :

- Superficie agricole totale : 800 hectares.
- Superficie irriguée : 650 hectares, dont 320 hectares consacrés aux agrumes, 80 hectares aux arbres fruitiers et 250 hectares aux cultures maraîchères.
- Superficie non irriguée : 150 hectares.
- Nombre de têtes de bovins : 280 têtes.

III.3 Ressources en sol

L'étude des ressources en sol est d'une importance cruciale dans le contexte de la gestion durable de notre environnement. Les sols constituent une ressource fondamentale pour l'agriculture. Ils jouent également un rôle essentiel dans le cycle de l'eau, la régulation du climat, et la préservation de la biodiversité. Comprendre la nature, la qualité, et la distribution des sols est essentiel pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des terres, de protection de l'environnement, et d'utilisation durable des ressources naturelles.

L'objectif de l'analyse des ressources en sol est d'identifier et de mettre en évidence les zones présentant le plus grand potentiel pour l'irrigation dans la région.

III.3.1 Classification des sols

La classification des sols dans la zone d'étude, telle que révélée par l'étude agropédologique, montre que ces sols sont homogènes en termes de texture, équilibrés en matière organique, et présentent une couleur allant du brun clair au brun foncé, ce qui favorise la diversification des cultures.

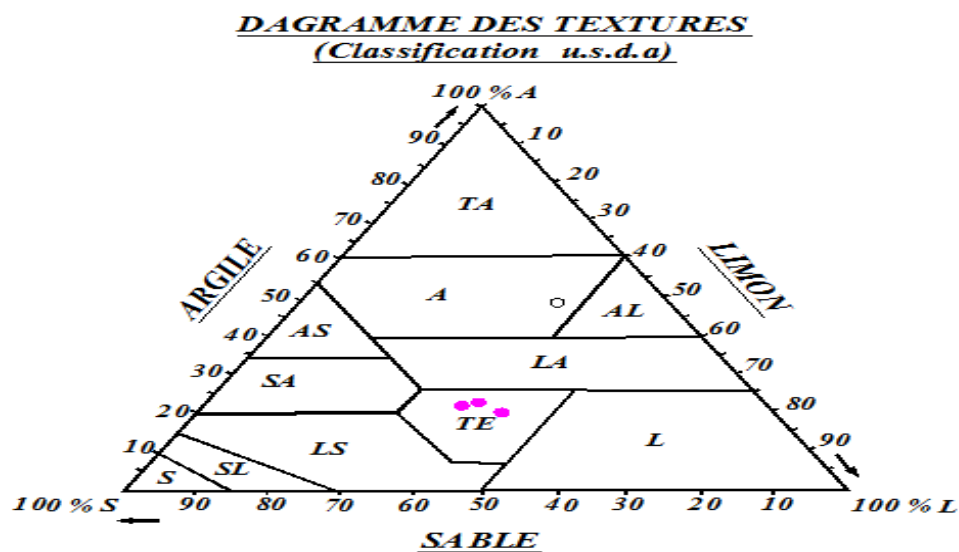


Figure III-3 : Diagramme des textures.

LEGENDE

TA — <i>très argileuse</i>	SA — <i>sablo-argileuse</i>
A — <i>argileuse</i>	L — <i>limoneuse</i>
AL — <i>argilo-limoneuse</i>	LS — <i>limono-sableuse</i>
LA — <i>limono-argileuse</i>	SL — <i>sablo-limoneuse</i>
AS — <i>argilo-sableuse</i>	S — <i>sableuse</i>
TE — <i>texture équilibrée</i>	
● Granulométrie profil	

Le sol est riche en calcaire, celui-ci est hérité du matériau parental à dominance calcaire, la teneur en calcaire varie avec la texture. La moyenne du taux de calcaire total est de l'ordre : 47 %. Le taux de calcaire actif est de l'ordre de 15%.

➤ **Les facteurs pédogenetiques**

Les deux facteurs qui prédominent dans la pédogenèse des sols du périmètre d'Ain Houtz sont le climat, et le calcaire.

a. Le calcaire actif et total : Les sols du périmètre sont très riches en calcaire. Nous avons identifié plusieurs zones caractérisées par la présence encroûtément calcaire sous forme farineuse, qui sont situées généralement au niveau des collines éparpillées dans le périmètre.

b. Le climat : Les précipitations jouent un rôle prépondérant dans la pédogenèse, par leur action elles entraînent le lessivage du calcaire vers la profondeur du sol, l'érosion des sols déterminant la couleur du sol, d'ailleurs la couleur du sol du périmètre brun claire à blanchâtre. Aux alentours, et dans les zones non travaillé nous rencontrerons des formations en cours de la croûte calcaire.

III.3.2 L'étude pédologique

L'évaluation de la capacité des sols dans une zone d'étude vise à garantir un développement optimal des cultures envisagées et à assurer la rentabilité économique de l'investissement agricole. Cette évaluation des aptitudes culturales se base sur la comparaison des exigences spécifiques des cultures envisagées avec les caractéristiques pédologiques du territoire, ce qui conduit à une classification des sols en fonction de leurs aptitudes et contraintes.

L'étude pédologique poursuit plusieurs objectifs :

- Estimer la capacité des sols du périmètre à fournir l'eau nécessaire à l'irrigation des plantes.
- Sélectionner les techniques d'irrigation les plus appropriées en fonction des caractéristiques du sol et du type de culture, que ce soit par aspersion, goutte à goutte ou submersion.
- Établir des directives pour la gestion des apports en eau dans le contexte du système "sol-culture" appliqué. Cela implique une compréhension approfondie des propriétés des sols à l'échelle de chaque parcelle agricole. L'objectif est d'optimiser l'utilisation de l'eau en l'adaptant aux besoins des plantes tout en préservant la qualité des eaux des nappes phréatiques et des cours d'eau contre les risques de pollution.

III.3.2.1 Analyse de laboratoire

Les échantillons prélevés ont été soumis à des analyses en laboratoire, ce qui nous a permis d'identifier plusieurs caractéristiques essentielles du sol.

➤ **Profondeur**

0 – 15 cm : sol frais, brun clair, texture équilibrée à limono-argileux, structure massive à polyédrique moyenne peu développée, compacte, peu poreux, existence de racines et fines radicelles, matière organique décelable, Hcl^+ , transition nette.

15 – 37 cm : Frais à sec, brun foncé, texture équilibrée, polyédrique grossière, compacte, dur, peu poreux, peu de racines et fines radicelles, matière organique décelable, faible activité biologique, existence des tâches blanchâtres de calcaires, existence d'une faible couche graviers + calcaires de différents diamètres, Hcl^+ , transition nette.

37 -120 cm : Frais, brun foncé, polyédrique moyenne, assez développée, structure prismatique à massive, peu poreux, peu de racines et des fines radicelles, existence des tâches blanchâtre avec quelques gravillons effervescence à Hcl^{++} .

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	2.50	2.92
pF _{4.2}		14.29	13.5	13.62
pF _{2.5}		25.85	24.95	25.16
C ‰		19.1	14.6	15.0
N ‰		1.93	1.61	1.60
C/N		9.89	9.06	9.37
Ca CO ₃ total		47.10	47.03	47.58
Ca CO ₃ actif		15.25	15.25	15.5
P ₂ O ₅ total ‰		2.64	2.35	2.35
Complexe absorbant (meq/100 g)	Ca ⁺⁺	25.80	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	17.50	13.74

III.4 Etude Hydrologique

L'analyse hydrologique occupe une place de première importance dans le cadre de nos projets d'irrigation et de drainage, car elle nous permet de définir de manière approfondie les niveaux de précipitations en fonction de leur fréquence. Cette démarche méticuleuse est cruciale pour notre projet d'aménagement hydro-agricole, car elle nous offre une vision détaillée des régimes de pluie, facilitant ainsi la mise en place de stratégies adéquates pour la gestion de l'eau. Cette précision dans l'évaluation des précipitations est essentielle pour garantir la disponibilité continue d'eau, un facteur clé de la réussite de nos activités agricoles à long terme.

III.4.1 Choix de la station pluviométrique

Le choix des stations pluviométriques pour estimer les précipitations dans le bassin versant a été effectué en tenant compte de deux principaux critères : leur emplacement géographique et la période d'observation disponible pour chacune d'entre elles. Ces critères visent à garantir une représentation adéquate des conditions pluviométriques dans la zone d'étude.

L'emplacement géographique des stations pluviométriques revêt une grande importance, car il permet de couvrir de manière efficace l'ensemble du bassin versant et de saisir les variations spatiales des précipitations. Il est essentiel de sélectionner des stations réparties stratégiquement pour obtenir une vue d'ensemble complet des conditions pluviométriques dans la région.

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

DATE	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
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 présenté mettent en évidence une irrégularité marquée dans la répartition des précipitations, ainsi qu'une variabilité mensuelle notable sur la période de 1978 à 2017. Il est clair que les précipitations sont nettement insuffisantes pendant les mois de juin, juillet et août, tandis qu'elles atteignent un niveau moyen pendant les mois de printemps et connaissent des valeurs relativement maximales en hiver. Cette variabilité mensuelle des précipitations peut avoir un impact significatif sur la gestion de l'eau et l'irrigation dans la région d'étude, nécessitant ainsi une planification et une allocation judicieuse des ressources en eau pour répondre aux besoins des cultures tout au long de l'année.

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

Le Test de Wilcoxon est utilisé pour évaluer l'homogénéité d'une série pluviométrique et il suit les étapes suivantes pour déterminer si la série est homogène :

- La série pluviométrique complète est divisée en deux sous-séries, notées X et Y, où la taille de la sous-série X est généralement supérieure à celle de la sous-série Y, représentées respectivement par n et m.
- Ensuite, une série X union Y est constituée en classant la série de pluie d'origine par ordre croissant. Chaque valeur de la série pluviométrique classée se voit attribuer un rang, en indiquant à quelle sous-série (X ou Y) elle appartient.
- Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (selon Touaibia, 2004) si la relation suivante est vérifiée.

Ce test permet d'évaluer si la série pluviométrique présente une homogénéité statistiquement significative, ce qui est important pour comprendre la stabilité des régimes de précipitations dans la région d'étude et prendre des décisions éclairées en matière de gestion de l'eau.

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

Avec :

- W_x : Somme des rangs de sous-séries.

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

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

Les résultats du test de Wilcoxon sont détaillés comme suit :

Tableau III-10 : Tableau présentant le test de Wilcoxon.

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 :

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

- $W_x = 429$

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

Lors de l'analyse des données de pluies annuelles, il est courant d'ajuster ces données à différentes lois statistiques pour déterminer celle qui offre le meilleur ajustement possible. Parmi les lois d'ajustement les plus couramment utilisées pour les pluies annuelles, on trouve les suivantes :

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

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

On considère qu'une variable appartient à la distribution normale lorsque sa fonction de répartition suit la forme :

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

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

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad \text{Équation III-5}$$

Le processus d'ajustement comprend les étapes suivantes :

- Tri des valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Attribution d'un numéro d'ordre aux valeurs triées.
- Calcul de la fréquence expérimentale.
- Calcul de la variable réduite de Gauss, notée u .
- Calcul des caractéristiques empiriques de la loi, telles que la moyenne arithmétique \bar{x} , la variance σ , le coefficient de variation Cv , et le coefficient d'asymétrie Cs .
- Traçage de la droite de Henry sur un papier de probabilité gaussienne.

L'équation de la droite de Henry est :

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

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

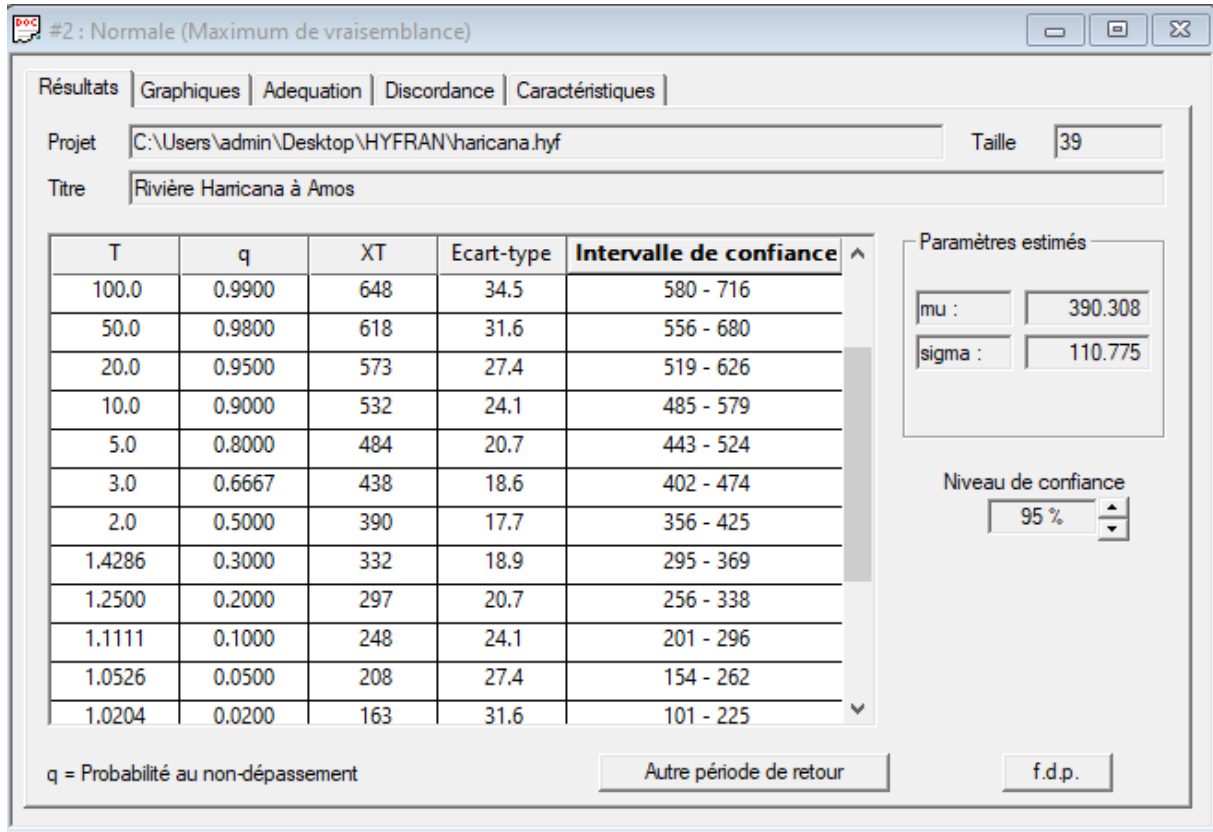


Figure III-4 : Période de retour et intervalle de confiance obtenus par le logiciel HYFRAN.

III.4.3.2 Test de validité d'un ajustement

Pour évaluer la validité de l'ajustement, nous devons vérifier si la loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon représente approximativement cet échantillon. L'erreur commise en optant pour une loi particulière constitue une erreur d'adéquation. Par conséquent, il est essentiel de comparer l'adéquation de différentes lois statistiques pour choisir la meilleure. L'un des tests les plus couramment utilisés à cette fin est le test du khi carré (χ^2).

