



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**Dimensionnement d'un réseau de drainage du périmètre du
moyen chelif (120ha), secteur E commune Oued Sly, Wilaya de
chlef**

Présenté par :

❖ BENTANAH Abdelhafid Hicham.

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
MEDDI Mohamed	Professeur	President
SADOUNE Samra	M.C.A	Examinateur
MAZOUZI Sabra	M.A.A	Examinateur
AZIEZ Ouahiba	M.C.B	Promoteur

Session : 2024/2025

Dédicace

Je souhaite dédier ce travail à toutes les personnes chères à mon cœur, en signe de gratitude et d'amour :

À mes chers parents, mon père qui a été et demeure le soutien essentiel qui me permet de me maintenir debout, ma mère qui a toujours eu confiance en moi, à qui je témoigne toute ma reconnaissance pour tout ce que vous m'avez apporté.

- A toute ma famille.
- Au groupe Hydro projet Ouest.
- À l'ensemble de mes amis et camarades de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, qui ont partagé avec moi cette période de ma formation académique.

Remerciement

Au terme de ce travail de fin d'études, fruit de plusieurs années de persévérance et de dévouement, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers Allah Tout-Puissant pour m'avoir guidée, soutenue et accordé la force nécessaire pour mener à bien ce projet.

*J'adresse mes remerciements les plus sincères à ma promotrice, Mme **AZIEZ OUAHIBA**, pour sa disponibilité, son encadrement précieux et ses conseils avisés tout au long de ce travail. Son accompagnement a été d'une grande aide face aux difficultés rencontrées.*

Je remercie également tous les membres du jury, pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce mémoire, leurs remarques pertinentes et leurs suggestions constructives qui ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

*Mes remerciements vont aussi à **Hydro Projet Ouest**, pour m'avoir accueillie en stage et m'avoir offert les conditions nécessaires à la collecte des données et à la réalisation de cette étude. Une pensée particulière à **Mr ADADDA** pour son assistance et son accueil.*

*Je n'oublie pas l'ensemble du corps enseignant d'**École Nationale Supérieure d'Hydraulique**, pour leur engagement pédagogique et les connaissances transmises au cours de ma formation.*

Enfin, toute ma gratitude à ma famille, mes amis et mes collègues pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements constants, sans lesquels ce travail n'aurait pas vu le

jou

الملخص:

يتناول هذا البحث تصميم شبكة صرف زراعي لمساحة قدرها 120 هكتارًا ضمن محيط الشلف الأوسط بولاية الشلف. تعتمد الدراسة على تحليل المعطيات المناخية والتربة والمياه الجوفية لتصميم نظام قادر على التحكم في منسوب المياه الجوفية وتصريف الفائض المائي من التربة. يهدف المشروع إلى تحسين الإنتاجية الزراعية، ومكافحة ملوحة التربة، وضمان استدامة الأراضي المسقية. تم اعتماد طرق حسابية مثل طريقة هوغهاودت وغلوفر - دوم، مع مراعاة الخصائص المحلية. توصلت الدراسة إلى تحديد مسافات مثالية بين المصارف (من 30 إلى 60 مترًا)، وعمق متوسط يبلغ 1.5 متر، وتصميم قنوات تجميع مناسبة. بلغت الكلفة الإجمالية المقدّرة للمشروع حوالي 3,205,973 دينار جزائري.

Résumé :

Ce mémoire porte sur le dimensionnement d'un réseau de drainage agricole dans une zone de 120 hectares située dans le périmètre du Moyen Cheliff, wilaya de Chlef.

L'étude est basée sur l'analyse climatique, pédologique et hydrogéologique de la région afin de concevoir un système capable de réguler la nappe phréatique et évacuer l'excès d'eau.

L'objectif est d'améliorer la productivité agricole, de lutter contre la salinisation et de préserver la durabilité des sols irrigués. Le dimensionnement est effectué à l'aide de méthodes reconnues telles que Hooghoudt et Glover-Dumm, en tenant compte des spécificités locales.

Les résultats ont permis de définir des écartements optimaux des drains (30 m à 60 m), une profondeur moyenne de 1,5 m, et des collecteurs adaptés en termes de débit et diamètre. Le coût total estimé des travaux est d'environ 3 205 973 DA.

Abstract:

This thesis focuses on the design of an agricultural drainage network covering an area of 120 hectares in the Middle Cheliff perimeter, Chlef Province. The study is based on an analysis of the climate, soil, and groundwater conditions to design a system capable of controlling the water table and removing excess water from the soil. The goal is to enhance agricultural productivity, prevent soil salinization, and ensure long-term sustainability of irrigated land. Sizing was carried out using recognized methods such as Hooghoudt's and Glover-Dumm's formulas, adapted to local conditions. The results defined drain spacing between 30 and 60 meters, an average depth of 1.5 meters, and appropriately sized collectors. The estimated total project cost is around 3,205,973 Algerian Dinars (DA).

Sommaire

Introduction

générale.....Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I : Analyse des conditions naturelles

I.1-Introduction.....	3
I.1 Situation géographique de la wilaya de Chlef.....	3
I.2 Présentation de la zone d'étude.....	4
I.3 Présentation générale du périmètre du Moyen Chélif.....	6
I.4 Analyse de la situation physique de la région.....	7
I.4.1 Contexte géologique.....	7
I.5 Etude climatologique.....	9
I.5.1 Choix de la station de référence.....	10
I.5.2 La pluviométrie.....	10
I.5.3 La température.....	11
I.5.4 Humidité relative de l'air.....	11
I.5.5 Le vent.....	12
I.5.6 Insolation.....	13
I.6 Calcul des indices Agro-météorologiques.....	14
I.7 Etude socio-économique.....	17
I.7.1 Potentialités hydrauliques.....	17
I.7.2 Population de la wilaya (2018).....	18
Conclusion.....	18

Chapitre II : Ressources sol et eau

II.Introduction.....	20
II.1 Ressources en sol.....	20
II.1.1 Classe des sols Calcimagnésiques.....	21
II.1.2 Analyses physico-chimiques des sols.....	22
II.1.2.1 Analyse de la texture des sols.....	22
II.1.3 Les paramètres hydrodynamiques des sols.....	23
II.1.4 Étude des aptitudes culturales.....	24
II.2 Ressources en eau.....	24
II.3 Calcul de la pluie de projet.....	29
II.3.2 Données de précipitation.....	29
II.3.5 Test de fiabilité des ajustements.....	34
Conclusion.....	35

Chapitre III : Besoins en eau des cultures

III Introduction.....	36
III.1 Estimation des besoins hydriques pour l'irrigation.....	36
III.1.1 Détermination des besoins en eau d'irrigation.....	36
III.1.2 –Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET ₀).....	37
III.1.2.1 Méthode directe.....	37
III.1.2.2 Méthodes indirectes.....	37
III.1.3 Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM).....	39
III.1.4 Estimation des coefficients culturaux (K _c).....	39
III.1.5 Calcul de la pluie efficace (P _{eff}).....	39
III.1.6 –Calcul de la réserve en eau du sol.....	40
III.2 Choix des cultures.....	41
III.2.2 Assolement des cultures.....	42
III.2.1 Les cycles végétatifs des cultures.....	42
III.3 Calcul des besoins en eau d'irrigation.....	43
III.3.1 Besoins des Céréales.....	43
III.3.3 Les besoins de l'arboriculture.....	48
III.4 Calcul de débit spécifique.....	48
III.5 Calcul de débit caractéristique.....	49
III.6 Estimation des volumes d'eau d'irrigation.....	49
Conclusion.....	50

Chapitre IV : Dimensionnement du Réseau de drain

II. Le lessivage.....	52
IV.3 Conclusion.....	54
V.11-La pluie.....	55
V.11.1-Débit caractéristique en régime permanent avec stockage.....	55
V.11.1.1-Traitement des données pluviométriques.....	56
V.11.2-Les valeurs maximales de la pluviométrie	59
V.11.3-Détermination de la pluie critique	60
V.12-Le débit à évacué (régime permanent avec stockage).....	62
V.13-Débit caractéristique en régime variable.....	62

Chapitre V: Le dimensionnement du réseau

V.1-Introduction.....	65
V.2-L'écartement des drains "E".....	65
V.2.1-La formule de Hooghoutt : (régime permanent).....	65
V.2.2-La formule de Glover - Dum : (régime variable).....	66
V.3-La profondeur des drains	68
V.4-La longueur d'installation des drains.....	68
V.5-La pente d'installation.....	68
VI.6-Le débit à évacuer par le drain.....	69
V.7-Le dimensionnement des drains.....	69
V.8- dimensionnement du collecteur.....	70
VI.8.1-Calcul hydraulique des collecteurs.....	70
V.8.2-Diamètre des collecteurs.....	70

V.8.3-Les raccordement.....	72
V.8.3.1-Entre drain et collecteur.....	72
V.8.3.2-Entre collecteur et collecteur.....	72
V.8.3.3- Entre Collecteur et exutoire.....	72
Conclusion.....	74

ChapitreVI: L’entretien de réseau et l’étude socio-économique

VI.1-Introduction.....	75
VI.2-Entretien et durabilité de systèmes de drainage.....	75
VI.2.1-Relation de vitesse d’écoulement avec la performance de réseau.....	75
VI.2.2-Les méthodes d'entretien des canaux et fossés.....	75
VI.2.2.1-Méthodes mécaniques.....	75
VI.2.2.2-Méthodes chimiques.....	75
VI.2.2.3-Méthodes biologiques.....	76
VI.2.3-L'entretien des réseaux enterrés.....	76
VI.2.4-L’entretien des tuyaux.....	76
VI.2.5-Problèmes dans l'exécution des travaux.....	77
VI.3-Estimation du cout des travaux.....	77
Conclusion.....	79

Conclusion

générale.....Erreur ! Signet non défini.

Référence bibliographique.....81

Annexes..... 84

Liste des tableaux

Tableau I.1: Les zones du moyen chéiff.....	6
Tableau I.2: Coordonnées de la station météorologique de chlef	9
Tableau I.6: La répartition mensuelle des vitesses vents (m/s)	10
Tableau I.8: Insolations moyennes mensuelles	13
Tableau II.1: Classification du climats selon l'indice d'aridité de martonne	15
Tableau II.2: Résultats des analyses physio-chimique du moyen chéiff	17
Tableau II.3: les caractéristique hydrodynamique des sols	18
Tableau II.4: Caractéristique du barrage d'oum drou	20
Tableau II.5: Résultats d'analyse de l'eau brute de l'oued chéiff	21
Tableau II.6: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....	22
Tableau II.7: Caractéristique de l'ANRH	23
Tableau II.8: Caractéristique de la série des pluies annuelles	25
Tableau II.9: Test de mann-withney	26
Tableau II.10: Les paramètre de test de KHI carré	27
Tableau II.11: Résultats de l'ajustement des pluies annuelles par la loi normal	28
Tableau III.1: Les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche	30
Tableau III.2: Calcul de l'evapotranspiration de référence par le logiciel CROPWAT....	34
Tableau III.3: Calcul des pluies efficaces	40
Tableau III.4: Calendrier d'occupation des sols pour le premier du moyen chéiff.....	42
Tableau III.5: Besoins en eau de blé	43
Tableau III.6: Besoins en eau de l'orge	45
Tableau III.7: Besoins en eau de l'avoine	46
Tableau III.8: Besoins en eau de pomme de terre AS.....	46
Tableau III.9: Besoins en eau de la tomate.....	47
Tableau III.10: Besoins en eau de petit pois.....	47
Tableau III.11: Besoins en eau de l'ail.....	48
Tableau III.12: Besoins en eau de la courgette.....	48
Tableau III.13: Besoins en eau de fèves	49

Tableau III.14: Besoins en eau de l'oignon.....	49
Tableau III.15: Besoind en eau des haricots	49
Tableau III.16: Besoins en eau de l'oranger	50
Tableau III.17: Volumes d'eau d'irrigation	51
Tableau III.18: LR E1T1.....	53
Tableau IV.1: LR ETM pour l'assolement 2Tableau.....	53
Tableau IV.2: Volume totale pour les deux assolements.....	54
Tableau IV.3: Trie de la pluviométrie 1er trimestre	55
Tableau IV.4: Trie de la pluviométrie 2éme trimestre.....	57
Tableau IV.5: Trie la pluviométrie 3émtrimestre.....	58
Tableau IV.6: Les valeurs maximales de la pluviométrie	59
Tableau IV.7: Les valeurs maximales de la pluviométrie.....	60
Tableau IV.8: La pluie critique pour le 1er semestre	61
Tableau IV.9: La pluie critique pour le 3éme semestre.....	62
Tableau IV.10: Le Qc en régime permanant avec stockage	65
Tableau IV.11: Le Qc en régime variable	67
Tableau IV.12: Calcul des débits dans le collecteur principal et secondaire	68
Tableau V.1: Calcul des diamètres des collecteurs secondaire.....	73
Tableau V.2: Détermination des dimensions des collecteurs principaux	75
Tableau VI.1: l'estimation de cout	78

Liste des Figure

Figure I.1: Situation et limites administratives de wilaya de chlef.....	04
Figure I.2 : Situation et limites administratives de la zone Oued sly.....	05
Figure I.3: location de la zone d'étude Oued sly	06
Figure I.4: le moyen Chélif	08
Figure I.5 : Carte géologique du moyen chélif.....	09
Figure I.6 : Figure 1.6 : Répartition des pluies moyenne mensuelles en mm ..	11
Figure I.7: Evolution des températures mensuelles de l'air	11
Figure I.8: Evolution de l'humidité moyenne mensuelle en	16
Figure I.9: les vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s)	20
Figure I.10: Variation de l'insolation moyenne mensuelle en heurs	22
Figure I.11 : le digramme bioclimatique d'émberger.....	34
Figure II.1: Diagramme ombrothermique de Gaussen	35
Figure II.2: La carte pédologique de la zone d'étude du moyen chélif	36
Figure II.3: Classification du sol dans le triangle de texture (USDA)	38
Figure II.4: Diagramme USSL 1954 de classification des eaux	49
Figure IV.1 : Courbe HDF pour le 2éme semestre	50
Figure IV.2: Courbe HDF pour le 3éme semestre	52
Figure IV.3: Réseau de drainage pour le model d'un régime permanent.....	63
Figure V.1: Réseau de drainage pour le model d'un régime variable.....	76
Figure V.2: Raccordement drain-collecteur et ensemble clip coude.....	77
Figure V.3: Photo de draineuse	80

Liste des annexes

<u>Annexe 01</u> : Les zones homogènes du périmètre moyen Chélif.....	85
<u>Annexe 02</u> : Diagramme de classification des eaux d'irrigation.....	86
<u>Annexe 03</u> : Table de Pearson χ^2	87
<u>Annexe 04</u> : Table de profondeur équivalente "d" pour des conduites enterrées (Vlotman et al., 2020)	88

Liste des abréviations

- **AGID** : Agence Nationale de Gestion pour l'Irrigation et le Drainage
- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- **Cees** : Conductivité électrique de la pâte saturée
- **Ceiw** : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation
- **CI** : Continentale intercalaire
- **ETM** : Evapotranspiration maximal
- **ETR** : Evapotranspiration réel
- **Ha** : Hectare
- **J** : Jour
- **LR** : Leaching requiment (Fraction de lessivage)
- **Mm** : Millimètre
- **ONID** : Office National d'Irrigation et Drainage
- **PH** : Potentiel d'hydrogène
- **SAR** : Sodium Adsorption Ratio

Liste des planches

- 01 : Plan de masse de périmètre.
- 02 : Plan de projection de réseaux de drainage.
- 03 : Plan d'occupation du sol par culture.
- 04 : Profile en long du collecteur II-II'.

Introduction générale

Introduction

Dans les régions semi-arides telles que la wilaya de Chlef, l'agriculture irriguée constitue un levier essentiel pour la sécurité alimentaire et le développement rural. Cependant, l'usage intensif de l'irrigation, s'il n'est pas accompagné d'une gestion efficace des excès d'eau, peut entraîner des phénomènes indésirables tels que la remontée de la nappe phréatique, la salinisation des sols et la dégradation de la structure pédologique. Ces problèmes sont particulièrement observés dans le périmètre du Moyen Chélif, où l'irrégularité des précipitations et la diversité des sols rendent l'équilibre hydrique difficile à maintenir.

Dans ce contexte, le drainage agricole devient un outil indispensable pour assurer la durabilité des aménagements hydro-agricoles. Il permet non seulement d'évacuer les excès d'eau du sol mais aussi de réguler le niveau de la nappe phréatique, réduisant ainsi les risques de salinisation et de perte de productivité. Toutefois, le drainage reste souvent abordé sous un angle purement technique, sans réelle prise en compte des spécificités locales ni des enjeux économiques et environnementaux. Ce manque de théorisation et d'adaptation rend les systèmes installés parfois inefficaces ou surdimensionnés.

La conception d'un réseau de drainage performant dans un périmètre agricole nécessite une approche intégrée qui tienne compte de plusieurs facteurs : la nature des sols, la topographie, le régime hydrique, les pratiques culturales et les ressources disponibles. À Chlef, ces paramètres sont particulièrement complexes et variables d'une zone à l'autre. Ainsi, il est essentiel de poser la question suivante : comment définir les dimensions optimales (écartement, profondeur, pente, débit) d'un réseau de drainage qui soit à la fois techniquement efficace, économiquement viable et durable pour une surface de 120 hectares dans le Moyen Chélif ?

L'objectif de ce travail est donc de concevoir un réseau de drainage adapté aux réalités locales, en s'appuyant sur les méthodes de dimensionnement reconnues (Hooghoudt, Glover-Dumm) et les données pédoclimatiques précises du site. Cela nous amène à formuler la question centrale suivante :

Ce mémoire vise à apporter une réponse à cette question à travers une étude technique approfondie, tout en contribuant à la réflexion sur les bonnes pratiques de gestion de l'eau dans les zones irriguées en contexte semi-aride.

Chapitre I : Analyse des conditions naturelles

I.1-Introduction :

Avant d'entreprendre toute étude d'un drainage agricole, il est essentiel de procéder à une analyse approfondie des paramètres climatiques, afin d'évaluer précisément les besoins en eau et de dimensionner correctement le système hydraulique d'un réseau de drainage. Ce chapitre est consacré à la caractérisation des conditions naturelles de la zone d'étude, située dans la région de l'Oued Sly, wilaya de Chlef. L'objectif est d'identifier les spécificités environnementales de cette zone afin d'adapter le réseau de drainage aux réalités locales et de garantir une gestion optimale des aménagements hydro-agricoles en maîtrisant la gestion des excès d'eau et de la salinité de notre zone.

I.1 Situation géographique de la wilaya de Chlef :

La wilaya de Chlef est située dans le nord-ouest de l'Algérie, avec une superficie de 4 074 km². Son chef-lieu, qui porte le même nom que la wilaya, se trouve à 200 km à l'ouest de la capitale, Alger. Elle est composée de 13 daïras et 35 communes.

Limites géographiques :

La wilaya de Chlef est bordée par :

- **Au nord:** la mer Méditerranéenne
- **Au sud :** la wilaya de Tissemsilt
- **À l'ouest :** les wilayas de Mostaganem et de Relizane
- **À l'est :** les wilayas d'Ain Defla et de Tipaza

En ce qui concerne la topographie de Chlef, elle est marquée par deux principaux aspects :

- **Contraste :** La région présente une grande variété de paysages, avec des montagnes, des plaines, des vallées et des littoraux. Cette diversité est influencée par la structure des reliefs de la région.
- **Accidentée :** La région est caractérisée par des altitudes variées, des pentes raides et de fortes différences de hauteur entre les reliefs montagneux et les bas-fonds des oueds et des vallées.

Les grands ensembles morphologiques de la wilaya de Chlef :

- Un premier ensemble montagneux, appelé Dahra, se situe entre le littoral au nord et le bassin du Chélif au sud. Cet ensemble est composé de reliefs montagneux.

- Le grand bassin néogène du Chélif, situé au centre, est entouré par le Dahra au nord et l'Ouarsenis au sud.



Figure I.1 : Situation et limites administratives de la wilaya de Chlef. (1/10000)

Latitude : 36.195°N

Longitude : 1.171°E

Source : découpage administratif Algérie.

I.2 Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude, située dans le nord-est de la Daïra de Boukadir, se trouve à 10 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya, Chlef. Elle est traversée par la Route Nationale N°4, qui relie Chlef à la Daïra de Boukadir. Le périmètre d'étude bénéficie de l'irrigation provenant du barrage d'Oum Drou (Braihiyine). La commune d'Oued Sly est délimitée de la manière suivante :

- **Au nord :** la commune de Chetia
- **Au sud :** la commune d'Ouled Ben Aek
- **À l'ouest :** la commune de Sobha
- **À l'est :** la commune de Sendjas

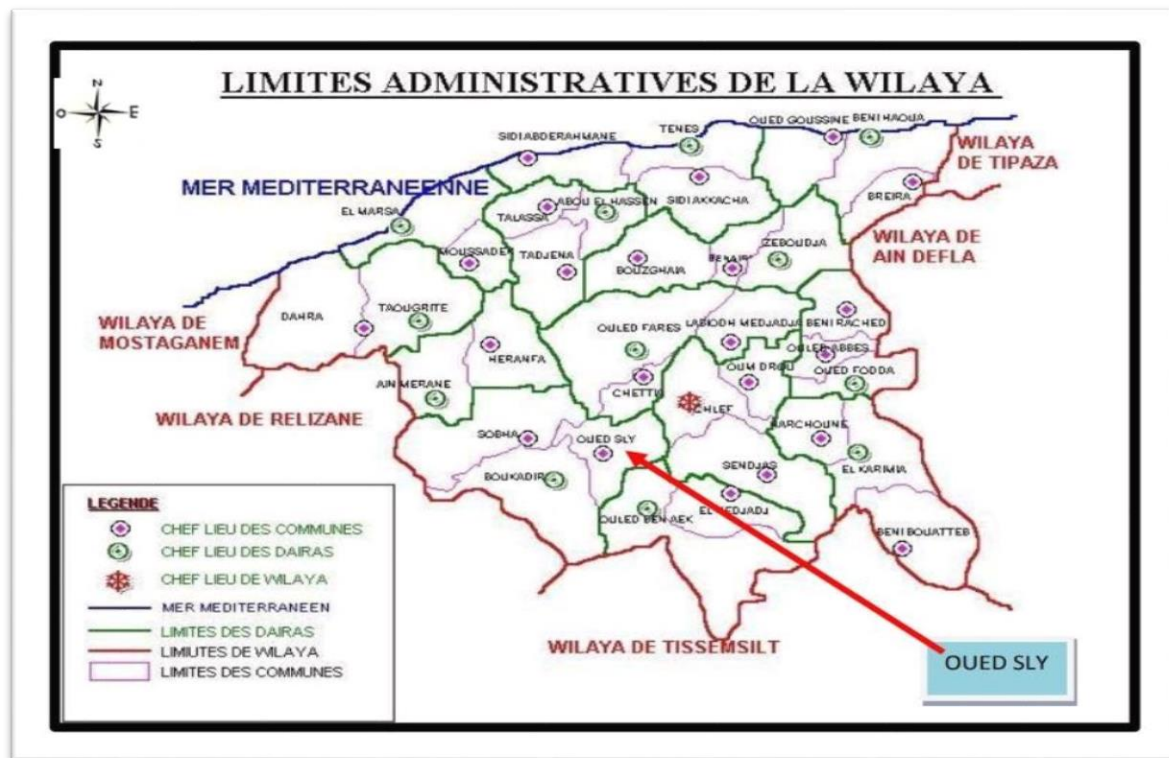


Figure I.2 : Situation et Limites administratives de la zone Oued Sly.

