

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵓⵔⵉⵎⵉⵏⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**Etude du système de Drainage agricole du périmètre du moyen Cheliff
secteur «C » (120ha) à partir du barrage d'Oum Droua, wilaya de Chelf**

Présenté par :

SELMANE Abd El Hakim

Devant les membres du jury

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

Session..... 2023

Dédicace

Je souhaite dédier ce modeste travail aux personnes suivantes, en signe de gratitude pour tout ce qu'elles m'ont apporté :

- *À l'âme de mes chères grand-mères.*
- *À mes chers parents, pour tout ce que vous m'avez enseigné et offert.*
- *À ma tante, qui a toujours été présente pour moi.*
- *À mon grand-père, dont la sagesse m'a inspiré.*
- *À mes frères, qui ont partagé ce chemin avec moi.*
- *A mon oncle et mes cousins Omar, Amine, Sohayb, khawla, houda, mahdjouba, sarah, halima.*
- *À tous mes amis, en particulier Atmani Choukri, Tafifet Chemsdine, Teta Zakaria, Nazi Abdelmadjid, Seddiki Amine, Abdous Achref, Habib Rachad, Bestaoui Youcef, Arbane Ismail, Seriani Sifou, Ouadfel Amine, Rais Achref, Chikh Nori, Bendedouch Ismail, Hamidi Rachid, Brik Islem, Roubach Jobier, Sahnoun Taqyidine, Boudjela Ahmed, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables durant mes études.*
- *À tous mes collègues de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, qui ont enrichi mon parcours académique.*

Remerciement

Au terme de ce projet de fin d'études, résultat de mes années d'efforts acharnés, je souhaite exprimer ma sincère gratitude envers Allah pour m'avoir accordé les ressources et les personnes qui ont contribué à son élaboration, ainsi qu'envers ceux qui ont accepté de l'évaluer :

- Ma reconnaissance la plus profonde va à ma promotrice, Mme. AZIEZ Ouahiba, qui a accepté de superviser mon travail. Elle a fait preuve d'une grande compréhension et d'une sensibilité particulière envers les divers problèmes que j'ai rencontrés, et je la remercie chaleureusement pour son précieux soutien et son encadrement fructueux.*
- À tous les membres du jury, qu'ils soient président ou examinateurs, je tiens à exprimer ma gratitude pour leurs relectures minutieuses de ce document et pour leurs critiques constructives qui contribueront à améliorer la qualité de mon travail.*
- Monsieur le chef de projet, M. KHABBEZ, mérite également mes remerciements pour son assistance, ses nombreuses consultations, ses conseils et la mise à disposition de documentation importante, parfois inédite.*
- Je tiens à remercier le Directeur Général de l'Office National d'Irrigation et de Drainage (O.N.I.D) pour m'avoir accordé un stage au sein de son établissement. Mes remerciements vont également à tout le personnel de l'O.N.I.D, en particulier à Monsieur Hakim du Service de la Documentation, pour m'avoir ouvert les portes de la salle de documentation de l'O.N.I.D pendant la réalisation de ce projet.*
- À l'ensemble du personnel et des enseignants de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), qui ont contribué à ma formation, en particulier Monsieur BENKACI.T pour sa bienveillance et Madame SAADOUN.S pour son soutien dans ce domaine, ainsi qu'à Madame TOUAHIR.S et Madame Hayat.*
- Je n'oublie pas le personnel de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H- Blida), qui a mis à ma disposition les données pluviométriques récentes de la zone d'étude.*

Ma réussite dans ce projet n'aurait pas été possible sans la générosité, la patience et le soutien de toutes ces personnes, et je leur en suis profondément reconnaissant.

ملخص:

تقع منطقة أولاد عباس الزراعية في ولاية الشلف بمساحة 120 هكتار يغذيها سد أم دروع. وهي مدمجة في محيط متوسط شليف، وتعاني من مشاكل ملوحة التربة ومياه الري التي كان لها تداعيات خطيرة على النشاط الزراعي وحتى على احتياطات المياه الجوفية. الهدف من هذه الأطروحة هو تصميم نظام تصريف لتقليل الملوحة في منطقة الدراسة. **كلمات مفتاحية:** الصرف الزراعي، ملوحة الأرض، مياه السقي، المياه الجوفية.

Résumé:

La région agricole d'Ouled Abbas est localisée dans la wilaya de Chlef avec une superficie de 120ha alimentée du barrage d'Oum Drou. Elle est intégrée au sein du périmètre de Moyen Cheliff, souffrant de problèmes de salinité du sol et de l'eau d'irrigation qui ont eu de graves répercussions sur l'activité agricole et même sur les réserves d'eau souterraine. L'objectif de ce mémoire est de concevoir un système de drainage visant à réduire la salinité dans la zone d'étude.

Mots clé : Drainage, salinité, irrigation, zone d'étude, eau souterraine.

Abstract:

The agricultural region of Ouled Abbas is located in the wilaya of Chlef with an area of 120ha fed by the Oum Drou dam. It is integrated within the perimeter of Moyen Cheliff, suffering from problems of soil salinity and irrigation water that have had serious repercussions on agricultural activity and even on groundwater reserves. The objective of this thesis is to design a drainage system to reduce salinity in the study area.

Keywords: Drainage, salinity, irrigation, study area, groundwater.

Sommaire :

Introduction générale	1
Chapitre I: La Zone D'étude.....	2
I.1-Introduction.....	3
I.2-Présentation générale de la wilaya Chlef.....	3
I.2.1-Situation géographique :	3
I.3-Présentation du périmètre d'étude :	4
I.3.1-Conteste géomorphologique :	4
I.3.2-Conteste géologique :	4
I.4-Caractéristiques topographiques de la zone :.....	5
I.4.-Le relief:.....	5
I.4.2-Etude du réseau hydrographique :	5
I.5-Étude climatologique :.....	6
I.5.1-Choix de la station de référence :.....	6
I.5.2-Les températures :	6
I.5.3-Pluies mensuelles :.....	7
I.5.4-L'évaporation :.....	8
I.5.5-L'humidité relative :	8
I.5.6-Le vent:	9
I.5.6-Ensoleillement :	9
I.6-Les indices climatiques.....	10
I.6.1-Diagramme d'EMBERGER:	10
I.6.2-Diagramme de Gaussen :	11
I.6.3-l'indice de De Martonne :	12
I.7-Étude socio-économique.....	12
Conclusion :.....	13
Chapitre II : Ressource en sol/en eau.....	14
II.1-Introduction :	15
II.2-Les ressources en sol :	15
II.2.1- Les zones homogènes :.....	15
II.2.2-Géologie du bassin du Cheliff :	15
II.2.3-La géologie de la zone d'étude :.....	16
II.2.4-Le ESP :	18
II.3-Ressources en eau :	20

II.3.1-Classification des eaux pour l'irrigation :.....	21
II.3.2 L'évaluation de la qualité de l'eau :.....	22
Conclusion :.....	23
Chapitre III: L'étude hydrologique.....	24
III.1-Introduction :.....	25
III.2-La station de référence :.....	25
III.3-Tests d'homogénéités :.....	26
III.4-L'ajustement des pluies moyennes annuelles :.....	27
III.5-Test de Khi carré :.....	28
Conclusion :.....	29
Chapitre IV : Drainage.....	30
IV.1-Introduction :.....	31
IV.2-But de drainage :.....	31
IV.2.1-Prévention des inondations temporaires :.....	31
IV.2.2-Drainage des terres vierges :.....	31
IV.2.3-Mesures pour prévenir la salinisation du sol :.....	31
IV.2.4-Sécurisation des infrastructures majeures:.....	31
IV.3-Le réseau de drainage et ses composantes:.....	31
IV.3-1-Le plan global d'un système de drainage.....	32
IV.3-2.Éléments clés d'un système de drainage:.....	33
IV.4.Les modes essentiels de drainage:.....	34
IV.4.1-Le drainage superficiel:.....	35
IV.4.2-Drainage souterrain :.....	35
IV.4.3-Drainage par tuyaux enterrés :.....	36
Conclusion:.....	38
Chapitre V : Les besoins en eau des cultures et le débit à évacuer.....	39
V.1-Introduction :.....	40
V.2-Les cultures concevables :.....	40
V.3-L'occupation des sols :.....	40
V.4-Le scénario d'occupation du sol du périmètre :.....	41
V.5-Besoin en eau du périmètre :.....	42
V.5.1-L'évapotranspiration potentielle ou de référence :.....	42
V.5.2-L'évapotranspiration réelle ou de culture :.....	42
V.6-Calcul de l'évapotranspiration de référence :.....	42
V.6.1-La formule de Penman-Monteith modifiée :.....	43
V.7-La pluie efficace :.....	44

V.7.1-La réserve utile (RU) :.....	44
V.7.2-La réserve facilement utilisable (RFU) :.....	45
V.8-Calcul des besoins en eau des cultures :.....	45
V.8.1-Estimation des besoins en eau des cultures choisies :.....	46
V.8.2-Besoins en eau pour les assolements 1 et 2 :.....	54
V.9-Les débits de drainage :.....	55
V.9.1-L'efficacité d'irrigation :.....	55
V.9.2-Efficacité globale :.....	55
V.9.3-L'évaluation des besoins bruts :.....	55
V.9.4-La fréquence d'irrigation :.....	55
V.9.5-L'espacement d'arrosage :.....	56
V.9.6-Le débit à drainé :.....	56
V.10-Le lessivage du sol :.....	56
V.10.1-Calcul des doses de lessivage :.....	56
V.10.2-Efficacité de lessivage :.....	57
V.11-La pluie :.....	59
V.11.1-Débit caractéristique en régime permanent avec stockage :.....	59
V.11.2-Les valeurs maximales de la pluviométrie :.....	62
V.11.3-Détermination de la pluie critique :.....	63
V.12-Le débit à évacué (régime permanent avec stockage) :.....	65
V.13-Débit caractéristique en régime variable :.....	66
Conclusion:.....	66
Chapitre VI : Le dimensionnement du réseau.....	67
VI.1-Introduction :.....	68
VI.2-L'écartement des drains "E" :.....	68
VI.2.1-La formule de Hooghoutt (régime permanent).....	68
VI.3-La profondeur des drains :.....	71
VI.4-La longueur d'installation des drains :.....	71
VI.5-La pente d'installation :.....	71
VI.6-Le débit à évacuer par le drain :.....	71
VI.7-Le dimensionnement des drains:.....	72
VI.8- dimensionnement du collecteur :.....	72
VI.8.1-Calcul hydraulique des collecteurs.....	72
VI.8.2-Diamètre des collecteurs.....	73
VI.8.3-Les raccordement:.....	73
Conclusion:.....	74
Chapitre VII : L'entretien de réseau et l'étude socio-économique.....	75