Prenons un échantillon de N valeurs, que nous avons classées par ordre croissant ou décroissant, et pour lequel une loi de répartition $F(X)$ a été déterminée. Nous divisons cet échantillon en K classes, où chaque classe contient N_i valeurs expérimentales. La valeur V_i représente le nombre théorique de valeurs pour une classe donnée, attribuées par la loi de répartition à partir d'un échantillon de N valeurs, et est calculée selon la relation suivante :

$$p_i = N \int_{x_{i+1}}^x f(X) dX = N [F(X_i) - F(X_{i+1})] \quad \text{Équation III-7}$$

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 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'} \quad \text{Équation III-8}$$

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

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

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 χ^2 calculé est inférieur à χ^2 théorique.

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

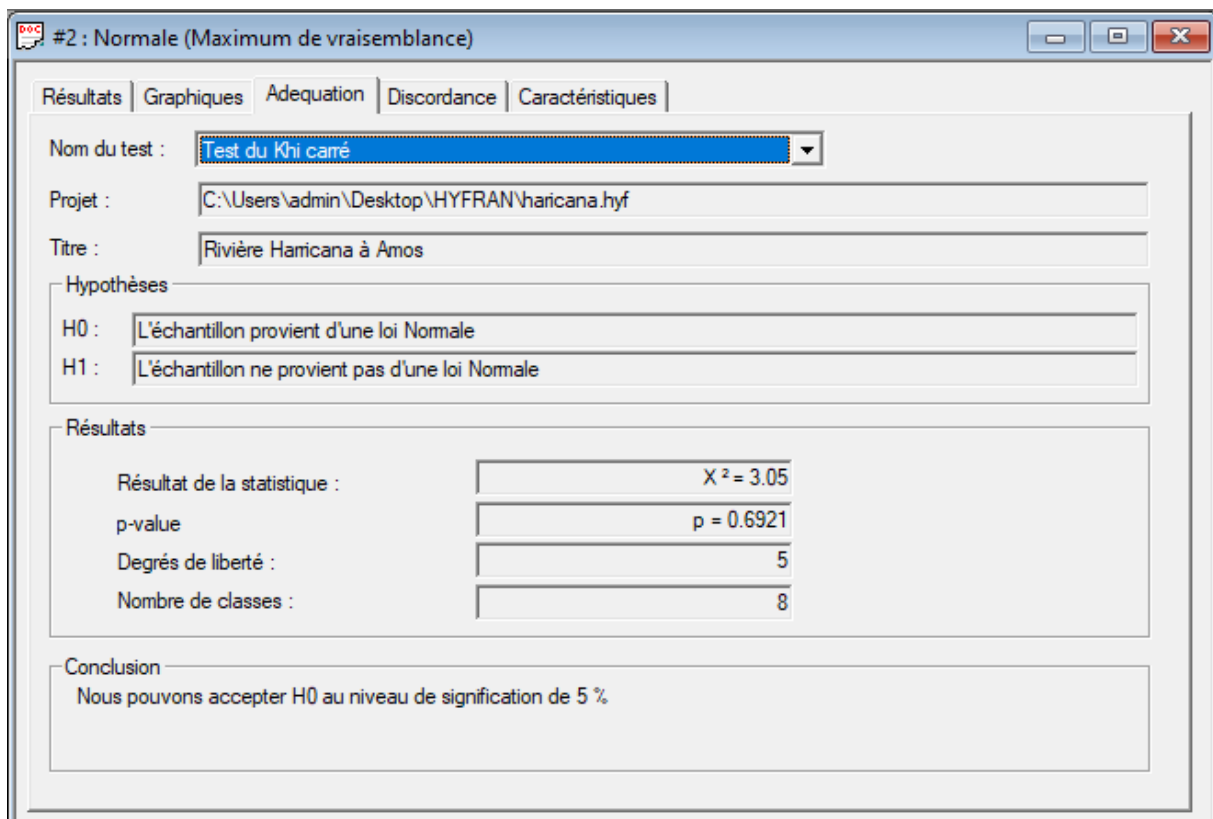


Figure III-5 : Teste de khi deux obtenus par le logiciel HYFRAN

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

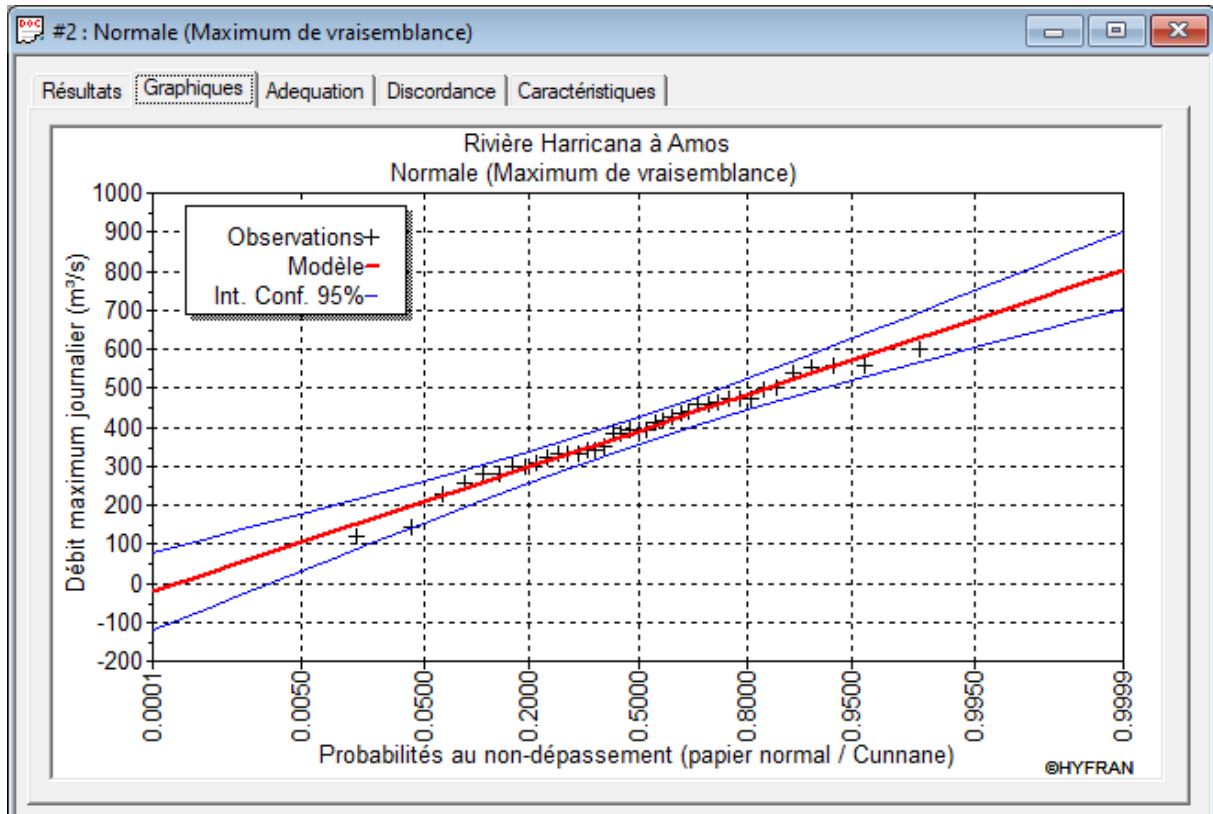


Figure III-6 : L'ajustement par la loi normale obtenue par le logiciel HYFRAN.

III.4.3.3 Détermination de l'année de calcul

Comme la loi normale s'avère être la plus appropriée pour modéliser la distribution de la pluviométrie, nous l'adoptons pour estimer la pluviométrie moyenne annuelle qui reflète la région, avec une probabilité de 80%.

Tableau III-11 : la pluie en fonction de la période de retour.

T (ans)	Fréquence	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
10.0	0.90	532	24.1	485 – 579
5.0	0.80	484	20.7	443 – 524
2.0	0.50	390	17.7	356 – 425
1.25	0.20	297	20.7	256 – 338

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

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

$$x = \frac{P_{\text{theorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{theorique (50\%) annuelle}}} \quad \text{Équation III-10}$$

Tableau III-12 : 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. Evaluation des besoins en eau des cultures

IV.1 Introduction

La détermination des besoins en eau d'une zone est un élément fondamental dans la planification de tout projet d'aménagement hydro-agricole. Dans ce chapitre, nous allons évaluer de manière précise le volume global requis pour l'irrigation des cultures, en prenant en considération divers facteurs tels que les conditions climatiques, les caractéristiques du sol, et la qualité de l'eau d'irrigation. Ces données ont été préalablement établies dans les sections précédentes.

IV.2 Besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures se réfèrent aux quantités d'eau fournies aux plantes à des moments opportuns pour maintenir des niveaux d'humidité optimaux, favorisant ainsi une production agricole maximale. En d'autres termes, il s'agit de déterminer les quantités d'eau nécessaires pour maintenir les plantes dans des conditions idéales d'humidité, ce qui permet d'obtenir le meilleur rendement agricole possible.

IV.2.1 Evaluation des besoins en eau d'une culture :

Pour déterminer les besoins en eau d'une culture, il est essentiel de prendre en compte plusieurs paramètres, à la fois liés à la plante elle-même, ainsi qu'aux conditions climatiques et pédologiques de la région. Ce processus implique l'acquisition de données détaillées dans les domaines suivants :

- **Données Climatiques** : Les données climatiques fournissent des informations cruciales sur les besoins en eau des cultures. Elles englobent des éléments tels que la pluviométrie, l'humidité relative, la température et l'ensoleillement, qui influencent directement la demande en eau de la culture.
- **Paramètres Pédologiques** : Les paramètres pédologiques sont essentiels pour estimer la capacité du sol à retenir et à fournir de l'eau aux plantes. Ils incluent la texture du sol, la profondeur du profil racinaire, la capacité de rétention d'eau, et la perméabilité. Ces facteurs déterminent la réserve en eau du sol et sa disponibilité pour les plantes.
- **Données Culturelles** : Les données culturelles spécifiques à la plante cultivée jouent un rôle crucial dans la détermination des besoins en eau. Cela comprend des informations sur les caractéristiques de la culture, telles que son type, son stade de croissance, et ses besoins nutritionnels. Ces données précisent la quantité d'eau facilement accessible à la plante.

En combinant ces informations, il est possible d'élaborer une estimation précise des besoins en eau de la culture, en tenant compte des conditions climatiques, de la capacité du sol à retenir l'eau, et des exigences spécifiques de la plante à différents stades de sa croissance. Cela permet de planifier et d'optimiser l'irrigation pour maximiser les rendements agricoles tout en conservant les ressources en eau de manière efficace.

IV.2.2 Calcul de l'évapotranspiration

Le calcul de l'évapotranspiration est un processus essentiel en agriculture et en hydrologie pour évaluer la perte d'eau résultant de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes. Il permet de déterminer les besoins en eau d'une culture ou d'une région donnée. Voici une brève idée sur le calcul de l'évapotranspiration :

- **Évaporation** : L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide se transforme en vapeur d'eau à la surface du sol. Elle est principalement influencée par des facteurs climatiques tels que la température, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et l'ensoleillement. Plus il fait chaud et sec avec des vents forts, plus l'évaporation est élevée.
- **Transpiration** : La transpiration est le processus par lequel les plantes libèrent de la vapeur d'eau par leurs stomates (petites ouvertures sur les feuilles) pour réguler leur température interne et faciliter la circulation des nutriments. La transpiration est principalement influencée par la santé de la plante, la disponibilité de l'eau dans le sol et les conditions atmosphériques.
- **Évapotranspiration** : L'évapotranspiration (ET) est la somme de l'évaporation et de la transpiration. Elle représente la perte totale d'eau de la surface du sol et des plantes dans une zone donnée. Le calcul de l'évapotranspiration prend en compte les données météorologiques, la couverture végétale, le type de culture, la disponibilité en eau du sol et d'autres facteurs pour estimer la quantité d'eau perdue.
- **Méthodes de Calcul** : Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'évapotranspiration, notamment l'utilisation de stations météorologiques pour collecter des données en temps réel, des modèles mathématiques complexes basés sur les variables climatiques, et des capteurs de terrain pour mesurer directement l'humidité du sol et la transpiration des plantes.
- **Applications** : Le calcul de l'évapotranspiration est crucial pour la gestion de l'irrigation agricole, la gestion des ressources en eau, la prévision des sécheresses, et la planification de projets hydrologiques. Il permet d'optimiser l'utilisation de l'eau en s'assurant que les cultures reçoivent la quantité d'eau nécessaire sans gaspillage.

Le calcul de l'évapotranspiration est un outil essentiel pour comprendre et gérer l'utilisation de l'eau dans l'agriculture et d'autres domaines, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace et durable des ressources en eau.

IV.2.2.1 Comment obtenir l' ET_0 ?

L' ET_0 , également connue sous le nom d'évapotranspiration de référence, est une évaluation de la perte potentielle d'eau par évaporation et transpiration pour une culture ou une zone géographique donnée, dans des conditions de référence standard. Pour déterminer l' ET_0 , la méthode de Penman-Monteith, largement préconisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), est couramment utilisée.

Voici les grandes étapes pour calculer l' ET_0 en utilisant cette méthode :

Collecte de données météorologiques : La première étape consiste à rassembler des données météorologiques précises, comprenant des paramètres tels que la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, l'ensoleillement et la pression atmosphérique. Idéalement, ces données devraient être collectées à des intervalles réguliers tout au long de la journée.

Préparation des données : Les données météorologiques collectées doivent être organisées en fonction de la précision requise pour le calcul de l' ET_0 . Elles peuvent être regroupées par jour ou même par heure, selon les besoins.

Calcul de l' ET_0 : L' ET_0 est calculée à l'aide de l'équation de Penman-Monteith, une équation complexe qui prend en compte plusieurs paramètres, notamment la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, l'ensoleillement et la pression atmosphérique. Voici une forme simplifiée de l'équation de Penman-Monteith :

$$ET_0 = \frac{0,408 \times \Delta \times (Rn - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T+273} \times U_2 (es - ea)}{(\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2))} \quad \text{Équation IV-1}$$

Dans cette équation :

ET_0 : L'évapotranspiration de référence [mm jour⁻¹];

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

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

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

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

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

U_2 : La vitesse du vent à une certaine hauteur au-dessus du sol [m s⁻¹];

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

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

Interprétation des résultats : Une fois que l' ET_0 est calculée, elle est exprimée en millimètres par jour. Cette valeur représente la perte potentielle d'eau par évaporation et transpiration si les conditions météorologiques étaient idéales.

Utilisation : L' ET_0 est une donnée essentielle pour la gestion de l'irrigation agricole, la planification des cultures et la gestion des ressources en eau. Elle permet de déterminer les besoins en eau des cultures et d'optimiser l'irrigation pour maximiser les rendements tout en minimisant le gaspillage d'eau.

Il est important de noter que le calcul de l' ET_0 nécessite des données météorologiques précises, et il est souvent effectué à l'aide de logiciels spécialisés ou d'outils en ligne pour simplifier le processus.

Nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour calculer l'évapotranspiration de référence (ET_0) en appliquant la méthode de Penman et Monteith. Pour effectuer ce calcul, nous avons saisi les données mensuelles suivantes dans le logiciel :

- Température : Les températures minimales et maximales mensuelles.
- Humidité de l'air : L'humidité relative de l'air, exprimée en pourcentage (%).
- Insolation journalière : Le nombre d'heures d'insolation par jour.
- Vitesse du vent : La vitesse du vent, exprimée en mètres par seconde (m/s).