Latitude : 36.195°N

Longitude : 1.171°E

(Source : Direction du Commerce Chlef) (1/10000)

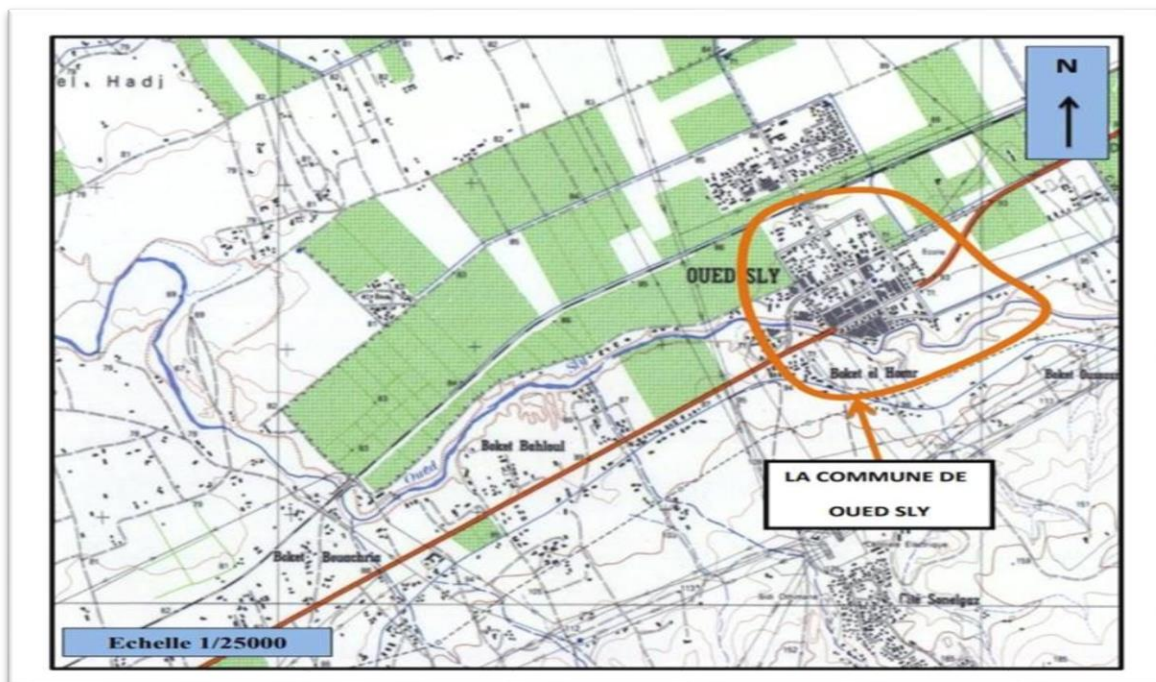


Figure I.3 : Localisation de la zone d'étude Oued Sly.

Latitude : 36.195°N

Longitude : 1.171°E

(Source : Les ressources en eaux dans la plaine du Moyen Cheliff).

I.3 Présentation générale du périmètre du Moyen Chélif :

Le périmètre du Moyen Chélif (P.M.C) est situé dans le centre-ouest du nord de l'Algérie, s'étendant entre l'Oued Tikezal (El-Attaf, Wilaya d'Ain Defla) et le Barrage de Boukadir (Wilaya de Chlef). Il couvre une superficie totale de 21 600 hectares, avec une longueur d'environ 60 km (d'est en ouest) et une largeur d'environ 10 km (du nord au sud). Ce périmètre est divisé en deux zones indépendantes:

- **Zone A** : alimentée par l'Oued El Fodda (4 576 ha)
- **Zone B** : alimentée par l'Oued Chélif (5 100 ha)

Pour faciliter l'organisation de la production agricole, chaque zone est subdivisée en secteurs, comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau I.1 : Les zones du moyen Chélif.

Tableau 1 Les zones du moyen chélif

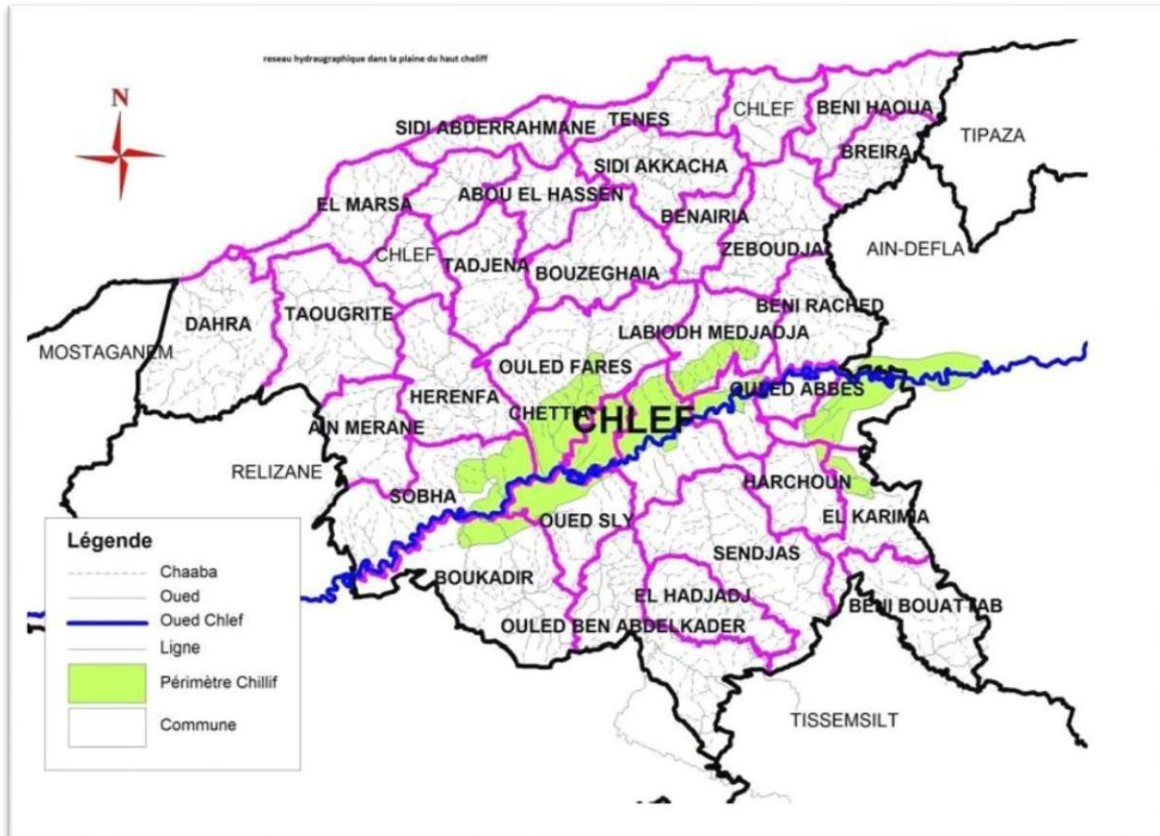
ZONE OUED CHELIFF (B)		ZONE OUED FODDA (A)	
Réseau	SURFACE (Ha)	Réseau	SURFACE (Ha)
C	145	A	1436
D	305	B	3140
E	2339		
F	1358		
G	883		
H	70		
TOTAL	5100		4576

(Source : Les ressources en eaux dans la plaine du Moyen Cheliff).

Dans le cadre de notre étude, nous nous trouvons dans le secteur E. Ce secteur se situe entre les monts du Dahra au nord et les monts de l'Ouarsenis au sud, au cœur d'un vaste bassin

néogène appelé « Bassin du Chélif ».

L'une des caractéristiques les plus marquantes de ce bassin, notamment sur ses bordures, est la transition brusque vers les zones montagneuses du Dahra au nord et de l'Ouarsenis au sud. Il convient également de noter la présence de quelques reliefs isolés au sein du bassin, tels que le Djebel Temoulga à l'est de l'agglomération de l'Oued Fodda, ce qui rend localement



la plaine de la plaine du Chélif plus étroite.

Latitude : 36.195°N

Longitude : 1.171°E

Figure I.4 : Le moyen Chélif. (Source : Les ressources en eaux dans la plaine du Moyen Cheliff). (1/10000)

I.4 Analyse de la situation physique de la région :

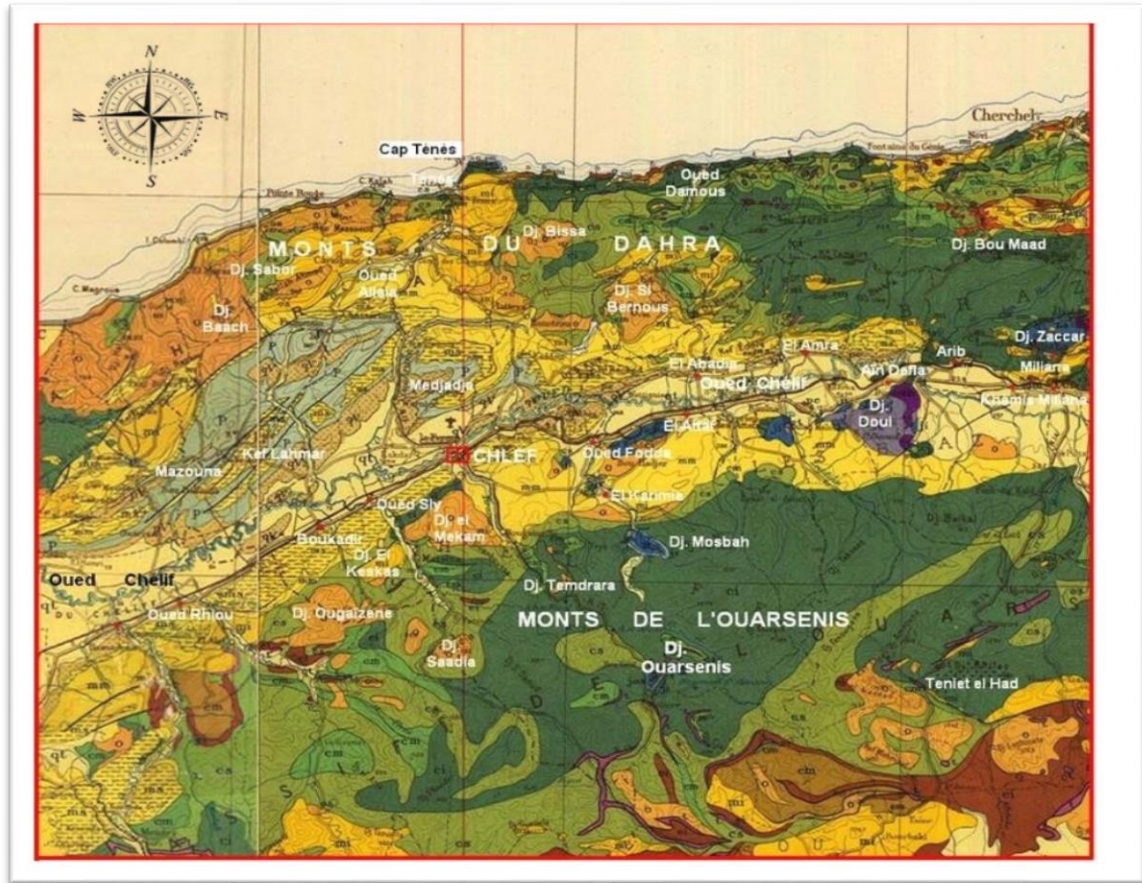
I.4.1 Contexte géologique :

La géologie de la wilaya de Chlef, comme celle des autres régions telliennes, est l'une des plus complexes du nord de l'Algérie. Elle s'étend sur plusieurs domaines structuraux des Maghrébides, répartis comme suit :

- **Domaine interne** : Ce domaine concerne principalement les reliefs littoraux du Dahra au nord, en particulier les formations géologiques autour de l'agglomération de Ténès. Il englobe les reliefs de la façade littoral.
- **Domaine externe** : Ce domaine couvre la majorité des reliefs du Dahra et de l'Ouarsenis, comprenant les reliefs montagneux, les formations de liaison et les piémonts. Les terrains de ce domaine sont diversifiés, souvent caractérisés par des nappes, et présentent une grande complexité géologique.
- **Domaine post-nappes** : Ce domaine correspond au bassin néogène du Chélif, aux subsides associés, ainsi qu'aux vallées littorales et intramontagnardes de la wilaya.

Le découpage ci-dessus offre un aperçu des principaux ensembles structuraux présents dans la wilaya de Chlef. Toutefois, une analyse géologique détaillée de ces ensembles permettrait une meilleure compréhension de la structuration géologique régionale. Cette approche nécessite une étude globale et simplifiée de la géologie, qui doit se baser sur un examen chronologique des affleurements, du plus ancien au plus récent. En effet, les terrains des trois domaines structuraux évoqués et des diverses aires géologiques affleurent côte à côte dans cette région.

Ainsi, cette analyse sera conduite sur la base d'une étude litho-stratigraphique approfondie des principaux affleurements de la wilaya, ainsi que d'un examen des déformations, qu'elles soient souples ou cassantes, de ces terrains.



Latitude : 36.17°N

Longitude : 01.33°E

Figure I.5 : carte géologique du Moyen Chélif. **Source :** Carte géologique de l'Algérie du nord au 1/500.000ème (Feuilles : Oran nord et Alger nord).

I.5 Etude climatologique :

Le climat joue un rôle essentiel dans le développement de la végétation ainsi que dans la production agricole. Dans la wilaya de Chlef, le climat est globalement de type méditerranéen, variant du subhumide sur la façade nord au semi-aride dans les zones centrales et méridionales. Il se caractérise par des étés chauds, secs et peu orageux, contrastant avec des hivers doux et humides. La région relève du bioclimat semi-aride à tempérament moyen.

Les précipitations y sont irrégulières, tant sur le plan temporel que spatial. On observe des disparités notables entre le littoral, qui reçoit en moyenne environ 600 mm de pluie par an, et la plaine située au sud de Chlef, où la moyenne annuelle avoisine les 380 mm. La saison

des pluies s'étend généralement sur neuf mois, de septembre à mai, avec un pic de précipitations observé entre février et mars.

I.5.1 Choix de la station de référence :

Les données climatiques de la région, où le périmètre est situé, sont recueillies par la station météorologique de l'ONM, également localisée dans cette région. (Les données climatiques illustrées ci-après sont collectées, auprès de l'ANRH Blida).

Tableau I.2 : Coordonnées de la station météorologique de Chlef.

Nom de la station	Code station	Coordonné X	Coordonné Y	Altitude
Chlef ANRH	012219	378,65	320,5	110

I.5.2 La pluviométrie :

Les pluviométries moyennes mensuelles sur une période d'observation de 26 ans (1996 à 2022) sont représentées sur le tableau suivant :

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P _{moy}	18,9	26,1	57,31	42,42	45,28	39,6	39,95	40,12	28,25	6,25	0,69	3,1	347,941

Source (ANRH Blida)

Tableau I.3 : Précipitation moyennes mensuelles (mm) période (1996/2022).

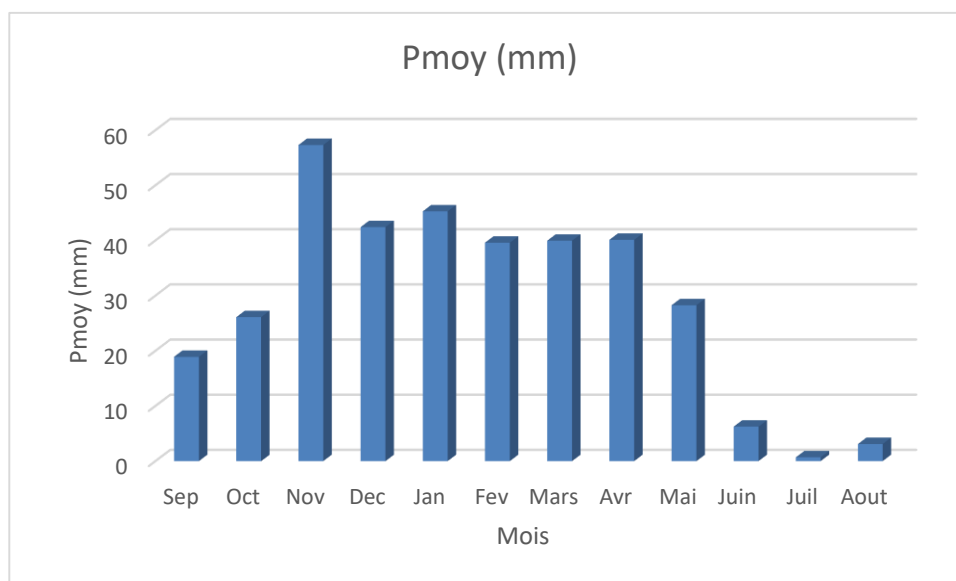


Figure 1.6 : Répartition des pluies moyenne mensuelles en mm source ANRH – Blida

I.5.3 La température :

La température de l'air constitue un facteur déterminant dans la gestion des apports en eau d'irrigation ainsi que dans le choix du type et du système d'irrigation à adopter. Elle influence directement la croissance des plantes et joue un rôle essentiel dans le processus d'évapotranspiration. Le drainage est lié directement à l'excès d'irrigation, les pertes par le réseau ou les doses de lessivages apportées en cas de présence de sel dans l'eau et /ou le sol. Au cours de l'année, les températures connaissent des variations significatives. En été, elles peuvent atteindre jusqu'à 37°C, tandis qu'en hiver, elles descendent en moyenne à 2°C. Les mois les plus froids sont janvier et février, avec des températures extrêmes enregistrées pouvant atteindre 0,8°C. On observe en moyenne 27 jours de gel par an, ainsi qu'environ 38 jours de sirocco, un vent chaud et sec qui accentue l'évaporation.

Tableau I.4 : Températures moyennes de l'air de la wilaya de Chlef.

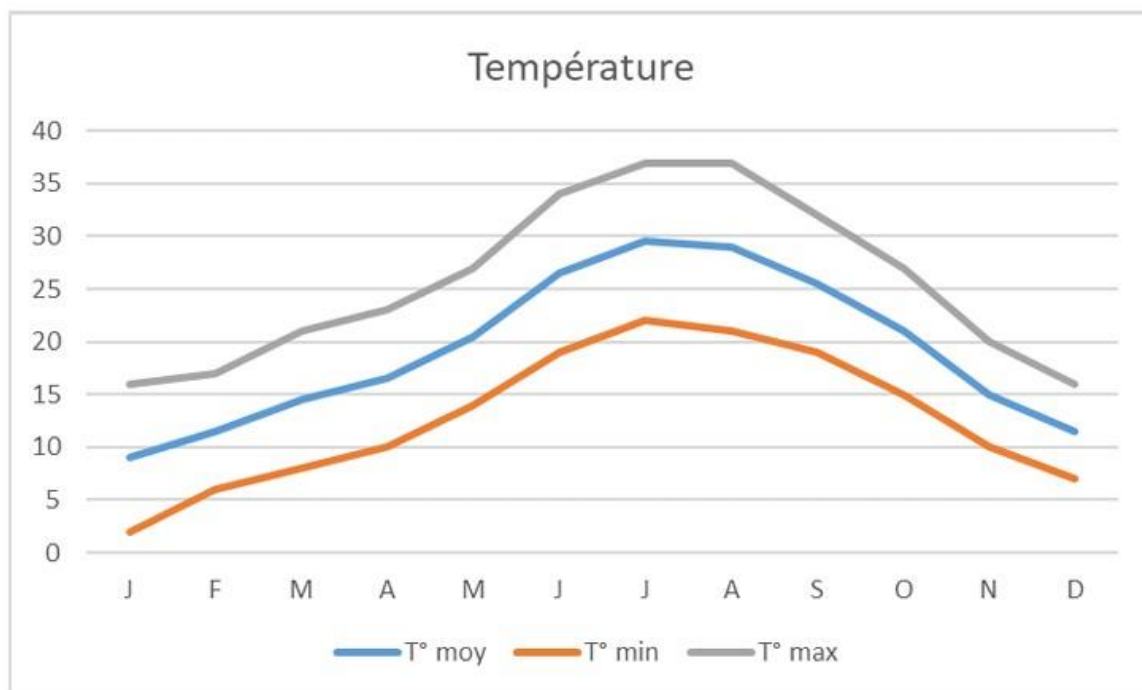


Figure I.7 : Evolution des températures mensuelles de l'air.source ANRH – Blida

I.5.4 Humidité relative de l'air :

Il s'agit du rapport entre la pression de vapeur réelle et la pression de vapeur saturante. La proximité de la mer, au nord, contribue à une hausse de l'humidité de l'air, notamment pendant la saison hivernale. L'évolution de l'humidité

relative de l'air sur la période allant de 1996 à 2005 est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.3: Températures moyennes de l'air de la wilaya de Chlef *Source ANRH – Blida*

Mois H(%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Humidité moy mensuelle	77,3	68,3	64,4	60,2	56,4	50	50	51,1	57	63,3	73,7	73,5	62

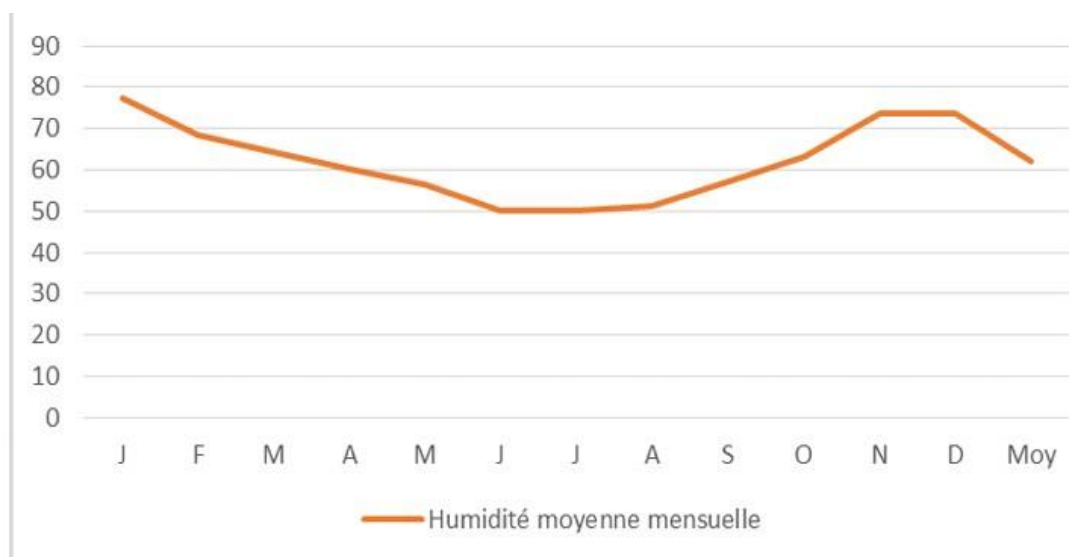


Figure I.8 : Evolution de l'humidité moyenne mensuelle en (%).