VII.1-Introduction :	76
VII.2-Entretien et durabilité de systèmes de drainage.....	76
VII.2.1-Relation de vitesse d'écoulement avec la performance de réseau :.....	76
VII.2.2-Les méthodes d'entretien des canaux et fossés :	76
VII.2.3-L'entretien des réseaux enterrés :.....	76
VII.2.4-L'entretien des tuyaux :	77
VII.2.5-Problèmes dans l'exécution des travaux :	77
VII.3-Estimation du cout des travaux :.....	77
Conclusion :.....	78

Liste des tableaux :

<u>Table I-1:</u> caractéristique principales de la station pluviométrique.....	5
<u>Table I-2:</u> Températures moyenne annuelles de station.	5
<u>Table I-3:</u> Pluviométrie de la station.....	6
<u>Table I-4:</u> Evaporation moyenne mensuelle	6
<u>Table I-5:</u> Humidité relative mensuelle à station d'Oum Drou	6
<u>Table I-6:</u> Vitesses moyennes mensuelles du vent	6
<u>Table I-7:</u> Insolation moyenne mensuelle	7
<u>Table I-8:</u> Valeur d'indice de Martonne.....	9
<u>Table I-9:</u> Occupation du sol de la wilaya de Chlef	9
<u>Table II-1:</u> Caractéristiques chimique de l'eau d'irrigation.....	13
<u>Table III-1:</u> caractéristique principales de la station pluviométrique.....	16
<u>Table III-2:</u> Précipitations moyennes mensuelles (Station d'Oum Drou)	17
<u>Table III-3:</u> Résultat du test Mood	18
<u>Table III-4:</u> L'ajustement à la loi Normal.....	19
<u>Table III-5:</u> Valeur de Khi carré (Hyfran)	19
<u>Table V-1:</u> Les cultures de l'assolement 1	32
<u>Table V-2:</u> Les cultures de l'assolement 2	32
<u>Table V-3:</u> Calcul des pluies efficaces.....	35
<u>Table V-4:</u> Calcul des besoins en eau pour la tomate	37
<u>Table V-5:</u> Calcul des besoins en eau pour la pomme de terre	37
<u>Table V-6:</u> Calcul des besoins en eau pour l'olivier.....	38
<u>Table V-7:</u> Calcul des besoins en eau pour les agrumes.....	38
<u>Table V-8:</u> Calcul des besoins en eau pour les haricots.....	39
<u>Table V-9:</u> Calcul des besoins en eau pour l'Oignon	39
<u>Table V-10:</u> Calcul des besoins en eau pour l'Courgette.....	40
<u>Table V-11:</u> Calcul des besoins en eau pour le Poivron	40
<u>Table V-12:</u> Calcul des besoins en eau pour le Blé	41
<u>Table V-13:</u> Calcul des besoins en eau pour le Concombre	41
<u>Table V-14:</u> Calcul des besoins en eau pour le melon:.....	42

<u>Table V-15:</u> Calcul des besoins en eau pour la pastèque	42
<u>Table V-16:</u> Calcul des besoins en eau pour les choux.....	43
<u>Table V-17:</u> Calcul des besoins en eau pour le chou-fleur	43
<u>Table V-18:</u> Calcul des besoins en eau pour le petit pois	44
<u>Table V-19:</u> Calcul des besoins en eau pour la carotte	44
<u>Table V-20:</u> Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 1	45
<u>Table V-21:</u> Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2	45
<u>Table V-22:</u> Calcul de dose de lessivage.....	49
<u>Table V-23:</u> Trie de la pluviométrie 1er trimestre.....	51
<u>Table V-24:</u> Trie de la pluviométrie 2ème trimestre	52
<u>Table V-25:</u> Trie de la Pluviométrie 3ème trimestre	53
<u>Table V-26:</u> Les valeurs maximales de la pluviométrie	54
<u>Table V-27:</u> la pluie critique pour le 1er semestre	55
<u>Table V-28:</u> la pluie critique pour le 2ème semestre	55
<u>Table V-29:</u> la pluie critique pour le 3ème semestre	56
<u>Table V-30:</u> Le Qc en régime permanent avec stockage	57
<u>Table V-31:</u> Le Qc en régime variable	58
<u>Table VI-1:</u> Calcul des débits dans le collecteur principal et secondaire	64
<u>Table VI-2:</u> Calcul des diamètres des collecteurs secondaires.....	65
<u>Table VI-3:</u> Détermination des dimensions des collecteurs principaux.....	65
<u>Table VII-1:</u> Estimation du cout des travaux.....	70

Figure :

<u>Figure I-1:</u> Carte des wilayas géographique de la wilaya de Chlef.....	3
<u>Figure I-2:</u> Carte satellitaire du périmètre Ouled Abbès (Source: google Earth,2023)	4
<u>Figure I-3:</u> Carte géologique de zone d'étude (Perrodon, 1957).....	5
<u>Figure I-4:</u> Diagramme d'EMBERGER	8
<u>Figure I-5:</u> Diagramme ombrothermique de Gaussen	8
<u>Figure I-6:</u> Occupation du sol par catégorie de culture	10
<u>Figure I-7:</u> Occupation de l'elvage à la wilaya de chlef.....	10
<u>Figure II-1:</u> Carte de situation Ouled Abbès traversée par l'Oued Chéliff	13
<u>Figure II-2:</u> Diagramme de classification des eaux.....	14
<u>Figure III-1:</u> Ajustement des pluies annuelles à la loi Normale.....	18
<u>Figure III-2:</u> Table de distribution de χ^2 (Pearson).....	19
<u>Figure IV-1:</u> Drainage souterrain.....	23
<u>Figure IV-2:</u> Drainage vertical	23
<u>Figure IV-3:</u> Schéma général d'un système de drainage	25
<u>Figure IV-4:</u> Les types de réseaux.....	26
<u>Figure IV-5:</u> un réseau de drainage souterrain.....	27
<u>Figure IV-6:</u> Subsoiler	27
<u>Figure IV-7:</u> Drainage enterrés.....	28
<u>Figure IV-8:</u> Raccordement drain – collecteur	28
<u>Figure V-1:</u> L'occupation des sols.....	32
<u>Figure V-2:</u> Tableau de CROPWAT.....	35
<u>Figure V-3:</u> Courbe HDF pour le 1er semestre	55
<u>Figure V-4:</u> Courbe HDF pour le 2ème semestre	56
<u>Figure V-5:</u> Courbe HDF pour le 3ème semestre	56
<u>Figure VI-1:</u> Réseau de drainage pour le model d'un régime variable	61
<u>Figure VI-2:</u> Réseau de drainage pour le model d'un régime variable	62

<u>Figure VI-3:</u> Raccordement drain-collecteur et ensemble clip + coude.....	66
<u>Figure VII-1:</u> Photo de draineuse (Wikipédia)	69

Liste des annexes:

Annexe 1 : Les zones homogènes du périmètre moyen Chélif

Annexe 2 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation

Annexe 3 : Table de Pearson χ^2

Annexe 4 : Table de profondeur équivalente "d" pour des conduites enterrées
(Vlotman et al., 2020)

Liste des abréviations:

ONID : Office National d'Irrigation et Drainage

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

AGID : Agence Nationale de Gestion pour l'Irrigation et le Drainage

CI : Continentale intercalaire

Ce_w : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation

Ce_s : Conductivité électrique de la pâte saturée

ETR : Evapotranspiration réel

ETM : Evapotranspiration maximal

Ha : Hectare

Mm : Millimètre

J : Jour

LR : Leaching requiment (Fraction de lessivage)

PH : Potentiel d'hydrogène

SAR : Sodium Adsorption Ratio

Liste des planches

01: Plan de masse de périmètre D'Ouled Abbas (W.Chlef)

02: Plan de projection de réseaux de drainage

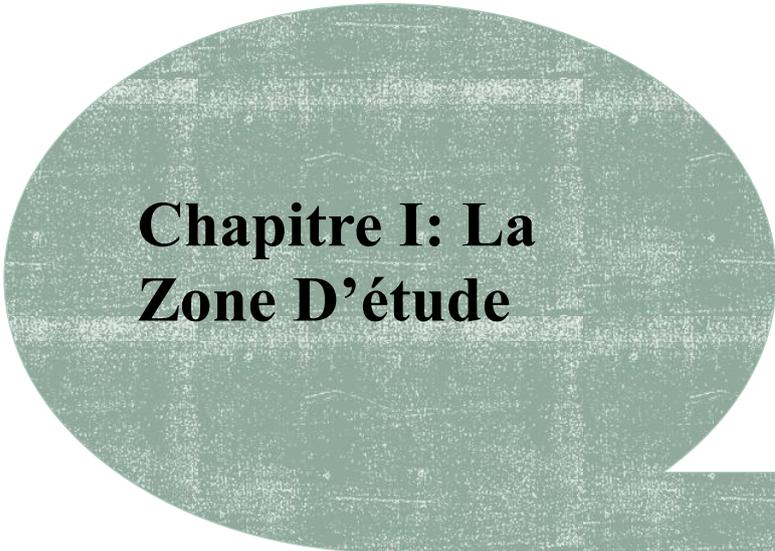
03 : Plan d'occupation du sol par culture

04 : Profile en long du collecteur II-II'

Introduction générale

La pratique du drainage agricole, une procédure cruciale dans l'agriculture contemporaine, a pour objectif de gérer de manière efficiente l'excès d'humidité présent dans les sols cultivables. Cette méthodologie englobe la régulation du niveau de la nappe phréatique et l'élimination de l'excédent d'eau des champs, contribuant ainsi à l'optimisation des conditions de croissance des cultures et à l'augmentation de la productivité agricole. Le drainage agricole joue un rôle d'une importance particulière dans les régions exposées à des précipitations excessives ou à des phénomènes de montée du niveau de la nappe phréatique, pouvant engendrer des inondations saisonnières ou une saturation en eau des sols, préjudiciables aux récoltes.

La zone d'Ouled Abbas, couvrant une superficie de 120 hectares, alimentée par le barrage d'Oum Drou, se trouve actuellement confrontée à des problèmes de salinité, étroitement associés à l'accumulation de sels solubles, mais surtout à une gestion inadéquate et au sous-développement des ressources en eau. Les défis techniques résultant du développement de sols salins ne pourront être relevés que par la mise en œuvre du drainage. Pour ce faire, il est impératif de réaliser une étude approfondie de la zone d'Ouled Abbas, en acquérant une compréhension exhaustive des ressources en eau et en sol, puis en procédant à l'estimation des besoins en eau des cultures et du débit à évacuer. Cela permettra de dimensionner avec précision le réseau de drainage, en déterminant un coût adéquat.