Les résultats de l'évapotranspiration de référence (ET_0), obtenus à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 en utilisant la formule modifiée de Penman et Monteith, 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/m ² /j)	ET ₀ (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	2.0	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
août	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	<u>1284.35</u>

IV.3 Calcul de la pluie efficace

La pluie efficace représente la fraction des précipitations totales qui est réellement utilisée par la culture. Cette fraction dépend de divers facteurs tels que la région géographique, la nature de la pluie et le type de sol. Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour la méthode du pourcentage fixe pour estimer les pluies efficaces, et voici comment elle fonctionne en détail :

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

Avec :

A : Coefficient de pertes, égal à 0,8.

Les résultats de ce calcul, effectué selon la méthode du pourcentage fixe, sont présentés dans tableau suivant :

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

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
P_{moy} 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
P_{eff}	11.712	20.28	31.68	28.608	29.376	33.536	34.68	30.20	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 présente dans la couche de sol explorée par les racines des plantes, située entre le point de saturation et le point de flétrissement. Il est important de noter que plus l'humidité du sol se rapproche du point de flétrissement, plus les plantes auront du mal à extraire l'eau.

La réserve facilement utilisable (RFU) se calcule selon la formule suivante :

$$\mathbf{RFU = (hcc-hpf) Y.Da.Z} \quad \text{Équation IV-2}$$

hcc : humidité à la capacité au champ

hpf : humidité au point de flétrissement

Z : profondeur racinaire,

Y : coefficient qui dépend de la nature du sol (on prend $Y=2/3$)

Da : densité apparente du sol ;

Dans notre cas, la réserve en eau du sol du mois $i-1$ est égal à :

$$\mathbf{RS= K.RFU} \quad \text{Équation IV-3}$$

K est coefficient =1, ou 1/2, 1/3 ou 0 dans le cas de réserve en eau nulle.

IV.5 Choix des cultures

Le choix des cultures à cultiver est influencé par divers paramètres, parmi lesquels figurent :

- L'emplacement naturel de l'exploitation agricole.
- L'emplacement économique de l'exploitation par rapport aux marchés et aux infrastructures.
- La prise en considération de la situation économique actuelle.
- L'exploitation des capacités et des possibilités propres à l'exploitation elle-même.

IV.5.1 Occupation des sols

Avant d'analyser les besoins en eau des cultures de la zone d'étude, il est essentiel de préalablement établir un plan d'occupation des terres et de répartition des cultures au sein du périmètre. Cette planification doit prendre en considération diverses contraintes, notamment celles liées au climat, aux aspects sociaux, et aux caractéristiques agro-pédologiques de la région.

Tableau IV-3: Occupation du sol.

Culture	céréale	olivier	agrumes	maraichère	vigne	somme
Occupation (%)	35	31	15,6	8,4	10	100

Les Cultures proposées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-4 : Les Cultures proposées.

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

IV.5.2 Autres notions

➤ **Profondeur utile :**

La profondeur d'enracinement d'une culture est déterminée par la capacité du sol (et éventuellement du sous-sol) à la contenir. Les différentes plantes présentent des comportements d'enracinement variés : certaines se limitent à une profondeur de 60 cm, tandis que d'autres peuvent atteindre 10 mètres ou plus. Le présent tableau récapitule les profondeurs d'enracinement en mètres pour chaque culture cultivée à Ain El Houtz.

Tableau IV-5 : Profondeur utile (Z) pour les cultures existant en mètre.

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		
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 culturels (Kc) correspondant à chaque type de culture ont été déterminés en suivant les recommandations formulées par Doorenbos (FAO, 2003). Ces coefficients varient en fonction du stade de développement de la plante et des conditions climatiques spécifiques 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	1.0	1.2	0.87	0.23		
Orge grain			0.4	0.6	0.75	0.9	0.95	0.75	0.6	0.4		
Pomme de terre						0.50	0.70	1.00	0.75			
Tomate							0.50	0.85	1.15	0.85		
Vigne	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.45	0.60	0.70	0.70	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 à l'irrigation est effectué en réalisant périodiquement, pour chaque stade de croissance des cultures, une évaluation du bilan hydrique suivante :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + K \cdot RFU_{i-1}) \quad \text{Équation IV-4}$$

Où :

- **ETM** : l'évapotranspiration maximale ou besoins des cultures en (mm) où :

$$(ETM = ET_0 \times K_c) \quad \text{Équation IV-5}$$

- **Kc** : le coefficient culturel de la culture considérée ;
- **P_{eff}** : la pluie efficace ;
- **RFU_{i-1}** : La 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	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18,30	11,71	136,52		61,434				49.724
oct	31,70	20,28	93,78	0.3	28.134	0.1	9.9	3.3	4.55
nov	49,50	31,68	59,8	0.4	23.92	0.3	29,7	14.85	
dec	44,70	28,60	50,73	0.6	30.438	0.5	49,5	49.5	
janv	45,90	29,37	49,63	0.6	29.778	0.6	59,4	59.4	
fev	52,40	33,53	56,82	1.00	56.82	0.6	59,4	59.4	
mars	54,20	34,68	82,38	1.2	98.856	0.6	59,4	29.7	34.47
avril	47,20	30,20	110,44	0.87	96.08	0.6	59,4	29.7	36.18
mai	33,90	21,69	141,99	0.23	32.65	0.6	59.4	19.8	
juin	6,70	4,28	168,69						
juil	2,10	1,34	198,05						
aout	4,20	2,68	195,52						

Qs=0.25 l/s/ha

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

Mois	Pmoy	peff (mm)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	18,30	11,71	136,52	0		0			
oct	31,70	20,28	93,78	0		0			
nov	49,50	31,68	59,8	0,4	23.92	0,3	29.7	14.8	
dec	44,70	28,60	50,73	0,6	30.438	0,5	49.5	49.5	
janv	45,90	29,37	49,63	0,75	37.22	0,6	59.4	59.4	
fev	52,40	33,53	56,82	0,9	51.138	0,6	59.4	59.4	
mars	54,20	34,68	82,38	0,95	78.261	0,6	59.4	29.7	13.88
avril	47,20	30,20	110,44	0,75	82.83	0,6	59.4	29.7	22.93
mai	33,90	21,69	141,99	0,6	85.194	0,6	59.4	19.8	43.70
juin	6,70	4,28	168,69	0,4	67.476	0,6	59.4	0	63.196
juil	2,10	1,34	198,05	0		0			
aout	4,20	2,68	195,52	0		0			

Qs= 0.32 l/s/ha

IV.8.2 Estimation des besoins en eau des maraîchages

Tableau IV-9 : 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	18,30	11,71	136,52						
oct	31,70	20,28	93,78						
nov	49,50	31,68	59,8						
dec	44,70	28,60	50,73						
janv	45,90	29,37	49,63						
fev	52,40	33,53	56,82	0.50	28.41	0.25	24.74	24.74	
mars	54,20	34,68	82,38	0.70	57.66	0.50	49.5	24.75	
avril	47,20	30,20	110,44	1.00	110.44	0.50	49.5	24.75	55.49
mai	33,90	21,69	141,99	0.75	106.49	0.50	49.5	16.5	68.3
juin	6,70	4,28	168,69						
juil	2,10	1,34	198,05						
aout	4,20	2,68	195,52						

Qs= 0.35 l/s/ha

Tableau IV-10 : 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	18,30	11,71	136,52						
oct	31,70	20,28	93,78						
nov	49,50	31,68	59,8						
dec	44,70	28,60	50,73						
janv	45,90	29,37	49,63						
fev	52,40	33,53	56,82						
mars	54,20	34,68	82,38	0,5	41.19	0,6	59.4	29.7	
avril	47,20	30,20	110,44	0,85	93.87	0,9	89.1	44.55	19.12
mai	33,90	21,69	141,99	1,15	163.28	1,2	118.8	39.6	101.99
juin	6,70	4,28	168,69	0,85	143.38	1,2	118.8	0	139.1
juil	2,10	1,34	198,05						
aout	4,20	2,68	195,52						

Qs=0.71 l/s/ha

IV.8.3 Estimation des besoins en eau des arboricultures

Tableau IV-11 : 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	18,30	11,71	136,52	0.4	54.608	1,2	118.8	00	42.898
oct	31,70	20,28	93,78	0.4	37.512	0	0	00	17.232
nov	49,50	31,68	59,8						
dec	44,70	28,60	50,73						
janv	45,90	29,37	49,63						
fev	52,40	33,53	56,82						
mars	54,20	34,68	82,38	0.15	12.357	1.2	118.8	59.4	
avril	47,20	30,20	110,44	0.45	49.698	1,2	118.8	59.4	
mai	33,90	21,69	141,99	0.60	85.194	1,2	118.8	39.6	23.904
juin	6,70	4,28	168,69	0.7	118.083	1,2	118.8	00	113.803
juil	2,10	1,34	198,05	0.7	138.635	1,2	118.8	00	137.29
aout	4,20	2,68	195,52	0.45	87.984	1,2	118.8	00	85.30

Qs = 0.70 l/s/ha

Tableau IV-12 : 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	18,30	11,71	136,52	0.7	95.564	1,5	148.5	00	83.54
oct	31,70	20,28	93,78	0.7	65.646	1,5	148.5	49.5	
nov	49,50	31,68	59,8	0.7	41.86	1,5	148.5	74.25	
dec	44,70	28,60	50,73	0.65	32.974	1,5	148.5	148.5	
janv	45,90	29,37	49,63	0.65	32.259	1,5	148.5	148.5	
fev	52,40	33,53	56,82	0.65	36.933	1,5	148.5	148.5	
mars	54,20	34,68	82,38	0.65	53.54	1,5	148.5	74.25	
avril	47,20	30,20	110,44	0.65	71.786	1,5	148.5	74.25	
mai	33,90	21,69	141,99	0.65	92.293	1,5	148.5	49.5	21.103
juin	6,70	4,28	168,69	0.65	109.64	1,5	148.5	00	105.36
juil	2,10	1,34	198,05	0.7	138.635	1,5	148.5	00	137.29
aout	4,20	2,68	195,52	0.7	136.85	1,5	148.5	00	134.17

$Q_s = 0.70$ l/s/ha

Tableau IV-13: 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	18,30	11,71	136,52	0.7	95.564	1,5	148.5	00	83.85
oct	31,70	20,28	93,78	0.7	65.64	1,5	148.5	49.5	
nov	49,50	31,68	59,8	0.7	41.86	1,5	148.5	74.25	
dec	44,70	28,60	50,73	0.65	32.97	1,5	148.5	148.5	
janv	45,90	29,37	49,63	0.65	32.25	1,5	148.5	148.5	
fev	52,40	33,53	56,82	0.65	36.933	1,5	148.5	148.5	
mars	54,20	34,68	82,38	0.65	53.54	1,5	148.5	74.25	
avril	47,20	30,20	110,44	0.65	71.78	1,5	148.5	74.25	
mai	33,90	21,69	141,99	0.7	99.393	1,5	148.5	49.5	28.203
juin	6,70	4,28	168,69	0.85	143.38	1,5	148.5	00	139.1
juil	2,10	1,34	198,05	0.85	168.34	1,5	148.5	00	167
aout	4,20	2,68	195,52	0.85	166.19	1,5	148.5	00	163.51

Qs= 0.85 l/s/ha

IV.9 Calcul en eau pour l'assolement

Tableau IV-14 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 1.

Mois	Blé	pomme de terre de saison	Vignes	Olivier	Agrumes	Totale
sept	49.724		42.898	83.85	83.54	260.103
oct	4.55		17.232			21.782
nov						
dec						
janv						
fev						
mars	34.47					34.47
avril	36.18	55.49				91.67
mai		68.3	23.904	28.203	21.103	141.51
juin			113.803	139.1	105.36	353.26
juil			137.29	167	137.29	441.58
aout			85.30	163.51	134.17	382.98

Tableau IV-15 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2.

Mois	Orge grain	Tomate	Vignes	Olivier	Agrumes	Totale
Sept			42.898	83.85	83.54	210.288
Oct			17.232			17.232
Nov						
Déc						
Jan						
Fév						
Mar	13.88					13.88
Avr	22.93	19.12				42.05
Mai	43.70	101.99	23.904	28.203	21.103	218.9
Juin	63.196	139.1	113.803	139.1	105.36	560.55
Juill			137.29	167	137.29	441.58
Août			85.30	163.51	134.17	382.98

IV.9.1 Calcul du débit spécifique

$$Q_s = \frac{B_{net} * 10 * 1000}{N_j * N_i * 3600 * E_i} \text{ l/s/ha} \quad \text{Équation IV-6}$$

Avec :

Bnet : besoin net du mois de pointe en mm/mois ;

Ni : nombre des heures d'irrigation = 24h ;

Nj : nombre de jours du mois de pointe = 30 jours ;

Ei : Efficience d'irrigation = 75%.

On calcule les besoins en eau pour l'assolement le plus exigeant.

D'où les besoins de pointe correspondent au mois de septembre :

Bnet = 560.55 mm.

Ainsi :

$$Q_s = 2.88 \text{ l/s/ha} > 1.5 \text{ l/s/ha}$$

Le débit spécifique obtenu est supérieur à 1.5, il y'a un risque de surdimensionnement des conduites de refoulement ou gravitaire.

Pour y remédier, nous avons trois méthodes pour estimer le débit spécifique :

- prendre la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures ;
- Prendre en considération la moyenne des débits spécifiques des cultures les plus exigeantes ;
- On prend donc le débit spécifique de la culture la plus exigeante pour le mois de pointe.

Dans notre cas, on prend le débit spécifique de la culture la plus exigeante :

Bnet = 167 mm, donc le débit spécifique corrigé est de **Qs = 0.85 l/s/ha**.

IV.9.2 Evaluation du débit caractéristique

Le calcul du débit caractéristique permet de définir :

$$Q_{car} = Q_s \times S \quad \text{Équation IV-7}$$

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

S : la superficie nette à irriguer = 100 ha.

$$Q_{car} = 0.8 \times 100 = 80 \text{ l/s.} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

IV.10 Conclusion

En conclusion, ce chapitre met en évidence l'importance cruciale de la détermination des besoins en eau pour une planification réussie des projets d'aménagement hydro-agricole. Il explore en détail la méthodologie pour évaluer de manière précise les besoins en eau des cultures, en tenant compte de divers facteurs tels que les conditions climatiques, les caractéristiques du sol, et la qualité de l'eau d'irrigation. L'analyse inclut également le calcul de l'évapotranspiration, la détermination de la pluie efficace, et l'estimation des réserves en eau du sol.

Chapitre V

Choix de système d'irrigation

V. Choix de système d'irrigation

V.1 Introduction

L'irrigation joue un rôle crucial dans l'agriculture moderne en garantissant un approvisionnement adéquat en eau pour les cultures, en particulier dans les régions où les précipitations naturelles sont insuffisantes pour répondre aux besoins des plantes. Pour optimiser la croissance des cultures en l'absence de pluie, diverses techniques d'irrigation ont été développées, chacune adaptée à des conditions spécifiques et offrant des avantages distincts en termes d'efficacité et de gestion des ressources en eau. Dans ce chapitre, nous explorerons en détail ces différentes méthodes d'irrigation et nous choisirons celle qui correspond le mieux aux caractéristiques de notre zone d'étude.

V.2 Choix des techniques d'irrigation

Le choix de la méthode d'irrigation appropriée dépend de plusieurs paramètres à évaluer, notamment :

- La topographie du terrain ;
- Le débit d'eau disponible ;
- Le type de culture cultivée ;
- La qualité de la perméabilité du sol ;
- La viabilité économique de l'opération ;
- Les aspects financiers associés.