Figure I.8: Evolution de l'humidité moyenne mensuelle en (%). *Source ANRH – Blida*

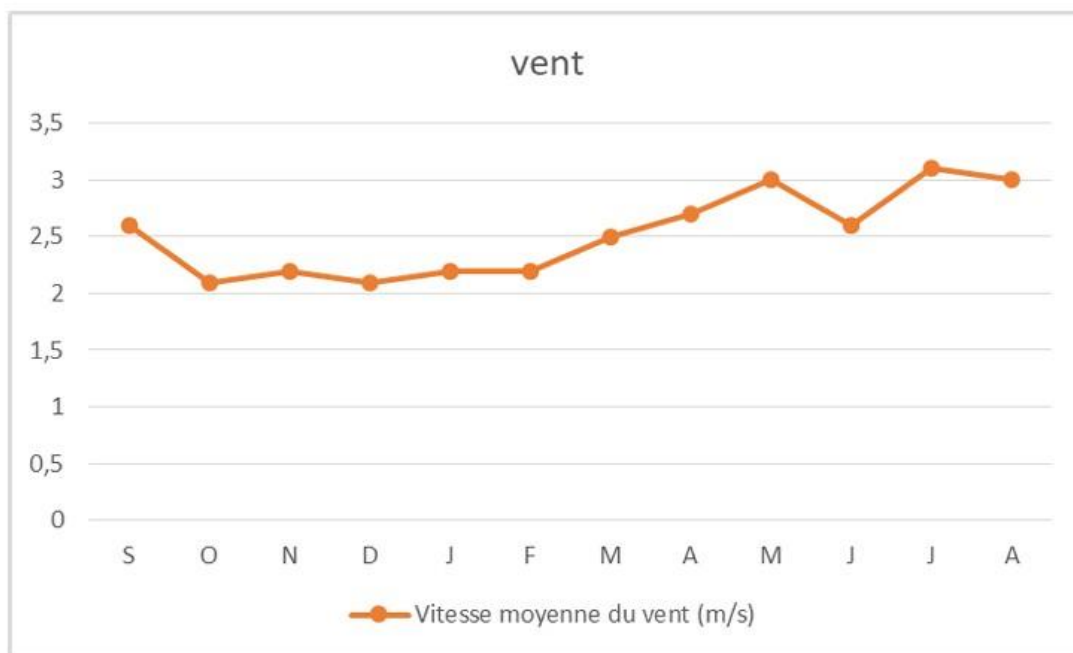
I.5.5 Le vent :

Le vent constitue l'un des éléments climatiques les plus importants, car il peut provoquer un stress hydrique chez les cultures. En période de sécheresse, les vents forts intensifient la transpiration foliaire des plantes et accélèrent l'évaporation de l'eau contenue dans le

Tableau I.6 : La répartition mensuelle des vitesses des vents (m/s).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
Station													
Vitesse moyenne du vent (m/s)	2.6	2.1	2.2	2.1	2.2	2.2	2.5	2.7	3	2.6	3.1	3	2.5

Source ANRH – Blida

**Figure I.9 :** Les vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s).

- La vitesse du vent varie au cours de l'année. Elle atteint un maximum de 3,1 m/s au mois de juillet
- La vitesse minimale, de 2,1 m/s, est enregistrée en octobre et en décembre.

I.5.6 Insolation :

L'insolation, également appelée rayonnement solaire global, correspond à la durée pendant laquelle le soleil éclaire la surface du sol. Elle est influencée par plusieurs facteurs, notamment la latitude, la saison, l'orientation géographique par rapport au soleil, ainsi que le degré de couverture nuageuse.

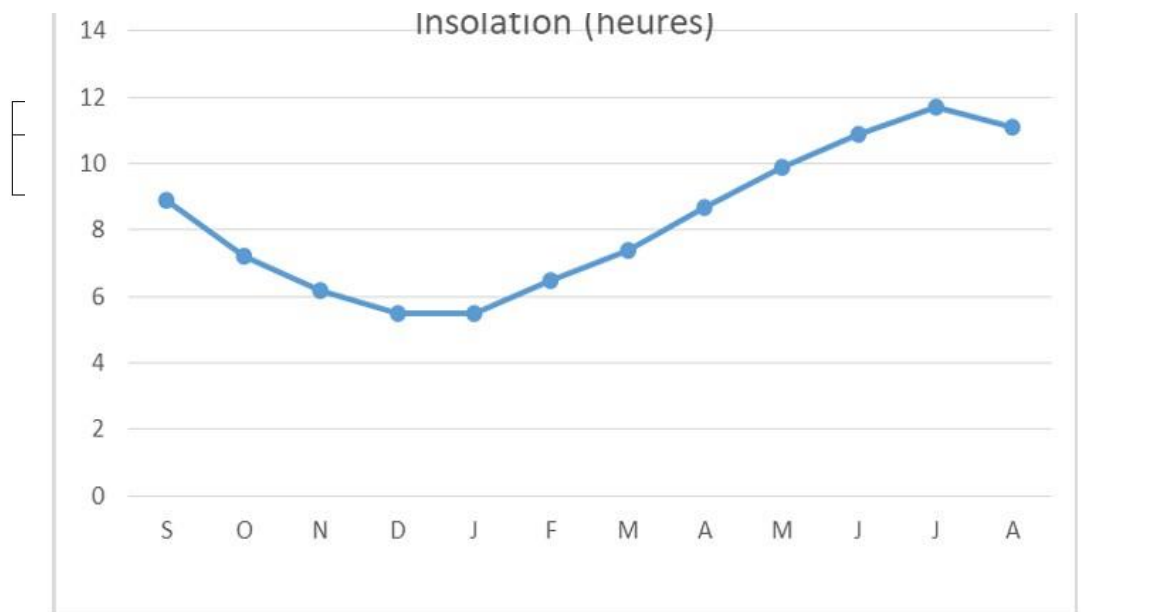


Figure I.10 : Variation de l'insolation moyenne mensuelle en heures.

I.6 Calcul des indices Agro-météorologiques :

Pour caractériser le type de climat ainsi que l'interaction des différentes variables climatiques sur les plantes, deux facteurs majeurs sont à considérer : la pluviométrie et la température. Dans le cadre de notre étude, trois indices climatiques sont pris en compte.

I.6.1 – Indice d'aridité de Martonne :

L'indice d'aridité de Martonne, noté **IA**, permet d'évaluer le degré d'aridité d'une région et, par conséquent, la nécessité d'un recours à l'irrigation en fonction du climat. Il est calculé selon la formule suivante:

$$IA = \frac{P}{T+10} \quad \text{I.2}$$

Avec:

- **IA**: Indice d'aridité de Martonne.
- **P** : Précipitation moyenne annuelle (en mm).
- **T** : Température moyenne annuelle (en °C).

Tableau I.8 : Classification du climat selon l'indice d'aridité de Martonne.

Valeurs de I	Type de climat	Irrigation
$I < 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent Indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Dans notre cas, nous avons :

$P = 347,9 \text{ mm/an}$

$T = 19,16^\circ\text{C}$

On aura :

$IA = 11,93$

Alors, la région d'Oued Sly à un climat sec et l'irrigation est souvent indispensable.

I.6.2 – Indice bioclimatique d'Emberger :

La formule et le diagramme bioclimatique d'Emberger ont pour objectif de déterminer l'étage bioclimatique d'une région. Le calcul repose sur le **coefficient ombrothermique d'Emberger**, noté **Q**, et s'exprime par la relation suivante :

$$Q = \frac{1000}{\left[\frac{(M+m) \times (M-m)}{2} \right]} = \frac{(2000 \times P)}{(M^2 - m^2)} \quad \text{I.3}$$

Avec:

- **Q**: Coefficient ombrothermique d'Emberger.
- **P** : Précipitation moyenne annuelle (en mm).
- **M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (en Kelvin).
- **m** : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid (en Kelvin).

Dans notre cas :

$$M = 273,15 + 37 = 310,15 \text{ K}$$

$$m = 273,15 + 2 = 275,15 \text{ K}$$

En remplaçant dans la formule, on obtient :

$$Q = \frac{2000 \times 347,9}{(310,15)^2 - (275,15)^2} = 36,5$$

Le diagramme bioclimatique d'Emberger est représenté dans la figure suivante

:

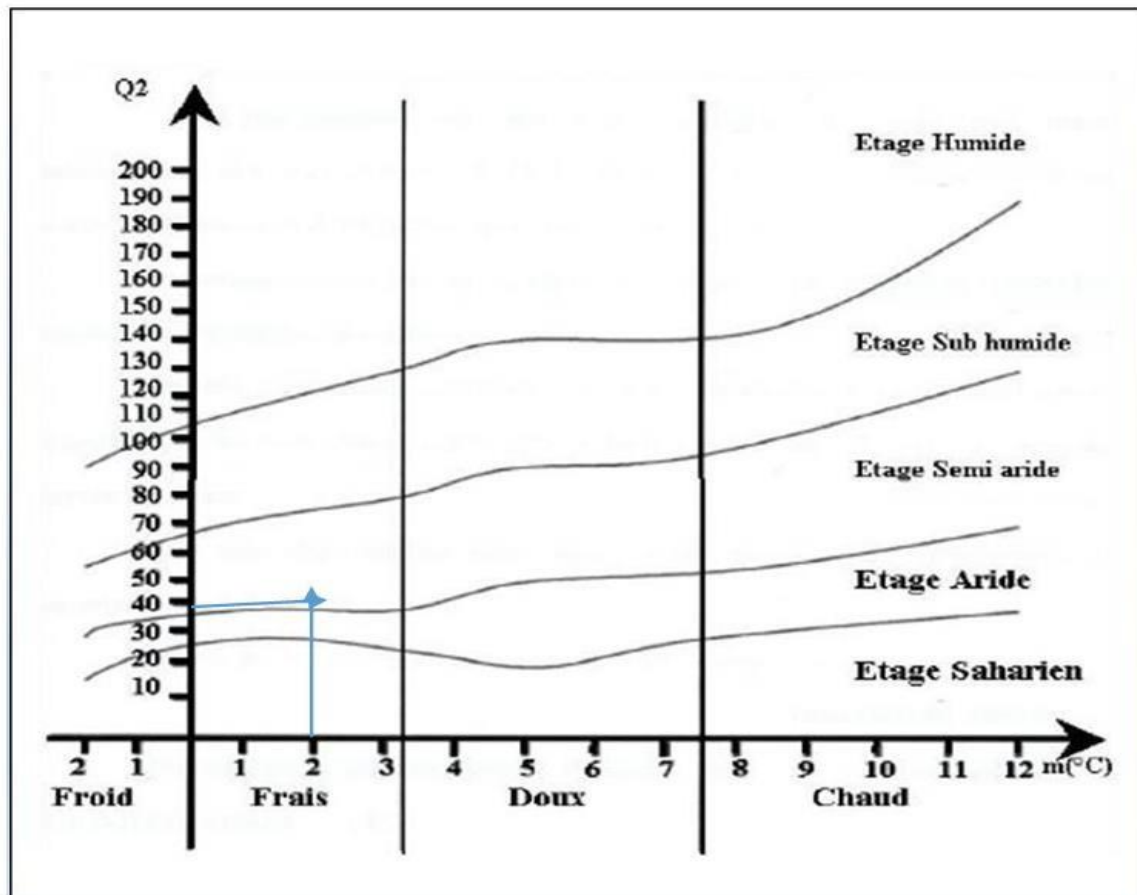


Figure I.11 : le digramme bioclimatique d'Emberger.

Figure I.11 : le digramme bioclimatique d'emberger.

D'après le diagramme bioclimatique d'Emberger, et en utilisant la valeur calculée de Q , ainsi que la température moyenne minimale du mois le plus froid, il est possible de confirmer que notre périmètre se situe dans une zone à **climat semi-aride**, caractérisée par des **hivers frais**

I.6.3 Indice de Bagnols et Gaussen :

Le diagramme ombrothermique de Bagnols et Gaussen permet d'identifier les périodes de sécheresse au cours de l'année. Un mois est considéré comme sec lorsque la courbe des précipitations se trouve en dessous de celle des températures moyennes mensuelles.

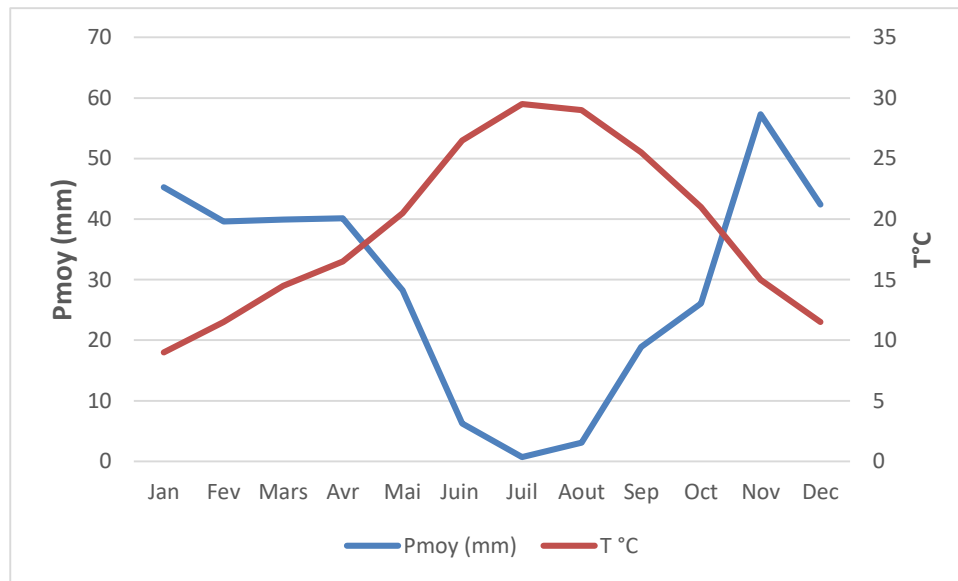


Figure 1.12 : Diagramme ombrothermique de Gaussen

Dans notre cas, la période sèche commence en mai et se termine à la mi- Septembre, La saison humide allant d'Octobre jusqu'à début Mai.

I.7 Etude socio-économique :

I.7.1 Potentialités hydrauliques :

La wilaya de Chlef est traversée par l'oued Cheliff d'Est en Ouest. Le débit de cet oued est très irrégulier et il est souvent sec en été. La région du Cheliff est une région semi-aride. Les précipitations sont irrégulières dans le temps et dans l'espace avec des zones extrêmes, le littoral et l'Ouarsenis avec une moyenne annuelle d'environ 600 mm et la plaine incluse entre ces deux (02) zones présente une moyenne annuelle d'environ 400 mm

L'alimentation en eau potable est assurée en grande partie par les eaux souterraines à partir de 155 forages ainsi que par les eaux de surface à partir du barrage de Sidi Yacoub.

La wilaya dispose de:

- 13 sources.
- 02 grands barrages (Oued Fodda et Sidi Yakoub).
- 03 petits barrages (Harchoun, Hadjadj et Dohra).
- 05 retenues collinaires.

Ces ressources sont destinées à :

- L'alimentation domestique des localités de la wilaya (56,72 Hm3).

- L'irrigation du périmètre du moyen Cheliff (119.94 Hm3).
- L'industrie (01.13 Hm3).

I.7.2 Population de la wilaya (2018) :

La population totale de la wilaya est estimée à 1 268 212 habitants en 2018, soit une densité de 303 habitants/Km². (Monographie wilaya de Chlef, 2018)

I.7.3 La population de la région :

La population totale de la commune d'Oued Sly est à 47248, avec une densité qui dépasse les 508,8 habitant/Km².

I.7.4 Potentialités agricoles :

La wilaya de Chlef est caractérisée par une vocation agricole portée par sa situation sur la plaine du moyen Cheliff et l'existence de ressources hydriques importantes (barrages d'Oued Fodda et Sidi Yakoub).

- Superficie agricole totale : de 262 511 ha, soit 64,39% de la superficie totale de la wilaya.
- Superficie agricole utile : de 203 230 ha, soit 77% de la superficie agricole totale.
- La superficies irriguée: 23,379 ha.
- Les pâturages et parcours : 25,714 ha.
- Les terres improductives: 33,567 ha.

(Monographies wilaya de Chlef, 2018).

Conclusion:

En conclusion, ce chapitre a permis de présenter de manière générale la zone d'étude, dans le but de mieux cerner les caractéristiques du périmètre concerné. Nous avons tout d'abord situé géographiquement la zone, avant d'aborder ses principales caractéristiques, notamment climatiques. Le climat y est de type semi-aride, marqué par des hivers frais et des étés chauds et secs, ce qui rend l'irrigation souvent indispensable pour le développement des cultures. La répartition des précipitations au cours de l'année montre une période humide s'étendant d'octobre à mai, et une période sèche allant de mai à octobre. Cette distinction climatique joue un rôle fondamental dans le choix des cultures adaptées ainsi que dans la planification des périodes d'irrigation ainsi que les périodes de drainages.

Chapitre II :

Ressources sol et eau

II. Introduction :

Lorsqu'on projette la mise en place d'un système d'irrigation et d'un système de drainage agricole, il est essentiel de prendre en compte les ressources en eau ainsi que la qualité du sol. Cette démarche implique une analyse approfondie de la structure et de la texture du sol, des caractéristiques de l'eau d'irrigation, ainsi que de la salinité du sol. Ces facteurs influencent directement le choix des cultures adaptées et le système d'irrigation à mettre en œuvre, contribuant ainsi à maximiser les rendements agricoles.

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les propriétés physiques du sol dans la zone d'étude, ainsi que les caractéristiques de l'eau destinée à l'irrigation dans la région de l'Oued Sly.

II.1 – Ressources en sol :

La pédologie est la science qui étudie les caractéristiques des sols, et elle constitue une étape essentielle dans tout projet d'aménagement agricole. Les propriétés des sols et leur distribution géographique influencent fortement le choix des cultures à développer.

La prospection pédologique réalisée dans notre périmètre d'étude (Moyen Cheliff-Oued Sly) a permis de mettre en évidence deux principales classes de sols, selon la classification française (CPCS, France 1967) :

- Classe des sols peu évolués.
- Classe des sols calcimagnésiques.

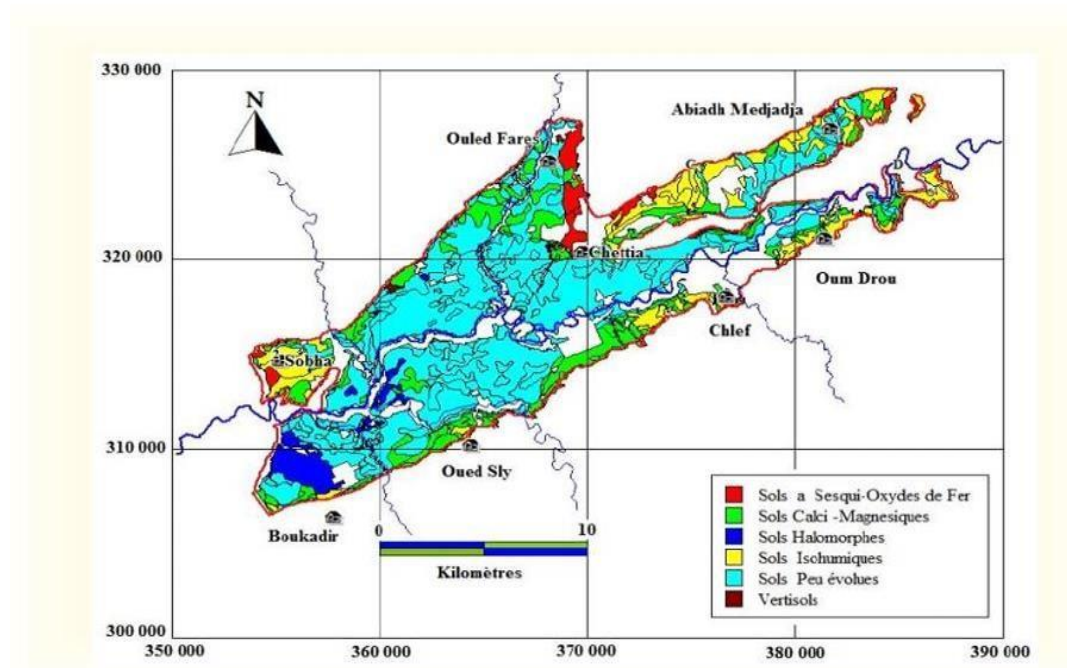


Figure II.1 : La carte pédologique de la zone d'étude du Moyen Chélif

(Source : ANRH Blida).

L'échelle : (1/10000)

II.1.1 – Classe des sols Calcimagnésiques :

Les sols calcimagnésiques sont les plus répandus dans le périmètre étudié. Ils sont riches en carbonates de calcium (Ca) et de magnésium (Mg), et couvrent la majeure partie de la zone d'étude. Ces sols sont répartis en deux grands groupes.

A) Profil N° 1 :

Caractéristiques morphologiques :

- Classe : Sols Calcimagnésiques.
- Sous-classe : Sols carbonatés.
- Groupe : Sols rendzines o Sous-groupe : Modal.
- Famille: Peu épais.
- Situation: Sud-est du périmètre.
- Ponte: 1-2 % (orientation Sud-Nord).
- Occupation du sol: Céréales.

II.1.2 – Analyses physico-chimiques des sols :

L'analyse physico-chimique des sols permet d'étudier les propriétés physiques et chimiques des sols, en particulier la granulométrie, la matière organique, les réserves minérales, le complexe absorbant et la solution du sol.

Les résultats des analyses physico-chimiques réalisées dans la zone du périmètre du Moyen Cheliff ont mis en évidence diverses caractéristiques le long de la plaine, comme détaillé

Tableau II.1 : Résultats des analyses physico-chimiques du Moyen Chélif.

Horizons		H1	H2	H3
Profondeur de prélèvement des échantillons (cm)		0-35	35-80	80-120
Granulométrie	Argile %	40,26	40,22	31,29
	Limon %	46,53	44,30	46,83
	Sable %	10,34	12,03	24,31
Matière organique	Matière organique %	1,28	0,91	2,36
	Calcium Ca (meq/100g)	3,99	2,82	1,80
	Sodium Na (meq/100g)	6,56	6,05	5,45
	Magnésium Mg (meq/100g)	1,82	1,38	0,80
Solution de sol	PH	7,85	7,87	8,12
	CEC (meq/100g)	19,98	18,32	17,13
Réserves minérales	CaCO ₃ TOTAL %	18,29	19,67	21,35
	HCO ₃ (meq/100g)	0,189	0,188	0,187

Source : ONID Chlef

Dans les tableaux suivants :

II.1.2.1 – Analyse de la texture des sols :

L'analyse de la texture du sol est une étape essentielle dans la planification de la gestion agricole. Elle permet de déterminer les types de cultures les mieux adaptés à la zone d'étude et de calculer avec précision les besoins en irrigation. La texture du sol est définie par la proportion relative de sable, de limon et d'argile qu'il contient. Pour établir cette classification, on utilise le triangle des textures de l'USDA, un outil de référence qui permet de situer le sol

dans une catégorie texturale donnée. Cette analyse permet ainsi d'adapter les pratiques agricoles aux spécificités du sol local, en tenant compte de sa capacité de rétention d'eau, de sa perméabilité et de sa facilité de travail.

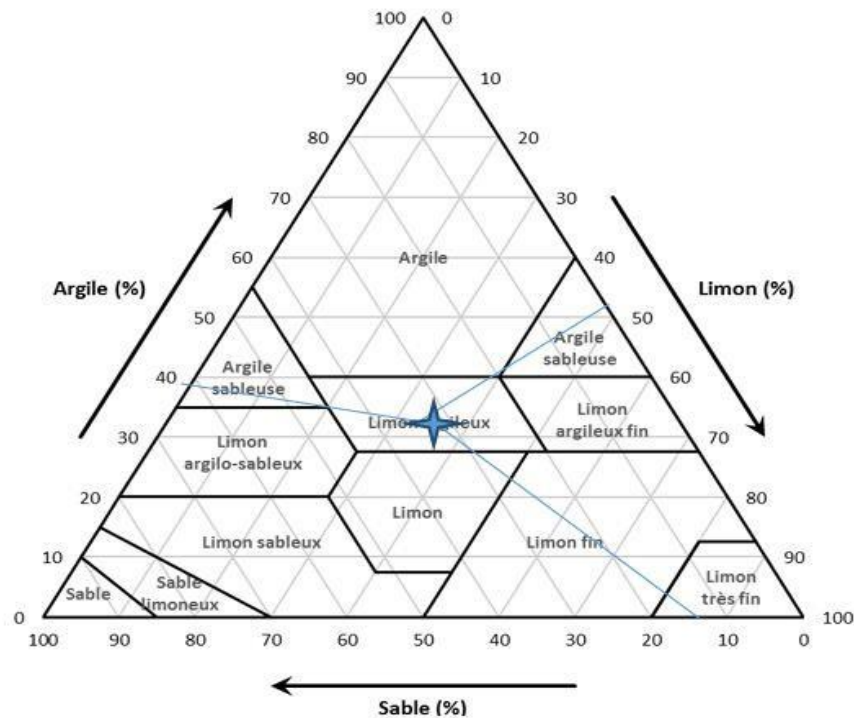


Figure II.2 : Classification du sol dans le triangle de texture (USDA).