**Chapitre I: La
Zone D'étude**

I.3-Présentation du périmètre d'étude :

Le périmètre irrigué projeté est situé dans la wilaya de Chlef, à l'Ouest du barrage d'Oum Drou, ce périmètre couvre une superficie totale de 120 ha. Pour notre étude, le périmètre en question sera le secteur Ouled Abbas situé au Nord de la commune d'Ouled Abbas, cette commune est située à l'est de la wilaya de Chlef (Figure I-2).



Figure I-2: Carte satellitaire du périmètre Ouled Abbas
(Source : Google Earth, 2023,15-mars à 9h30)

I.3.1-Conteste géomorphologique :

Le relief du terrain est plat et par endroits accidenté ceci est lié à la massivité des reliefs calcaires que l'on rencontre dans ce secteur. La pente du terrain est généralement faible et convient à l'irrigation en particulier pour la partie centrale à la périphérie. La pente accroit et dépasse 3% dans certains endroits (ELMEDDAHI, 2009)

I.3.2-Conteste géologique :

Les terrains de la zone étude qui correspond et au voisinage d'Oum Drou sont néogènes et quaternaires. Ainsi le substratum tellien anti-néogène. (Perrodon. 1957). Les structures étant allongées Est-Ouest (**Figure II-3**). La tectonique est complexe. Les principaux éléments de cette chaîne sont : Des noyaux autochtones : qui sont des massifs épis métamorphiques à Schistosité (O. Kirèche. 1977). Des ensembles allochtones (nappes de charriage) recouvrant une grande surface. Ils forment la majeure partie des formations qui se sont mise en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Éocène moyen et miocène inférieur) (O. Kirèche, 1977).

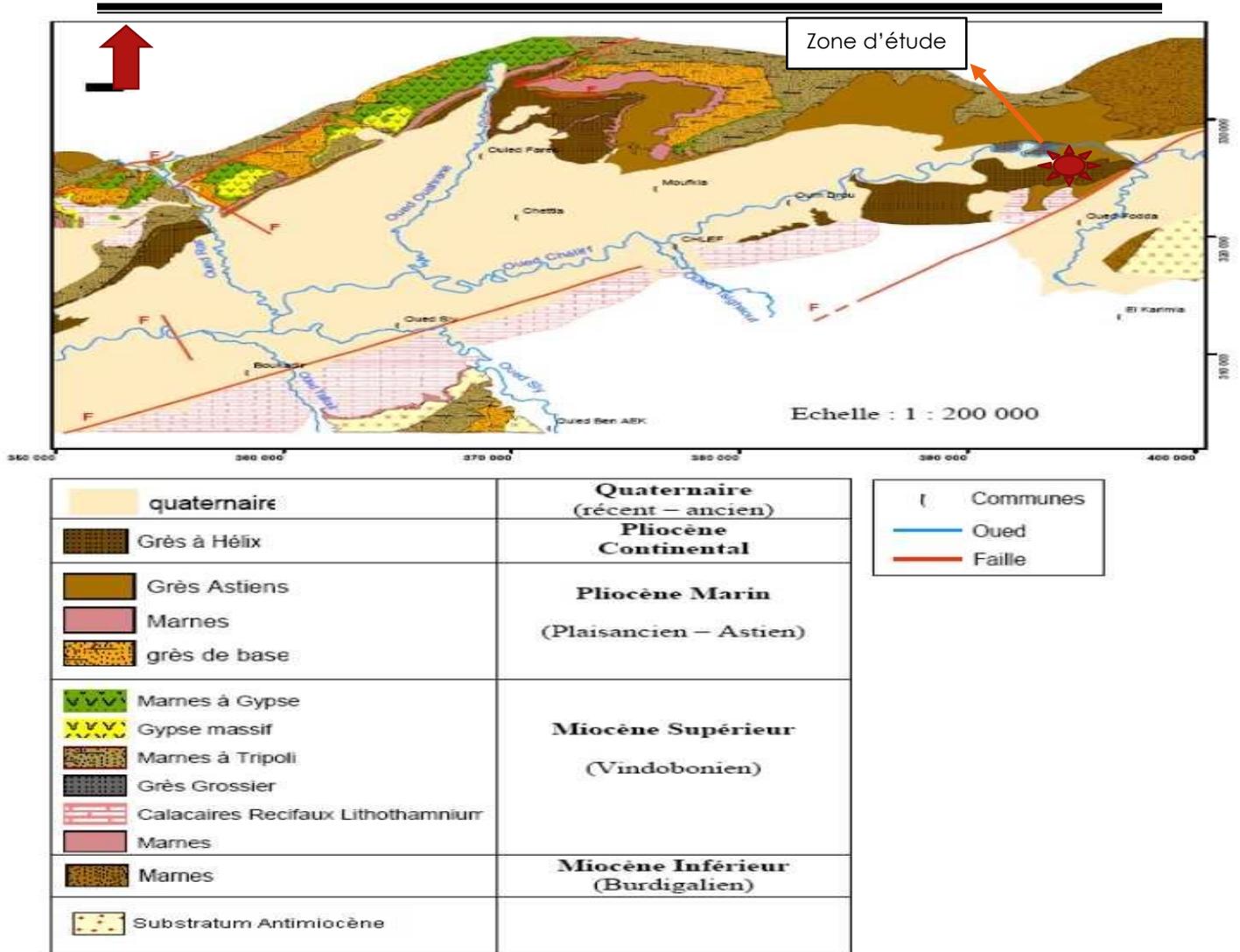


Figure I-3: Carte géologique de zone d'étude (Source :Perrodon, 1957)

I.4- Caractéristiques topographiques de la zone :

I.4.-Le relief:

Connaissance des caractéristiques topographiques, et le relief est un facteur essentiel pour détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. On peut dire que le périmètre à une topographie plane non accidenté caractérisée par une altitude moyenne de 130 à 98 mètres, et une pente moyenne de 0.35% vers l'ouest.

I.4.2-Etude du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué par un chevelu dense d'oued Chélif représenté en majorité de cours d'eaux temporaires. L'oued principal : l'Oued Chélif qui résulte de la jonction de deux grands cours d'eau : l'oued Touil et Nahr Ouassel est parmi les grands oueds nord-africains ; c'est le seul qui possède le cours le plus long et le débit le plus élevé. (Voir la carte du réseau hydrographique). L'affluent le plus proche de notre secteur est l'Oued Tsighaout, petit affluent de l'oued Cheliff ; sa longueur est de 24 Km. (MOKADAM., 2016)

I.5-Étude climatologique :

La climatologie est la science par laquelle on cherche à découvrir les régularités des phénomènes atmosphériques observés et à établir les lois qui les gouvernent – soit les répartitions géographiques et saisonnières des températures, des vents, des précipitations, etc. – tout en sachant que la variabilité reste un aspect essentiel du climat.

I.5.1-Choix de la station de référence :

En général, les données climatologiques de 8 stations climatologiques et météorologiques et de 28 stations pluviométriques situées dans la zone proprement dite et la zone étendue de Moyen Cheliff ont été utilisées pour effectuer les analyses climatologiques mentionnées. La station d'Oum Drou, implantée à la cote 112 NGA dans la zone d'étude, peut être considérée comme station de référence, parce qu'elle fait ressortir les caractéristiques les plus exhaustives de la zone d'étude.

Tableau I-1: caractéristique principales de la station pluviométrique

Nom de station	X	Y	Z	Période d'observation
Oum Drou	383.55	325.7	125 m	28 ans

I.5.2-Les températures :

La température de l'air est un élément météorologique très important qui influence l'évolution des plantes et les besoins en eau.

Tableau I-2 : Températures moyenne annuelles de station.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MOY ENNE
TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE (C°)	25,8	19,8	14,7	11,0	10,3	11,3	13,8	16,5	20,4	25,5	29,2	29,3	19,1
TEMPERATURE MAXIMALE (C°)	30,6	22,6	16,6	14,2	13,3	14,0	17,1	21,3	24,7	29,9	31,2	30,6	20,3
TEMPERATURE MINIMALE (C°)	24,1	17,3	12,5	8,7	8,0	7,4	11,0	14,5	12,0	22,6	26,7	26,3	18,3

Source O.N.I.D-2015

Selon les données de la température, il est clair que le mois d'juillet est le plus chaud avec une température moyenne de 31,2 °C, en revanche les mois de janvier et février sont les mois les plus froids de l'année avec une température moyenne de 8 (°C) et 7.4 (°C) respectivement.

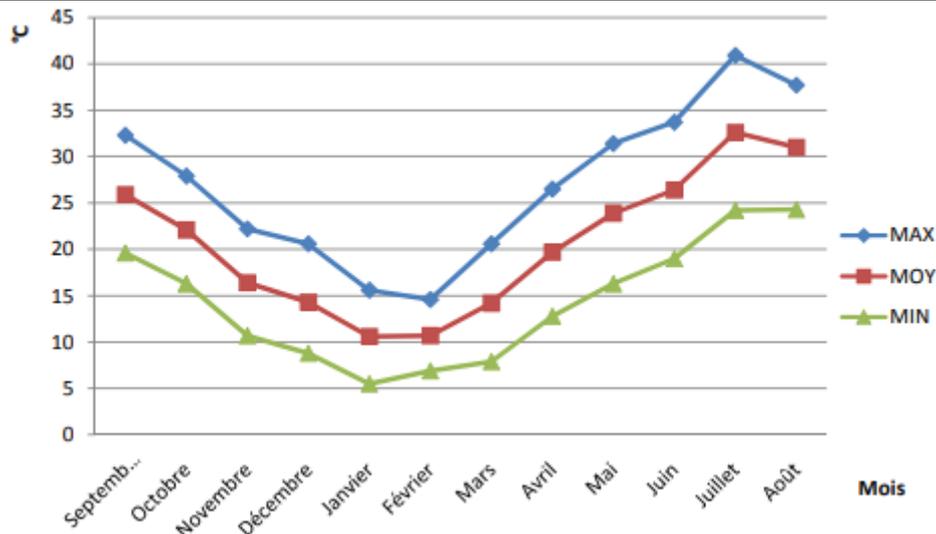


Figure I-4 : Evolution des températures moyennes mensuelles (2015)

I.5.3-Pluies mensuelles :

Les pluies mensuelles sont importantes en irrigation car elles permettent de quantifier le bilan hydrique nécessaire pour le calcul des doses et des besoins d'irrigation.

Tableau I -3: Pluviométrie de la station d'Oum Drou

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Moy
PLUVIOMETRIE MOYENNE (mm)	18,2	29,7	58,5	44,9	48,6	54,6	28,9	39.2	28,8	6,5	0,6	3,07	354,5

Source : Bureau assistance Météo-Chlef 2015 (O.N.M)

On remarque que le moi le plus pluvieux est le mois de Novembre et le plus sec est Juillet.