V.3 Classification des techniques d'irrigation

Les techniques d'arrosage sont réparties en trois classes :

- L'irrigation gravitaire ou de surface.
- L'irrigation par aspersion.
- L'irrigation par micro-irrigation.

V.3.1 Irrigation gravitaire

Dans les méthodes d'irrigation de surface, l'eau se déplace naturellement sur le terrain en utilisant la gravité pour saturer le sol et pénétrer en profondeur. Historiquement, c'est la méthode d'irrigation la plus couramment employée dans l'agriculture. Ces techniques d'irrigation de surface sont généralement regroupées en trois catégories principales : l'irrigation par ruissellement, l'irrigation par rigoles d'infiltration et l'irrigation par submersion.

V.3.1.1 L'irrigation par ruissellement

L'irrigation par ruissellement est une méthode de distribution de l'eau qui implique l'utilisation de rigoles pour acheminer l'eau depuis les fossés du champ. Dans ce cas, l'eau est principalement dirigée par gravité sans être strictement contrôlée par des digues qui restreignent le flux d'eau.

V.3.1.2 Irrigation à la raie

La méthode d'irrigation par raie implique la conduite de l'eau vers les plantes à travers un réseau de raies, disposées à des intervalles de 0,75 à 1 mètre environ. Cette configuration crée un ruissellement sur une petite portion de la surface du sol.



Figure V-1 : Irrigation à la raie.

V.3.1.3 L'arrosage par submersion

L'approche d'irrigation en question implique l'application d'une couche d'eau d'intensité variable sur le sol, permettant à celle-ci de reposer suffisamment pour qu'elle s'infiltre à la profondeur requise. Parfois, cette méthode est communément décrite comme une "inondation non contrôlée".

V.3.1.4 Avantages et inconvénients de l'irrigation par gravité

Tableau V-1 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par gravité.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Méthode rudimentaire sans besoin d'énergie extérieure ; • Investissement initial modeste ; • Potentiel pour la recharge des nappes phréatiques ; • Convient à l'irrigation de vastes étendues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sujet à des pertes d'eau substantielles ; • Efficacité limitée ; • Longue durée d'arrosage ; • Exige un investissement de temps et de main-d'œuvre considérable

V.3.2 L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est une méthode d'approvisionnement en eau des plantes simulant une pluie artificielle. Cette technique se décline en deux dispositifs principaux : les asperseurs rotatifs et les canons d'arrosage. L'objectif majeur de cette approche est d'assurer une distribution uniforme de l'eau sur la surface occupée par la culture. La conception de ce système d'irrigation doit garantir que l'apport en eau reste en deçà de la capacité d'infiltration du sol afin de minimiser les pertes par ruissellement.

V.3.2.1 Avantages et inconvénients par aspersion :

Tableau V-2 : Avantages et inconvénients par aspersion.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Aucun aménagement préalable du sol n'est requis. • Elle convient à tous les types de sols. • L'efficacité de l'utilisation de l'eau est relativement élevée, atteignant généralement entre 75% et 85%. • Elle demande moins de main-d'œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'investissement initial pour l'agriculteur peut être élevé. • L'entretien des installations collectives peut représenter une charge financière importante. • L'aspersion peut favoriser l'évaporation de l'eau et la croissance des mauvaises herbes.

V.3.2.2 Différentes installations à la parcelle

En pratique, il existe deux solutions extrêmes envisageables : l'installation permanente et l'installation mobile.

A. Installation fixe

Tous les éléments de l'installation, incluant la pompe, les conduites, et les asperseurs, sont installés de façon permanente, ce qui limite la nécessité de recourir à une main-d'œuvre importante, mais cela entraîne des coûts d'investissement substantiels.

- a. **Couverture totale :** Dans le système de couverture totale, l'intégralité de la zone à irriguer est dotée de rampes. Pendant toute la saison, seuls les asperseurs seront déplacés lors de l'irrigation et en fin de saison.
- b. **Couverture intégrale :** Il est essentiel d'avoir des rampes et des arroseurs fixes pour couvrir l'intégralité de la parcelle. L'irrigation est contrôlée par l'ouverture et la fermeture d'une vanne, que ce soit manuellement ou automatiquement.

B. Installation mobile

- a. **Irrigation par enrouleur :** L'enrouleur est le matériel d'irrigation par aspersion le plus couramment utilisé dans certains pays, comme la France, en raison de sa grande polyvalence. Il se compose d'un canon d'arrosage fixe alimenté par un tuyau flexible enroulé autour d'une bobine. Un moteur hydraulique fait tourner la bobine, ce qui permet au tuyau de s'enrouler et déplace le canon, assurant ainsi une répartition optimale de l'eau.



Figure V-2 : Irrigation par enrouleur.

b. Irrigation par pivot : Généralement utilisées dans le Sahara les systèmes d'irrigation automoteurs, tels que les pivots et les rampes frontales, sont couramment utilisés pour l'irrigation des prairies et d'autres cultures situées au-dessus de la canopée. Les pivots se déplacent en effectuant une rotation autour d'un point central, tandis que les rampes frontales ont leurs deux extrémités libres. Ces systèmes automoteurs nécessitent de l'énergie pour se déplacer sur la parcelle et pour transporter l'eau de la source jusqu'aux plantes. Ils offrent une grande flexibilité en matière d'irrigation, mais leur utilisation peut entraîner des coûts énergétiques plus élevés par rapport à d'autres méthodes d'irrigation.



Figure V-3 : Irrigation par pivot.

V.3.3 Irrigation localisée (Goutte à goutte)

L'irrigation localisée, notamment la méthode du goutte-à-goutte, se distingue par son approche ciblée, où l'eau est acheminée directement vers les zones précises où son infiltration est nécessaire. Cette technique repose sur l'utilisation de conduites pour délivrer l'eau, qui est ensuite distribuée sous forme de gouttes à travers des goutteurs positionnés le long des rangées de cultures.

V.3.3.1 Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

Tableau V-3 : Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Offre une efficacité d'irrigation exceptionnelle. • Convient à une variété de sols et à la plupart des cultures. • Exige moins de main-d'œuvre. • Minimise les pertes dues à l'évaporation. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'obstruction des goutteurs • Accumulation de sels

V.4 Choix de la technique d'arrosage

Afin de sélectionner la méthode d'irrigation appropriée, il est essentiel de comprendre toutes les limitations de chaque type d'arrosage. Une analyse multicritère des techniques d'irrigation, en tenant compte de diverses contraintes, est nécessaire pour déterminer la technique d'irrigation la plus adaptée à la zone en question. Notre analyse est présentée en détail ci-dessous :

Tableau V-4 : Analyse multicritère de choix de technique d'arrosage.

Contraintes	Irrigation de surface par Rigole	Irrigation par Aspersion	Irrigation localisée
▪ Evaporation	+	++	+++
▪ Vent (1.9 m/s)	+++	+	+++
▪ Texture (argileux-limoneuse)	++	++	+++
▪ Perméabilité (bonne)	++	+++	+++
▪ Pente	+	++	+++
▪ Qualité d'eau (moyenne)	++	++	+
• Cultures			
▪ Maraîchage	+++	+++	+++
▪ céréales	X	+++	x
▪ arbres	+++	x	+++
• Contraintes économique			
▪ économie d'eau	X	++	+++

Avec : x : inadéquat ou déconseillé ; + : Adapté avec réserve ;
 + + : Adapté ; + + + : Très Adapté

Le choix de la méthode d'irrigation est influencé par plusieurs contraintes, notamment les facteurs météorologiques tels que l'évaporation et les vents, la texture et la structure du sol, les caractéristiques naturelles comme la pente du terrain, ainsi que le type de cultures cultivées. Pour les cultures maraîchères, les techniques d'irrigation de surface et par aspersion sont généralement recommandées. En ce qui concerne les céréales, l'irrigation par aspersion demeure la seule option viable, tandis que pour les arbres, les techniques d'irrigation de surface et d'irrigation localisée sont appropriées.

Ces choix sont également influencés par des considérations économiques, notamment la gestion efficace de l'eau, qui dépend largement de la méthode d'irrigation sélectionnée. En général, l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée sont plus économiques par rapport à l'irrigation de surface.

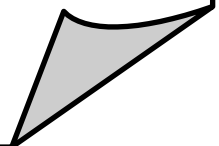
V.5 Conclusion

Dans le cadre de notre étude, nous avons privilégié une approche moderne en optant pour la méthode d'irrigation au goutte-à-goutte. Cette technique sera mise en œuvre pour les cultures maraîchères et l'arboriculture, démontrant ainsi notre engagement envers une utilisation efficace des ressources en eau tout en maximisant les rendements agricoles. Notre démarche s'inscrit dans une vision de durabilité et d'optimisation des pratiques agricoles, contribuant ainsi à la préservation de notre environnement et au bien-être de notre communauté agricole.

Chapitre VI

Etude de système d'adduction

Et de distribution



VI. Etude de système d'adduction et de distribution

VI.1 Introduction

Le dimensionnement du réseau d'irrigation a pour objectif de calculer les spécifications des diverses structures nécessaires pour transporter les quantités d'eau prédéfinies jusqu'à la parcelle, où elles seront ensuite distribuées entre les plantes, et ainsi garantir la conception d'une série d'infrastructures hydrauliques conformes à des normes techniques spécifiques, tout en assurant leur fonctionnement coordonné. Ceci permet d'acheminer l'eau de la source vers l'espace hydraulique aménagé et de la distribuer de manière efficiente, dans le but de réaliser une gestion équilibrée des ressources. Dans ce chapitre, le choix des conduites à utiliser repose sur des calculs détaillés des équipements, alignés sur l'ensemble des dimensions établies dans le cadre de l'étude.

VI.2 Présentation du réseau de distribution

Afin de répondre aux besoins en eau d'irrigation. Nous avons un réseau capable de fournir toutes les exigences de la quantité de l'eau jusqu'aux prises. Après avoir été captées, les eaux doivent être stockées et en tous les cas amenés sur les lieux d'utilisation, qui se trouvent parfois loin du captage, en quantité voulue et au moment propice. Notre réseau se compose des ouvrages suivant :

- Une prise au niveau de la station d'épuration Ain El Houtz à la côte 530 m.
- Une adduction gravitaire avec la longueur (1414 m) de à la prise de la station d'épuration Ain Houtz jusqu'à d'un réservoir (R1) de la côte (515 m) qui joue le rôle d'ouvrage de captage pour la source Ain El Houtz du débit (28 l/s) et celle Ain Ancor d'un débit (4.4 l/s) de la côte (545 m) portent leur propre eau avec une adduction de longueur (1720 m).
- un réservoir de mise en charge (R2) à la cote 560m.
- Une station de pompage pour refouler les eaux des sources et station d'épuration et Ain El Houtz (R1) de la côte 515 m, jusqu'à un réservoir pour la mise en charge à la côte 560 m (R2) avec une conduite de refoulement de la longueur (1350 m).
- Une conduite gravitaire liant le réservoir (R2) 560 m au réseau de distribution qui desservent les îlots à la cote 515m

Nous adoptons un réseau ramifié pour répondre aux besoins de l'eau au niveau des prises dans le périmètre. Ce réseau est équipé avec des conduites et les bornes d'irrigation.

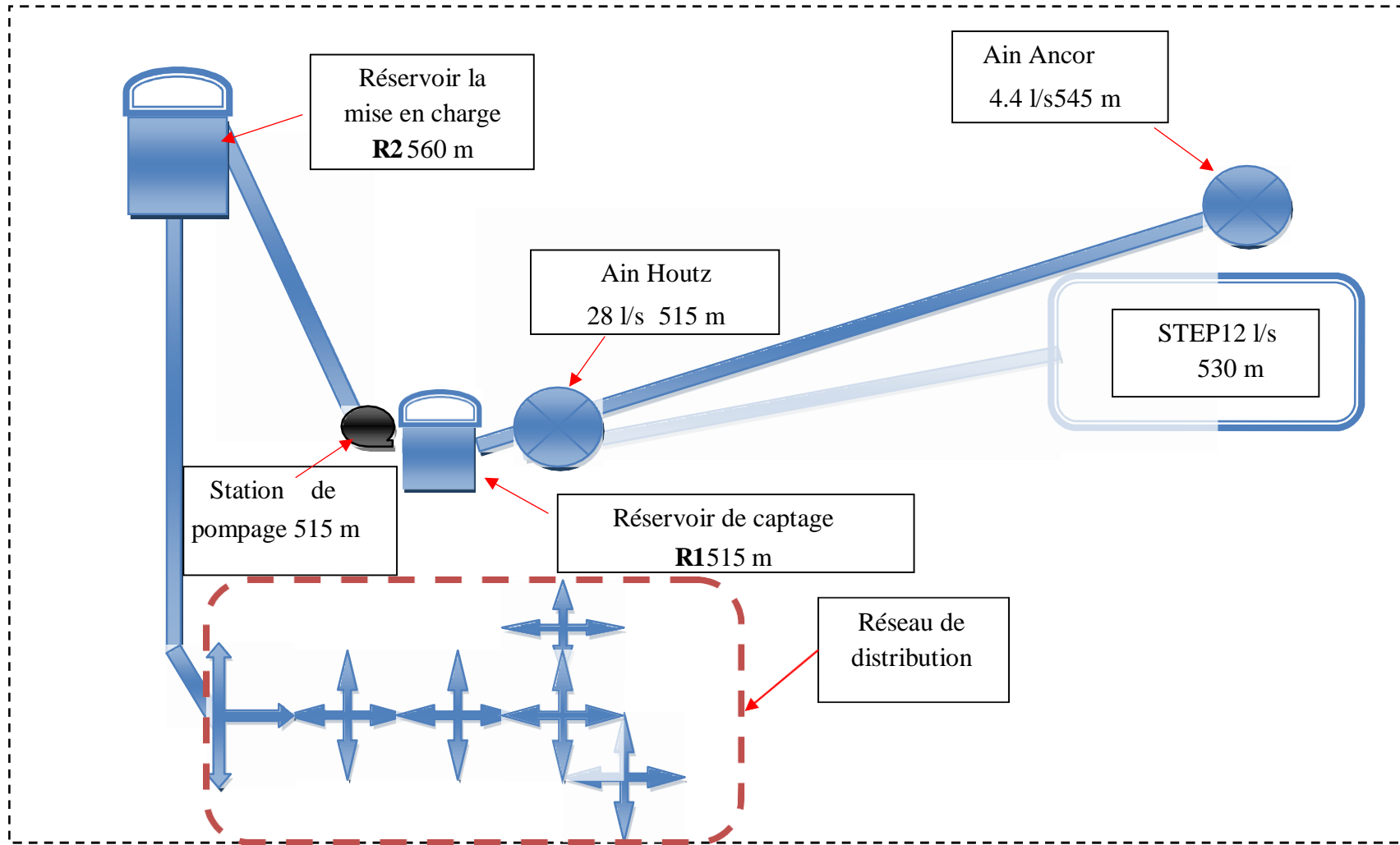


Figure VI-1 : Présentation du réseau globale

VI.3 Organisation du périmètre

Un îlot d'irrigation est une unité hydro-agricole constituée de plusieurs parcelles, qui est alimentée par une borne d'irrigation. La configuration d'un ensemble de parcelles en îlots dépend de divers facteurs tels que la topographie, les considérations techniques et économiques, ainsi que la taille et le nombre de parcelles, entre autres, l'implantation des bornes dans les zones destinées aux exploitations de petite et moyenne taille doit respecter les critères suivants :

- Chaque îlot d'exploitation doit être pourvu d'au moins une prise d'irrigation.
- Il est permis d'installer un maximum de quatre prises sur une même borne.
- Les bornes doivent être placées soit à la périphérie des îlots, soit au centre pour les îlots de grande taille.