D'après la projection sur le triangle des textures de sol, on peut dire que notre sol a une texture limono- argileuse.

II.1.3 Les paramètres hydrodynamiques des sols :

Tableau II.2 : Les caractéristiques hydrodynamiques des sols.

Paramètres	Valeur moyennes
Texture	limono- argileuse
Densité apparente	1,4
Perméabilité K en	7×10^{-6} m/s
Humidité au point de flétrissement H_{pf} (%)	15
Humidité à la capacité au champ H_{cc} (%)	27

Source ANRH – Blida

II.1.4 – Étude des aptitudes culturales :

L'étude des aptitudes culturales vise à évaluer la capacité des sols à soutenir la croissance des cultures. Cette evaluation repose sur plusieurs paramètres essentiels:

- La profondeur du sol.
- La texture, en fonction de la profondeur d'enracinement des cultures.
- La structure des horizons, liée à l'implantation racinaire.
- La salinité du sol.
- La teneur en calcaire.

À la lumière des caractéristiques observées, le sol de la zone d'étude ne présente pas de limitations majeures à la production agricole. Il offre ainsi une bonne aptitude pour diverses spéculations culturales, notamment :

- Céréaliculture et fourragères : blé, orge (grain et en vert), avoine.
- Maraîchage : pomme de terre, oignon, petit pois, ail, tomate, fève, haricot, courgette, et divers légumes d'hiver.
- Arboriculture: oranger, Olivier, vigne.

II.2 – Ressources en eau:

Avant d'engager un projet d'irrigation, il est essentiel d'évaluer la ressource en eau, tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

II.2.1 – Alimentation en eau du périmètre : le barrage d'Oum Drou :

La disponibilité d'une quantité suffisante d'eau, de bonne qualité, est une condition indispensable pour une irrigation efficace. Il est donc crucial d'effectuer des analyses préalables de cette eau afin d'évaluer ses propriétés chimiques et de détecter d'éventuels excès d'éléments susceptibles de nuire aux cultures. Ces analyses permettent de juger de la qualité de l'eau et de son aptitude à un usage agricole.

II.2.2 – Caractéristiques du barrage d'Oum Drou :

Le barrage d'Oum Drou est un barrage poids de type déversant, construit avec un radier en moellons d'appareil et un couronnement en pierre. Sa section transversale adopte une forme

de trapèzes superposés. Le côté amont du barrage présente un fruit uniforme de 1/20, assurant une stabilité hydraulique et structurelle.

Les principales caractéristiques techniques du barrage d'Oum Drou sont détaillées dans le tableau suivant :

Tableau II.3 : Caractéristiques du barrage d'Oum Drou.

Barrage	Oum Drou
Hauteur	12m
Largeur à la base	11.8 m
Largeur au couronnement	2,5 m
Niveau de plus hautes eaux	170 m
Niveau normale de retenue	158 m
Volume total de la retenue	5,7 hm ³
Volume utile de la retenue	2,3 hm ³

Source ANRH – Blida

II.2.3 Analyse de la qualité de l'eau d'irrigation :

Les résultats de l'analyse de la qualité de l'eau du barrage d'Oum Drou sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.4Résultats d'analyse de l'eau brute de l'oued chélif

Paramètre	Résultat
T° de l'eau	18,9 °C
Conductivité (CE)	1,1 mmhos/cm
Calcium (Ca ²⁺)	124,5 mg/l
Magnésium (Mg ²⁺)	91,63 mg/l
Sodium (Na ⁺)	167,15 mg/l
Potassium (k ⁺)	5,2 mg/l
Chlorures (Cl ⁻)	263,2 mg/l
Sulfates (SO ₄ ⁻²)	332,7 mg/l
Carbonates	248,2 mg/l
Nitrites (NO ₂)	0,5 mg/l
Ammonium	2 mg/l
pH à 25°C	7,9
MES	194,5 mg/l
DCO	46,9 mg/l
DBO	11,7 mg/l

Source : ANRH Blida

II.2.3.1 – Classification des eaux d'irrigation (Méthode de l'USSL, 1954) :

La classification de l'USSL (United States Salinity Laboratory, 1954) est l'une des méthodes les plus reconnues pour évaluer la qualité des eaux destinées à l'irrigation. Elle repose principalement sur la teneur en sels dissous, lesquels peuvent avoir des effets néfastes sur la croissance des plantes et sur la structure du sol à long terme. Deux paramètres fondamentaux sont utilisés dans cette classification:

- La salinité de l'eau, mesurée par la conductivité électrique (CE), exprimée en déciSiemens par mètre (dS/m). Une conductivité élevée indique une concentration importante en sels dissous.
- Le taux de sodium, évalué à travers le SAR (*Sodium Adsorption Ratio*), qui représente le rapport d'absorption du sodium par rapport au calcium et au magnésium présents dans l'eau. L'interprétation conjointe de ces deux paramètres permet de classer l'eau d'irrigation en fonction de son aptitude à l'usage agricole, en tenant compte des risques de salinisation et d'alcali-sodisation des sols.

Tableau II.5 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique. (USSSL, 1954).

CE 25°C < 0,25	Classe C1 : Eau de faible salinité utilisable pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols sans grand risque de salinisation du sol.
0,25 < CE25°C ≤ 0,75	Classe C2 : Eaux de salinité moyenne qualifiées de peu dangereux, convient pour les plantes modérément tolérantes aux sels
0,75 < CE25°C ≤ 2,25	Classe C3 : Eaux dont la salinité est qualifiée de forte, inutilisables pour les sols drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôles de salinité nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent pousser.
CE25°C > 2,25	Classe C4 : Eaux de salinité très forte, normalement Inutilisables pour l'irrigation. Exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols Très perméables avec un lessivage intense. Les plantes très tolérant Res aux sels pour rostre cultivées.

D'après le tableau de classification des eaux selon la conductivité électrique, l'eau analysée se classe dans la catégorie C3, ce qui correspond à une eau fortement salée. Cette classification indique un risque élevé de salinisation des sols, nécessitant une gestion rigoureuse de la salinité pour éviter des impacts négatifs sur les cultures et la structure du sol. Le SAR (*Sodium Adsorption Ratio*) représente le rapport entre la concentration en sodium (Na^+) et celle du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}) dans l'eau. Il est calculé à l'aide de la formule Suivante :

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

$$Na^+ \text{ (méq/l)} = 7,6 \text{ méq/l}$$

$$Ca^{++} \text{ (méq/l)} = 6,22 \text{ méq/l}$$

$$Mg^{++} \text{ (méq/l)} = 7,63 \text{ méq/l}$$

$$SAR = \frac{7,6}{\sqrt{\frac{6,22+7,63}{2}}} = 2,9$$

En utilisant le diagramme d'USSSL 1954 :

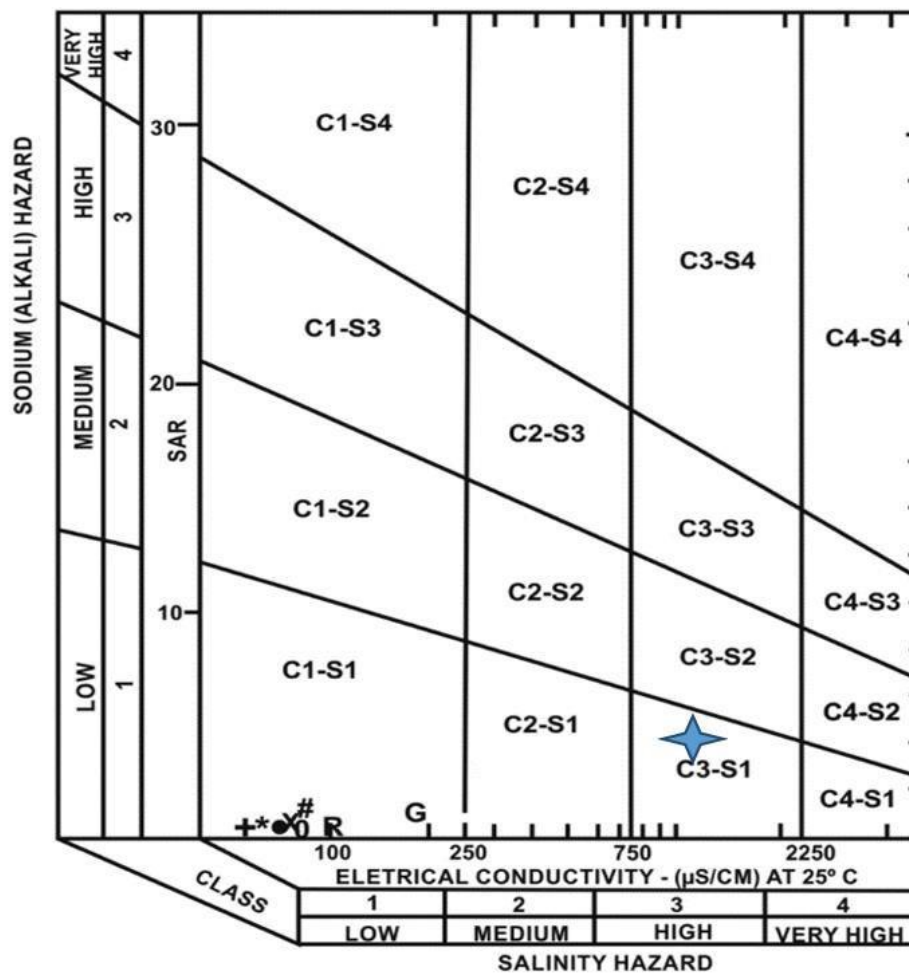


Figure II.3 : Diagramme USSSL 1954 de classification des eaux.

D'après le diagramme de classification USSL, les eaux du barrage d'Oum Drou appartiennent à la classe C3S1, ce qui correspond à une faible alcalinité (S1) combinée à une salinité relativement élevée (C3). Cette qualité d'eau présente un risque modéré à élevé de salinisation, mais peu de risque de sodisation. Toutefois, étant donné que les sols de la zone disposent d'un bon drainage, cette eau peut être utilisée sans danger majeur, à condition de l'employer avec des cultures tolérantes à la salinité et en appliquant des pratiques de gestion adaptées (comme le lessivage périodique du sol).

II.3 – Calcul de la pluie de projet :

L'apport pluviométrique constitue un facteur déterminant dans la planification et la gestion d'un projet d'irrigation durable. Il permet d'évaluer la quantité d'eau naturellement disponible pour les cultures et ainsi de réduire les besoins en irrigation artificielle, contribuant à une gestion rationnelle de la ressource et à la réduction des coûts.

II.3.1 – Choix de la station pluviométrique :

Pour la zone d'étude située dans la région de l'Oued Sly, les données pluviométriques sont relevées à partir de la station de Chlef, placée sous la gestion de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Chlef. Cette station est utilisée comme référence pour les calculs pluviométriques en raison de sa proximité et de la fiabilité de ses relevés.

Tableau II.6 : Caractéristiques de l'ANRH.

Nom station	Code station	Coordonné X (Geograph)	Coordonné Y (Geograph)	Altitude	Année d'observation	Nombre d'années observées
ANRH CHLEF	012219	378,65	320,5	110	1996 - 2022	26

Source : ANRH Blida

II.3.2 Données de précipitation :

Les données pluviométriques de l'ANRH de Blida est de la durée de 1996 - 2022 sont présentés dans l'annexe I. Cette série des pluies annuelles présente des caractéristiques statistiques suivantes :

Tableau II.7 : Caractéristiques de la série des pluies annuelles.

Paramètre	Résultat (mm)
Moyenne	348
Médiane	342
Ecart-type	81
Coefficient de variance	0,23
Pluie moyenne annuelle maximale	492
Pluie moyenne annuelle minimale	229

II.3.3 – Étude de l’homogénéité de la série pluviométrique : Test de Mann-Whitney :

Afin de vérifier l’homogénéité de la série pluviométrique, on applique le test non paramétrique de Mann-Whitney. Ce test permet d’évaluer la stabilité statistique de la série au cours du temps, en détectant d’éventuelles ruptures ou changements significatifs.

➤ **Methodologies:**

1. La série pluviométrique complète est divisée en deux sous séries, notées X et Y, de tailles respectives N_1 et N_2 , avec généralement $N_1 > N_2$.
2. On forme ensuite la série union ($X \cup Y$) en classant l’ensemble des données par ordre croissant.
3. Chaque valeur reçoit un rang en fonction de sa position dans la série ordonnée, tout en indiquant à quelle sous-série (X ou Y) elle appartient.
4. On calcule la somme des rangs W_x correspondant à la sous-série X (ou Y).

Condition d’homogénéité :

Selon Wilcoxon, la série est considérée comme homogène à un seuil de confiance de 95 %, si la somme des rangs W_x vérifie la condition suivante :

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

Où :

$$\square \quad W_x \quad \square \quad W_{\min} \quad W_{\min} \text{ et } W_{\max} \quad W_{\max} :$$

Limites inférieure et supérieure fixées selon la loi du test

(Souvent déterminées à l'aide de tables statistiques)

Cette méthode permet donc de valider la stabilité temporelle de la série pluviométrique utilisée

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

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

Tableau II.8 : Test de Mann-Withney.

Rang	Série X (mm)	Série Y (mm)	Trie (mm)	X U Y
1	350.5	492.1	229.1	X
2	396.4	507	252.2	X
3	271.2	403.5	254.2	Y
4	229.1	399.7	270.3	Y
5	368.7	289.3	271.2	X
6	275.8	315.2	275.8	X
7	347	318.9	289.3	Y
8	342.1	303.5	300.4	Y
9	252.2	565.3	301.6	X
10	378.8	300.4	303.5	Y
11	343.7	317.1	315.2	Y
12	301.6	270.3	317.1	Y
13	383.1	417.7	318.9	Y
14		254.2	342.1	X
15			343.7	X
16			347	X
17			350.5	X
18			368.7	X
19			378.8	X
20			383.1	X
21			396.4	X
22			399.7	Y
23			403.5	Y
24			417.7	Y
25			492.1	Y
26			507	Y
27			565.3	Y

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

Dans le cadre du dimensionnement du projet.

$W_x = 163, W_{\min} = 141.6 ; W_{\max} = 222.4$

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

La condition de Mann-whiteny est vérifiée, les pluies annuelles de la station Chlef sont donc homogènes.

II.3.4 – Ajustement des pluies annuelles :

L'ajustement statistique des précipitations annuelles constitue une étape essentielle dans l'analyse pluviométrique. Elle permet de corriger les séries chronologiques afin d'éliminer les effets des inhomogénéités éventuelles (changements de station, erreurs de mesures, conditions environnementales modifiées, etc.).

Dans cette étude, l'ajustement des données pluviométriques a été réalisé à l'aide du logiciel HYFRAN, en appliquant deux lois statistiques de référence :

- La loi normale (ou loi de Gauss)
- La loi log-normale (ou loi de Galton)

II.3.4.1 – Ajustement selon la loi normale (Gauss) :

La loi normale est fréquemment utilisée en sciences pour modéliser des phénomènes naturels, notamment lorsque les variations observées résultent d'une somme d'effets aléatoires indépendants. Elle est également très utilisée dans les tests statistiques et l'analyse des erreurs.

La forme mathématique de la loi normale est la suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} \quad \text{II.3}$$

Avec:

- ✓ U: variable réduite de Gauss

Cette loi permet d'évaluer la fréquence et la probabilité d'occurrence d'une certaine valeur de pluie annuelle.

II.3.4.2 – Ajustement selon la loi log-normale (Galton) :

La loi log-normale est adaptée à des phénomènes où les valeurs observées résultent de la multiplication d'un grand nombre de facteurs indépendants (effets multiplicatifs). Elle est souvent utilisée pour modéliser des variables strictement positives comme les débits, les précipitations ou les concentrations.

La formule de la loi log-normale s'exprime ainsi :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} \quad \text{II.5}$$

Avec :

$$U = a \log (x - x_0) + b \quad \text{II.6}$$

Le résultat d'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles par HYFRAN est donné par la figure suivante :

Le résultat de l'ajustement des pluies moyennes annuelles, obtenu via le logiciel HYFRAN, est présenté dans la figure suivante :

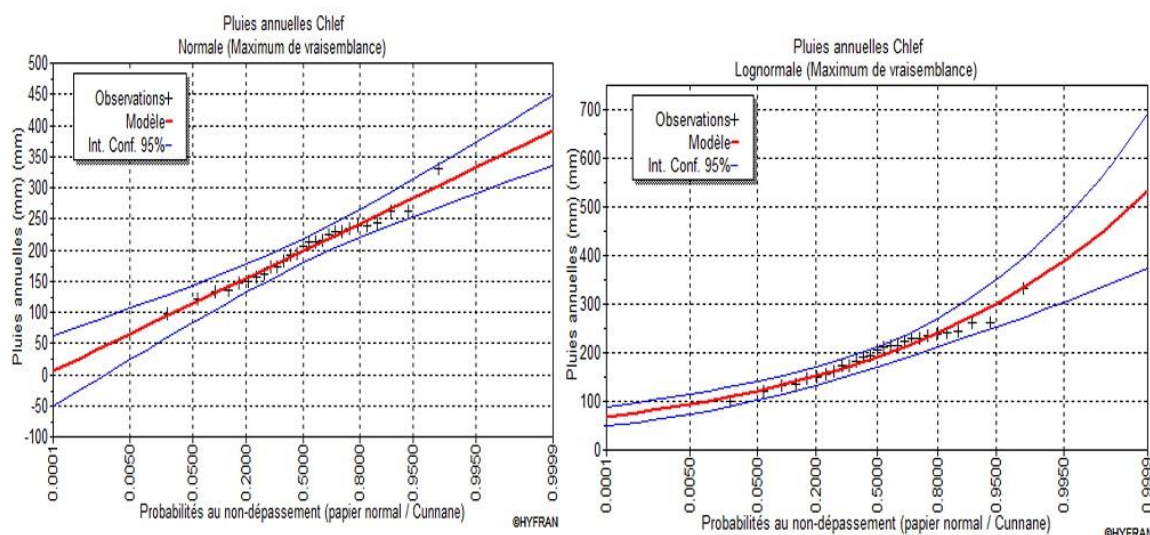


Figure II.5 : Ajustement des pluies annuelles par la loi normale et log-normale.

II.3.5 Test de fiabilité des ajustements :

Afin de choisir l'excellente loi d'ajustement pour les précipitations annuelles, il est indispensable que les deux ajustements soient validés. Notre étude a pour but d'utiliser le test

Tableau II.9 : les paramètres de test de KHI carré.

Paramètre	La loi normale	La loi log-normale
KHI carré χ^2 calcul	1,78	1,75
Probabilité $p(\chi^2)$	0,776	0,7
Degré de liberté	4	4

du KHI carré (χ^2) pour un risque de $\alpha=5\%$. Les résultats se trouvent sur le tableau suivant :

Le test de khi-carrée (χ^2) montre que les deux lois présentent une même adéquation car la valeur P (calculée χ^2) est supérieure à 5 %, On a opté pour la loi normale, puisque les valeurs du χ^2 carré calculées sont pratiquement les mêmes.

II.3.6 – Détermination de l'année de calcul :

La détermination de l'année de calcul permet d'estimer la pluviométrie moyenne mensuelle à une probabilité de 80%. Cette méthode est essentielle pour définir une pluviométrie représentative des années considérées comme typiques de la région, sur la base de données historiques fiables.

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique 80\% annuelle}}}{P_{\text{théorique 50\% annuelle}}} \quad \text{II.7}$$

Les résultats de l'ajustement par la loi normale est donné par le tableau suivant :

Tableau II.10 : Résultats de l'ajustement des pluies annuelles par la loi normal.

T	q	Xt	Intervalle de confiance
2	0,5	339	311-368
1,25	0,2	282	254-309

$$P_{\text{moy 80 \% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{282}{339} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times 0,83$$

Tableau II.11 : les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche.

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	aout
Pmoy (mm)	18,9	26,1	57,3	42,4	45,3	39,6	39,9	40,1	28,3	6,3	0,7	3,1
P80% (mm)	15,7	21,7	47,7	35,3	37,7	32,9	33,2	33,4	23,5	5,2	0,6	2,6

Les pluies moyennes mensuelles 80% sont calculées comme suit :

Conclusion :

Ce chapitre a permis d'examiner les ressources en sols et en eau, éléments clés pour l'aménagement hydro-agricole du périmètre. Sur le plan pédologique, les sols sont principalement calcimagnésiques, caractérisés par une réserve minérale et organique importante.

Leur texture limono-argileuse et leur bon drainage assurent des conditions optimales pour l'irrigation, sans aucune contrainte majeure. En ce qui concerne l'approvisionnement en eau, le barrage d'Oum Drou fournira l'eau nécessaire pour irriguer le périmètre, garantissant ainsi une source d'eau stable et fiable. Enfin, les aptitudes culturales des sols sont très favorables, offrant une grande polyvalence pour une variété de cultures agricoles

Chapitre III : Besoins en eau des cultures

III Introduction :

La détermination des besoins en eau d'un périmètre agricole constitue une étape fondamentale dans la planification de tout projet d'aménagement hydro-agricole. Ce chapitre est consacré à l'évaluation du volume total d'eau nécessaire pour satisfaire les besoins hydriques des cultures. Cette estimation prend en considération les conditions climatiques, les caractéristiques du sol, ainsi que la qualité de l'eau d'irrigation, telles qu'elles ont été abordées dans les chapitres précédents.

III.1 – Estimation des besoins hydriques pour l'irrigation :**III.1.1 – Détermination des besoins en eau d'irrigation :**

Le bilan hydrique d'une culture correspond à la différence entre ses besoins en eau, qui dépendent des conditions climatiques et des caractéristiques physiologiques de la plante (évapotranspiration maximale, ETM), et les apports naturels tels que les précipitations efficaces.

Ce bilan est exprimé par la formule suivante :

$$Bi = ETMi - (Peffi + Rsi-1)$$

Où :

- **Bi** : Bilan hydrique à la période *i*
- **ETMi** : Évapotranspiration maximale à la période *i*
- **Peffi** : Précipitations efficaces durant la même période
- **Rsi-1** : Réserve utile en eau du sol à la fin de la période précédente

L'évapotranspiration maximale est déterminée par :

$$ETM = ET_0 \times Kc$$

avec:

- **ET₀** : Évapotranspiration de référence (mm)
- **Kc** : Coefficient cultural spécifique à l'espèce cultivée Un besoin d'irrigation apparaît lorsque le bilan hydrique est positif (**Bi > 0**), traduisant un déficit que les précipitations ne suffisent pas à combler.

III.1.2 – Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET₀) :

L'évapotranspiration de référence (ET₀) représente la quantité d'eau transférée de la surface terrestre vers l'atmosphère, à travers les processus d'évaporation (depuis le sol) et de transpiration (par les plantes). Elle constitue une base pour évaluer les besoins hydriques des cultures. Deux approches principales permettent d'estimer ET₀ : la méthode directe et la méthode indirecte.