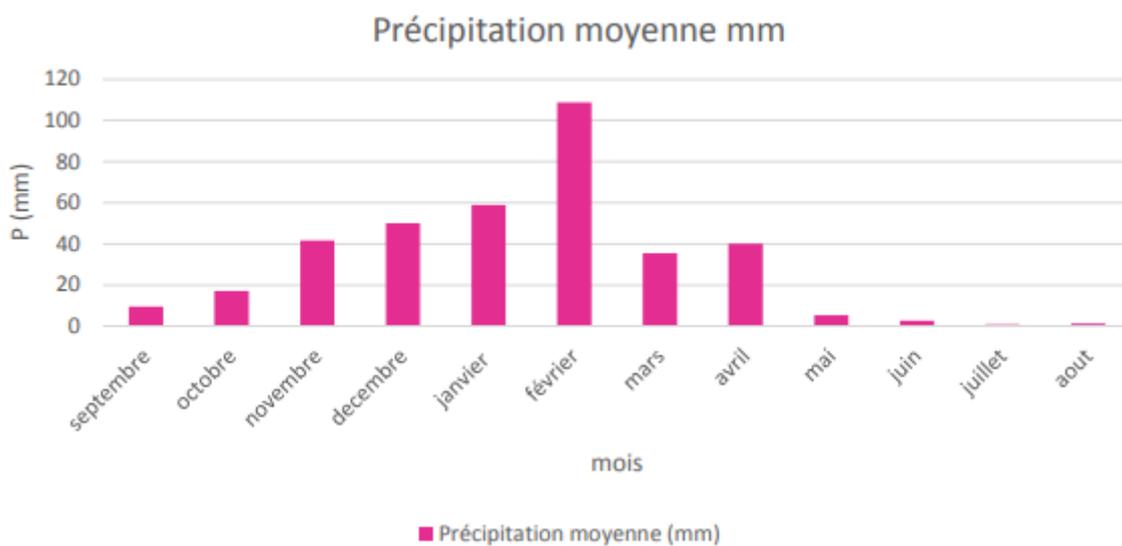


Figure I-5 : Précipitations moyennes de la station d'Oum Drou.

I.5.4-L'évaporation :

C'est une Transformation sans ébullition d'un liquide en vapeur. Les variations de l'évaporation mensuelle sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I-4: Évaporation moyenne mensuelle

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Moy
EVAPORATION MENSUELLE (mm)	101,1	61,8	34,2	24,1	27,3	31,9	51,1	64,4	89,1	117,0	154,8	149,1	905,9

Source : Bureau assistance Météo-Chlef 2015 (O.N.M)

L'évaporation prend une valeur max au mois de juillet et une valeur min au mois de janvier

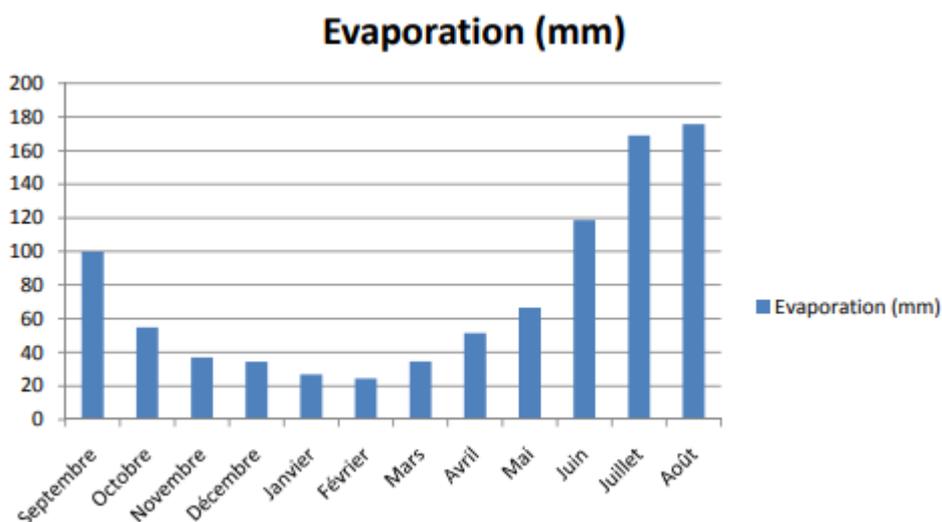


Figure I-6 : le diagramme d'évaporation

I.5.5-L'humidité relative :

Il s'agit de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, exprimée en pourcentage

Tableau I-5 : Humidité relative mensuelle à station d'Oum Drou

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Moy
L'HUMIDITE RELATIVE (%)	55,0	66,0	74,0	80,0	81,0	76,0	70,0	66,0	58,0	53,0	44,0	47,0	64,0

Source O.N.I.D-2015

Il est maximal au mois de Janvier et minimal au mois de Juillet.

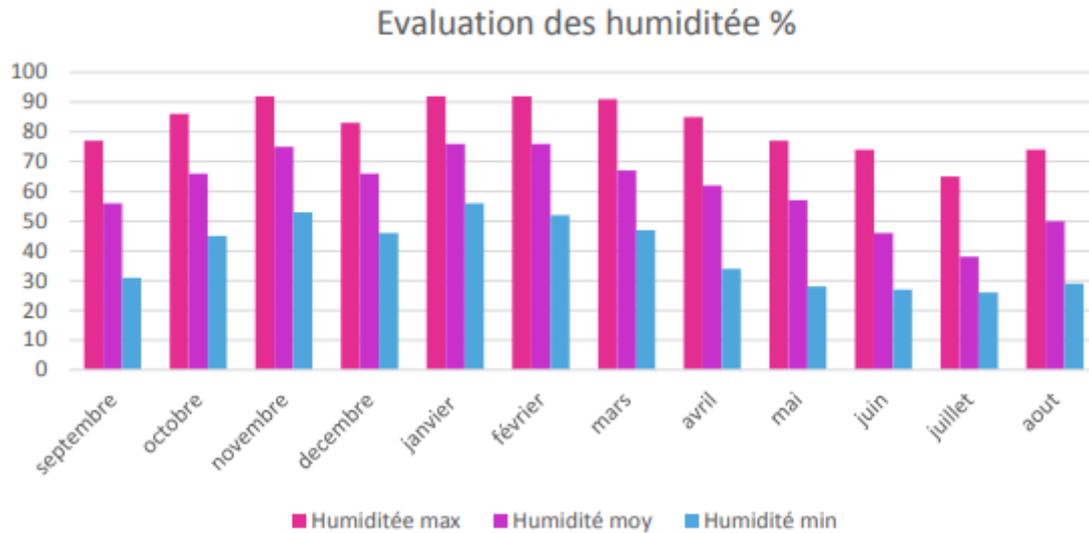


Figure I-7 : Evaluation de l'Humidité relative mensuelle

I.5.6-Le vent:

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat, ce facteur exerce une grande influence sur les cultures et le système d'irrigation.

Tableau I-6 : Vitesses moyennes mensuelles du vent

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Moy
VITESSE MOYENNE DU VENT (m/s)	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3	2,6	2,8	3,0	2,7	3,2	3,0	2,7	2,6

Source : Bureau assistance Météo-Chlef 2015 (O.N.M)

Les vents dominants à Oum-Drou soufflent d'ouest vers l'est, avec une vitesse modérée de 2.6 m/s

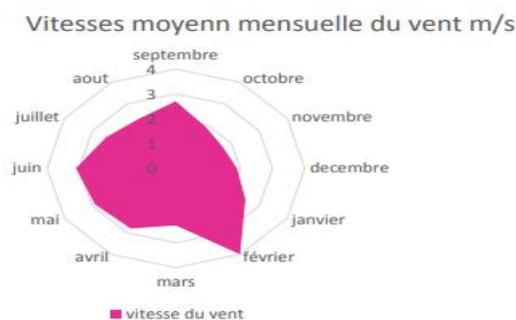


Figure I-8 : Vitesses moyennes mensuelles du vent dans la région du Chélif

I.5.6-Ensoleillement :

Tableau I-7 : Insolation moyenne mensuelle (heure/jour)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Moy
DUREE MOYENNE D'ENSOLEILLEMENT (heures)	8.1	7.4	5.6	5.3	5.2	6.2	8.0	8.4	9.6	10.6	11.7	9.8	8

Source : Bureau assistance Météo-Chlef 2015 (O.N.M)

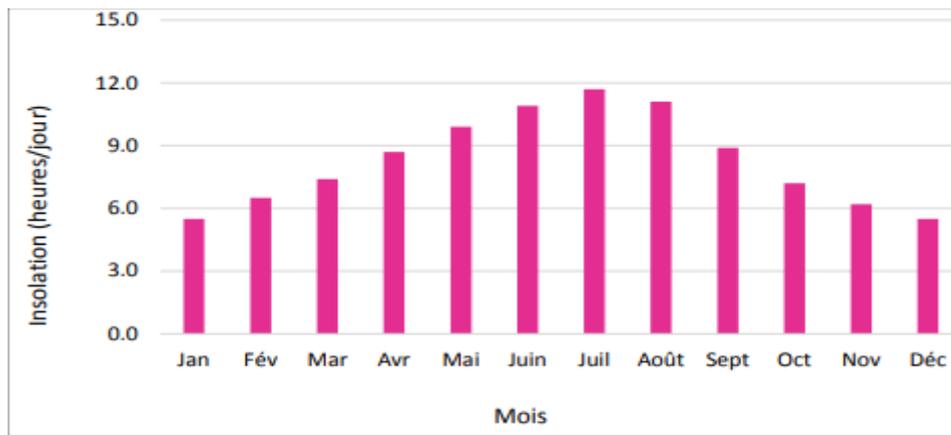


Figure I-9 : Variation d'Insolation moyenne mensuelle (heures)

I.6-Les indices climatiques

I.6.1-Diagramme d'EMBERGER:

La technique est fondée sur la projection du quotient pluviométrique sur un diagramme dressé par EMBERGER (**Figure I-10**)

Ça formule est :

$$Q = \frac{1000 \times P}{(M - m) \frac{(M + m)}{2}} \dots \dots \dots \{I-1\}$$

Avec :

Q : coefficient Ombrothermique d'Emberger.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des températures maximales (Kelvin).

m : moyenne des températures minimales (Kelvin).