VI.3.1 Rôle et fonction de la borne d'irrigation

La borne d'irrigation représente l'élément hydraulique essentiel chargé de garantir l'acheminement sous pression de l'eau vers les utilisateurs pratiquant l'irrigation. Cette alimentation provient d'un réseau de distribution collectif. Chaque îlot sera équipé d'une borne d'irrigation, laquelle peut comporter une ou plusieurs sorties (prises) en fonction du nombre d'opérations d'arrosage simultanées à assurer. La borne d'irrigation constitue un appareil compact, plus particulièrement étudié pour les réseaux fonctionnant à la demande, et cumulant les fonctions suivantes :

- Réguler le débit, en veillant à le maintenir à la valeur spécifique à l'îlot.
- Ajuster la pression et absorber les éventuelles variations accidentelles.
- Desserve l'eau à un ou plusieurs à un usager disposant d'une prise individuelle.

VI.3.2 Calcul hydraulique des bornes

La performance hydraulique des bornes est conditionnée par le débit qu'elles doivent fournir en amont des parcelles. La formulation du débit que chaque borne doit être capable de fournir pour desservir un îlot est la suivante :

$$Q_b = q_s \cdot S \quad \text{Équation VI-1}$$

Avec : Q_b = Débit de la borne (l/s)

q_s = Débit spécifique (l/s/ha)

S = Superficie de l'îlot (ha)

VI.3.3 Choix du diamètre de la borne

Tableau VI-1 : Choix du diamètre de la borne

Débit fourni (l/s)	Diamètre (mm)
5 l/s < Q < 8 l/s	80
8 l/s < Q < 11 l/s	100
11 l/s < Q < 20 l/s	125

VI.3.4 Position des prises

La disposition des prises dans le cadre de la création d'îlots d'exploitation nécessite d'attribuer une prise à chaque îlot une fois que les parcelles sont regroupées en îlots. Une prise desservant une parcelle peut être placée au centre de la parcelle, le long de la façade de la parcelle près de la voie d'accès, à la limite de la parcelle adjacente, ou à une certaine distance nécessitant l'utilisation d'une conduite d'approche, positionnée en limite des parcelles voisines. Pour faciliter le calcul du réseau, il est préférable de regrouper les débits des prises en fonction des classes de surfaces irriguées pour les parcelles à débit limité. En revanche, si chaque prise est dotée d'un débit spécifique lié à la superficie irriguée, cela entraînerait autant de classes que de prises, ce qui compliquerait la conception du réseau. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser 7 classes de prises en fonction des surfaces irriguées. Le tableau suivant répertorie les classes de prises adoptées pour notre périmètre :

VI.3.4.1 Choix de la borne

Le choix de type de borne dépend de la surface généralement on admet :

- Pour les ilots avec un nombre de parcelles entre [4 -8], et dont la superficie est inférieure à 15 ha, on prend la borne à quatre prise (Borne de type A4).
- Pour les ilots avec deux parcelles et dont la superficie est inférieure à 15ha, on prend la borne à deux prises (borne de type A2).
- Pour les ilots avec deux parcelles et dont la superficie dépasse 15ha, on prend la borne à deux prises (Borne de type B).
- Pour les grands ilots on prévoit des bornes de type C.

Tableau VI-2 : Calcul des débits des ilots et choix du diamètre et type de bornes.

Ilots	Superficie (ha)	Parcelle	Superficies (ha)	Q_p (l/s/ha)	Q_b (l/s)	Matériau	Diamètre (mm)	Type Borne
DA1	21.17	P1	3.33	2.66	16.91	PEHD	125	C
		P2	2.41	1.92				
		P3	4.16	3.32				
		P4	4.6	3.68				
		P5	6.67	5.33				
DA2	21.52	P1	2.78	2.22	17.21	PEHD	125	C
		P2	4.1	3.28				
		P3	3.99	3.19				
		P4	6.29	5.03				
		P5	4.36	3.48				
DA3	21.14	P1	3.93	3.14	16.91	PEHD	125	C
		P2	5.65	4.52				
		P3	5.13	4.10				
		P4	3.62	2.89				
		P5	2.81	2.31				
DA4	15	P1	2.33	1.86	12	PEHD	125	A4
		P2	2.91	2.32				
		P3	3.86	3.08				
		P4	3.52	2.81				
		P5	2.33	1.86				
DA5	21.17	P1	5.16	4.12	16.93	PEHD	125	C
		P2	5.91	4.72				
		P3	4.6	3.68				
		P4	2.39	1.91				
		P5	3.11	2.48				

Conclusion : Le périmètre d'étude impose à notre secteur 05 bornes pour permettre l'alimentation de l'ensemble des parcelles sur une surface de 100 ha.

Interprétations

Périmètre à irriguer : **100ha**

Nombre d'ilots : **05**

Nombre de bornes : **05**

VI.3.5 Plan des bornes :

Une fois les prises affectées aux ilots, il convient de positionner les bornes sur le plan des ilots d'exploitation et de regrouper les prises sur les bornes. Une borne peut regrouper jusqu'à 4 prises et parfois davantage.

Le plan d'implantation des bornes est le résultat d'un compromis entre les utilisateurs et celui de l'organisme d'aménagement qui cherche à limiter le nombre (diminuer le coût).

VI.4 Choix du matériau

La sélection du matériau utilisé dans une canalisation vise à optimiser la rentabilité des investissements tout en garantissant un fonctionnement optimal des installations pour assurer une exploitation fiable et une disponibilité continue pour cela il se doit de cocher certains critères :

- La satisfaction des conduites hydrauliques (débit, pression).
 - La disponibilité sur le marché.
 - L'intérêt économique et le type du sol.
- a) Les conduites en **fonte** présentent divers avantages, notamment une résistance élevée aux contraintes internes, une bonne protection contre la corrosion et une solidité remarquable. Leur principal inconvénient réside dans leur coût relativement élevé.
 - b) Les conduites en polyéthylène haute densité **PEHD** (polyéthylène) sont largement préférées en raison de plusieurs avantages majeurs, notamment leur résistance accrue à la corrosion, leur légèreté qui facilite l'installation des canalisations, et leur coût relativement modéré. Cependant, elles présentent un risque de rupture en cas de soudure défectueuse et sont sensibles à l'écrasement sous la pression du remblai ou en l'absence de pression constante dans la conduite. Cependant, les conduites en PEHD doivent avoir une bonne soudure sous peine de rupture
 - c) Les conduites en polyester renforcé de fibres de verre **PRV** (polyester renforcé verre) sont fabriquées en combinant de la résine de polyester, des fibres de verre et des matériaux de renforcement.
 - d) Nous avons choisi le PEHD comme type de conduite pour notre réseau, ce choix du PEHD est justifié par sa gamme assez large, sa résistance et son étanchéité et son diamètre inférieur à 300 mm

Les coefficients de rugosité pour les conduites PEHD d'après les normes :

$$\xi = 0.01 \text{ mm pour } D < 200 \text{ mm}$$

$$\xi = 0.02 \text{ mm pour } D > 200 \text{ mm}$$

VI.4.1 Caractéristique des conduites du réseau de distribution gravitaire

Après avoir déterminé les critères hydrauliques de la conduite gravitaire, nous procédons à la deuxième étape de calcul celle du réseau de distribution, c'est-à-dire de l'ouvrage vers les bornes.

VI.4.2 Vitesse admissibles

La fixation d'un seuil de vitesse admissible dans les conduites, permet outre l'introduction d'un seuil raisonnable de diamètre maximum, un compromis technique ;

- De faire une économie sur le cout des canalisations.
- D'éviter les risques entraînés par des vitesses importantes (risque érosion) et la vitesse faible (risque de dépôts solide).

La vitesse admissible est choisie entre 0.5 m/s comme vitesse minimale et 2.5 m/s comme vitesse maximale.

VI.4.3 Les pressions à garantir au bornes

Nous allons utiliser un système de goutte à goutte dans notre réseau pour irriguer nos oliviers. Pour la micro irrigation (goutte à goutte), la pression à la borne doit être suffisante pour compenser 1 bar pour faire fonctionner le goutteur additionné des pertes de charge dans les portes rampes et dans certains appareils (estimé à 20% de la charge) plus celle due à l'appareils de filtration (0.5 bar le plus souvent) soit une pression minimale d'environ 1.8bar.

VI.4.4 Calcul des pressions des bornes

La détermination des pressions repose sur le principe fondamental de Bernoulli, qui explique le comportement d'un fluide réel lors de son déplacement entre deux points, notés point 1 et point 2

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H \quad \text{Équation VI-2}$$

Les pressions finales obtenues aux bornes. Dans certains tronçons dépassant les 4 bars, nous recommandons pour ces tronçons l'utilisation du PN10 et nous utiliserons le PN6 pour les tronçons ne dépassant pas les 6 bars.

Tableau VI-3 : Les calculs hydrauliques du réseau de distribution.

N conduites	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Q (l/s)	cote (m)	Cote piézométrique	Vitesse (m/s)	Pression (bar)	Pression (m.c.e)	Perte de charge (m/km)	Matériau
Pipe 1 Réservoir	275	315	79.96	533	562.37	1.03	2.937	29.37	2.49	PEHD
C2	500	160	16.91	533	564.32	0.84	3.132	31.32	3.90	PEHD
C3	475	200	45.84	523	560.44	1.46	3.744	37.44	8.16	PEHD
C4	580	200	28.93	512	558.40	0.92	4.640	46.40	3.51	PEHD
C5	630	125	16.93	520	550.24	1.38	3.024	30.24	12.95	PEHD

VI.5 Etude de pompage

Il est impératif de mettre en place un système de pompage pour fournir de l'eau à la zone, qui servira à alimenter un réservoir principal prévu au-dessus du niveau général d'altitude (NGA). La recommandation consiste à utiliser un système de pompage depuis le barrage vers un réservoir de stockage.

VI.5.1 Généralités sur les pompes

Une pompe est un appareil conçu pour aspirer, déplacer ou comprimer des liquides et des gaz. Dans tous les types de pompes, il est essentiel de prévenir la cavitation, qui peut entraîner une réduction du débit et des dommages au corps de la pompe. Il existe deux principales catégories de pompes : les pompes volumétriques, couramment employées pour le pompage des eaux usées, et les turbopompes.

VI.5.1.1 Les turbopompes

Les turbopompes se divisent en trois catégories distinctes : les pompes centrifuges, à écoulement radial ; les pompes axiales, à écoulement axial ; et les pompes semi-axiales.

- Les pompes à écoulement radial, communément appelées pompes centrifuges, sont idéales pour élever de faibles débits sur de grandes hauteurs. La hauteur de refoulement augmente proportionnellement au diamètre extérieur de la roue. Dans ce cas, l'écoulement du fluide est radial, et les pales de la roue sont des surfaces planes.
- Les pompes axiales sont similaires à des hélices, où les pales sont formées par des surfaces incurvées. Ces pompes conviennent parfaitement pour augmenter les débits sur de faibles hauteurs.
- Les pompes semi-axiales sont conçues pour élever des débits importants sur de faibles hauteurs. Elles requièrent des vitesses d'entrée relativement faibles en raison de la faible hauteur de refoulement. Pour ce faire, elles sont construites sous la forme de pompes hélico-centrifuges, avec des dimensions importantes, et les diamètres d'entrée et de sortie sont comparables.

VI.5.2 Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation

Nous envisageons l'installation d'une canalisation en acier revêtu sur une distance de 1350 mètres, avec une élévation de 45 mètres et un débit de 41,4 litres par seconde.

Avec

$$\text{HMT} = (\text{Ha} + \text{Href}) + \text{J} + \text{Pr} \quad \text{Équation VI-3}$$

HMT : Hauteur Manométrique Totale en (m).

Ha : Hauteur d'aspiration ;

Href : Hauteur de refoulement (m)

Hg : Hauteur géométrique en (m) = hauteur d'aspiration+ hauteur de refoulement ;

J : Perte de charge fonction de la longueur du tuyau, des accessoires (vanne, coudes) ;

Pr : Pression résiduelle m.c.e pression à la sortie du tube de refoulement (0.5 – 1m).

VI.5.3 Calcul des frais d'amortissement

➤ Amortissement annuel

Les frais d'amortissement sont en fonction de la durée d'amortissement de la conduite et du taux d'annuité. Il se calcule par la relation suivante :

$$\text{F}_{\text{am}} = \text{P}_{\text{rc}} \times \text{A} \quad \text{Équation VI-4}$$

Avec :

P : Prix de la conduite en (DA) ;

A : Amortissement annuel. Il est donné par la formule suivante :

$$\frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Équation VI-5}$$

A : frais d'amortissement (Da) ;

i : Taux d'annuité ; i = 8%

n : Durée de l'amortissement de la conduite, n = 30 ans.

$$\text{A} = \frac{0.08}{1 - (1 + 0.08)^{-30}} = \text{A } 0.088 = 8.88 \%$$

VI.5.4 Calcul des frais d'exploitation

Les frais d'exploitation sont définis par la formule suivante :

$$F_{\text{exp}} = E \times e \quad \text{Équation VI-6}$$

Avec :

F_{exp} : Frais d'exploitation (DA) ;

E : Énergie totale dépensée par la pompe (Kwh) ;

e : Prix unitaire d'un Kw imposé par la Sonalgaz ($e = 4,67\text{DA}$).

VI.6 Puissance absorbée par la pompe

La puissance fournie à la pompe peut être exprimée de la manière suivante :

$$P = (\rho \times g \times Q \times \text{HMT}) / \eta \quad \text{Équation VI-7}$$

Où : η : Rendement de la pompe en pourcentage ($\eta = 77\%$)

Q : Débit refoulé par la pompe en mètres cubes par seconde (m^3/s)

g : Accélération due à la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ρ : Masse volumique de l'eau en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3)

➤ Puissance des pompes

La puissance absorbée par la pompe est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{g \times Q \times \text{HMT}}{\eta} \quad \text{Équation VI-8}$$

η : Rendement de la pompe en pourcentage ($\eta = 77\%$) ;

Q : Débit refoulé par la pompe en mètres cubes par seconde (m^3/s) ;

g : Accélération due à la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$) ;

ρ : Masse volumique de l'eau en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3).

➤ Energie consommée par la pompe

L'énergie totale consommée par la pompe sur une année peut être calculée à l'aide de la formule suivante

$$E = P \times t \times 365 \quad \text{Équation VI-9}$$

Où :

E : Énergie totale consommée par la pompe pendant une année en kilowattheures (kWh) ;

P : Puissance absorbée par la pompe en kilowatts (kW) ;

t : Temps de fonctionnement de la pompe en heures (dans notre cas, $t = 10\text{heures}$).

Tableau VI-4 : Caractéristique de la conduite de refoulement.