III.1.2.1 – Méthode directe :

L'évapotranspiration peut être mesurée à l'aide d'un lysimètre, un dispositif installé en sous-sol, constitué d'un réservoir à parois verticales, ouvert à la surface et rempli partiellement de sol sur une profondeur variable, généralement comprise entre 0,5 et 2 mètres. Ce sol, ainsi que la végétation cultivée, sont choisis pour reproduire le plus fidèlement possible les conditions environnementales du terrain naturel, notamment en termes d'humidité et de couverture végétale. Un système de drainage est intégré à la base du lysimètre afin de collecter et mesurer les pertes d'eau par percolation ou drainage. L'évaporation à partir de la surface du sol, ainsi que la transpiration des plantes, sont déterminées en analysant les variations du stock d'eau dans le dispositif. Pour affiner les mesures, les précipitations

III.1.2.2 – Méthodes indirectes :

Les méthodes indirectes permettent de calculer l'évapotranspiration de référence (ET₀) à partir de formules empiriques basées sur des données climatiques telles que la température, l'humidité relative, la durée d'ensoleillement et la vitesse du vent. Dans le cadre de ce travail, l'estimation de l'ET₀ a été réalisée à l'aide de la formule de Penman-Monteith, dans sa version modifiée recommandée par la FAO.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad \text{III.2}$$

Cette méthode est reconnue pour son exactitude, car elle intègre de manière complète les principales variables météorologiques influençant le processus d'évapotranspiration. Pour l'application de cette méthode, nous avons utilisé le logiciel CROPWAT, développé par la FAO. Ce logiciel permet de calculer l'évapotranspiration de référence à partir des données climatiques suivantes, saisies mensuellement :

- Température : Températures minimales et maximales mensuelles (en °C)
- Humidité relative : Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air (%)
- Insolation : Nombre moyen d'heures d'ensoleillement par jour
- Vitesse du vent : Moyenne mensuelle exprimée en mètres par seconde (m/s)

Ces données ont permis de générer des valeurs précises de l' ET_0 , constituant une base essentielle pour l'évaluation des besoins en eau des cultures du périmètre étudié. Enregistrées par les pluviomètres situés à proximité sont également prises en compte dans le calcul du bilan hydrique.

Tableau III.1 : Calcul de l'Evapotranspiration de référence par le logiciel CROPWAT.

Mois	Temp Moy (°C)	Humidité %	Vent (m/s)	Insolation (heures)	Ray (MJ/m ² /jour)	ET ₀ (mm/mois)
Janvier	9.0	77	2.2	6.8	10.5	37.09
Février	11.5	68	2.2	7.5	13.5	53.21
Mars	14.5	64	2.5	8.2	17.4	90.58
Avril	16.5	60	2.7	9.2	21.6	117.88
Mai	20.5	56	3.0	9.7	23.9	157.58
Juin	26.5	50	2.6	10.6	25.7	191.72
Juillet	29.5	50	2.5	9.9	24.3	207.84
Août	29.0	51	2.5	9.3	22.2	194.16
Septembre	25.5	57	2.5	8.5	18.7	147.38
Octobre	20.0	63	2.0	7.6	14.5	95.83
Novembre	15.0	73	2.2	7.1	11.2	55.81
Décembre	11.5	73	2.1	6.5	9.5	42.23

Selon les résultats obtenus, l'évapotranspiration de référence (ET_0) atteint son maximum au mois de juillet, avec une valeur de 207,84 mm. Cette valeur élevée reflète une demande hydrique importante des cultures durant cette période, en raison des conditions climatiques estivales marquées par des températures élevées et une forte intensité solaire. Cela confirme que les besoins en eau des cultures augmentent sensiblement pendant les mois d'été.

III.1.3 – Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM) :

L'évapotranspiration maximale (ETM) représente la quantité maximale d'eau évaporée par une culture à un stade végétatif donné, sous des conditions climatiques spécifiques, et est ajustée en fonction de l'ET₀. Elle tient compte du couvert végétal et est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$ETM = K_c \times ET_0$$

où:

- K_c : Coefficient culturel, qui varie en fonction de la culture et de son stade de développement.
- ET₀: Évapotranspiration de référence.

III.1.4 – Estimation des coefficients cultureux (K_c) :

Le coefficient K_c varie au cours du développement de la culture, présentant des valeurs différentes selon le stade de croissance de la plante. Il est influencé par des facteurs tels que la vitesse du vent et l'humidité relative de l'air. Dans notre étude, les coefficients ont été estimés en tenant compte de ces paramètres spécifiques à la zone étudiée.

III.1.5 – Calcul de la pluie efficace (P_{eff}) :

La pluie efficace représente la fraction des pluies totales réellement utilisée par la culture. Elle dépend des caractéristiques du sol ainsi que des conditions climatiques. Différentes méthodes permettent de la calculer. Dans notre étude, nous avons adopté la méthode du pourcentage fixe, exprimée par la formule suivante :

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

où:

- A : Coefficient de pertes, fixé à 0,7.
- Pluies totales : Les précipitations mensuelles totales.

Tableau III.2 Calcul des pluies efficaces

P_{moy80%} (mm/mois)	15,7	21,7	47,7	35,3	37,7	32,9	33,2	33,4	23,5	5,2	0,6	2,6
P_{eff} (mm/mois)	10.99	15.19	33.39	24.71	26.39	23.03	23.24	23.38	16.45	3.64	0	0

Lorsque les précipitations efficaces sont inférieures à 3 mm, elles sont considérées comme négligeables et donc prises comme nulles.

III.1.6 – Calcul de la réserve en eau du sol :

La réserve en eau du sol correspond à la quantité d'eau contenue dans la zone explorée par les racines des plantes. Elle dépend de la capacité du sol à retenir l'eau ainsi que de la profondeur d'enracinement des cultures. La réserve en eau (RS_i) pour la période *i* est calculée selon la formule suivante :

$$RS_i = K \times RFU(i-1)$$

où:

- **RFU**: Réserve utile en eau
- **K** : Coefficient d'ajustement, dont la valeur varie en fonction des conditions spécifiques.

La réserve utile en eau (RFU) est déterminée par la formule suivante :

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

où:

- **Y** : Degré de tarissement, estimé à 2/3.
- **Da** : Densité apparente du sol, fixée à 1,4 g/cm³.
- **Z** : Profondeur d'enracinement (en mm).
- **H_{cc}** : Humidité à la capacité au champ (27%).
- **H_{pf}** : Humidité au point de flétrissement (15%).

Le coefficient **K** varie selon les conditions climatiques et la nature de la culture. Il prend les valeurs suivantes:

- **1**: Pour les mois humides,

- 1/2: Pour l'arboriculture,
- 1/3 : Pour la céréaculture et le maraîchage,
- 0: Pour les mois secs.

III.2 – Choix des cultures:

Le périmètre du moyen Cheliff est caractérisé par une grande diversité de cultures, qui sont non seulement destinées à la consommation locale mais aussi à l'exportation. Cette région est particulièrement renommée pour ses cultures maraîchères et arboricoles, notamment la production d'agrumes. Les cultures choisies pour notre étude dans cette zone sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.3: Surfaces en (ha) et (%) des différents types de cultures pour le périmètre du moyen Chélif

Type de culture	Les cultures	Surface occupé en %	Surface occupe en ha
La céréaliculture :	. Blé . Orge grain . Orge en vert	25%	100ha
Les cultures fourragères :	. Avoine	15%	20ha
Le maraîchage :	Le maraîchage : - - Pomme de terre (S) - Pomme de terre (AS) - Oignon - Oignon vert - Petit pois - Ail - Tomate - Fèves - Haricot - Courgette	30%	70ha
L'arboriculture :	- Orangers	30%	10ha
Total :		100%	200ha

La rotation des cultures consiste à alterner, sur une même parcelle, la culture de différentes familles de plantes selon un cycle de saisons agricoles qui se répète dans le temps. Ce cycle varie d'une parcelle à l'autre au sein de l'exploitation. L'organisation globale de ces cycles sur l'ensemble des parcelles constitue l'assolement.

Assolement 1	Assolement 2
Blé	Blé Orge en vert
Avoine	Orge graine
Orge	Fèves
Ail	Tomate
Oignon vert	Tomate
Pomme de terre (S)	Haricot
Pomme de terre (AS)	Haricot
Tomate	Oignon
Courgette	Petits pois
Hors assolement : Orangers	Hors assolement : Orangers

Le cycle végétatif d'une plante regroupe toutes les phases de croissance qui se répètent chaque année, y compris la période de repos. Toutefois, en viticulture, ce terme désigne souvent

[illegible]

uniquement la période d'activité de la vigne, excluant ainsi la phase de dormance hivernale.

III.3 Calcul des besoins en eau d'irrigation :

Tableau III.6 : Besoins en eau de vie.

mois	Eto	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Th	RSI-1	Kc	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99						
Oct	95,83	21,7	15,19						
Nov	55,81	47,7	33,39	0,30	33,768	0	0,40	22,3	
Déc	42,23	35,3	24,71	0,50	56,28	0	0,70	29,6	4,9
Jan	37,09	37,7	26,39	0,50	56,28	0	0,85	31,5	5,1
Fév	53,21	32,9	23,03	0,60	67,536	0	0,95	50,5	27,5
Mars	90,58	33,2	23,24	0,60	67,536	22,51	1,05	95,1	49,4
Avril	117,88	33,4	23,38	0,60	67,536	22,51	0,95	112,0	66,1
Mai	157,58	23,5	16,45	0,60	67,536	22,51	0,75	118,2	79,2
Juin	191,72	5,2	3,64	0,60	67,536	22,51	0,45	86,3	60,1
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

III.3.1 Besoins des Céréales

Tableau III.7 Besoins en eau de l'orge

Tableau III.7 : Besoins en eau de l'orge.

mois	Eto	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	Kc	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99						
Oct	95,83	21,7	15,19						
Nov	55,81	47,7	33,39	0,30	33,77	0,00	0,35	19,5	
Déc	42,23	35,3	24,71	0,50	56,28	11,26	0,65	27,4	
Jan	37,09	37,7	26,39	0,50	56,28	0,00	0,80	29,7	3,3
Févr	53,21	32,9	23,03	0,60	67,54	0,00	0,95	50,5	27,5
Mars	90,58	33,2	23,24	0,60	67,54	22,51	1,00	90,6	44,8
Avril	117,88	33,4	23,38	0,60	67,54	22,51	0,85	100,2	54,3
Mai	157,58	23,5	16,45	0,60	67,54	22,51	0,75	118,2	79,2
Juin	191,72	5,2	3,64	0,60	67,54	22,51	0,40	76,7	50,5
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.8 : Besoins en eau de l'avoine.

mois	Eto	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	Kc	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99						
Oct	95,83	21,7	15,19						
Nov	55,81	47,7	33,39	0,30	33,77	0,00	0,45	25,1	
Déc	42,23	35,3	24,71	0,50	56,28	11,26	0,75	31,7	
Jan	37,09	37,7	26,39	0,50	56,28	18,76	0,85	31,5	
Fév	53,21	32,9	23,03	0,80	90,05	18,76	0,95	50,5	8,8
Mars	90,58	33,2	23,24	0,80	90,05	30,02	1,10	99,6	46,4
Avril	117,88	33,4	23,38	0,80	90,05	30,02	0,95	112,0	58,6
Mai	157,58	23,5	16,45	0,80	90,05	0,00	0,85	133,9	117,5
Juin	191,72	5,2	3,64	0,80	90,05	0,00	0,45	86,3	82,6
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.9 : Besoins en eau de pomme de terre AS.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99	0,20	22,51	0,00	0,50	73,7	62,7
Oct	95,83	21,7	15,19	0,40	45,02	0,00	0,70	67,1	51,9
Nov	55,81	47,7	33,39	0,50	56,28	15,01	1,00	55,8	7,4
Déc	42,23	35,3	24,71	0,50	56,28	18,76	0,75	31,7	0,0
Jan	37,09	37,7	26,39						
Fév	53,21	32,9	23,03						
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,88	33,4	23,38						
Mai	157,58	23,5	16,45						
Juin	191,72	5,2	3,64						
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.10 : Besoins en eau de la tomate.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99						
Oct	95,83	21,7	15,19						
Nov	55,81	47,7	33,39		0,00				
Déc	42,23	35,3	24,71		0,00				
Jan	37,09	37,7	26,39		0,00				
Fév	53,21	32,9	23,03		0,00				
Mars	90,58	33,2	23,24	0,40	45,02	15,01	0,50	45,3	7,0
Avril	117,88	33,4	23,38	1,25	140,70	15,01	0,85	100,2	61,8
Mai	157,58	23,5	16,45	1,25	140,70	0,00	1,15	181,2	164,8
Juin	191,72	5,2	3,64	1,25	140,70	0,00	0,85	163,0	159,3
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.11 : Besoins en eau de petit pois.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99					0	0
Oct	95,83	21,7	15,19	0,25	28,14	0,00	0,5	47,915	26,215
Nov	55,81	47,7	33,39	0,5	56,28	9,38	0,7	39,067	0
Déc	42,23	35,3	24,71	0,5	56,28	0,00	1	42,23	6,93
Jan	37,09	37,7	26,39	0,5	56,28	18,76	0,75	27,8175	0
Fév	53,21	32,9	23,03						
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,88	33,4	23,38						
Mai	157,58	23,5	16,45						
Juin	191,72	5,2	3,64						
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.12 : Besoins en eau de l'ail.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99	0,5	56,28	0,00	0,5	73,69	57,99
Oct	95,83	21,7	15,19	0,5	56,28	0,00	0,75	71,8725	50,1725
Nov	55,81	47,7	33,39	0,5	56,28	18,76	0,95	53,0195	-13,44
Déc	42,23	35,3	24,71	0,5	56,28	18,76	0,9	38,007	0
Jan	37,09	37,7	26,39						
Fév	53,21	32,9	23,03						
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,88	33,4	23,38						
Mai	157,58	23,5	16,45						
Juin	191,72	5,2	3,64						
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.13 : Besoins en eau de la courgette.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,4	15,7	10,99	0,40	45,02	0,00	0,40	58,952	43,252
Oct	95,83	21,7	15,19	0,50	56,28	0,00	0,50	47,915	26,215
Nov	55,81	47,7	33,39	0,60	67,54	0,33	0,80	44,648	-3,3853
Déc	42,23	35,3	24,71	0,60	67,54	0,33	0,95	40,118	4,485166
Jan	37,09	37,7	26,39						
Fév	53,21	32,9	23,03						
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,9	33,4	23,38						
Mai	157,6	23,5	16,45						
Juin	191,7	5,2	3,64						
Juillet	207,8	0,6	0						
Août	194,2	2,6	0						

Tableau III.14 : Besoins en eau de fèves.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99					0	0
Oct	95,83	21,7	15,19	0,6	67,54	0,00	0,4	38,332	16,632
Nov	55,81	47,7	33,39	0,7	78,79	0,00	0,6	33,486	-14,21
Déc	42,23	35,3	24,71	0,7	78,79	26,26	0,7	29,561	
Jan	37,09	37,7	26,39	0,7	78,79	26,26	0,95	35,235	
Fév	53,21	32,9	23,03						
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,88	33,4	23,38						
Mai	157,58	23,5	16,45						
Juin	191,72	5,2	3,64						
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.15 : Besoins en eau de l'oignon.

mois	Et0	P80% (mm)	Peff (mm)	Z (m)	RFU Theo	RSI-1	KC	ETM	Bnet (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99						
Oct	95,83	21,7	15,19	0,20	22,51	0,00	0,40	38,332	16,632
Nov	55,81	47,7	33,39	0,40	45,02	0,00	0,75	41,8575	-5,842
Déc	42,23	35,3	24,71	0,40	45,02	15,01	0,95	40,1185	-10,19
Jan	37,09	37,7	26,39	0,40	45,02	15,01	0,90	33,381	
Fév	53,21	32,9	23,03	0,40	45,02	15,01	0,70	37,247	
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,88	33,4	23,38						
Mai	157,58	23,5	16,45						
Juin	191,72	5,2	3,64						
Juillet	207,84	0,6	0						
Août	194,16	2,6	0						

Tableau III.16 : Besoins en eau des haricots.

Mois	ET ₀	P80% (mm)	Pe _{ff} (mm)	Z (m)	RFU _{th}	RSI-1	K _c	ETM	B _{net} (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99	0,7	78,792	0,00	0,9	132,6	121,7
Oct	95,83	21,7	15,19	0,7	78,792	0,00	0,85	81,5	66,3
Nov	55,81	47,7	33,39						
Déc	42,23	35,3	24,71						
Janr	37,09	37,7	26,39						
Fév	53,21	32,9	23,03						
Mars	90,58	33,2	23,24						
Avril	117,88	33,4	23,38						
Mai	157,58	23,5	16,45						
Juin	191,72	5,2	3,64	0,5	56,28	0,00	0,5	95,9	95,9
Juillet	207,84	0,6	0	0,5	56,28	0,00	0,65	135,1	135,1
Aout	194,16	2,6	0	0,7	78,792	0,00	0,95	184,5	184,5

III.3.3 : Les besoins de l'arboriculture

Tableau III.17 : Besoins en eau de l'oranger.

mois	Et ₀	P80% (mm)	Pe _{ff} (mm)	Z (m)	RFU _{Theo}	RSI-1	K _C	ETM	B _{net} (mm)
Sep	147,38	15,7	10,99	1,50	168,84	0,00	0,75	110,535	94,835
Oct	95,83	21,7	15,19	1,50	168,84	0,00	0,75	71,8725	50,1725
Nov	55,81	47,7	33,39	1,50	168,84	0,00	0,35	19,5335	0
Déc	42,23	35,3	24,71	1,50	168,84	84,42	0,35	14,7805	0
Jan	37,09	37,7	26,39	1,50	168,84	84,42	0,35	12,9815	0
Fév	53,21	32,9	23,03	1,50	168,84	84,42	0,35	18,6235	0
Mars	90,58	33,2	23,24	1,50	168,84	84,42	0,35	31,703	0
Avril	117,88	33,4	23,38	1,50	168,84	0,00	0,35	41,258	7,858
Mai	157,58	23,5	16,45	1,50	168,84	0,00	0,35	55,153	31,653
Juin	191,72	5,2	3,64	1,50	168,84	0,00	0,55	105,446	100,246
Juillet	207,84	0,6	0	1,50	168,84	0,00	0,75	155,88	155,28
Août	194,16	2,6	0	1,50	168,84	0,00	0,75	145,62	143,02

III.4 Calcul de débit spécifique :

Le débit spécifique est déterminé en fonction des besoins en eau propres à chaque culture, en tenant compte du mois de pointe. Il sert au dimensionnement du réseau d'adduction et se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$qs = \frac{B_{net} \times 1000 \times 100}{N_i \times N_j \times E_i} \quad \text{III.7}$$

- **Bnet** : besoin net en eau du mois de pointe (en mm/mois)
- **Ni** : nombre d'heures d'irrigation par jour (22 h)
- **Nj** : nombre de jours dans le mois de pointe (30 jours)
- **Ei** : efficacité d'irrigation (estimée à 75 %)

Dans ce cas, les besoins en eau sont évalués pour l'assolement le plus exigeant (Assolement 1), avec un pic de demande au mois de mai :

$B_{net} = 564,7$ mm/mois, ce qui donne un débit spécifique $q_s = 3,1689$ l/s/ha. Ce débit dépasse le seuil de 1,5 l/s/ha, ce qui pourrait entraîner un surdimensionnement du réseau, notamment des conduites de refoulement ou à écoulement gravitaire.

Pour éviter cela, on retient plutôt le débit spécifique correspondant à la culture la plus exigeante **durant le mois de pointe réel**, en l'occurrence **le haricot en août**, avec : **$B_{net} = 184,5$ mm/mois**, ce qui donne un **q_s corrigé = 1 l/s/ha**, soit un débit inférieur au seuil critique de 1,5 l/s/ha.

III.5 Calcul de débit caractéristique :

Le débit caractéristique se calcule comme suit :

$$q_{car} = q_s \times S \quad \text{III.8}$$

- q_s : Débit spécifique de mois de pointe en l/s/ha.
- S : La superficie nette à irriguer = 160 ha.

$$q_{car} = q_s \times S = 1 \times 160 = 160 \text{ l/s} = 0.16 \text{ m}^3/\text{s}.$$

III.6 Estimation des volumes d'eau d'irrigation :

Le volume des besoins en eau est obtenu en multipliant le besoin brut en eau de la culture (exprimé en m³/ha) par la surface cultivée (en hectares).

Les résultats correspondants sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Type de culture	Surface (%)	Surface (ha)	Besoins bruts (m3 /ha)	Besoins totaux (m3)
Blé	10	16	3897,33	62357,33
Orge grain	5	8	3462,59	27700,75
Orge en vert	5	8	3465,33	27722,67
Avoine	4	6,4	4185,33	26786,13
P.D.T (AS)	10	16	1626,67	26026,67
P.D.T (S)	10	16	2107,36	33717,76
Oignon sec	5	8	8	64
Oignon vert	5	8	514,88	4119,04
Petit pois	4	6,4	441,93	2828,37
Ail	4	6,4	1262,96	8082,94
Tomate	8	12,8	5239,21	67061,93
Fèves	4	6,4	32,24	206,34
Haricot	4	6,4	8044	51481,6
Courgette	4	6,4	940,89	6021,7
Oranger	18	28,8	7774,19	223896,77
Total	100	160	43002,931	568074,0018

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé une étape essentielle de la planification d'un projet d'irrigation : l'évaluation des besoins en eau des cultures. À l'aide du logiciel **Cropwat 8.0**, nous avons calculé les taux d'évapotranspiration et les besoins hydriques de plusieurs cultures, ce qui nous a permis de déterminer les débits spécifiques nécessaires au dimensionnement du réseau d'irrigation.

Il ressort de cette étude que toutes les cultures analysées présentent une demande en eau significative. Toutefois, la culture du haricot se distingue par ses besoins particulièrement élevés, atteignant **184,5 mm** d'irrigation au mois **d'août**.

Sur la base des données recueillies, nous estimons que la demande totale en eau dans la zone étudiée s'élève à **568 074m³, soit 0.568 Hm³**

Chapitre IV :

Dimensionnement du

Réseau de drain

II. Le lessivage :

En agriculture irriguée, le processus de lessivage est utilisé pour prévenir la salinisation primaire, en supposant l'absence de problème de drainage. Dans un sol naturellement salé, on considère qu'un équilibre semi-permanent peut-être atteint (Hulin, 1982).

La fraction de lessivage (LR), définie par Rhoades (1976), correspond à la quantité minimale d'eau nécessaire pour contrôler la salinité en utilisant les techniques d'irrigation de surface courantes. On suppose que cette fraction est totalement efficace et qu'elle percole lentement à travers le sol.

Rhoades a développé un modèle qui permet de réduire les besoins en eau, à condition que le sol soit maintenu dans un état hydrique adéquat grâce à des apports réguliers ou par une gestion appropriée de l'irrigation.

$$LR = \frac{Ce_{iw}}{5C_{ees} - Ce_{iw}} \dots\dots\dots (IV.7)$$

Avec :

. Ce_{iw} : conductivité électrique d'eau d'irrigation.

. C_{ees} : salinité de la patte saturée.

Application numérique on trouve :

$$LR = \frac{1.1}{[5 \times 4] - 1.1} = 5.8 \% \text{ de l'ETM} \dots\dots\dots (IV.8)$$

Dans la réalité, en raison de l'hétérogénéité du sol, une partie de l'eau s'infiltre très rapidement par des voies préférentielles, telles que les interfaces sol-racines ou les fissures, sans générer un effet réel de lessivage. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'efficacité du lessivage (Le), qui varie selon la texture et la structure du sol.