Donc :

$$Q = \frac{354.5 \times 1000}{(303.6 - 280.4) \frac{(303.6 + 280.4)}{2}} = 52.32$$

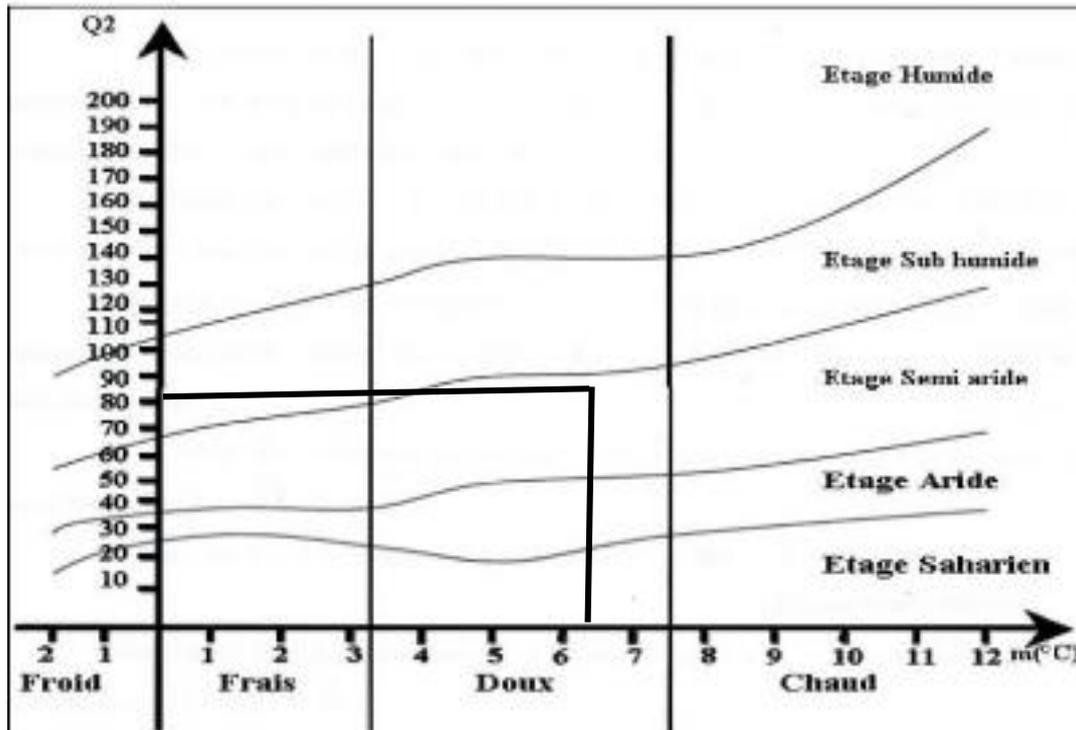


Figure I-10 : diagramme d'EMBERGER

L'étage bioclimatique de notre zone d'étude est le Semi-aride Sous étage : Hiver doux.

I.6.2-Diagramme de Gausсен :

Ce diagramme nous permettra donc d'évaluer l'intervalle de saisons sèche et humide, et sa position dans le temps, en faisant intervenir la pluviométrie et la température sur un même graphique (Figure I-11).

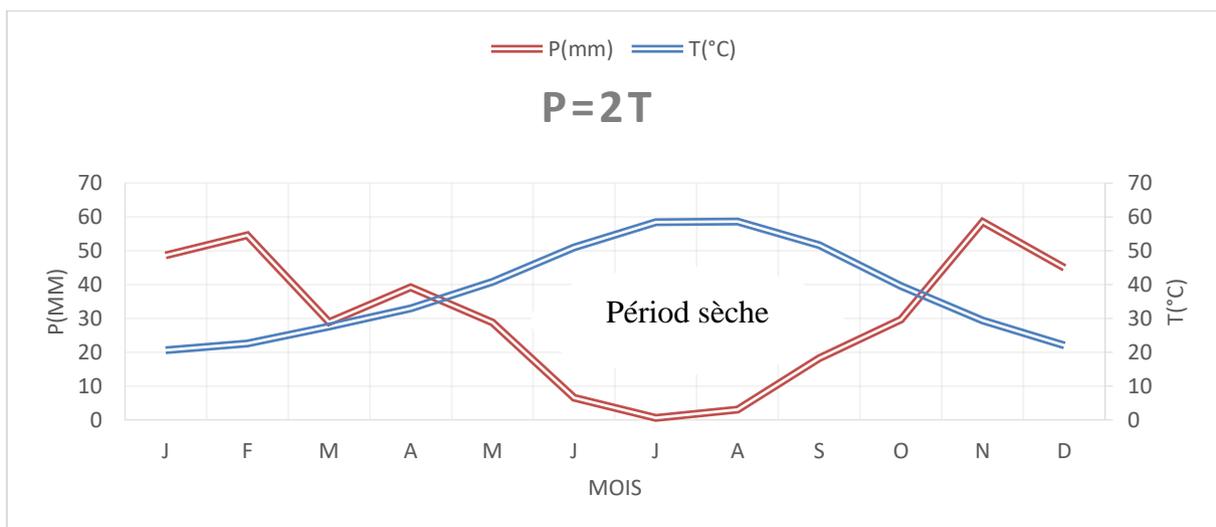


Figure I-11 : Diagramme ombrothermique de Gausсен

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

I.6.3-l'indice de De Martonne :

Ca formule général est la suivant :

$$IA = \frac{P}{T + 10} \dots \dots \dots \{I-2\}$$

Tableau I-8 : Valeur d'indice de Martonne

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

Et on a : $IA = \frac{354.5}{10+19.1} = 12.18$

D'après l'indice d'aridité calculé et selon le tableau de classification ci-dessus, on constate que la région est soumise à un régime de climat sec, et par conséquent que l'irrigation est indispensable.

I.7-Étude socio-économique

Tableau I-9 : Occupation du sol de la wilaya de Chlef

Culture	Superficie (ha)	Production (qx)
Céréales	93 884	2 157 296
Légumessecs	9 422	113 291
Fourragesartificiels	28 980	1 175 965
Cultures industrielles	1210	931 700
Cultures maraîchères	9 215	3 450 608
Autres cultures	221	//

L'agriculture occupe une superficie de 262 511 hectares de la superficie totale de la willaya de Chlef (**Figure I-12,3**).

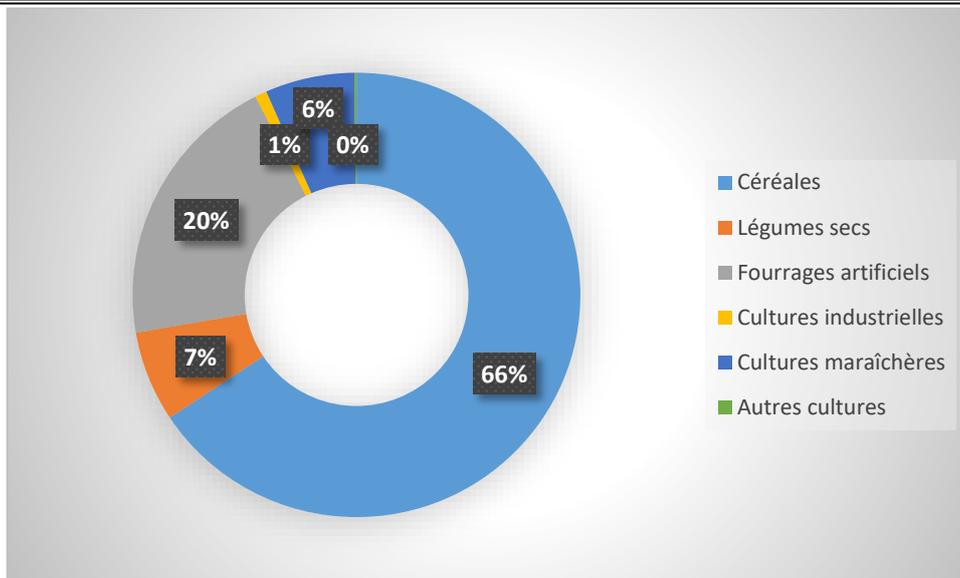


Figure I-12 : Occupation du sol par catégorie de culture (Source: DSP Chlef 2022).

Et pour l'élevage :

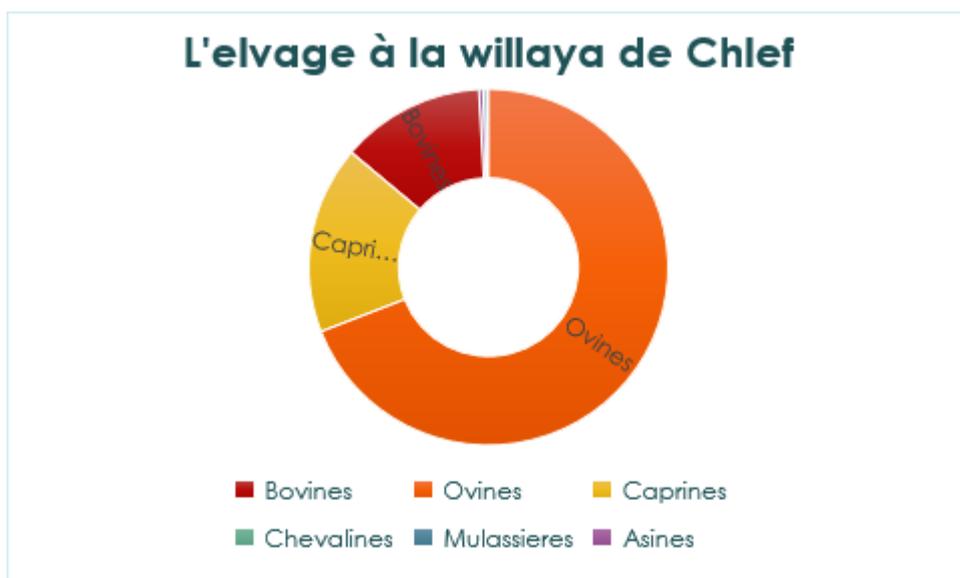
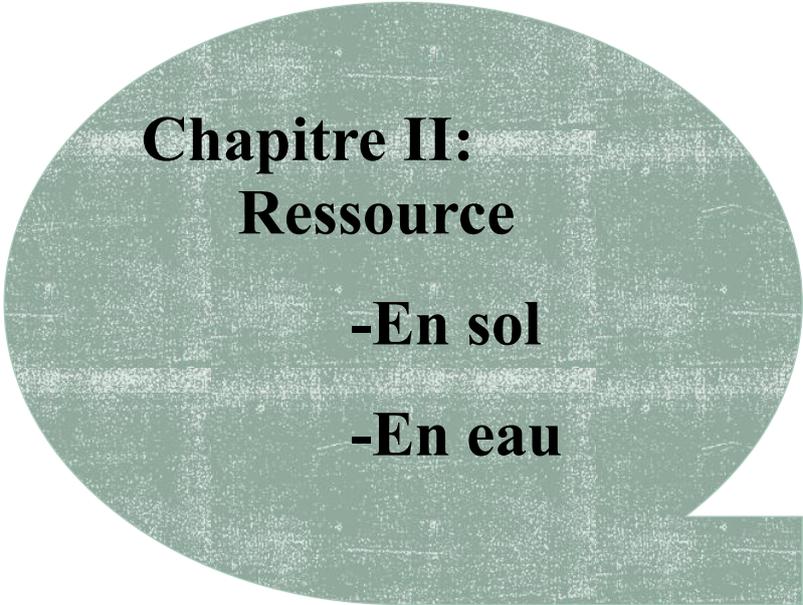


Figure I-13 : L'élevage à la wilaya de Chlef (Source: DSP Chlef 2022)

Selon la DSP 2019 la wilaya de Chlef contribue à la production nationale avec un pourcentage de 2.9% c'est la 13ème place à l'échelle national.