	Débit (m ³ /s)	Diamètre (m)	Vitesse (m/s)	Re	λ	J (m/m)	J _{total} (m)
Conduite (R1-R2)	0.041	0.25	0.83	263694.268	0.02	2.80*10 ⁻³	3.79

➤ Calcul du gradient de perte de charge (J) :

Le gradient de pertes de charge est déterminé à partir de la formule de DARCY-WEIBACH :

$$j = \frac{\lambda \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad \text{Équation VI-10}$$

➤ Perte de charge linéaire ΔH_l :

$$\Delta h_l = J \times L \quad (m) \quad \text{Équation VI-11}$$

➤ Perte de charge singulière ΔH_s :

Nous estimons les pertes de charge singulière de 15% des pertes de charge linéaire :

$$\Delta h_s = 0.15 \times \Delta h_l \quad (m) \quad \text{Équation VI-12}$$

Tableau VI-5 : Caractéristique de la pompe de refoulement.

H géométrique	Débit (m ³ /s)	J _{total} (m)	HMT (m)	Puissance (kW)	Energie (kW/ans)
45m	0.0414	3.79	48.79	26.875	235425

Nous choisissons une pompe capable de débiter 41,4 litres par seconde avec une hauteur manométrique totale (HMT) de 50 mètres. De plus, nous recommandons la présence d'une pompe de secours en cas de panne.

VI.7 Dimensionnement des ouvrages hydraulique

VI.7.1 Dimensionné l'adduction de STEP- réservoir (R 1)

Il s'agit d'une conduite d'adduction d'une longueur totale de 1414 mètres, reliant la prise d'eau de la station d'épuration d'Ain El Houtz, située à une altitude de 530 mètres, à l'entrée du réservoir tampon R1, à une altitude de 515 mètres. Cette canalisation fonctionne par gravité, acheminant l'eau traitée depuis la station d'épuration vers notre périmètre. Le débit requis pour notre périmètre est de 12 litres par seconde, un chiffre fourni par le DSA (Direction des Services Agricoles).

Pour répondre à ce débit, une conduite principale de diamètre approprié est nécessaire

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V \pi}} \quad \text{Équation VI-13}$$

Nous prendrons en première approche $V=1$ m/s

$D = 0.123$ m ; Donc : $D_n = 125$ mm

D_n : le diamètre normalisé.

Tableau VI-6 : Les altitudes de la STEP et Réservoir (R1).

	STEP	Réservoir R1)
Altitude (m)	530	515

Tableau VI-7 : Les caractéristiques de la conduite (STEP-R1).

	Longueur (m)	Rugosité	Débit (l/s)
Conduite (STEP- R1)	1414	0.01	12

Nous avons enregistré toutes les données de la situation du branchement dans l'logiciel EPANET et nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau VI-8 : Les résultats de logiciel EPANET pour l'adduction (STEP-R1).

	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Pert de charge unité (m/km)
Conduite (STEP- R1)	12	0.98	7.28

Des signes positifs et négatifs nous donnent une idée sur le débit (entré ou sortie).

La perte de charge singulière (m) estimée 15 % de perte de charge linéaire.

$$\Delta H_{\text{total}} = (\text{Pert de charge unité (m/km)} \times \text{longueur (km)}) \times 1.15$$

$$\Delta H_{\text{total}} = 7.28 \times 1.41 \times 1.15 = 11.83 \text{ m}$$

ΔH_{total} : La perte de charge total (linéaire +singulière)

Et pour vérifier la continuité de l'écoulement d'eau, il faut calculer la différence entre la charge et la perte de charge totale.

$$P = (Z_1 - Z_2) - \Delta H_{\text{total}} \quad \text{Équation VI-14}$$

$$P = (530-515) - 11.83$$

$$P = 3.16$$

P : la pression (m)

La pression d'eau juste à la sortie de la conduite au réservoir (R1) est de 3.16 m ainsi, cela permet l'arrivée de l'eau au réservoir facilement.

Le diamètre de la conduite reliant le réservoir de STEP au réservoir (R1) sera d'un diamètre de 125mm de préférence en PEHD, la vitesse d'écoulement dans cette conduite sera $V = 0.98$ m/s. Pour améliorer les conditions à la sortie de la conduite on change le diamètre de 125 mm à 160 mm pour diminuer les pertes de charges.

Tableau VI-9 : Les résultats de logiciel EPANET pour l'adduction (STEP-R1) pour le diamètre (160mm)

	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Pert de charge unité (m/km)
Conduite (STEP- R1)	12	0.60	2.10

$$\Delta H_{\text{total}} = (\text{Pert de charge unité (m/km)} \times \text{longueur (km)}) \times 1.15$$

$$\Delta H_{\text{total}} = 2.10 \times 1.414 \times 1.15 = 3.41 \text{ m}$$

ΔH_{total} : La perte de charge total (linéaire +singulière)

Et pour vérifier la continuité de l'écoulement d'eau, il faut calculer la différence entre la charge et la perte de charge totale.

$$P = (Z_1 - Z_2) - \Delta H_{\text{total}}$$

Ainsi :

$$P = (530 - 515) - 3.41$$

$$P = 11.58 \text{ m}$$

VI.7.2 Dimensionnement l'adduction de source Ain Ancor - réservoir (R 1)

Il s'agit d'une conduite d'une longueur totale de 1720 mètres, reliant la source Ain Ancor à une élévation de 545 mètres jusqu'à l'entrée du réservoir tampon (R1) situé à une élévation de 515 mètres. Cette canalisation est gravitaire, et notre objectif est de faire passer un débit de 4,4 litres par seconde à travers cette conduite.

Avant de choisir la canalisation reliant Ain Ancor au réservoir (R1), il est essentiel de déterminer le volume requis pour ce réservoir afin de stocker efficacement l'eau. Le débit de 4,4 litres par seconde nécessite une conduite principale d'un diamètre particulier :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V \pi}}$$

Équation VI-15

Nous prendrons en première approche $V=1$ m/s

$D = 0.075$ m Donc : **Dn = 90 mm.**

Dn : le diamètre normalisé.

Tableau VI-10 : Les altitudes d'Ain Ancor et réservoir (R1)

	Ain Ancor	Réservoir 1
Altitude (m)	545	515

Tableau VI-11 : Les caractéristiques de la conduite (Ain Ancor -R1).

	Longueur (m)	Rugosité	Débit (l/s)
Conduite (Ain Ancor - R1)	1720	0.01	4.4

Nous avons enregistré toutes les données de la situation de l'adduction dans l'logiciel EPANET et nous obtenu les résultats suivants.

Tableau VI-12 : Les résultats de logiciel EPANET pour l'adduction (Ain Ancor -R1).

	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Pert de charge unité (m/km)
Conduite (Step – R1)	4.4	1	5.51

Des signes positifs et négatifs nous donnent une idée sur le débit (entré ou sortir).La perte de charge singulière(m) estimée 15 % de perte de charge linéaire.

$$\Delta H_{total} = (\text{Pert de charge unité (m/km)} \times \text{longueur (km)}) \times 1.15$$

$$\Delta H_{total} = 5.51 \times 1.72 \times 1.15 = 10.89\text{m}$$

ΔH_{total} : La perte de charge total (linéaire +singulière)

Et pour vérifier la continuité de l'écoulement d'eau, il faut calculer la défaisance entre la charge et la perte de charge totale.

$$P = (Z_1 - Z_2) - \Delta H_{total} \quad \text{Équation VI-16}$$

$$P = (545-515) - 10.89.$$

$$P = 19.1 \text{ m.}$$

P : la pression (m).

La pression de l'eau immédiatement à la sortie de la conduite au réservoir R1 est de 19,1 m.c.e qui assure un débit d'eau efficace vers le réservoir (R1). La conduite reliant Ain Ancor au réservoir (R1) sera de préférence en polyéthylène haute densité (PEHD) avec un diamètre 90mm. La vitesse d'écoulement dans cette conduite sera maintenue à $V = 0,69$ mètres par seconde.

VI.7.3 Dimensionné le réservoir R1 (captage sources – STEP)

Le débit global de nos sources égal à 41.4 l/s

- la source d'Ain Houtz (25 l/s).
- la source d'Ain Ancor (4.4 l/s).
- l'affectation par la STEP (12 l/s).

Tableau VI-13 : Détermination du volume du réservoir R1 avec la méthode analytique.

Heures	Consommation (%)	Refoulement (%)	Arrivée d'eau au réservoir	Départ d'eau du réservoir	Reste dans le réservoir
0 - 1	0	0	0	-	10
01-02	0	0	0	-	10
02-03	0	0	0	-	10
03-04	10	0	-10	-	0
04-05	10	10	0	-	0
05-06	10	10	0	-	0
06-07	10	10	0	-	0
07-08	10	10	0	-	0
08-09	10	10	0	-	0
09-10	10	10	0	-	0
10-11	10	10	0	-	0
11-12	10	10	0	-	0
12-13	10	10	0	-	0
13-14	0	10	10	-	10
14-15	0	0	-	0	10
15-16	0	0	-	0	10
16-17	0	0	-	0	10
17-18	0	0	-	0	10
18-19	0	0	-	0	10
19-20	0	0	-	0	10
20-21	0	0	-	0	10
21-22	0	0	-	0	10
22-23	0	0	-	0	10
23-24	0	0	-	0	10

D'après le tableau :

$$\checkmark P(\%) = \text{Max} (|\Delta P +|) + \text{Max} (|\Delta P -|)$$

$$\checkmark P(\%) = |0| + |10|$$

$$\checkmark P(\%) = 10 \%$$

On applique la méthode analytique :

$$Vr = \frac{P(\%) \times Q_{max.j}}{100} \quad \text{Équation VI-17}$$

- ✓ Vr : Volume du réservoir (m³),
- ✓ P% : fraction horaire maximum du débit maximum journalier. (P%= 10 %)
- ✓ Q_{max.j}: Les Besoins maximale par ilot (1486.944m³/j).

$$Vr = \frac{10 \times 1486.94}{100} = 150 \text{ m}^3$$

Ainsi le volume du réservoir de captage des sources et de la STEP (R1) est de 150 m³.

VI.7.4 Détermination du volume du réservoir de mise en charge R2

Pour laisser le temps au irrigant de se reposer une partie de la nuit. Notre réseau fonctionnera 18h/24h.

Ainsi le nombre d'heures d'irrigation est de 18 heures, avec un débit de 80 l/s. Cependant, le débit disponible est seulement de 41,4 l/s.

Alors on choisit d'irrigué chaque ilot pendant 18 heures sachant que la variation des besoins varie entre 12 à 17.21 l/s pour chaque ilot.

Alors on va utiliser la méthode analytique pour le dimensionnement de réservoir R2

Donc on va chercher le temps de pompage.

Le temps de pompage :

$$\frac{Q_{max.j}}{Q_{refoulé}} \times 24 = \frac{17.21}{41.4} \times 24 = 10 \text{ h}$$

Tableau VI-14 : Détermination du volume du réservoir R2 avec la méthode analytique.

Heures	Consommation (%)	Refoulement (%)	Arrivée d'eau au réservoir	Départ d'eau du réservoir	Reste dans le réservoir
0 - 1	0	0	0	-	-51,105
01-02	0	0	0	-	-51,105
02-03	0	0	0	-	-51,105
03-04	0	0	0	-	-51,105
04-05	0	10	10	-	-41,105
05-06	0	10	10	-	-31,105
06-07	5,555	10	4,445	-	-26,66
07-08	5,555	10	4,445	-	-22,215
08-09	5,555	10	4,445	-	-17,77
09-10	5,555	10	4,445	-	-13,325
10-11	5,555	10	4,445	-	-8,88
11-12	5,555	10	4,445	-	-4,435
12-13	5,555	10	4,445	-	0
13-14	5,555	10	4,445	-	4,445
14-15	5,555	0	-	5,555	-1,11
15-16	5,555	0	-	5,555	-6,665
16-17	5,555	0	-	5,555	-12,22
17-18	5,555	0	-	5,555	-17,775
18-19	5,555	0	-	5,555	-23,33
19-20	5,555	0	-	5,555	-28,885
20-21	5,555	0	-	5,555	-34,44
21-22	5,555	0	-	5,555	-39,995
22-23	5,555	0	-	5,555	-45,55
23-24	5,555	0	-	5,555	-51,105

D'après le tableau :

$$\checkmark P(\%) = \text{Max} (|\Delta P +|) + \text{Max} (|\Delta P -|)$$

$$\checkmark P(\%) = |4.445| + |-51.105|$$

$$\checkmark P(\%) = 55.55 \%$$

On applique la méthode analytique :

$$Vr = \frac{P(\%) \times Q_{max.j}}{100} \quad \text{Équation VI-18}$$

- ✓ V_r : Volume du réservoir (m³),
- ✓ $P\%$: fraction horaire maximum du débit maximum journalier. ($P\% = 55.55\%$)
- ✓ $Q_{max.j}$: Les Besoins maximale par ilot (1486.944 m³/j).

$$Vr = \frac{55.55 \times 1486.944}{100} = 825 \text{ m}^3$$

Nous optons pour un réservoir de **1000 m³** pour prévoir une marge de stockage supplémentaire. Ce réservoir sera situé en un point élevé du périmètre, à une altitude de 560 mètres, afin de garantir des pressions adéquates aux bornes d'irrigation.

VI.8 Dimensionnement du réseau d'irrigation par goutte à goutte

L'installation du système d'irrigation se fera dans la zone alimentée par la borne, où la pression est prévue autour de 1,8 bar. L'exploitation agricole s'étend sur une superficie totale de 2 hectares et présente principalement une forme rectangulaire.

- **Culture : olivier**, son besoin de pointe est **158.44 mm**
- **Organisation du réseau goutte à goutte** : Avec un espacement de 4 mètres par 4 m
- **Surface** : 02 ha
- **Longueur** : 250m.
- **Largeur** : 64m.
- **Caractéristiques du goutteur** : Débit nominal : 4 l/h ; Pression nominale : 1 m.c.e
- **Le nombre de goutteurs par arbre** : 2
- **Espacement des goutteurs** $\approx [1 - 2]$ m

VI.9 Besoin d'irrigation des cultures en irrigation localisé

VI.9.1 Influence du taux de couverture du sol

Dans un dispositif d'irrigation goutte à goutte, l'eau est délivrée de manière précise sur une zone restreinte, ce qui entraîne une nette diminution de la quantité d'eau qui s'évapore directement du sol. Pour prendre en considération cet effet, on applique un coefficient de réduction, nommé K_r , à l'Évapotranspiration Potentielle de la Culture (ETM). La valeur de K_r

est fonction du pourcentage de la surface du sol occupée par les plantes matures, habituellement autour de 60%. Son calcul peut s'effectuer au moyen de diverses formules, telles que ;

Keller et Kamelik :

$$Kr = \frac{Cs}{0,85} \quad \text{Équation VI-19}$$

La formule de Freeman et Gazli :

$$Kr = Cs + 0.5 \cdot (1 - Cs) \quad \text{Équation VI-20}$$

Nous supposons qu'un taux de couverture de 60 % est atteint pour les arbres adultes, ce qui signifie que :

- $Kr = 0.80$ selon Keller et Kamelik
- $Kr = 0.70$ selon Freeman et Gazli

Nous utiliserons un facteur Kr égal à 0,80

- $B_{jl} = B_j \times Kr$
- $B_j = ETM_c = \frac{B_{\text{pointe}}}{30}$
- $B_j = \frac{158.44}{30} = 5.28 \text{ mm/jours}$
- **$B_{jl} = 5.28 \text{ mm/j mm.}$**

VI.9.2 Dose nette pratique

Une fois que les besoins quotidiens sont évalués, il devient essentiel de définir une fraction ou un pourcentage d'humidification spécifique pour la zone racinaire. La quantité à administrer (RFU) est ensuite calculée en corrélation avec la hauteur d'eau P.