Le nouveau LR (fraction de lessivage corrigée) est alors défini par la relation suivante : Dans la réalité, en raison de l'hétérogénéité du sol, une partie de l'eau s'infiltre très rapidement par des voies préférentielles, telles que les interfaces sol-racines ou les fissures, sans générer un effet réel de lessivage. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'efficacité du lessivage (Le), qui varie selon la texture et la structure du sol.

Le nouveau LR (fraction de lessivage corrigée) est alors défini par la relation suivante :

$$LR \text{ eff} = \frac{LR}{Le(50\%)} \dots\dots\dots (IV.9)$$

Avec:

✓ Le : l'efficacité de lessivage $Le = 50\%$

Application numérique on trouve : $LR \text{ eff} = 11.6\% \text{ETM}$

Les résultats de calcul du volume de lessivage pour chaque culture sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV1 : LR * ETM pour l'assolement 1

Mois	Blé	Avoine	Orge	Ail	Oignon vert	P de T-S	P de T AS	Oignon	Tomate	Courgette	Orangers	TOTAL
Sep				64,94			70,2			48,44	106,22	289,83
Oct							58,13	18,63	0	29,36	56,19	162,31
Nov							8,29				0	8,29
Déc	5,49									5,02	0	10,51
Janv	5,71		3,69								0	9,40
Fév	30,8	9,86	30,8		5,94						0	77,39
Mars	55,32	51,97	50,18		37,31	25,43			50,74		0	270,95
Avril	74,03	65,63	60,82			73,61			112,22		8,80	352,8
Mai	88,70	131,6	88,70			85,04			202,94		35,45	632,43
Juin	67,31	92,51	56,56						182,56		112,27	511,22
Juil											173,91	173,91
Aout											160,18	160,18

Tableau IV.2 : LR * ETM pour l'assolement 2

Mois	Orge en vert	Orge graine	Fèves	Tomate	Oignon	Haricot	Petits pois	Orangers	TOTAL
Sep						136,30		106,21	242,52
Oct			18,63		18,63	74,25	29,36	56,19	197,06
Nov			0					0	0
Déc							7,76	0	7,76
Janv		3,69						0	3,69
Fév		30,8						0	30,8
Mars	50,17	50,17		7,84				0	108,19
Avril	100,46	60,81		69,216				8,80	239,29
Mai	140,44	88,70		184,57				35,45	449,18
Juin		56,56		178,41		106,84		112,27	454,09
Juil						151,31		173,91	325,22
Aout						206,64		160,18	366,82

Tableau IV.3: volume totale pour les deux assolements (trop encombré et trop petit(illisible))

	Assolement 1							Courgette	Organgers	Totale
	Ble	Avoine	Orge	Ail	Oignon vert	PDTS	Tomate			
S (ha)	10	20	10	20	5	20	20	40	10	155
Bnet (m/ha)	2923	3139	2596	1081,6	386,14	1643,45	4897	739,52	4430,645	21836,355
Brute (m/ha)	36537,5	78475	32450	27040	2413,375	41086,25	122425	36976	55 383,06	432 786,19
volume lessivage										
(m/ha)	3959,41	1637,73	1363,52	122,9	2074,45	6180,84	1864,89	2688,66	1843,86	21836,355
Btotale (m)	82434,41	34087,73	28403,52	2536,28	43160,7	128605,84	38840,89	58071,72	38381,36	844941.30
	Assolement 2									Totale
	Orge en vert	Orge graine	Feves	Tomate	Oignon	Haricot				
S (ha)	50	50	40	40	40	40	40	40	10	310
Bnet (m/ha)	332,45	5830,64	17943,33	2599	2586	166,32		233,6	166,32	29857,66
Brute (m/ha)	389,94	6859,57	21004,04	3057,65	3042,35	195,67		274,82	195,67	2844.27
volume lessivage										
(m/ha)	58,49	1028,93	3060,71	458,65	456,35	29,35		41,22	29,35	231.03
Btotale (m)	10497,06	342978,82	840161,6	122305,88	121694,12	7826,82		2748,24	7826,82	1537646.11

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini les exigences en matière d’approvisionnement en eau pour la zone agricole étudiée. Le choix des cultures a été effectué avec rigueur, en prenant en compte les caractéristiques pédologiques ainsi que les conditions climatiques locales. Une fois les cultures sélectionnées, nous avons estimé leurs besoins hydriques à l’aide de la méthode de

Penman. Cette approche nous a permis de quantifier l'évapotranspiration, c'est-à-dire la somme de l'eau évaporée du sol et celle transpirée par les plantes, en intégrant plusieurs paramètres climatiques. Sur cette base, nous avons déterminé les volumes d'eau à fournir par irrigation durant toute la période de croissance des cultures. À ces volumes, nous avons ajouté un pourcentage calculé correspondant aux besoins en lessivage (LR), afin de prévenir l'accumulation de sels dans le sol. Ces estimations, qu'il s'agisse des besoins en eau, des apports d'irrigation ou du coefficient de lessivage, sont fondamentales pour une gestion rationnelle des ressources hydriques. Elles permettent de planifier précisément les apports en eau, d'assurer une couverture optimale des besoins des cultures, et de maintenir un bon équilibre salin, garantissant ainsi des conditions de croissance favorables.

V.11-La pluie :

L'évaluation des volumes d'eau à évacuer nécessite une définition préalable du régime de pluie. Parmi les régimes les plus couramment rencontrés, on distingue principalement :

- Le régime permanent
- Le régime variable

Le régime permanent se caractérise par des pluies d'intensité moyenne, généralement de courte durée.

À l'inverse, le régime variable correspond à des épisodes pluvieux de forte intensité, espacés par des périodes plus longues et calmes.

La région de Chlef, comme l'ensemble de sa wilaya, est globalement soumise à un régime permanent. Ce type de régime conditionne fortement la conception des ouvrages de drainage et d'évacuation des eaux pluviales.

V.11.1-Débit caractéristique en régime permanent avec stockage :

En le régime permanent avec stockage on doit prendre en considération qu'elle que paramètres tels que e la pluie critique, l'évaporation, et le taux de stockage dans le sol.

V.11.1.1-Traitement des données pluviométriques :

Table IV.4 : Trie de la pluviométrie 1er trimestre

Année	Sep					Oct					Nov				
	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j
1992	0	0	0	0	0	12	23	30	0	0	29	56	0	0	0
1993	35.2	51.5	63.2	75.2	0	18.6	14	0	0	0	25.7	43	56	0	0
1994	0	0	0	0	0	8	12	0	0	0	8.6	14	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	10	18	21	0	0	10.5	0	0	0	0
1996	27	42.8	55.2	0	0	23.3	32.2	0	0	0	32	49	66	0	76.2
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	131	156	194	8.8	216	12.8	20.8	0	0	0
1999	8.5	10.9	0	0	0	5.5	7.4	0	0	0	38	0	0	0	0
2000	14.8	14.2	0	0	0	24.8	36	0	0	0	44.5	85	125	0	0
2001	4.6	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	10	0	0	0	0
2002	22.8	29	48	50.3	0	2.4	4	0	0	0	18.7	5.8	10	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.8	8.4	0	0	0
2004	20.6	38.9	0	0	0	12	31	0	0	0	22.6	56.8	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	27.6	45	51.8	0	0	22	0	0	0	0
2006	0.6	0	0	0	0	35	0	0	0	0	35	49.5	62	67	79
2007	15.6	23	0	0	0	19	25	0	0	0	16	8.6	0	0	0
2008	46.8	50	0	0	0	16.8	8.7	0	0	0	15.6	27	22	29	0
2009	13.3	22	31.3	0	0	10.6	0	0	0	0	10.6	15	18	20	0
2010	2.4	3.6	0	0	0	15	23.8	0	0	0	45	0	0	0	0
2011	9.4	12.6	0	0	0	4.4	7.6	0	0	0	27.6	47.7	50.1	0	0
2012	6.4	8.9	10.1	0	0	22.6	36.2	39.2	0	0	20.4	32	40.6	47.2	51.8
2013	1.5	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	23	40	54.1	41.6	0
2014	7.7	10.1	0	0	0	17.9	0	0	0	0	21	37.5	53.1	61.7	0
2015	18.5	0	0	0	0	4.2	7.8	0	0	0	25	40	0	0	0
2016	5.6	8.4	0	0	0	16	12.9	0	0	0	8.8	16.3	17.6	22.4	77
2017	3.4	4.6	0	0	0	3.6	5.3	6.4	0	0	11	17	24.5	27.4	0
2018	3.2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	20	34.4	38	41	45.1
2019	0	0	0	0	0	2.2	3.7	0	0	0	10.9	28	35.9	0	0
2020	4.5	9.4	0	0	0	5.2	8.2	6.1	0	0	15	17	32.6	49.7	57.9

Table IV.5: Trie de la pluviométrie 2ème trimestre

	Dec					Jan					Fev				
Année	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j
1992	13	25	31	0	0	16	24	27.1	0	0	18.5	36.7	55.1	63.5	92.6
1993	24	51	46.7	54.8	0	45.5	77.5	89.7	96.7	0	15.3	0	0	0	0
1994	52	92	1.9	60	65	12	21	0	0	0	22	36.4	0	0	0
1995	16	19.6	0	0	0	22.8	9.8	37.1	46	65.6	17.5	24.8	29.6	0	0
1996	32	38.2	41	72.4	0	0	0	0	0	0	17	21	0	0	0
1997	20	3	53	63	72	30	53	82	105	126	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	3	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	20	28.8	32	0	0	40	68.9	72.8	0	0
2000	34	52	67	132.8	0	50.9	69.1	87.1	74	89	10.1	14.9	8	87.4	98.6
2001	17	31	0	0	0	22.8	25.6	0	0	0	20.8	41.4	0	0	0
2002	21	41	53	55.8	66.8	18.6	29.4	34	0	0	5.6	7	0	0	0
2003	23	12.8	0	0	0	18.2	28.6	40.8	51.2	58	0	0	0	0	0
2004	30	51	0	0	0	32.4	47.2	58.2	0	0	27.6	22.4	57	61.5	0
2005	0	0	0	0	144.4	41.4	70.5	100.9	122.6	0	23.4	46.7	48.3	74.7	81.9
2006	33	62	90	115	129	22.8	32	0	0	0	22.2	34.6	37	0	0
2007	7.4	7	0	0	0	56.5	106.5	15.3	0	0	0	0	0	0	0
2008	36	47	72	92	100.9	33.6	55.6	69.5	83.3	88	25.8	23.8	0	0	0
2009	4.6	6.8	0	0	0	11.7	15	16.6	0	0	23.1	39.9	51.1	61.5	70
2010	2.8	4.2	0	0	0	14.6	29	0	0	0	20.2	35.6	52.8	0	42.8
2011	15	26	26.3	0	0	2.4	0	0	0	0	16.4	24.8	29.3	30.4	34.6
2012	14	18.14	21	22.5	23.7	25	39.4	52	56	0	30	40.8	54.9	60.5	45.7
2013	25	49	73	92	112	4	7.8	9.2	0	0	0	0	0	0	0
2014	15.2	10.3	12.7	0	0	44.6	63.4	64.6	0	0	16.4	26	29.2	0	0
2015	16	20.2	26.9	30.5	0	12.8	19.7	19.5	20.9	0	4.2	7.9	0	0	0
2016	20	35	29.8	34.3	129	20.1	36.2	40.8	31.3	0	17	32	34	37.5	0
2017	15	19.4	31.4	36.2	43	10.4	18.8	0	0	0	8.8	12.4	19.8	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.5	37.5	44.3	50.9	33.2
2019	11.8	20.4	22.8	26.4	0	13.2	20.1	25.6	32.3	36.5	22.3	36.9	44.5	48.1	0
2020	13	21.9	27.6	31.2	0	14.5	0	0	0	41.2	11.4	18	42.5	0	0

TableauIV.6: Trie la pluviométrie 3éme trimestre

	Mars					Avr					Mai				
Année	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j
1992	83	110	0	0	0	13	21	0	0	0	15	0	0	0	0
1993	36	52	53.7	0	0	25	34	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	22	14	0	0	0	16	0	0	0	0	12	25	0	0	0
1995	8.7	0	0	0	0	6.1	9.8	12.1	0	0	24	36	48	0	0
1996	15	24	26	0	0	6	7.7	9.3	19.8	1.8	4.6	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	18	19	0	0	0	24	44	51	0	0
1998	57	100	124	167	196	2.4	0	0	0	0	45	69	72	23.1	0
1999	0	0	0	0	0	32	40.2	47.2	0	0	0	0	0	0	0
2000	10	18.1	0	0	0	6.4	11.4	12.6	0	0	3.1	4.5	45	0	0
2001	35	46	0	0	0	35	68	99	0	0	22	41	0	0	0
2002	38	71	86	0	0	24	43	57	81	99	15	23.2	0	0	0
2003	19	21.4	0	0	0	35	51	63	73	81.4	32	48	57.2	0	0
2004	32	44	57	61.5	0	19	0	0	0	0	24	24.4	0	0	0
2005	23	38	51	65	73.6	27	35.2	42.6	0	0	16	31	47	55.2	0
2006	10	0	0	0	0	9.3	17	21.8	24.2	25.2	16	17.2	0	0	0
2007	9.4	16.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	39	14.6	0	0	0	4.7	8.3	6	0	0	2.4	0	0	0	0
2009	24	33.2	39.4	43.8	48	47	93	125	154	160.4	13	21	23.2	0	0
2010	10	0	0	0	0	20	16.2	0	0	0	17	20.4	0	0	0
2011	18	30	38.6	0	0	22	33	38	0	0	25	47	0	0	0
2012	23	27.2	11.4	0	0	6.2	10.6	0	0	0	2.2	0	0	0	0
2013	5	9.2	9.9	0	0	3.6	0	0	0	0	6.4	10.6	0	0	0
2014	1.2	0	0	0	0	26	24.2	9.2	11	0	9.6	14.4	16.8	0	0
2015	14	20.2	31.2	36.1	38.9	2.6	4.4	0	0	0	2.4	4.2	5.5	6.5	0
2016	8.4	5.2	0	0	0	6.8	12.6	14.4	0	25.2	12	0	0	0	0
2017	19	31	0	0	0	18	26.2	29.8	0	0	24	44	57	65.5	72.3
2018	12	19	15.9	19.5	0	3.1	5.5	0	0	0	1.8	2.9	0	0	0
2019	12.2	20.5	27.2	0	0	3.4	6	7.1	9.5	0	6.8	9	11.8	0	0
2020	11.3	27	0	0	0	8.8	15.5	22.7	5.5	0	13.7	29.7	9.7	0	0

Tableau IV.7 Les valeurs maximales de la pluviométrie

Année	Trimestre 1					Trimestre 2					Trimestre 3				
	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j	1j	2j	3j	4j	5j
1992	29	56	30	0	0	18.5	36.7	55.1	63.5	92.6	83	110	0	0	0
1993	35.2	51.5	63.2	75.2	0	45.5	77.5	89.7	96.7	0	36	52	53.7	0	0
1994	8.6	14	0	0	0	52	92	1.9	60	65	22	25	0	0	0
1995	10.5	18	21	0	0	22.8	24.8	37.1	46	65.6	24	36	48	0	0
1996	32	49	66	0	76.2	32	38.2	41	72.4	0	15	24	26	19.8	1.8
1997	0	0	0	0	0	30	53	82	105	126	24	44	51	0	0
1998	131	156	194	8.8	213	2.6	3	0	0	0	5	100	124	167	196
1999	38	10.9	0	0	0	40	68.9	72.8	0	0	32	40.2	47.2	0	0
2000	44.5	85	125	0	0	50.9	69.1	87.1	132.8	98.6	10	18.1	45	0	0
2001	10	0	0	0	0	22.8	41.4	0	0	0	35	68	99	0	0
2002	22.8	29	48	50.3	0	21	41	53	55.8	66.8	38	71	86	81	99
2003	29.8	8.4	0	0	0	23	28.6	40.8	51.2	58	35	51	63	73	81.4
2004	22.6	56.8	0	0	0	32.4	51	58.2	61.5	0	32	44	57	61.5	0
2005	27.6	45	51.8	0	0	41.4	70.5	100.9	122.6	144. 4	27	38	51	65	73.6
2006	35	49.5	62	67	79	33	62	90	115	129	16	17.2	21.8	24.2	25.2
2007	19	25	0	0	0	56.6	106. 5	15.3	0	0	9.4	16.6	0	0	0
2008	46.8	50	22	29	0	36	55.6	72	92	100. 9	39	14.6	6	0	0
2009	13.3	22	31.3	20	0	23.1	39.9	51.1	61.5	70	47	93	125	154	160. 4
2010	45	23.8	0	0	0	20.2	35.6	52.8	0	42.8	20	20.4	0	0	0
2011	27.6	47.7	50.1	0	0	16.4	26	29.3	30.4	34.6	25	47	38.6	0	0
2012	22.6	36.2	40.6	47.2	51.8	30	40.8	54.9	60.5	45.7	23	27.2	11.4	0	0
2013	23	40	54.1	41.6	0	25	49	73	92	112	6.4	10.6	9.9	0	0
2014	21	37.5	53.1	61.7	0	44.6	63.4	64.6	0	0	26	24.2	16.8	11	0
2015	25	40	0	0	0	16	20.2	26.9	30.5	0	14	20.2	31.2	36.1	38.9
2016	16	16.3	17.6	22.4	77	20.1	36.2	40.8	37.5	129	12	13.6	14.4	0	25.2
2017	11	17	24.5	27.4	0	15	19.4	31.4	36.2	43	24	41	57	65.5	72.3
2018	20	34.4	38	41	45.1	21.5	37.5	44.3	50.9	33.2	12	19	15.9	19.5	0
2019	10.9	28	35.9	36.4	24.1	22.3	36.9	44.5	48.1	36.5	12. 2	20.5	27.2	9.5	0
2020	15	17	32.6	49.7	57.9	14.5	21.9	42.5	31.2	41.2	13	29.7	22.7	5.5	0

Tableau IV.8: Les valeurs maximales de la pluviométrie

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	23.9	31.9	29.5	38.4	45.7
5ans	38.8	54.6	59.5	67.8	80.2
10ans	48.7	69.6	79.5	88.6	114.1

V.11.3-Détermination de la pluie critique :

On trace des courbes HDF, pour chaque semestre de période de retour défirrent a l'aide de logiciel Hyfran

Tableau IV.9: la pluie critique pour le 1^{er} semestre

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	26.6	42.9	46.2	47.1	44.5
5ans	39.5	65.1	76.4	86.1	88.2
10ans	48.0	79.8	96.4	112	117

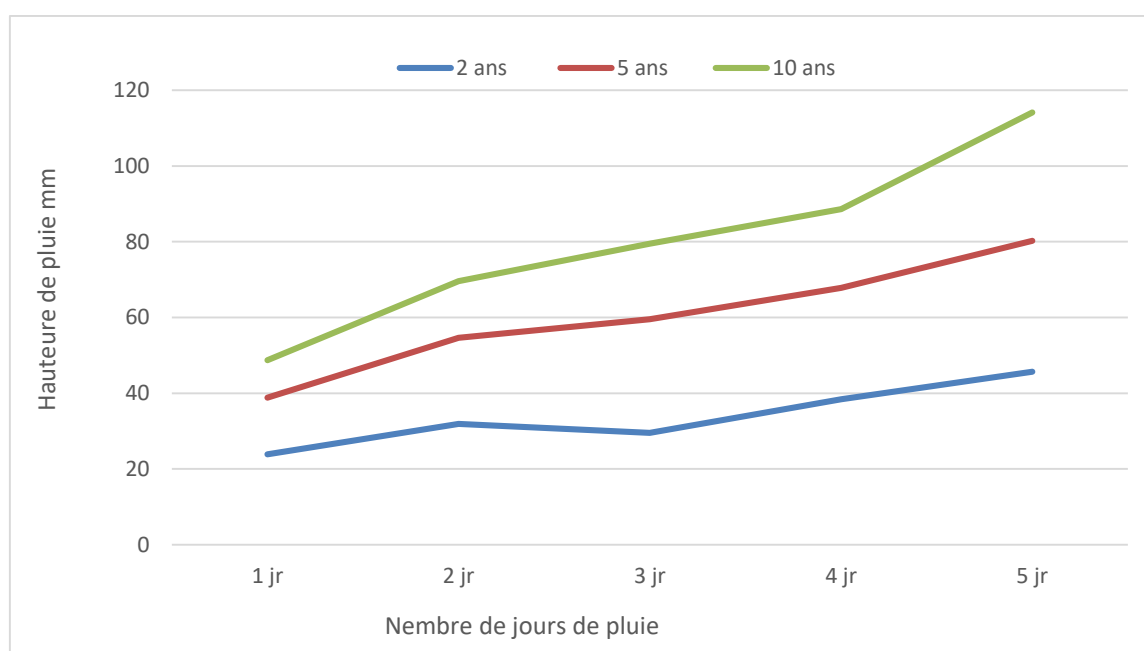
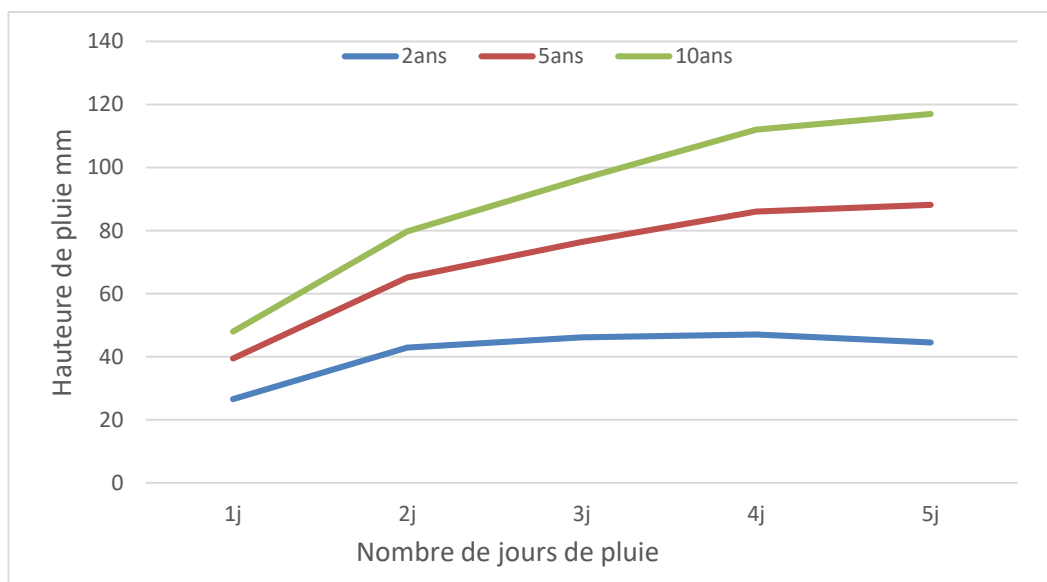
**Figure IV.1:** Courbe HDF pour le 1^{er} semestre

Table IV-9: la pluie critique pour le 2^{ème} semestre

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	26.6	42.9	46.2	47.1	44.5
5ans	39.5	65.1	76.4	86.1	88.2
10ans	48.0	79.8	96.4	112	117

**Figure IV.2:** Courbe HDF pour le 2^{ème} semestre**Table IV.10:** la pluie critique pour le 3^{ème} semestre:

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	22.2	34.2	33.4	37.1	48.8
5ans	34.6	54.2	62.4	68.4	76.3
10ans	42.8	67.3	81.6	85.9	109.7