Conclusion :

Le périmètre est situé juste en aval barrage d'Oum Drou, il est caractérisé par un climat semi-aride à hiver doux relativement humide et un été sec et chaud, avec une insuffisance relative et une mauvaise répartition des pluies au cours de l'année. Pour maintenir un bon développement de l'agriculture dans la wilaya, et vu les caractéristiques climatologiques, il est primordial d'introduire un aménagement hydro-agricole et de nouveaux systèmes d'irrigations efficaces.



**Chapitre II:
Ressource**

-En sol

-En eau

II.1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous visons à faire une analyse des ressources en sol et les ressources en l'eau pour notre aménagement de la zone.

II.2-Les ressources en sol :**II.2.1- Les zones homogènes :**

Notre région est localisée au niveau de la Vallée de l'Oued Cheliff, on peut la mettre entre trois zones homogènes qui sont :

Zone 1(1) :

Localiser à le long des principaux Oueds Alluvio-alluviales de la plaine des MEDJADJAS avec une superficie de 180 ha. La granulométrie de la zone caractérisée par une texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, dite fine plus grossières dans les zones d'épandages, éventuellement quelque traces d'hydromorphie ou salinité en profondeur.

La conductivité est supérieure à 2, la perméabilité est comprise entre 0,5 cm/h et 0.3 cm/h dans ceux présentant un caractère salin. Elles sont représentées par des zones inondables, situées longeant de l'Oued Chélif.

Zone 2 (6) :

Encerclé les plats d'Ech-Chlef, Oued Fodda et Ouled Farres. Cette zone est moins sensible aux gelées avec une bonne perméabilité qui est bien structurés grâce à la texture argilo-limoneuse à argileuse. Son PH est de 8 et les taux de calcaire total varient de 10 à 25%. Cette zone inclus 320 ha, 30% est contrôlée.

Zone 3 (7) :

Située sur les montagnes avec un relief accidentée, la plupart de cette zone est minable pour l'étude avec la présence des accumulations de calcaires vers 50cm avec une texture argilo-limoneuse à argileuse. Elle est exclusivement sur les bordures de périmètre et dans la plaine des MADJADJAS.

II.2.2-Géologie du bassin du Cheliff :

Le bassin du Cheliff est un bassin néogène post- nappe, la chaîne tellienne constitue le substratum de ce bassin, on distingue :

- Un substratum tellien anté-néogène
- Un bassin néogène post-nappe
- La chaîne tellienne est constituée d'une suite de reliefs parallèles à la côte méditerranéenne, formés essentiellement de terrains jurassiques et crétacés

II.2.3-La géologie de la zone d'étude :

Notre zone d'étude est caractérisé par les dépôts quaternaires continentaux, ils sont prédominants dans la plaine de Mouafkia et la dépression de Chlef Oum Drou où ils affleurent largement. On distingue un quaternaire ancien et un quaternaire récent.

-Le Quaternaire ancien est constitué par des alluvions grossières essentiellement conglomératiques intercalées de quelques lentilles argileuses. Il affleure sur les Medjadjas, les montagnes rouges et la bordure Sud de la dépression Chlef – Oum Drou. L'épaisseur de ces dépôts est en moyenne de 100 m mais ils peuvent atteindre des épaisseurs plus grandes, au synclinal de Boukadir et d'Ouled Farés il peut atteindre environ 200 m.

-Le Quaternaire récent correspond à des alluvions dont la prédominance des éléments fins (limons) le caractérise, son épaisseur atteint 70 m dans la plaine de Mouafkia. Les limons bruns à rougeâtre, les limons gris et les alluvions actuelles formés de limons, de sables, de galets et de cailloutis occupent le fond des talwegs et les zones de confluence des oueds

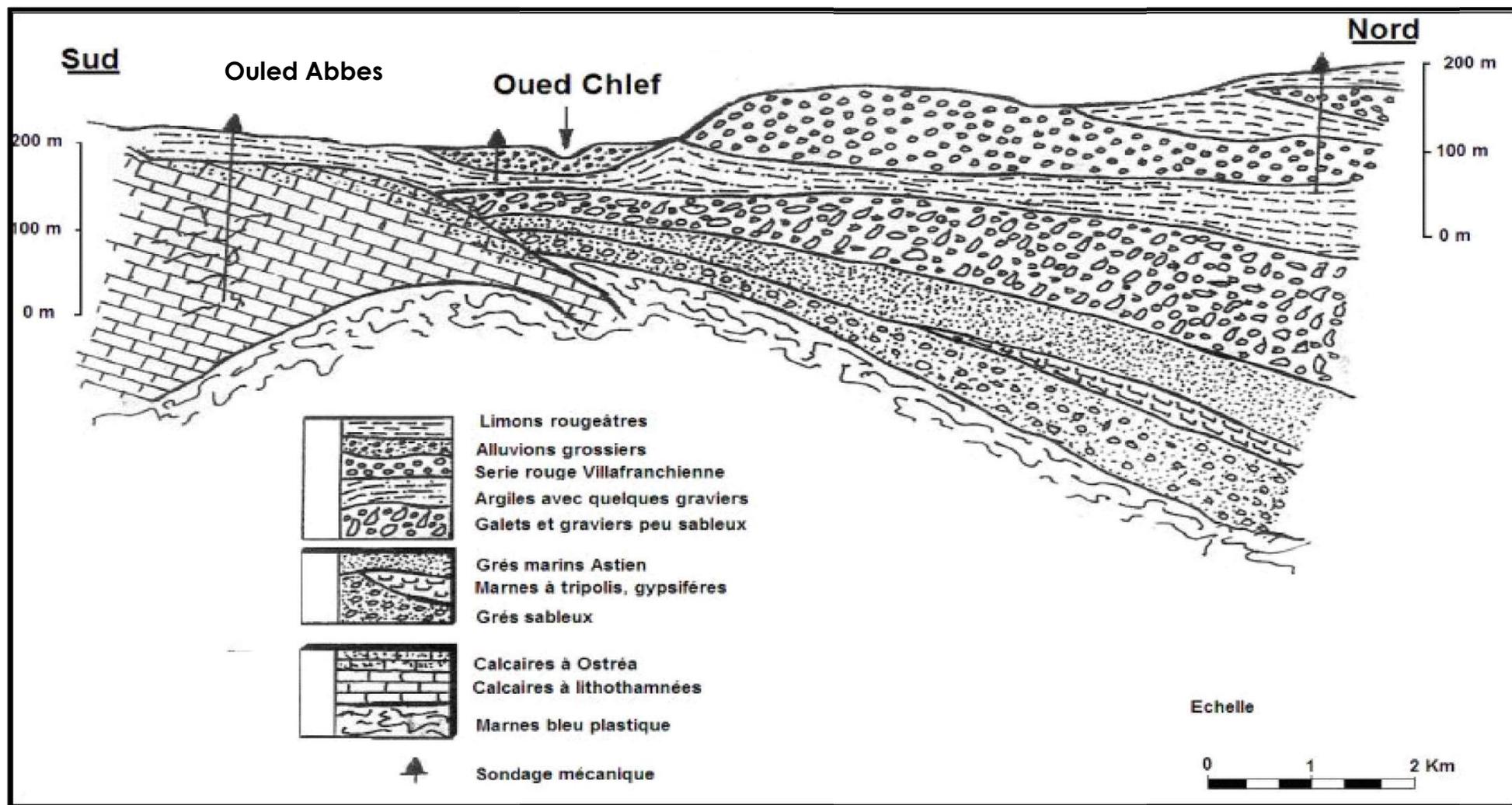


Figure II-1: Coupe S – N montrant la disposition structurale de Moyen Chellif (Source : O.N.I.D)

Selon la carte pédologique (**Figure II-2**) et l’**annexe 1** on remarque que les alluvions anciennes et les alluvions récentes sont le plus dominant dans la zone, et ces alluvions sont caractérisées par une texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, bien structurés plus grossière dans les zones d’épandage et il a une perméabilité modérée de 1 à 3 cm /h, avec une conductivité électrique de ($cees < 2$ mmhos/cm) en surface. Mais l’exploitation de la nappe salée a causé une hausse a la salinité du sol jusqu'au 5 mmhos/cm. le ESP est à la proximité de 1.6 %

On remarque aussi que le sol est un peu lent à ressuyage donc il y a un risque d’érosion des surface quand la pente est supérieure à 2% comme dans notre cas.