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

- H_{cc} : humidité à la capacité au champ (27%)
- H_{pf} : humidité au point de flétrissement (16%)
- Y : degré d'extraction de l'eau du sol (2/3)
- Z : profondeur d'enracinement en (1800 mm)
- N : Nombre de point (de goutteurs) de distribution par arbre =2
- P : Pourcentage du sol saturée en humidité $P = \frac{n \cdot Spd \cdot Sh}{Sa \cdot Sr}$
- Spd : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre ($\approx 1.5m$)

- Sh : Largeur de la bande humidifiée d'après la table, on a Sh = 1m.
- Sr : Ecartement entre rangs d'arbre = 4m.
- Sa : espacement des arbres sur les rangs = 4m

$$P = \frac{2 \cdot 1.5 \cdot 1}{4 \cdot 4} = 0,1875 \cong 19 \%$$

$$D_p = (27-16)/100 * 1800 * 1.3 * \frac{2}{3} * 0,19 = 32 \text{ mm.}$$

VI.9.3 Fréquence et espacement des arrosages (Fr)

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

$$F_r = \frac{\text{Dose nette}}{E_{TMC}} \quad \text{Équation VI-21}$$

$$F_r = \frac{32}{5.28} = 06j$$

Ainsi, nous choisissons une période de 06 jours pour un cycle d'irrigation (Tour = 12 jours).

➤ Calcul de la dose réelle :

Nous réévaluons la dose réelle

$$D_r = B_{jl} * T_r = 5.25 * 12 = 63.36 \text{ mm}$$

La dose brute réelle :

$$D_{brute} = \frac{D_r}{E_{ff} * C_u} \quad \text{Équation VI-22}$$

E_{ff} : Efficacité du réseau d'irrigation $E_{ff} = 90\%$

Tel que C_u : coefficient d'uniformité $C_u = 90\%$

$$D_{brute} = \frac{63.36}{0,9 * 0,9} = 78.22 \text{ mm}$$

➤ Durée d'opération par cycle d'arrosage (en heures):

$$\theta = \frac{D_{brute} * S_d * S_r}{n * Q_g} \quad \text{Équation VI-23}$$

Sr, Sd : espacement entre rang et distributeur

n, Qg : nombre et débit du goutteur

$$\theta = \frac{31.55 * 1.5 * 4}{2 * 4} = 58.66 \text{ heures/mois}$$

$\theta = 23$ heures/mois

➤ Durée d'arrosage journalier :

$$D_j = \frac{\text{durée d'arrosage}}{j_r} = \frac{58.66}{7} = 8.3 \text{ heures/jours}$$

$D_j = 8$ heures.

➤ **Nombre de poste :**

La formule ci-dessous est utilisée pour définir le nombre de poste par jour :

$$N = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = \frac{11}{8.3} = 1.3 \text{ poste/jour}$$

on prend 01 poste

➤ **Surface du poste :**

Si on prend comme surface (totale) de la parcelle 02ha

$$S_p = \frac{\text{surface totale}}{\text{Nombre de poste}} = \frac{2}{1} = 0,5 \text{ ha}$$

VI.10 Calculs hydrauliques :

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

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

L'écart maximal de pression:

$$dq = K \cdot x H^{x-1} \cdot dH \quad \text{Équation VI-24}$$

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

$$\frac{\Delta q}{q} = x \frac{\Delta H}{H(n)} \quad \text{Équation VI-25}$$

$H(n)$ pression nominale $x = 0.5$ donc $0.1 = 0.5 \frac{\Delta H(\max)}{10}$

$$\Delta H(\max) = 1/0.5 = 2 \text{ mce} = 0.2 \text{ Bar}$$

Selon la règle de Christiansen, 10 % de ΔH singulières équivaut à 0.2 m, et 1.8 ΔH linéaire correspond à 1.8m.

Ainsi, pour les rampes, on a 2/3 de 1.8 = 1.2 m et pour le porte-rampe, 1/3 de 1.8 = 0.6 m.

VI.10.1 Dimensionnement des canalisations du réseau :

Pour déterminer les dimensions des conduites (rampes et porte-rampe), il est recommandé d'utiliser du PEBD ou du PEHD pour les rampes.

- Les rampes : qui sont systématiquement fabriquées en polyéthylène basse densité (PEBD)
- Porte-rampe : Les diamètres des rampes et des portes-rampe sont déterminés en utilisant les formules suivantes :

$$\Phi_{rampe} = \left[\frac{p.d.c(r).2,75}{0,478.Q(pr)^{1,75}.L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} \quad \text{Équation VI-26}$$

$$\Phi_{P.R} = \left[\frac{p.d.c(r).2,75}{0,478.Q(pr)^{1,75}.L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}}$$

Avec :

Pdc(r) : la perte de charge dans la rampe

Q(r) : le débit de la rampe en l/h

L(r) : la longueur de la rampe en m

Ør (cal) : le diamètre de rampes

Øpr (cal) : le diamètre de porte rampe

Dans notre situation, compte tenu de la configuration de la parcelle, nous adoptons :

1. Pour les rampes :

Longueur de la rampe L= 64 m

Porte rampe = Lmax =250 m

C. Tertiaire = L= 40m.

➤ Le nombre d'arbres par rampe :

$$N \text{ arbres} = \frac{Lr}{Ea} = \frac{32}{4} = \mathbf{8 \text{ arbres}}$$

On prend N arbres = 8 arbres par rampe.

➤ Calcule le nombre des goutteurs par rampe :

$$N = N \text{ arbres} * n = 8 * 2 = \mathbf{16 \text{ goutteurs par rampes.}}$$

➤ Calcul du debit de la rampe :

$$Q_r = N_g * Q_g = 16 * 4 = \mathbf{64 \text{ l/h}}$$

Qr : Débit de la rampe

Qg : Débit du goutteur

Ng : Nombre de goutteurs par rampe

➤ Diamètre de la rampe : il est obtenu par

$$\Phi_{rampe} = \left[\frac{p.d.c(r).2,75}{0,478.Q(pr)^{1,75}.L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = \left[\frac{p.d.c(r).2,75}{0,478.Q(pr)^{1,75}.L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = \mathbf{7,5 \text{ mm}}$$

On prend ; $D = 16 \text{ mm}$

Pour la porte rampe : $L=250\text{m}$

➤ Le nombre de rampes :

$$N = \frac{L_{pr}}{Er} = \frac{250}{4} = 62 \text{ rampes}$$

On prend $N_r = 62$

➤ Calcule du Débit de la porte rampe :

$$Q_{pr} = Q_r * N_r = 64 * 62 = 3968 \text{ m}^3/\text{h}$$

N_r : Nombre des rampes

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$\phi_{pr} = \left[\frac{p.d.c(r).2,75}{0.478.Q(pr)^{1,75}.L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = \left[\frac{p.d.c(r).2,75}{0.478.Q(pr)^{1,75}.L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = 52,2 \text{ mm}$$

Donc on prend $\phi_{pr} = 63 \text{ mm}$

➤ Calcule Nombre de porte rampe :

$N_{pr} = 1$ portes rampes.

3. Pour la conduite tertiaire

$$Q_{csl} = Q_{pr} \times N_{pr} = 3968 \text{ l/s,}$$

Pour le diamètre des conduites tertiaires, on obtient une valeur de 63 mm

4. Validation des pertes de charge (Application de la règle de Christiansen)

Nous réévaluons les pertes de charge en utilisant la formule de Hazen-Williams.

$$J = (3.592/C_{hw})^{1.852} \times (L/D)^{4.87} \times Q^{1.852}$$

➤ Pour la rampe :

$$L=30\text{m, } D=16\text{mm} \quad Q = 64\text{l/h} = 1,7779 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$\Delta H\text{-rampe} = 0.034 \text{ m}$$

Tableau VI-15 : Les pertes de charges de la rampe.

Culture	Surface (m ²)	Lr(m)	Ng	Qr(L/H°)	ΔHr(m)	Dn (mm)	Vitesse (m/s)	ΔHcal (m)
Olivier	20000	32	16	64	1,2	16	0,09	0,037

b) Pour la porte rampes :

$$L=250\text{m}, D=63\text{mm}, Q=3968 \text{ l/h}=1.10 \times 10^{-3}/\text{s}$$

Tableau VI-16 : Les pertes de charge de la porte rampes.

Culture	Surface (m ²)	Lr(m)	Ng	Qr(L/H°)	ΔHr(m)	Dn (mm)	Vitesse (m/s)	ΔHcal (m)
Olivier	20000	250	62	3968	0.6	63	0.34	0.19

Concernant la conduite tertiaire, avec une longueur de 40 mètres et un diamètre de 63 mm, il est notable que les pertes de charge totales ($0.92 < 1.8 \text{ m}$) se situent dans les paramètres acceptables définis par la règle de Christiansen.

VI.11 Conclusion

En conclusion, le dimensionnement d'un réseau d'irrigation est une tâche complexe qui demande une approche méthodique pour garantir l'efficacité de la distribution d'eau dans les exploitations agricoles. Ce processus implique la prise en compte de divers facteurs tels que la source d'eau, les réservoirs, les conduites, les bornes d'irrigation, le type de culture, et les caractéristiques du système d'irrigation. Le calcul précis des besoins en eau, la pression nécessaire, et la fréquence d'irrigation sont essentiels pour assurer une gestion optimale des ressources hydriques. Le choix des matériaux et des composants du réseau doit également répondre aux besoins spécifiques de chaque projet. En fin de compte, un dimensionnement adéquat permet de garantir une utilisation efficace de l'eau, favorisant ainsi une gestion durable des ressources et une augmentation de la productivité agricole.

Chapitre VII

Evaluation économique du projet

VII. Evaluation économique du projet

VII.1 Introduction

L'analyse économique d'un projet est intrinsèquement liée à son étude technique, car elle fournit les informations essentielles qui détermineront la faisabilité du projet.

Cela consiste à déterminer le budget nécessaire à sa réalisation ainsi que de sa disponibilité, l'évaluation des avantages économiques et sociaux du projet par rapport à l'ampleur des fonds alloués. Dans le cadre de notre travail, l'objectif de l'étude qui suit est simplement de donner une vue d'ensemble des coûts potentiels associés à un projet de cette nature. L'évaluation des coûts associés à un projet d'aménagement hydro-agricole doit être réalisée de manière précise, afin de pouvoir évaluer sa viabilité à la fois à court et à long terme.

Pour notre projet on a les travaux suivants :

- Réseau de distribution
- Conduites d'adduction
- Réseaux d'irrigation (goutte à goutte) et travaux divers

VII.2 Différents type de travaux à entreprendre

VII.2.1 Travaux concernant l'adduction et le réseau de distribution

Les activités impliquées dans la création de l'adduction et du réseau de distribution sont

VII.2.1.1 *Exécution des tranchés*

Il s'agit d'une opération de terrassement consistant à creuser des excavations à l'aide d'une pelle hydraulique. Les matériaux excavés seront déposés le long de la tranchée, tandis que l'autre côté sera réservé à l'installation des conduites

VII.2.1.2 *Pose des conduites*

Avant d'abaisser les conduites dans la tranchée, il est essentiel de trier les conduites pour écarter celles qui ont été endommagées lors de chocs. Ensuite, on les abaisse lentement au fond de la tranchée à l'aide d'un dispositif de levage. Pendant l'installation, il est impératif de vérifier régulièrement l'alignement des tuyaux afin d'éviter des problèmes lors de la connexion des conduites.

VII.2.1.3 *Jointage et soudure de la canalisation*

Dans un souci de renforcer la sécurité, il est impératif de procéder à un test de pression des conduites et des raccords avant de procéder au remblaiement. Ce test est réalisé à l'aide d'une pompe d'essai, qui consiste à remplir la conduite d'eau sous une pression équivalente à 1,8 fois la pression de service prévue lors de son fonctionnement normal. Cette épreuve doit être maintenue pendant environ 30 minutes, avec une variation de pression ne devant pas excéder 0,2 bar

VII.2.1.4 *Remblayage des tranchées*

Il s'agit d'une opération de terrassement qui implique l'enfouissement de la conduite en utilisant le matériau de remblai provenant de l'excavation.

VII.2.1.5 *Nivellement et compactage*

Après avoir réalisé le remblai, on passe à l'étape du nivellement qui implique la répartition des monticules de terre. Ensuite, on procède au compactage afin d'augmenter la densité du sol et ainsi prévenir tout tassement ultérieur.

VII.2.2 **Calcul du volume du terrassement**

➤ **Largeur du fond de la tranchée**

La largeur d'ouverture de la tranchée est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$B=d+2a \qquad \text{Équation VII-1}$$

Avec :

B: largeur de la tranchée(m).

d : diamètre de la conduite(m).

a : distance entre la conduite et le fruit de talus.

DN ≤200 >> largeur de la tranchée DN+2x20cm

DN >200>> largeur de la tranchée DN+2x30cm

➤ **Profondeur de la tranchée**

La profondeur de la conduite doit être ajustée de manière à faciliter la réalisation adéquate des branchements spécifiques tout en évitant toute connexion accidentelle avec d'autres conduites.

$$H=e+d+h \qquad \text{Équation VII-2}$$

Avec :

H : profondeur de la tranchée(m).

e : hauteur du lit déposé (m)=0,1m.

d : diamètre de la conduite(m).

h : la hauteur du remblai au-dessus de la conduite =0,8m.

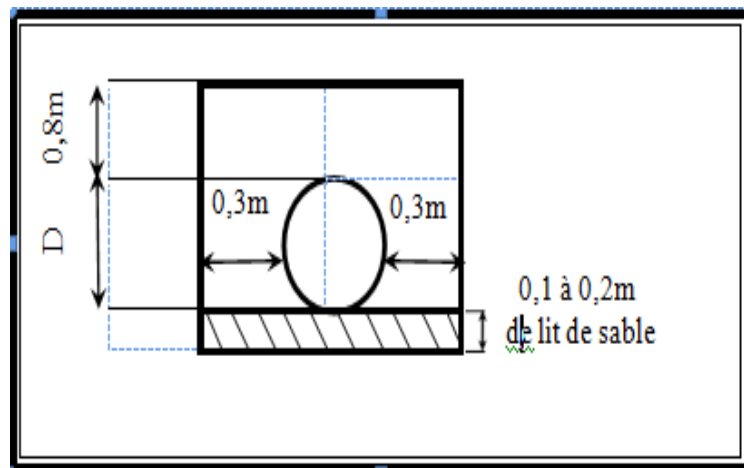


Figure VII-1 : Schéma d'un tranché.

VII.3 Calcul du volume du déblai

$$Vd=L. B.H$$

Équation VII-3

Avec :

Vd : volume des déblais des tranchés en (m³).

L : longueur du tranché en (m)

H : profondeur du tranché

Tableau VII-1 : Calcul du volume de déblai pour les canalisations du réseau

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Hauteur (m)	Largeur (m)	V déblais (m ³)
125	630	1.275	0.725	582.35
160	500	1.31	0.760	497.80
200	475	1.35	0.800	513
200	580	1.35	0.800	626.40
315	275	1.465	0.915	368.63

Interprétation du tableau :

Le volume totale du déblai est $V_d = 2588.18 \text{ m}^3$

VII.3.1 Calcul du volume de lit de sable

Ce lit correspond à une couche de sable de 10 cm d'épaisseur située au fond de la tranchée. Il s'agit d'une surface uniforme qui s'étend sur toute la longueur de la tranchée, et nous déterminons cette surface en utilisant la formule suivante :

$$V_{\text{sable}} = H_{\text{sable}} \cdot B \cdot L \quad \text{Équation VII-4}$$

V_s : Volume du sable (m^3).