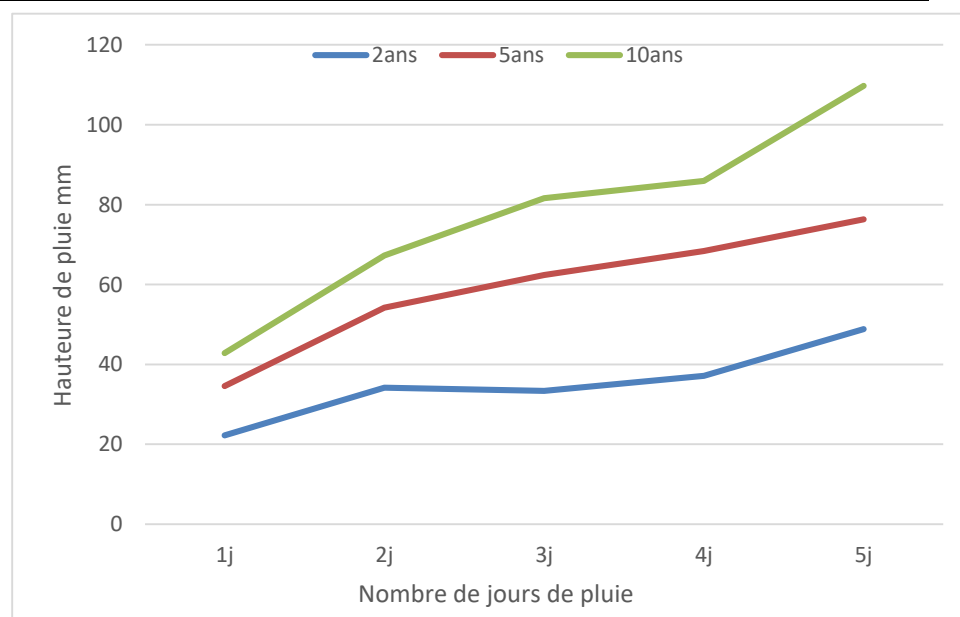


Figure IV.3 : Courbe HDF pour le 3^{ème} semestre**V.12-Le débit à évacué (régime permanent avec stockage) :**

En régime permanent en tenant compte du stockage

$$q_c = \frac{P-E-S}{\theta}$$

On a dans ce cas :

Avec :

- q_c : débit caractéristique (mm/j).
- P : pluie critique (mm).
- E : l'évaporation (mm).
- θ : durée de submersion admissible.
- S : le stockage du sol (mm)..... $S = hc \times \mu$

Et on prend en considération que

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

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

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

Tableau IV.11 : Le Q_c en régime permanent avec stockage

Cultures	Arboricultures	Maraichères	Céréales
$\Theta(j)$	5	2	3
H_c	0.6	0.4	0.3
μ	0.05	0.05	0.05
$P(mm)$	88.2	42.9	68.5
$E(mm/j)$	3.92	3.92	3.92
$S(mm)$	30	20	15
$Q_c(mm/j)$	10.85	9.49	16.52

-Le plus grand débit c'est celle de l'Céréales $Q_c=16.52mm/j$

V.13-Débit caractéristique en régime variable :

Dans ce régime le débit est caractérisé par la formule :

$$Q_c = \frac{S}{\theta}$$

$$S = (h_0 - h_1) \times \mu$$

Tableau IV.12 : Le Q_c en régime variable :

-On prend $Q_c=6\text{mm/j}$

Cultures	Arboricultures	Maraichères	Céréales
$\Theta(\text{j})$	5	2	3
$\Delta h(\text{m})$	0.6	0.2	0.3
μ	0.05	0.05	0.05
$S(\text{mm})$	30	10	15
$Q_c(\text{mm/j})$	6	5	5

Chapitre V : Le dimensionnement du réseau

V.1-Introduction :

Pour dimensionner un réseau de drainage de manière optimale, il est essentiel de prendre en compte plusieurs critères tels que la longueur des drains, leur profondeur, leur écartement, entre autres paramètres techniques et environnementaux.

V.2-L'écartement des drains "E" :

Les différentes méthodes de dimensionnement peuvent prendre en compte un ou plusieurs des facteurs suivants :

- Les caractéristiques du sol (profondeur, conductivité hydraulique, porosité, etc.) ;
- Le régime d'écoulement, qu'il soit permanent ou variable ;
- Les cultures prévues sur la parcelle.

En fonction de ces paramètres, on distingue notamment :

- **La méthode de Hooghoudt**, adaptée aux régimes d'écoulement permanents ;
- **La méthode de Glover-Dumm**, plus appropriée aux régimes d'écoulement variables.

V.2.1-La formule de Hooghoutt : (régime permanant)

- Cas ou les drains repose sur la couche imperméable (Figure VI-1)

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

Avec :

E : Ecartement des drains en (m).

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

hc : Hauteur critique (m).

qc : Débit caractéristique (mm. 10⁻³).

- Cas ou les drains ne repose pas sur la couche imperméable :

$$E^2 = \frac{4 \times hc^2 \times ks \times 8 \times ki \times hc \times d}{qc}$$

Avec :

E : Ecartement des drains en (m). {VI-2}

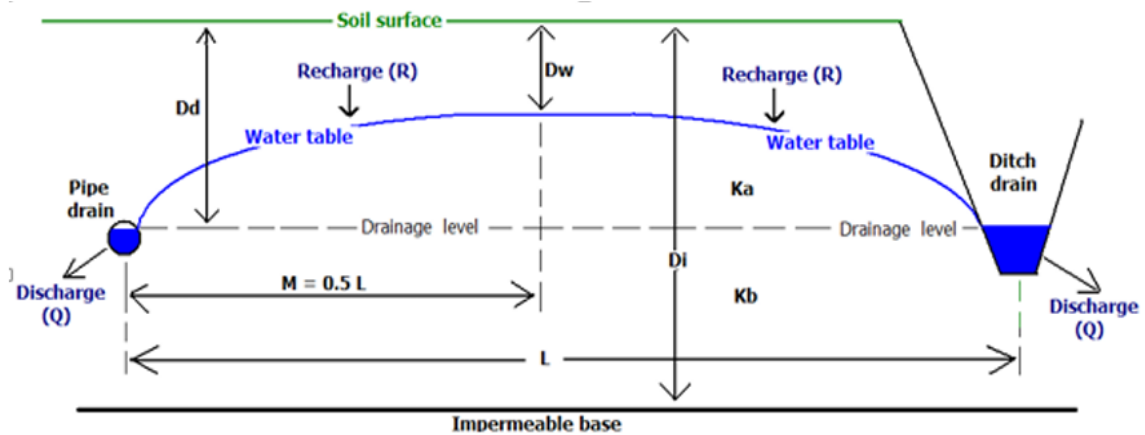
ks : Conductivité hydraulique du sol en dessous des drains (m/j).

ki : Conductivité hydraulique du sol au-dessus des drains (m/j).

d : Profondeur effective de l'imperméable par rapport au niveau des drains (m).

hc : Hauteur critique (m). (Dd – Dw).

qc: Debit caractéristique (mm. 10⁻³).



FigureV-1 : Réseau de drainage pour le model d'un régime permanent

V.2.2-La formule de Glover - Dum : (régime variable)

$$\frac{ht}{h0} = 1.16. e^{-at}$$

$$a = \frac{10 \times k \times d}{\mu \times t^2}$$

Alors après c'est deux équations $E^2 = \frac{10 \times k \times d \times t}{\mu} \times \left[\ln \left(1.16. \frac{h0}{ht} \right) \right]^{-1}$

Avec :

E : Ecartement des drains en (m) ;

k : Conductivité hydraulique du sol (m/j);

μ : Porosité de drainage (%) ;

d : Profondeur effective de l'imperméable par rapport au niveau des drains (m);

t : Temps (j);

h0 : Niveau initial de la nappe (m);

ht : Niveau de la nappe au temps t (j);

α : Facteur de réaction ($j-1$)

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

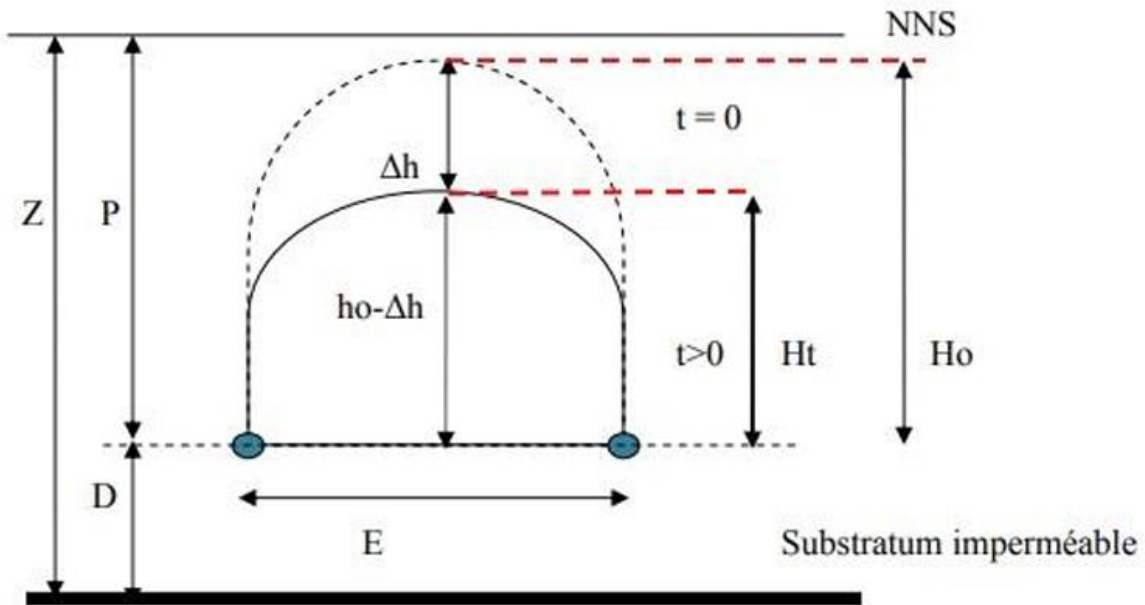


Figure V-2 : Réseau de drainage pour le model d'un régime variable.

-Dans notre région il s'agit d'une pluviométrie d'un régime permanent, donc on travaille avec l'équation de Hooghoudt.

$$q_c = 16.52 \text{ mm/j}$$

$$D_d = 1.3 \text{ m}$$

$$K_s = K_i = 0.6 \text{ m/j}$$

$$D_w = 0.6 \text{ m}$$

$$E^2 = 1114.75 d + 40.16$$

Et en utilisant la table de profondeur équivalente (Annexe 4), nous pouvons effectuer des itérations de l'équation de Hooghoudt : écrire le E proposer pour comparer entre elles et le E calculer

• d = 1.3 m	E suppose =	➡	E = 13.73 m
• d = 1.5 m	E suppose =	➡	E = 14.57 m
• d = 2.15 m	E suppose =	➡	E = 16.39 m
• d = 2.8 m	E suppose =	➡	E = 19.01 m
• d = 3.05	E suppose =	➡	E = 19.75 m

-On prend l'espacement entre les drains 20 m

V.3-La profondeur des drains :

Le coût global d'un système de drainage enterré dépend en grande partie de la profondeur choisie pour les drains. En règle générale, les fossés de drainage sont creusés à une profondeur comprise entre 1 et 2 mètres. Sur le plan hydraulique, plus les drains sont profonds, plus leur espacement peut être augmenté, ce qui réduit le nombre de drains à installer par unité de surface. Toutefois, cette optimisation s'accompagne de coûts supplémentaires, notamment :

- La nécessité de construire des émissaires plus profonds, ce qui augmente le coût des travaux ;
- Le recours éventuel à des stations de relevage pour assurer l'évacuation de l'eau ;
- Un entretien plus complexe et plus onéreux des infrastructures profondes.

Il est donc indispensable de respecter un équilibre entre les exigences techniques et les limites économiques imposées par le projet et les normes locales. Le dimensionnement doit ainsi viser un compromis entre performance hydraulique et coût maîtrisé.

Dans le cas de la région d'Ouled Abbas, où le sol présente une perméabilité moyenne, avec un régime d'écoulement permanent et des cultures de type maraîchage et céréalières, une profondeur de drainage de 1,3 mètre est retenue comme solution optimale.

V.4-La longueur d'installation des drains :

Les longueurs "L" sont choisies en fonction des dimensions de la parcelle. On prend une longueur moyenne des drains 300 m.

V.5-La pente d'installation :

Le choix de la pente du réseau de drainage a un impact direct sur la vitesse d'écoulement de l'eau. Une vitesse suffisamment élevée, notamment lorsque le drain fonctionne en régime plein, permet de prévenir la sédimentation des particules en suspension et donc de réduire considérablement les risques d'obstruction des conduites.

Dans le cas de notre zone d'étude, une pente de 0,3 % est considérée comme appropriée pour assurer un écoulement efficace et durable.

VI.6-Le débit à évacuer par le drain :

Le dimensionnement d'un drain exige d'avoir le débit ou la lame d'eau à drainé :

$$Q_d = q \times S$$

$$Q_d = q \times L \times E = 16.52 \times 10^{-3} \times 300 \times 20 = 99.12 \text{ m}^3/\text{j}$$

Avec :

- **S** : la surface drainée par le drain,
- **q** : le débit du drain ;
- **L** : la longueur du drain ;
- **E** : l'écartement entre les drains.

Par mesure de sécurité, un facteur de correction de 50 % est appliqué pour tenir compte des risques de sédimentation, afin de garantir la durabilité et l'efficacité du système de drainage.

$$Q' = \frac{Q}{0.5} = 2.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

V.7-Le dimensionnement des drains :

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

$$Q' = 38 d^{2.67} \cdot i^{0.50}$$

$$\text{On extrait le "d" : } d = \sqrt[2.67]{\frac{Q' t}{30 \times i^{0.5}}} = \sqrt[2.67]{\frac{2.29 \times 10^{-3}}{30 \times 0.003^{0.5}}} = 96 \text{ mm}$$

Le marché algérien propose plusieurs diamètres standards pour les drains, notamment 110 mm, 125 mm, 200 mm et 400 mm. Le diamètre calculé étant de 96 mm, le drain de 110 mm est le plus approprié, car il correspond au standard immédiatement supérieur, garantissant une marge de sécurité hydraulique.

Pour assurer une installation correcte et durable du système de drainage, certaines consignes doivent impérativement être respectées :

- Creuser une tranchée de 20 cm de largeur et de 1,5 mètre de profondeur ;
- Disposer un lit de sable de 4 cm d'épaisseur au fond de la tranchée ;
- Poser la gaine perforée (le drain) sur le lit de sable ;
- Remplir la tranchée avec du gravier, assurant ainsi un bon drainage et une protection contre le colmatage.

V.8- dimensionnement du collecteur :

VI8.1-Calcul hydraulique des collecteurs :

Le débit évacué par le collecteur est la somme des débits dans les drains d'évacuation menant au collecteur.

$$Q = \sum q_{\text{drains}}$$

Avec :

$\sum q_{\text{drains}}$: La somme des débits des drains connectés au collecteur

Les débits dans les collecteurs principaux et secondaires sont affichés dans le tableau ci-dessous :

Table V-1 : Calcul des débits dans le collecteur principal et secondaire :

Zone	q (m3/s)	Collecteur primaire	Collecteur secondaire	Q (m3 /s)	Qt (m3 /s)
1	0.00033×10^{-3}	I-I'	A-A'	0.0465	0.101
			A'-A''	0.0545	
2	0.00033×10^{-3}	II-II'	B-B'	0.0418	0.1324
			B'-B''	0.0650	
			B''-B'''	0.0256	
3	0.00033×10^{-3}	III-III'	C-C'	0.1122	0.2021
			C'-C''	0.0899	

V.8.2-Diamètre des collecteurs :

Pour dimensionner correctement le diamètre des collecteurs, il est d'abord nécessaire de connaître la pente du terrain naturel, tout en évitant les pentes trop fortes, généralement comprises entre 0,1 % et 1 %, selon la configuration topographique.

Il est également essentiel de maintenir une vitesse d'écoulement située entre 0,5 m/s et 1,5 m/s, afin de :

- Éviter l'aspiration de particules au niveau des joints et des perforations ;
- Réduire les risques de sédimentation à l'intérieur des conduites.

En supposant un écoulement uniforme dans une conduite lisse, le calcul du diamètre est basé sur la formule de Darcy-Weisbach, à laquelle une marge de sécurité de 15 % est intégrée pour tenir compte des incertitudes et garantir la fiabilité du système. La formule utilisée est la suivante:

$$Q = 50 \times d^{2.71} \times i^{0.57}$$

Les résultats des calculs pour les diamètres des collecteurs secondaires sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Table V-2 : Calcul des diamètres des collecteurs secondaires :

Zone	Collecteur secondaire	L(m)	Q(m3/s)	i (%)	d(mm)	dn (mm)	V(m/s)
1	A-A'	429	0.0465	0.5	231.92	250	0.94
	A'-A''	476	0.0545	0.5	245.91	250	1.29
2	B-B'	365	0.0418	0.5	222.97	250	0.85
	B'-B''	422	0.0650	0.5	262.43	315	1.37
	B''-B'''	375	0.0256	0.5	186.07	200	1.05
3	C-C'	498	0.1122	0.5	320.99	400	0.89
	C'-C''	496	0.0899	0.5	295.79	315	1.47

Les diamètres des collecteurs primaires sont calculés avec une marge de sécurité de 10%, et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

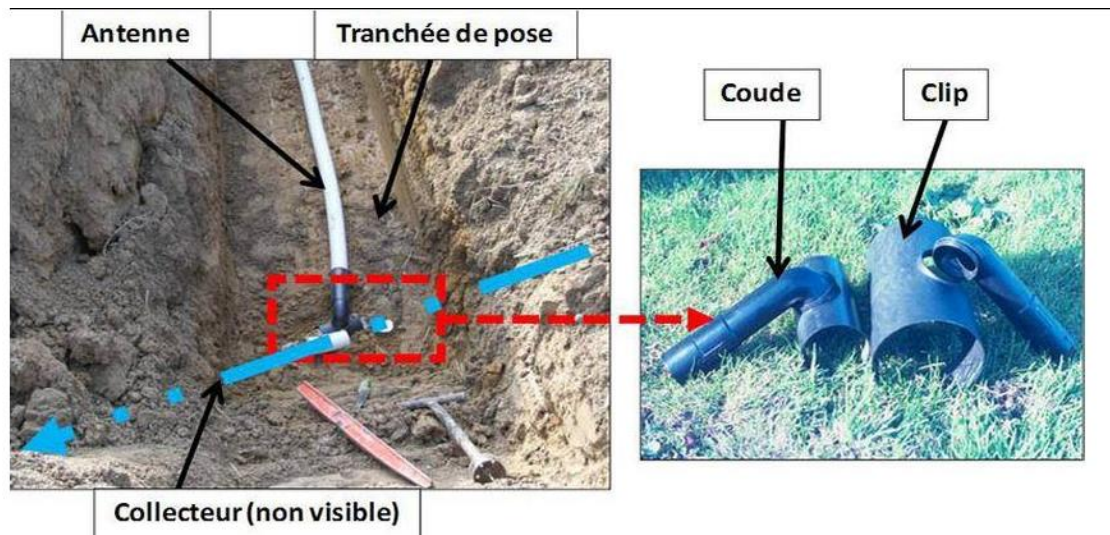
Table V-3 : Détermination des dimensions des collecteurs principaux.

Collecteur principal	L(m)	Q(m3/s)	i (%)	d(mm)	dn (mm)	V(m/s)
I-I'	998	0.101	0.6	297.16	315	1.29
II-II'	1162	0.1324	0.6	328.37	400	1.05
III-III'	920	0.2021	0.65	377.43	400	1.47

V.8.3-Les raccordement :

V.8.3.1-Entre drain et collecteur :

Il est essentiel que la jonction entre les drains et le collecteur s'effectue à un angle compris entre



30° et 60°. Les boîtes et les orifices revêtent une importance cruciale lorsqu'il s'agit de connecter des drains flexibles à des collecteurs ou à des conduites rigides (Figure VI-3).

Figure V-3 : Raccordement drain-collecteur et ensemble clip + coude

V.8.3.2-Entre collecteur et collecteur :

Les regards sont des éléments essentiels du réseau de drainage, assurant la connexion entre les collecteurs. Ils remplissent plusieurs fonctions techniques, notamment :

- La correction de la pente du réseau.
- Le changement de direction ou de diamètre des conduites.
- La rétention des particules solides infiltrées, permettant leur décantation et limitant ainsi le risque d'obstruction des drains.

V.8.3.3- Entre Collecteur et exutoire :

Le collecteur principal doit être raccordé à l'émissaire de manière à garantir un écoulement libre. Pour cela, son extrémité doit être située à une élévation minimale de 0,2 mètre au-dessus du fond de l'émissaire (plafond) et à 0,1 mètre au-dessus du niveau moyen des eaux, afin d'éviter tout risque de refoulement ou d'engorgement du système.

V.9-Tableau de comparaison avant et après drainage :

Paramètre	Avant drainage	Après drainage
Profondeur de la nappe (m)	0,40 – 0,70	0,90 – 1,20
Vitesse de percolation (m/j)	Faible	Améliorée
Teneur en humidité du sol (%)	Élevée (sol saturé)	Réduite (sol aéré)
Productivité agricole estimée	Faible (asphyxie racinaire)	Améliorée (meilleure oxygénation)
Risque d'engorgement	Élevé	Faible

Interprétation :

Le tableau met en évidence une amélioration significative des conditions hydriques du sol après la mise en place du réseau de drainage. La profondeur de la nappe phréatique a été abaissée de manière efficace, réduisant ainsi les risques d'asphyxie racinaire et d'engorgement. La percolation de l'eau dans le sol s'est améliorée, ce qui permet une meilleure aération et favorise la croissance des cultures. Cela confirme la pertinence et l'efficacité du dimensionnement du réseau de drainage mis en œuvre.

Conclusion :

Le dimensionnement optimal d'un réseau de drainage repose sur une approche rigoureuse intégrant des paramètres hydrauliques, pédologiques, topographiques et agronomiques. L'étude présentée dans ce chapitre a permis de définir les principales caractéristiques techniques du système à mettre en œuvre pour la région d'Ouled Abbas, marquée par un régime d'écoulement permanent et des sols à perméabilité moyenne.

L'analyse comparative des méthodes de Hooghoudt et de Glover-Dumm a conduit à l'adoption de la méthode de Hooghoudt, mieux adaptée au contexte local. L'écartement optimal des drains a été déterminé par itérations, avec une valeur retenue de **20 m**, conciliant efficacité hydraulique et faisabilité technique. La profondeur des drains, fixée à **1,3 mètre**, offre un bon compromis entre performance et coût, tandis que la longueur moyenne de **300 m** et une pente de **0,3 %** assurent un écoulement satisfaisant et limitent les risques de colmatage.

Le débit à évacuer et le diamètre des drains ont été soigneusement calculés en tenant compte d'un facteur de sécurité, aboutissant au choix d'un diamètre standard de **110 mm**. Les collecteurs ont également été dimensionnés selon des critères hydrauliques précis (vitesse, pente, sécurité), garantissant leur bon fonctionnement à long terme. Enfin, les règles de raccordement ont été détaillées afin de garantir l'étanchéité, la durabilité et la performance du réseau.

En somme, cette démarche de dimensionnement vise à mettre en place un système de drainage efficace, durable et économiquement viable, capable de répondre aux exigences locales en matière de gestion des eaux et de préservation des cultures.

Chapitre VI:

L'entretien de réseau et l'étude socio- économique

VI.1-Introduction :

Après avoir examiné la variante validée, il faudra ensuite réaliser une estimation économique du projet et définir les mécanismes de gamification en réseau nécessaires pour assurer son fonctionnement pérenne. Ce chapitre constituera la conclusion de notre travail.