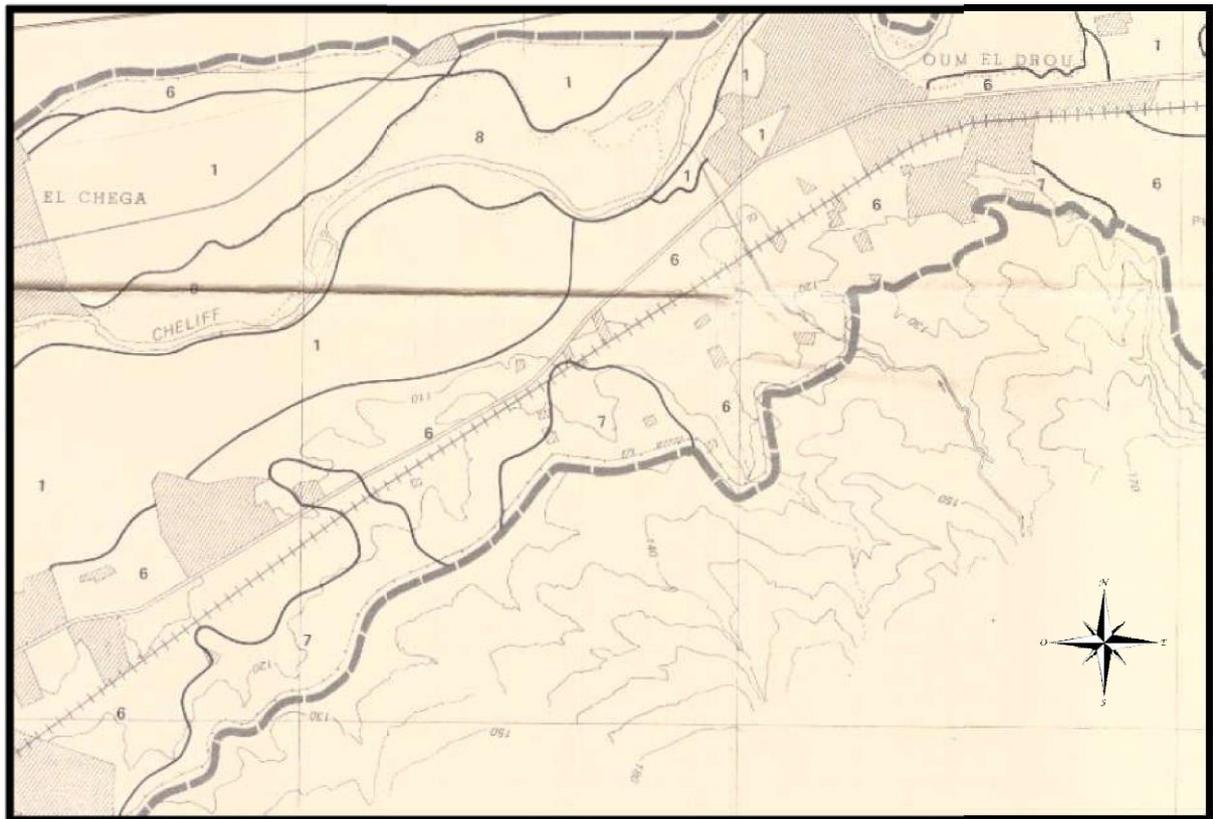


Figure II-2: Carte pédologique de la wilaya de Chlef (Source : O.N.I.D)

II.2.4-Le ESP :

Il y ‘a plusieurs formules empiriques reliant le SAR avec le ESP comme la formule de ‘Tunisie’ et la formule ‘USSL’, et avec l’une de ces derniers on déterminera le ESP.

Dans notre cas, on choisit la formule de Tunisie :

$$ESP = \frac{0.988 \times SAR - 0.61}{100} \dots\dots\dots \{II-1\}$$

Tableau II-1 : Classification du Tunisie du sol

	Cees à 25°C (mmohs/cm) ESP	ESP
Sol salin	> 4	< 15
Sol alcalin	< 4	> 15
Sol alcalino-salin	> 4	> 15

D'après le **tableau II-1** Si le SAR=2.19 le ESP du sol sera ESP= 1.6% et on peut déduire que le sol est salin non-alcalin.

Interprétation :

D'après les Analyse physico-chimiques de profil, on voit que la texture est limono-argileuse selon la projection du triangle de texture (USDA). Vu la conductivité électrique de profil, les sols ne présentent excès de salinité.

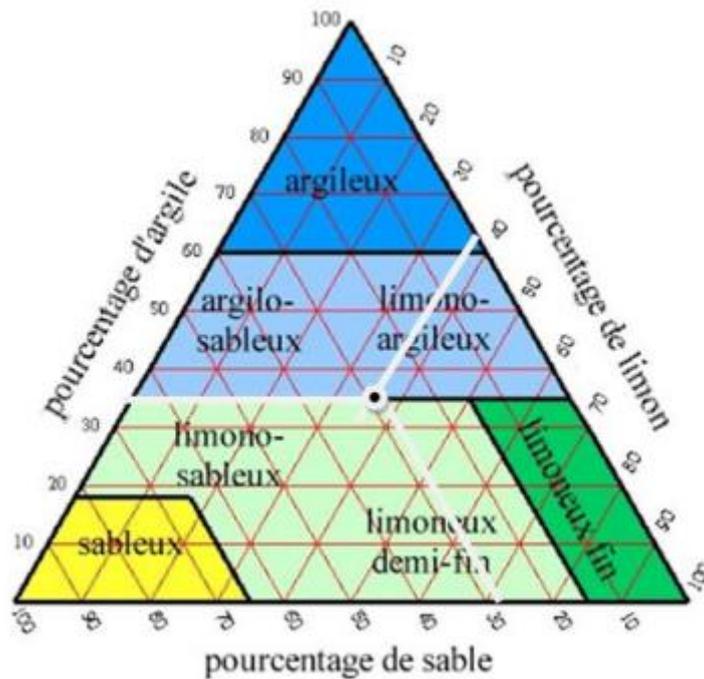


Figure II-3 : Classification du sol dans le triangle de texture (USDA).

II.2.4- Caractéristiques hydrodynamiques des sols

Le sol est caractérisé par des paramètres physiques mesurables. Les valeurs de ces paramètres varient généralement en fonctions de la structure et de la texture du sol. Les paramètres hydrodynamiques, qui interviennent dans le calcul de la dose d’irrigation sont résumés dans le tableau II-2 :

Tableau II-2: Propriétés hydrodynamiques des sols (Source : O.N.I.D-2015).

Paramètre	Unité	Valeur moyenne
Texture	----	Limono-argileuse
Humidité à la capacité au champ	%	27
Humidité au point de flétrissement	%	16
La perméabilité	m/s	7×10^{-6} m/s
Densité apparente		1,35
CE	mmho/cm	1,79

II.2.5-Les aptitudes culturales des sols :

L'aptitude culturale des sols est une notion importante dans le domaine de l'agriculture, c'est la capacité du sol à répondre aux besoins physiques, chimiques et biologiques nécessaires à la croissance des plantes, pour leur productivité, leur reproduction et leur qualité de manière adaptée au type de plante et au type de sol et aux conditions climatiques.

Tableau II-3 : Les aptitudes culturales des sols

Cultures	Catégorie	Végétation
Culture arbustives	B1	Agrumes, cerisier.
	B2	Pêcher.
Cultures industrielles	I1	betterave à sucre, coton.
	I2	Tabac.
Cultures céréalières et fourragères	C1	bersim, sorgho, maïs, vesce-avoine.
	C2	luzerne, ray-grass, blé tendre
Cultures maraichères	M1	tomate, oignons, pomme de terre.
	Mf	artichaut, oignons, navet, choux fleurs.
	M2	tomate, oignons, pomme de terre.

Source :DSP 2022

II.3-Ressources en eau :

Notre zone d'étude à Ouled Abbes (la zone mentionnée en étoile rouge) sera uniquement alimentée par les eaux de l'Oued Cheliff qui sera dérivées au barrage Oum Drou par un seuil de dérivation proprement dit dans le tronc commun (**Figure II-2**).



Figure II-3 : Carte de situation Ouled Abbès traversée par l’Oued Chélif (Source : Bouhli et al. 2021)

II.3.1-Classification des eaux pour l’irrigation :

La classification américaine des eaux d’irrigation est basée sur deux paramètres : la Conductivité Électrique CE, et le rapport d’absorption du Sodium SAR. (United States Salinité Laboratoire, U.S.S.L ,1954). Le tableau suivant montre les résultats d’analyse de l’eau brute de l’Oued Chélif (la station de pontéba)

Tableau II-2 : Caractéristiques chimique de l’eau d’irrigation

Element	Unité	Résultat
T de l air	°C	17,83
T de l eau	°C	13,83
O2	Mg/l	10,43
Conductivité	mmhos/cm	1,79
Calcium	Mg/l	122,83
Magnésium	Mg/l	59,25
Sodium	Mg/l	152
Potassium	Mg/l	5,16
Chlorures	Mg/l	263,16
Sulfates	Mg/l	332,66
Carbonates	Mg/l	248,16
Ph		7,91
MES	Mg/l	194,5
Turbidite	NTU	185,05
Nutrites	Mg/l	0,43
Ammonium	Mg/l	2,04
DCO	Mg/l	46,91
DBO	Mg/l	11,66
Phosphates	Mg/l	0,24

Source : O.N.I.D, 2015

II.3.2 L'évaluation de la qualité de l'eau :

II.3.2.1-La conductivité électrique :

Pour savoir la quantité des sels dans l'eau, on mesure la conductivité électrique qui est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25°C et exprimée en mmhos/cm. La conductivité électrique moyenne de l'eau du barrage qui vise d'irriguer notre périmètre est estimée de **1.79**

Interprétation : Norme de conductivité électrique de l'eau supérieure à 1,5 mmhos/cm est souvent considérée comme acceptable pour la culture avec précaution.

II.3.2.2-Sodium Absorption Ratio :

C'est le SAR, la formule générale est de :

$$SAR = \frac{Na+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{++}+Mg^{++})}} \dots\dots\dots \{II-2\}$$