H_{sable} : la hauteur du lit de sable comprise entre 0.1 et 0.2 mètres

Tableau VII-2 : Tableau de calcul de volume de sable pour les canalisations du réseau.

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Hsable (m)	Largeur (m)	V sables (m ³)
125	630	0.1	0.725	45.67
160	500	0.1	0.760	38
200	475	0.1	0.800	38
200	580	0.1	0.800	46.4
315	275	0.1	0.915	25.16

Interprétation du tableau :

Le volume total du sable est $V_s = 193.23 \text{ m}^3$.

VII.3.2 Calcul de volume de remblai

Ce calcul de volume s'appuie sur la quantité de matériau excavé et englobe à la fois l'espace occupé par la conduite et celui rempli par le lit de sable.

$$V_r = V_d - (V + V_s) \quad \text{Équation VII-5}$$

Avec :

V_r : Volume du remblai compacté (m^3)

V_d : Volume du déblai (m^3)

V_s : Volume du sable (m^3)

V : Volume occupé par la conduite (m^3)

$$V = \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) * L \quad \text{Équation VII-6}$$

Tableau VII-3 : Calcul du volume de remblai pour les canalisations de distribution

Diamètre (mm)	V conduites (m^3)	V déblais (m^3)	V sables (m^3)	V remblais (m^3)
125	7.72	582.35	45.67	528.96
160	10.04	497.80	38	431.76
200	14.91	513	38	460.09
200	18.21	626.40	46.4	561.79
315	21.42	368.63	25.16	322.05

Interprétation du tableau :

Le volume total du remblai est : $V_r = 2304.65 m^3$

VII.3.3 Estimation de cout total du projet

VII.3.3.1 Estimation de cout de pose de canalisation du réseau :

Tableau VII-4 : Estimation du cout de pose de canalisation du réseau.

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire TTC (DA/ m3)	Montant TTC (DA)
Déblai du terrain	m ³	2588.18	400	1035272
Lit de sable	m ³	193.23	2500	483075
Remblai	m ³	2304.65	650	1498022.5

Interprétation du tableau :

Le cout total (HT) des travaux public est : **3 016 370 DA.**

Avec (19%) de T.V.A le prix total T.T.C est : **3 589 480 DA.**

VII.3.3.2 Estimation du cout des conduites du réseau :

Tableau VII-5 : Estimation du coût des conduites du réseau.

Pièces		Unité de mesure	Quantité (m)	Prix unitaire (DA/m)	Montant (DA)
125	PEHD	m/l	630	1093.1	688 653
160	PEHD	m/l	500	1786.5	893 250
200	PEHD	m/l	475	2805.5	1 332 612.5
200	PEHD	m/l	580	2805.5	1 627 190
315	PEHD	m/l	315	6881.4	2 167 641
				Total	6 709 347

Interprétation du tableau :

Le cout total (HT) des travaux public est : **6 709 347 DA.**

Avec (19%) de T.V.A le prix total T.T.C est : **7 984 123 DA.**

VII.3.3.3 Estimation cout des bornes d'irrigation

Pour notre réseau d'adduction, nous avons 01 bornes de types A4, et 04 bornes de types C.

L'estimation des couts de ces bornes sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VII-6 : Estimation de coup des bornes d'irrigation.

Type de borne	Nombre	Prix unitaire (DA)	Prix totale (DA)
A4	01	85 000	85 000
C	04	120 000	480 000

Le cout total des bornes d'irrigation est : **565 000 DA.**

Avec (19%) de T.V.A le prix total T.T.C : **672 350 DA**

VII.3.3.4 Devis du réseau d'irrigation localisée

Il s'agit des dispositifs situés en aval de la borne d'irrigation, intégrés au réseau de distribution collectif ou individuel. Ces dispositifs sont de nature individuelle et appartiennent à chaque exploitant.

L'équipement à l'échelle de la parcelle d'un réseau localisé comprend les accessoires suivants.

Tableau VII-7 : Estimation du coût des goutteurs

Caractéristiques d'appareil	unité	quantité	Longueur des rampes	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Ecartement 1m avec goutteur	ml	16	32	10	5 120

Tableau VII-8 : Estimation du coût des portes rampes.

Caractéristique d'appareil	Unité	Quantité	Diamètre(mm)	Longueur(m)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Porte rampe	ml	1	63	250	607,5	151 875

Le Devis du réseau d'irrigation localisée est : **156 995 DA.**

Avec (19%) de T.V.A le prix total T.T.C est : **186 824 DA.**

VII.4 La station de pompage

Le système de pompage comprend plusieurs éléments, à savoir :

- Les travaux de génie civil.
- Les équipements hydromécaniques.
- La bache d'aspiration.

Les coûts estimatifs détaillés de chaque composante sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VII-9 : Estimation du cout de la station de pompage.

Designation des travaux	unite	Quantité	Prix unitaire	Montant
1)) Terrassement				
Décapage de la terre végétal	M3	100	500	50 000.0
-Déblai	M3	105	600	63 000.0
-remblais	M3	57.75	600	34 650.0
2) Maçonneries				
-Béton arme	M3	100	12000	1 200 000.0
-revêtement	M2	40	800	32 000.0
-Peinture	M2	170.80	1000	170 800.0
3) travaux divers				
-Portail métallique	U	1	120 000	120 000.0
-Fenêtre en pvc	U	2	5000	10 000.0
-Electricités	U	Forfait	10000	10 000.0
4) Aménagement extérieur				
- Mur de clôture	M1	100	1500	150 000.0
- Loge de gardien	U	1	200 000	200 000.0
- Revêtement	M2	300	30000	9 000 000.0
5) Equipements hydromécaniques				
- Vannes	U	2	230000	460 000.0
- Clapet anti retour	U	1	100000	100 000.0
- Crepine	U	1	150000	150 000.0
- Vantouse	U	1	60000	60 000.0
6) Bâche d'aspiration				
Terrassements	M3	300	300	90 000.0
Béton arme	M3	50	12000	600 000.0
étanchéité	M3	100	600	60 000.0
Total HT				13 910 400
Total TTC				16 576 789.DA

VII.5 Le réservoir de stockage

Les travaux de terrassement, de bétonnage, de maçonnerie, ainsi que les travaux secondaires et les matériaux nécessaires sont tous inclus dans la construction du réservoir de stockage. Le réservoir, tel que dimensionné dans le chapitre 6, a une capacité de 1000 mètres cubes.

Tableau VII-10 : Estimation du cout du réservoir de stockage.

Désignation des travaux	unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
*Terrassements				
Décapage de la terre végétale	M ³	100	500.00	50000,00
Déblai	M ³	150	600.00	90000,00
Remblai	M ³	110	600.00	60000,00
*Béton arme	M ³	100	45000.00	4500000,00
*Aménagement extérieur et Divers				
Portail métallique	U	1	170000.00	170000,00
Electricités	U	20	10000.00	200000,00
Peinture	M ²	300	1000.00	300000,00
Mur de clôture	M ²	60	3000.00	180000,00
Revêtement	M ²	30	25000.00	750000,00
Total				6300000,00

VII.6 Devis des travaux

Tableau VII-11 : Devis estimatif total.

Travaux	Montant (DA)
Canalisation du réseau.	3 589 480
Conduites du réseau.	7 984 123
Bornes d'irrigation.	672 350
Irrigation localisé	186 824
Station de pompage	16 576 789
Réservoir	630 000
Montant TTC	35 309 566

VII.7 Conclusion

L'analyse économique est cruciale dans l'évaluation de la viabilité des projets d'aménagement hydro-agricole. Elle souligne la nécessité de prendre en compte les coûts de manière précise pour planifier efficacement les ressources nécessaires. Une gestion appropriée des coûts garantira le succès du projet et contribuera au développement agricole durable et à l'amélioration des conditions de vie des agriculteurs.

Le coût total du projet d'aménagement du périmètre d'Ain el Houtz est arrêté à la somme de trente-cinq millions trois cent neuf mille cinq cent soixante-six dinars algériens.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude met en lumière les défis cruciaux auxquels l'Algérie est confrontée en matière de gestion de l'eau, en mettant particulièrement en avant la situation à Ain El Houtz. Dans cette région, l'irrigation agricole traditionnelle repose sur des pratiques individuelles et l'exploitation des sources d'eau existantes. Cependant, cette approche fragmentée a montré ses limites en termes d'efficacité et de durabilité.

L'objectif principal de cette étude était de proposer une solution novatrice pour améliorer l'exploitation des terres agricoles d'Ain El Houtz tout en rationalisant l'utilisation des ressources en eau, qu'elles soient conventionnelles ou non conventionnelles. La création d'un périmètre d'irrigation moderne était au cœur de cette proposition.

La problématique centrale qui a émergé au cours de notre étude est le défi hydrique résultant d'un faible débit provenant de la station d'épuration. Pour résoudre cette question, nous avons minutieusement dimensionné le réseau de distribution afin qu'il puisse capter les sources d'eau présentes sur le périmètre, à savoir Ain Houtz et Ain Ancor. Pour ce faire, nous avons proposé un fonctionnement du réseau sur une durée de 18 heures par jour. Toutefois, il est essentiel de noter que le débit requis pour ce réseau excédait la capacité disponible en eau. Pour compenser ce déficit, nous avons planifié la construction d'un réservoir de 1000 mètres cubes, destiné à se remplir pendant les périodes d'arrêt du réseau. De plus, nous avons dimensionné des ouvrages de captage et de transport pour assurer un approvisionnement constant en eau jusqu'au périmètre d'étude.

En fin de compte, cette étude représente une contribution significative à la gestion durable de l'eau et à l'agriculture dans la région d'Ain El Houtz. Elle peut servir de modèle pour d'autres projets similaires en Algérie et au-delà, démontrant ainsi la voie vers une utilisation plus efficace et responsable des ressources en eau dans l'agriculture, et contribuant ainsi au développement économique.

Références Bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BABA HAMED K., BOUANANI A., TERFOUS A. & BEKKOUCHE A., 2016: Modèle transitoire de la nappe des alluvions de la plaine d'Hennaya (Tlemcen, NW–Algérie-), Revue semestrielle scientifique et technique, journal de l'eau et de l'environnement, Université de Tlemcen.

BAGHLI N. 2018 Elaboration d'une méthodologie d'organisation de l'information pour une meilleure gestion des ressources en eau. Thèse de doctorat. Option Hydraulique. Univeristé Aboubakr Belkaid Tlemcen.

CHIKH HAMZA ABDESSAMAD 2013 MFE. ETUDE DE POSSIBILITE DE CREATION D'UN PERIMETRED'IRRIGATION A AIN EL HOUTZ

Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de TLEMCCEN. 2013. ETUDE DU PERIMETRE D'IRRIGATION D'AIN HOUTZ COMMUNE DE CHETOUANE

HETTAK NESRINE : 2020. MFE. Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre Achaacha à partir du barrage kramis (W. Mostaganem).

MEZRIG AMARI 2020. MFE. ETUDE D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DU PERIMETRE D'IRRIGATION (SECTEUR D'OUM DROU) A PARTIR DU BARRAGE D'OUM DROU (W- CHLEF).

ZEKRAOUI Fatima Zohra & NASSOUR Soulef 2021-2022 MFE. CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA QUALITE PYSICO- CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN EL HOUTZ(TLEMCCEN, OUEST ALGERIEN).

Annexe I

SPECULATIONS	Nature	CAMPAGNE AGRICOLE									
		2013		2014		2015		2016		2017	
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
CULTURES MARAICHIERES	Pomme de terre saison	50	6000	50	8000	50	6800	70	10500	50	6000
	Pomme de terre A/saison	20	3000	15	9200	15	1950	20	1700	20	2400
	Carotte	10	300	10	300	10	400	10	800	12	750
	Tomate	20	2200	22	2200	25	2500	25	2500	10	400
	Oignon	20	1400	20	1600	15	1200	8	1000	5	400
	Haricot	15	500	15	500	25	750	25	650	20	960
	Melon - Pastèque							5	1000	11	1100
	Artichaut	20	1200	20	1400	20	1600			20	1200
	Piment	10	400	10	350	10	300	10	700	5	150
	Poivron	20	1000	22	1100	20	1000	20	1800	12	600
	Concombres	10	700	5	300	4	240	4	400		
	Courgettes	10	600	10	700	10	600	10	900	10	600
	Aubergines	10	600	15	1000	10	700	10	800	10	600
	Choux-vert	10	800	10	800	10	800	10	1000	10	800
	Choux-fleurs	10	700	10	700	10	800	10	1000	10	800
	Navets	10	300	5	200	10	400	10	500	6	240
	Ails	15	300	15	300	15	300	15	300	10	300
	Fèves vertes	30	1200	30	1500	35	1800	40	1400	30	1050
	Petits pois	20	360	20	800	20	800	20	400	20	360
	autres légumes	90	1500	53	1680	60	3010	48	-	62	3040

SPECULATIONS	Nature	CAMPAGNE AGRICOLE									
		2013		2014		2015		2016		2017	
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Cultures De céréales	Blé dur	552	2208	50	200	300	5100	355	4200	550	5500
	Blé tendre	424	1696	50	150	300	4800	285	3000	320	2240
	Orge	450	3600	70	280	300	5400	450	4500	520	3120
	Avoine	24	120	10	30	50	500	60	480	40	280
cultures fourragères	Avoine fourage	80	10000	10	100	80	2000	-		80	1200
	Céréales reconverties	340	3400							220	3320
	Mais -Sorgho	5						4		10	
légumes secs	Feveroles	15	75	50	25	40	280	80	640	60	360
	Pois secs	10	50	140	10	20	120	20	120	20	140
	Pois-chiches	15	80	50	100	40	320	100	600	80	560

Source DSA de Tlemcen

SPECULATIONS	Nature	CAMPAGNE AGRICOLE									
		2013		2014		2015		2016		2017	
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Arboricultures	Abricots	12	300	12	300	13	350	13	520	13	780
	Amandes	6	30	6	20	6	25	4	20	4	90
	Cerises	2	20	2	15	2	20	1	5	1	15
	Coings	13	300	13	300	12	360	10	350	10	1000
	Grenades	5	100	5	100	3	100	3	100	3	240
	Nefles	13	420	13	400	13	400	13	1040	13	720
	pêches	45	1350	45	1350	50	1400	48	2500	50	3000
	Poires	15	525	15	500	15	500	12	500	12	720
	Pommes	26	1300	26	1300	27	1250	27	1620	27	2160
	Prunes	50	1250	50	1300	50	1300	46	1840	46	3500
	Autres espèces à noyaux et à pépins	7	60	17	25	17	25	17	25	16	25
	Oliviers	131	1286	131	315	131	1281	110	3120	120	3000
	Orangers	146	10000	146	6200	167	10020	166	8300	166	18080
	Clementeniers	28	1600	28	1600	28	1680	20	800	20	1600
	Mendariniers	7	420	7	300	7	420	7	350	7	560
	Citronniers	25	2000	25	1600	32	1920	32	2000	32	2560

Annexe II

Paramètres physico-chimiques des eaux épurées destinés à l'irrigation

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	.	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 3 - 6 6 - 12 12 - 20	ds/m	0.2 0.3 0.5 1.3
	20-40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (CL)	meq/l	10
	AZOTE (NO3 - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

Annexe III

Indice croisé SAR/conductivité

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