VI.2-Entretien et durabilité de systèmes de drainage :

L'entretien des réseaux de drainage n'est pas traité avec la rigueur qu'il mérite. Cela s'explique facilement : le drainage est souvent perçu comme secondaire par rapport à l'irrigation. Pourtant, la qualité des eaux de drainage est généralement dégradée : en traversant le sol, ces eaux s'enrichissent en sels, nutriments, oligo-éléments (substances minérales) et matière organique

VI.2.1-Relation de vitesse d'écoulement avec la performance de réseau :

Faute d'un débit suffisant et d'un volume d'eau importants dans les fossés de drainage, ceux-ci sont rapidement colonisés par la végétation, ce qui réduit leur capacité d'écoulement. Par ailleurs, l'usage des eaux de drainage — notamment pour abreuver le bétail — accentue la dégradation des berges des fossés et canaux.

VI.2.2-Les méthodes d'entretien des canaux et fossés :

L'entretien des fossés et des canaux repose sur trois types de méthode :

VI.2.2.1-Méthodes mécaniques :

Ces méthodes reposent sur le faucardage et le curage des fossés à l'aide d'engins spécialisés, permettant soit de couper la végétation, soit de l'arracher mécaniquement. L'**arrachage**, qui élimine également les racines, est naturellement plus efficace que le **faucardage**, qui ne supprime que la partie aérienne. Toutefois, bien que fréquemment employées, ces méthodes figurent parmi les plus coûteuses à déployer.

VI.2.2.2-Méthodes chimiques :

Ces méthodes reposent sur l'application d'herbicides, dont l'utilisation requiert une vigilance particulière en raison de leurs effets néfastes potentiels sur la santé et l'environnement, surtout si les eaux de drainage sont ensuite réutilisées.

VI.2.2.3-Méthodes biologiques :

C'est l'utilisation d'animaux pour contrôler la croissance de plantes comme la carpe chinoise. Ces méthodes s'appliquent aux grands canaux de drainage car ces espèces nécessitent de grands volumes d'eau avec des apports fréquents.

VI.2.3-L'entretien des réseaux enterrés :

Un entretien rigoureux des réseaux de drainage enterrés est essentiel pour garantir leur bon fonctionnement et prévenir les risques d'obstruction ou de dégradation. Les actions suivantes sont recommandées :

1. Inspections régulières :

Des vérifications périodiques doivent être effectuées, en particulier aux points critiques tels que les bouches de décharge et les regards. Ces éléments, souvent situés aux jonctions ou aux changements de diamètre des tuyaux, sont susceptibles de s'obstruer ou de se détériorer plus rapidement.

2. Nettoyage des canalisations :

Le nettoyage des canalisations enterrées peut être réalisé par hydro curage, une technique utilisant un jet d'eau sous haute pression pour déloger les dépôts et obstructions. Cette méthode est efficace pour éliminer les graisses, les racines et autres résidus accumulés.

3. Précautions lors du nettoyage :

Il est important de noter que l'hydro curage n'est pas systématique, car une pression excessive peut déstabiliser le sol environnant, surtout dans les zones sensibles ou les réseaux anciens. Avant toute intervention, une inspection préalable est recommandée pour évaluer l'état des canalisations et déterminer la méthode la plus appropriée.

4. Surveillance post-intervention :

Après le nettoyage, une inspection visuelle ou à l'aide de caméras permet de vérifier l'efficacité de l'opération et de détecter d'éventuelles anomalies ou dégradations non identifiées précédemment.

VI.2.4-L'entretien des tuyaux :

Actuellement, la majorité des projets de drainage utilisent des tuyaux en polyéthylène (PE) ou en polychlorure de vinyle (PVC), remplaçant les tuyaux en céramique ou en béton de qualité

variable, souvent produits localement. Ces matériaux sont généralement fiables, mais présentent certaines limitations. Le PVC est sensible aux rayons ultraviolets (UV) et peut se dégrader s'il est exposé au soleil pendant une période prolongée sans protection adéquate. Cette dégradation peut entraîner une perte de stabilité du matériau. De plus, le PVC est très sensible aux températures élevées et commence à se ramollir autour de 80°C. Il est essentiel de protéger les tuyaux en PVC des UV en les installant dans des zones ombragées ou en appliquant des revêtements protecteurs. Concernant la température, il est recommandé de ne pas exposer les tuyaux en PVC à des températures supérieures à 60°C pour éviter tout risque de déformation. En résumé, bien que les tuyaux en PE et PVC offrent de nombreux avantages, il est crucial de prendre en compte leur sensibilité aux UV et à la chaleur pour assurer leur longévité et leur efficacité dans les systèmes de drainage.

VI.2.5-Problèmes dans l'exécution des travaux :

Une défaillance du système peut être démontrée par une rupture de tuyau pendant la construction, des raccords de tuyauterie brisés ou raccordement drain/collecteur.

VI.3-Estimation du cout des travaux :

Pour notre projet il suffit de calculer le coût de draineuse (FigureVII-1) avec le prix des drains et collecteurs pour estimer le coût total de projet



Figure VI-1 : Photo de draineuse (Wikipédia)

Tableau VI.1 l'estimation de cout

L'estimation de cout est résumée dans le tableau suivant

Type des travaux	unité de mesure	quantités	D (mm)	prix unitaire (DA)	montant (DA)
Drains	<i>m</i>	53383.8	110	325	17349735.00
Collecteurs	<i>m</i>	998	315	2200	2195600.00
		1162	400	2700	3137400.00
		920	400	2700	2484000.00
Regards	<i>m³</i>	4×0.375 = 1.5	-	14200	21300.00
Draineuse	<i>h</i>	75	-	15000	1125000.00
				Total	26313035.00
				TVA	4999476.65
				Total TTC	31312511.65

Conclusion :

La réussite d'un projet de drainage ne s'arrête pas à sa conception technique. Sa durabilité repose également sur un entretien rigoureux et une évaluation économique réaliste. Ce chapitre a souligné l'importance d'un entretien adapté aux caractéristiques du réseau, qu'il soit à ciel ouvert ou enterré. Les différentes méthodes mécaniques, chimiques et biologiques d'entretien ont été passées en revue, tout comme les précautions liées à l'usage de matériaux tels que le PVC ou le PE, sensibles aux UV et à la chaleur.

La surveillance régulière des infrastructures, le nettoyage des canalisations, ainsi que le respect des bonnes pratiques de raccordement permettent d'assurer un fonctionnement pérenne du réseau. Il a également été rappelé que des défauts d'exécution peuvent compromettre la performance du système à long terme.

Sur le plan économique, le coût total du projet a été évalué à **31 305 511,65 dinars algériens** toutes taxes comprises (TTC), soit trente et un millions trois cent cinq mille cinq cent onze dinars et soixante-cinq centimes. Ce montant inclut les drains, les collecteurs, les regards, la draineuse, ainsi que la taxe sur la valeur ajoutée (TVA).

Cette estimation permet de mieux appréhender la faisabilité du projet tout en assurant une planification budgétaire réaliste. En conjuguant rigueur technique et gestion financière, le système proposé est conçu pour offrir une solution durable, performante et adaptée aux réalités locales.

Conclusion générale

Conclusion

Ce mémoire s'est inscrit dans une démarche rigoureuse de conception et de dimensionnement d'un réseau de drainage agricole adapté aux spécificités du périmètre du Moyen Chélif (secteur E, commune de Oued Sly – Wilaya de Chlef), couvrant une superficie de 120 hectares. À travers une analyse fine des données climatiques, pédologiques et hydrogéologiques, nous avons pu identifier les contraintes majeures affectant la productivité agricole de la région, notamment la remontée de la nappe phréatique et la salinisation des sols.

L'étude a permis d'aboutir à une proposition technique solide de réseau de drainage, reposant sur des méthodes de calcul éprouvées telles que celles de Hooghoudt et Glover-Dumm. Les choix techniques opérés — écartement des drains entre 30 et 60 m, profondeur moyenne de 1,5 m, et dimensionnement hydraulique des collecteurs — visent à garantir l'efficacité de l'évacuation des eaux excédentaires et à assurer la durabilité des terres irriguées. Le projet, avec un coût estimé à environ 3,2 millions de dinars algériens, offre un bon compromis entre viabilité économique et efficacité technique.

Au-delà de l'aspect technique, cette étude illustre l'importance d'une approche intégrée de la gestion de l'eau en milieu agricole. Elle rappelle que le drainage ne constitue pas une simple infrastructure souterraine, mais bien un levier stratégique pour sécuriser la production agricole, valoriser les terres irriguées et préserver les écosystèmes locaux.

Enfin, ce travail représente une contribution modeste mais concrète à la modernisation de l'agriculture dans la région du Cheliff. Il pourra servir de référence pour des projets similaires à l'échelle locale ou nationale, dans une logique de développement durable et de résilience face aux enjeux climatiques et environnementaux à venir.

Référence bibliographique

Référence bibliographique :

- **APD –MC-ZB (2004)** : Avant-Projet Détaillé de la zone B du périmètre Moyen Chélif
- **BOULAINÉ, J. (1957)** : Étude des Sols des Plaines du Cheliff. Thèse de Doctorat, Université d'Alger
- **ELMEDDAHI, 2009** : Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du moyen Cheliff
- **HETTAK Nesrine (2020)** : Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre Achaacha à partir du barrage Kramis (W.Mostaganem).
- **LECHAA Mohamed Tahar (2020)** : Dimensionnement d'un réseau de drainage d'un périmètre de 350 ha à Oum Drou, wilaya de Chlef [Mémoire de fin d'études, Université de Hassiba Benbouali de Chlef].
- **MOKADAM.A, 2016** : Les réseaux hydrographique
- **PERRODON, A. (1957)** : Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale (Thèse de doctorat, Faculté des sciences de Paris). Paris : Publications du Service de la carte géologique de l'Algérie, nouvelle série, n° 19.

Annexes

Annexes :

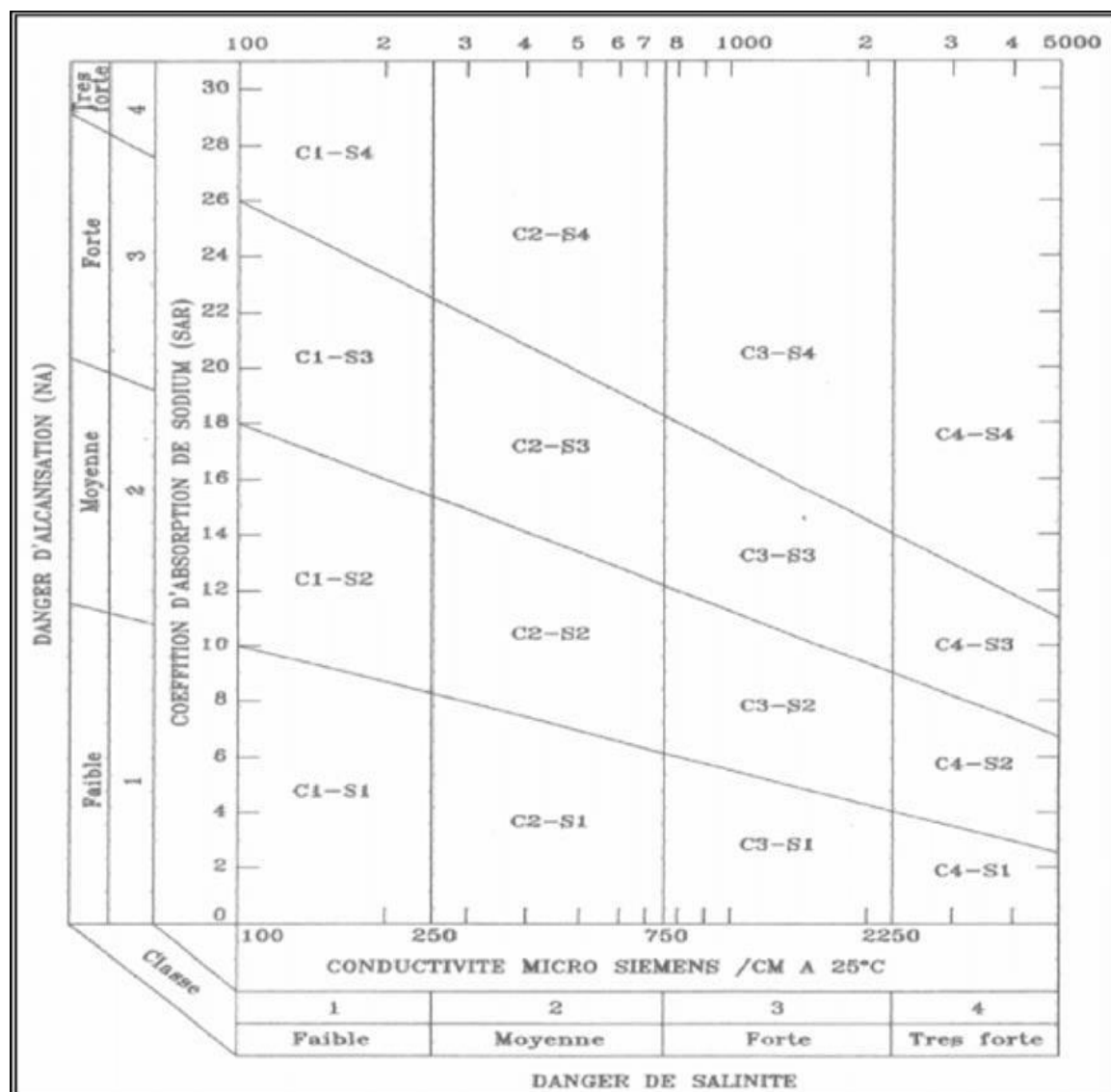
Annexe 01

Les zones homogènes du périmètre moyen Chélif

LEGENDE							
ZONE	LOCALISATION	Sup. (ha)	APTITUDES	CARACTÉRISTIQUES	FACTEURS LIMITANTS	PROPOSITIONS DE MISE EN VALEUR	ORIENTATIONS
1 = Alluvions récentes profondes, non salées, de texture équilibrée.	Le long des principaux Oueds Zones d'épandage colluvio-alluviales de la plaine des MEDJADJAS.	4500	Toutes cultures adaptées aux conditions climatiques	Texture limono-argileuse à argilo-limoneuse ; plus grossière dans les zones d'épandage, éventuellement quelques traces d'hydromorphie ou salinité en profondeur. Bonne perméabilité. C.E. < 2 mmhos/cm en surface.	Risque d'inondation dans la plaine de Bir-Saf-Saf exclusivement		Toutes cultures irriguées (après contrôle des crues dans la plaine de Bir-Saf-Saf.)
2 = Alluvions récentes de texture fine, légèrement salées et/ou tirsifiées.	Zones représentées sur l'ensemble du périmètre, mais surtout dans la plaine d'Ech Chleff, (à l'exclusion de la plaine des MEDJADJAS).	7800	Toutes cultures adaptées aux conditions climatiques si on dispose de la maîtrise des eaux.	C.E. < 4 mmhos/cm. Texture argilo-limoneuse. En rive gauche de la plaine d'Ech Chleff le caractère salin est net en profondeur, en rive droite s'y ajoute le caractère vertique. Ces sols présentent souvent des horizons drainant au-delà d'un mètre.	Sols lourds à travailler risque d'accumulation d'eau en surface, mais drainage interne satisfaisant.	Assainissement drainage. Amélioration de la structure (amendements organiques, façons culturales).	Toutes cultures, avec maîtrise des eaux de surface. L'agrumiculture est recommandée en rive gauche du Chélif. (Sols moins lourds).
3 = Alluvions récentes et anciennes fortement tirsifiées.	Disséminées dans tout le périmètre. Abondantes en rive droite de la plaine d'Ech Chleff (confluent Ouahrame-Chleff), autour de la cuvette de Boukader, dans les zones de piémont (plaine d'Oued Fodda) et dans la partie orientale de la plaine des MEDJADJAS.	4150	Cultures adaptées aux sols lourds : Riz, céréales (orge, blé) cultures fourragères (vesce-avoine). - Cultures maraichères éventuelles (oignons, choux, sur les sols les moins lourds pastèques et melons).	Texture argilo-limoneuse à argileuse structure très grossière avec faces vertiques des 40-50 cm de profondeur. La conductivité électrique est inférieure à 4 mmhos/cm. Sur alluvions récentes (confluent Ouahrame-Chleff), elle s'accroît avec la profondeur. Très faible porosité et très faible perméabilité quand le réseau de fentes de retrait est fermé.	Sols très lourds, difficiles à travailler, à mauvais drainage interne. Le drainage externe est facilité par la pente sur les alluvions anciennes de bordure (MEDJADJAS) ; il est très faible sur les alluvions récentes de la plaine. Dans la plaine alluviale, en l'absence de lessivage, ces sols ont une tendance naturelle à accumuler les sels. Cette tendance n'existe pas sur les piémonts et dans la plaine des MEDJADJAS.	Assainissement par réseau de collature respectant la topographie naturelle. Façons culturales favorisant le drainage de surface (planches, dérayures convergeant sur les fossés...). Irrigation par aspersion, à petites doses, conseillée.	Abandon de l'arboriculture. Céréales et cultures fourragères adaptées avec maîtrise des eaux de surface (assainissement indispensable)
4 = Alluvions salées.	Confluent des Oueds Sly et Chleff. Piémont Nord-Ouest de la plaine d'Ech Chleff (Saoula). Plaine de Bir-Saf-Saf.	480	Cultures adaptées aux sols salés : coton, sorgho fourrage, orge, radis, épinard, carotte. Luzerne sauf sur terres trop lourdes.	4 < C.E. < 7 mmhos/cm dès la surface, croissant en profondeur. Texture équilibrée, localement argileuse (Bir-Saf-Saf).	Teneurs en sels	Éventuellement, dessalage.	Dessalage des sols salés de l'interfluve Sly-Chleff pour les ramener à la catégorie 2. Abandon des autres petites zones salées (Saoula, Bir-Saf-Saf) à reboiser éventuellement.
5 = Alluvions fortement salées et tirsifiées.	Exclusivement observées dans la plaine de Boukader.	600	- Riz. - Certaines cultures fourragères irriguées après dessalage et expérimentation.	C.E. > 7 mmhos/cm. Texture argileuse à très argileuse. Nombreuses faces vertiques dès 40 cm porosité très faible, perméabilité très faible dès que le réseau de fentes de retrait est refermé.	Sols très lourds, difficiles à travailler. Très mauvais drainage interne. Teneur en sels élevée.		Mise en valeur à mettre en conformité avec celle du Bas-Chélif en raison de la spécificité et de la similitude des problèmes. Éventuellement, modification de l'affectation de ces terres (const. uctions urbaines ou industrielles).
6 = Alluvions anciennes et sols de piémont non tirsifiées.	Périphérie des plaines d'Ech Chleff Ouled Farrès et d'Oued Fodda. Majorité des sols de la plaine des MEDJADJAS et des extensions Est et Ouest.	7650	Toutes cultures adaptées aux conditions climatiques.	Sols de texture argilo-limoneuse à argileuse, bien structurés. Drainage externe facilité par la pente naturelle. Bonne perméabilité. Zones moins sensibles aux gelées.	Sols un peu lourds à ressuyage un peu lent. Risque d'érosion de surface (érosion en nappe et griffes d'érosion) quand la pente est supérieure à 2 % (piémont Nord des MEDJADJAS et plaine d'Oued Farrès). Irrigation gravitaire à pente lorsque la pente est supérieure à 5 %.	Protection de piémont.	Arboriculture irriguée recommandée compte-tenu des caractéristiques de sol et microclimat.
7 = Sols sur croûtes et encroûtements calcaires.	Exclusivement sur les bordures du périmètre et dans la plaine des MEDJADJAS.	2150	- Cultures céréalières et fourragères. - Cultures maraichères. - Arboriculture peu sensible au calcaire actif.	Sols de texture argilo-limoneuse à argileuse, bien structurés présentant des accumulations calcaires vers 50 cm.	Teneur en calcaire actif dans l'horizon encroûté. Topographie localement chahutée. Éventuellement, charge caillouteuse (remontée de dalle calcaire...).	Sous-solage et épierrage dans les quelques secteurs à croûte caractérisée.	Arboriculture à exclure sauf : - Olivier - Figier - Pêcher et abricotier sur amandier

Annexe 02

Diagramme de classification des eaux d'irrigation



Annexe 03

Table de Pearson χ^2

$\nu \backslash \alpha$	0,990	0,975	0,950	0,900	0,100	0,050	0,025	0,010	0,001
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349	10,8276
2	0,0201	0,0506	0,1026	0,2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103	13,8155
3	0,1148	0,2158	0,3518	0,5844	6,2514	7,8797	9,3484	11,3449	16,2662
4	0,2643	0,4299	0,7143	1,0646	7,7794	9,4877	11,1433	13,2767	18,4668
5	0,5543	0,8312	1,1455	1,6103	9,2364	11,0705	12,8325	15,0863	20,5150
6	0,8721	1,2373	1,6354	2,2041	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119	22,4577
7	1,2390	1,6899	2,1673	2,8331	12,0170	14,0671	16,0128	18,4753	24,3219
8	1,6465	2,1797	2,7326	3,4895	13,3616	15,5073	17,5345	20,0902	26,1245
9	2,0879	2,7004	3,3251	4,1682	14,6837	16,9190	19,0228	21,6660	27,8772
10	2,5582	3,2470	3,9403	4,8652	15,9872	18,3070	20,4832	23,2093	29,5883
11	3,0535	3,8157	4,5748	5,5778	17,2750	19,6751	21,9200	24,7250	31,2641
12	3,5706	4,4038	5,2260	6,3038	18,5493	21,0261	23,3367	26,2170	32,9095
13	4,1069	5,0088	5,8919	7,0415	19,8119	22,3620	24,7356	27,6883	34,5282
14	4,6604	5,6287	6,5706	7,7895	21,0641	23,6848	26,1189	29,1412	36,1233
15	5,2293	6,2621	7,2609	8,5468	22,3071	24,9958	27,4884	30,5779	37,6973
16	5,8122	6,9077	7,9616	9,3122	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999	39,2524
17	6,4078	7,5642	8,6718	10,0852	24,7690	27,5871	30,1910	33,4087	40,7902
18	7,0149	8,2307	9,3905	10,8649	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053	42,3124
19	7,6327	8,9065	10,1170	11,6509	27,2036	30,1435	32,8523	36,1909	43,8202
20	8,2604	9,5908	10,8508	12,4426	28,4120	31,4104	34,1696	37,5662	45,3147
21	8,8972	10,2829	11,5913	13,2396	29,6151	32,6706	35,4789	38,9322	46,7970
22	9,5425	10,9823	12,3380	14,0415	30,8133	33,9244	36,7807	40,2894	48,2679
23	10,1957	11,6886	13,0905	14,8480	32,0069	35,1725	38,0756	41,6384	49,7282
24	10,8564	12,4012	13,8484	15,6587	33,1962	36,4150	39,3641	42,9798	51,1786
25	11,5240	13,1197	14,6114	16,4734	34,3816	37,6525	40,6465	44,3141	52,6197
26	12,1981	13,8439	15,3792	17,2919	35,5632	38,8851	41,9232	45,6417	54,0520
27	12,8785	14,5734	16,1514	18,1139	36,7412	40,1133	43,1945	46,9629	55,4760
28	13,5647	15,3079	16,9279	18,9392	37,9159	41,3371	44,4608	48,2782	56,8923
29	14,2565	16,0471	17,7084	19,7677	39,0875	42,5570	45,7223	49,5879	58,3012
30	14,9535	16,7908	18,4927	20,5992	40,2560	43,7730	46,9792	50,8922	59,7031

Annexe 04

Table de profondeur équivalente "d" pour des conduites enterrées (Vlotman et al., 2020)

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

Roughly

d = constant for $D > \frac{1}{4}L$