$$SAR = \frac{152}{\sqrt{\frac{122.33+59.25}{2}}} = 15.93$$

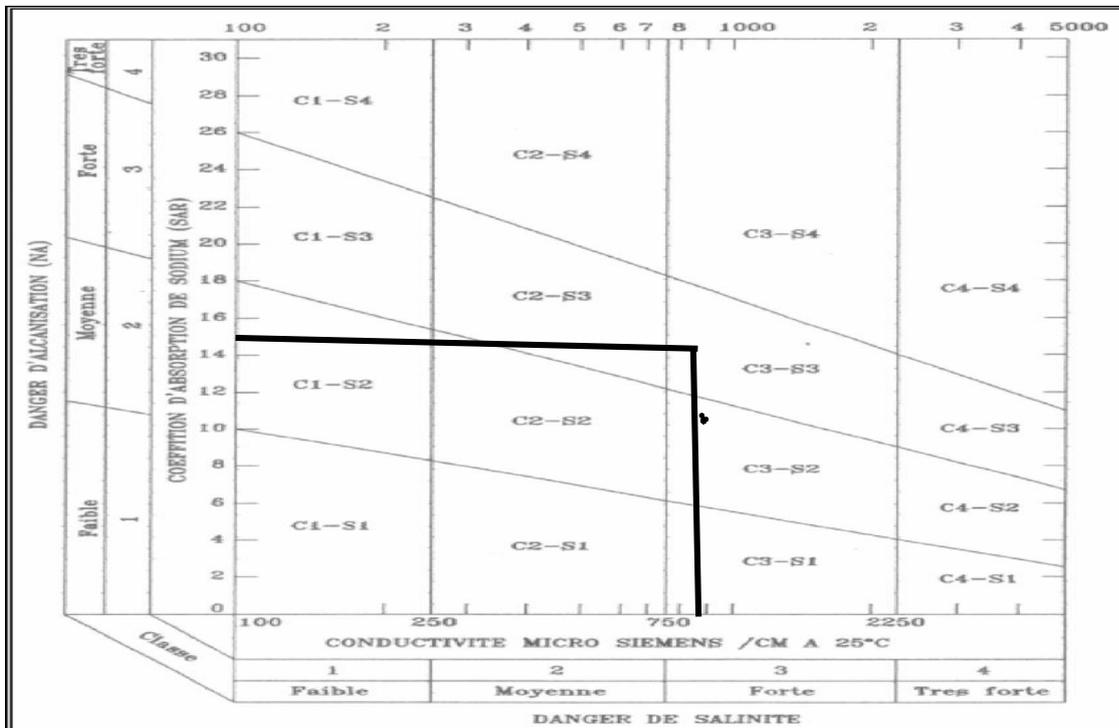


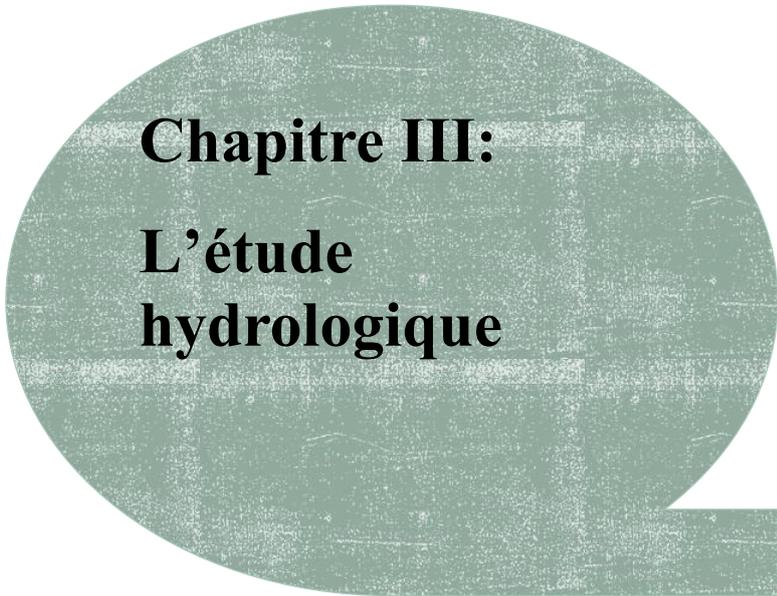
Figure II-4 : Diagramme de classification des eaux de Riverside (1954)

D'après le diagramme de classification des eaux d'irrigation (**Figure II-2**) notre eau est classée **C3-S3**, le double risque d'alcalinité et de salinité existe donc le drainage est nécessaire.

Conclusion :

D'après le classement des sols et la classification de l'eau d'irrigation nous constatons que notre sol est un mix entre 3 zones différencié ou l'on distingue l'existence d'excellent, moyen et faible potentiel agronomique. On peut dire que notre périmètre est acceptable pour l'irrigation avec précaution (c'est le drainage).

Quant à l'eau d'irrigation, elle est classée C3-S3. Ces eaux peuvent poser des problèmes d'alcalinisation sur les sols à texture fine mais elles sont utilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité. Pour éviter le problème de salinisation, un bon drainage du sol, est incontournable.



**Chapitre III:
L'étude
hydrologique**

III.1-Introduction :

Le présent chapitre a pour but d'évaluer la pluviométrie, car le dimensionnement d'un réseau de drainage exige une étude statistique permettant de déterminer la distribution fréquentielle des pluies. L'objectif principal d'une étude hydrologique est de déterminer la précipitation mensuelle d'une fréquence 80%.

III.2-La station de référence :

On choisit la station d'Oum drou comme une station de référence qui a comme données :

Tableau III-1:caractéristique principales de la station pluviométrique

Nom de station	Latitude	longitude	altitude
Oum drou	36.2	1.39	112m

Pour le problème de lacunes des données de précipitation mensuelle on doit importer des valeurs de la station voisine d'Ouled Fares.

Pour importer notre série on utilise la méthode de corrélation simple pour remplir les lacunes.

En premier temps on calcule le coefficient de corrélation entre la station de Oum Drou et la station de Ouledfares :

$$R_{xy} = \frac{Cov(x;y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \dots\dots\dots \text{\{III-1\}}$$

Tel que :

Cov(x ;y) : la covariance de 2 séries

σ : l'écart type de serie

On trouve :

R_{xy}=0.6

Le coefficient est dans l'intervalle de forte corrélation, donc il y a une bonne corrélation entre les deux séries.

-Puis on utilise le droit de régression pour trouver les valeurs manquantes

Ça formule est de $Y = aX + b \dots\dots\dots \text{\{III-2\}}$

$a = R_{xy} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \dots\dots\dots \text{\{III-3\}}$

$b = moyy - moyx \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \dots\dots \text{\{III-4\}}$

Donc on remplace les valeurs de série X dans l'équation pour trouver les valeurs de série Y

$Y = 0.7 * X + 0.8$

Et on fait la restitution pour trouver le la série pluviométrique suivante :

Tableau III-2 : Précipitations moyennes mensuelles (Station d'Oum Drou)

	Sep	Oct	Nov	Dec	jan	fev	mar	avr	Mai	juin	juil	aout	Annuel
1992	0	2	40	16,2	12,2	35,9	2,5	51,4	37,8	0	4	0	202
1993	0	12	32	10,7	12,5	25,3	0,2	6	7,5	0	0	0	106,2
1994	9,3	38,5	31	11	72	8	36,5	10,5	13,6	4	0	17	251,4
1995	29,5	33,6	40,1	45,1	61,8	111,9	74	32,1	30,3	3,2	9	0	470,6
1996	48,1	29,6	9,3	24,3	74,4	2,9	0	149	23,8	0	0	18,3	379,7
1997	25,1	31,8	145,9	20,8	13	22,4	6	56,6	88,4	0	0	0	410
1998	24,9	16,7	11	22	76,8	48,9	48,3	2,5	0	0	0	0	251,1
1999	31,8	15	40,6	73,2	6,7	0	7,5	21,6	3,6	0	0	0	200
2000	13,8	107,7	95,5	30,8	77,3	19,7	1,7	43,5	15,5	0	0	0	405,5
2001	18,2	2,1	100,9	29,8	26,4	7,8	49,9	61,1	28	0	0	0,5	324,7
2002	0	22,9	59,1	37,1	93,4	61,6	11,6	37	31,6	0	1,1	0	355,4
2003	20,5	50,8	88,4	44,6	30,2	62,1	11,8	31,2	85	14,2	0	0	438,8
2004	0	39,8	33,9	78,6	12,3	88,4	24,5	4,5	0	0	0	0	282
2005	34,9	32,5	63,2	74,8	40,3	77,6	23,7	7,5	79,9	1,9	0	0	436,3
2006	17,5	0	0	109,6	33,6	55,9	49,1	70,4	12,7	0	0	0	348,8
2007	43,2	48,5	52,8	23	26	22	48,1	15,8	58,7	10,2	6	0	354,3
2008	0	27	80,5	95,1	76	22,3	51,4	78	11,8	6,2	0	3	451,3
2009	37,2	12,7	52,8	77,6	44,8	142,5	57,4	21,2	18	0	0	48	512,2
2010	17,7	64,8	66,6	48,5	92	92	18,2	73,6	91,8	16,3	0	0	581,5
2011	1,4	22,6	116,8	19,6	25,8	90,3	35,4	107,6	5,9	0	0	0	425,4
2012	1,3	35,5	105,8	11,7	72,9	83,9	9,9	8,9	40,6	0	0	0	370,5
2013	0	32	32,1	65,6	12	52	14	2,6	46,8	32,6	0	0	289,7
2014	19,1	24	46,5	37,8	19,9	57,6	5,5	9,2	35,5	1,2	0	2,3	258,6
2015	6,1	2,4	0	82,6	20,5	37,9	42,9	64,5	9	0	0	0	265,9
2016	1,6	2,1	71,3	44,3	205	5,1	30,7	0	0	39,3	0	0	399,4
2017	21,7	61,1	34,8	61,7	33,5	67,4	124,1	89,2	30	52,3	0	0	575,8
2018	46,2	59	103,3	33	62,8	11,4	18,6	37,8	0	0	0	0	372,1
2019	48,1	5,3	88,1	35,5	40,3	217,3	0	1,2	3,1	0	0	0	217,3
2020	11,6	31	54,7	39,5	37,8	55,8	35,3	43,2	26,8	9,6	0	0	345,3

Source : Station pluviométrique d'Oum Drou-2020

III.3-Tests d'homogénéités :

Il arrive que la station pluviométrique présente des interruptions dans les relevés, ce qui rend leur utilisation difficile. On a choisi le test de Mood pour vérifier l'homogénéité de notre série.

Le test de Mood est basé sur le classement de l'échantillon par ordre croissant. La médiane M est une constante de telle sorte que 50% de x_i soient inférieures et 50% des x_i lui soient supérieures.

Remplaçons donc la série des valeurs non classées par une suite de signes + pour le $x_i > M$ - Pour le $x_i < M$ Calculons les quantités N_s et T_s avec : N_s : nombre totale de séries

de + ou de -. Ts : taille de la plus grande série de + ou de -. Les conditions du test sont les suivantes :

$$1/2 (N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) < N_s < 1/2 (N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1}) \dots \dots \dots \text{\{III-5\}}$$

$$T_s < 3.3(\log_{10} N + 1) \dots \dots \dots \text{\{III-6\}}$$

On classe les résultats dans le tableau suivant sachant que M=355,4

Tableau III-3: résultat du test Mood

Pmoy	202	106.2	251.4	470.6	379.7	410	251.1	200	405.5	324.7
	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)
Pmoy	355.4	438.8	282	436.3	348.8	354.3	451.3	512.2	581.5	425.4
	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)
Pmoy	370.5	289.7	258.6	265.9	399.4	575.8	372.1	217.3	345.3	
	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	

Donc:

$$1/2 (N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) = 9.8 \quad \text{et} \quad 1/2 (N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1}) = 20.18$$

$$N_s = 15 \Rightarrow 9.8 < N_s < 20.18$$

$$\text{Et ainsi :} \quad 3.3(\log_{10} N + 1) = 8.12 \quad \Rightarrow T_s = 5 \text{ et } 5 < 8.12$$

Tant que les conditions sont vérifiées la série est homogène.

III.4-L'ajustement des pluies moyennes annuelles :

Pour l'ajustement on a choisi la loi de Gauss (loi normal). Cette loi de probabilité continue dépendent de deux paramètres : son espérance μ , et son écart type σ . Pour les calculs nous avons utilisé le logiciel HYFRAN (**Figure III-1**).

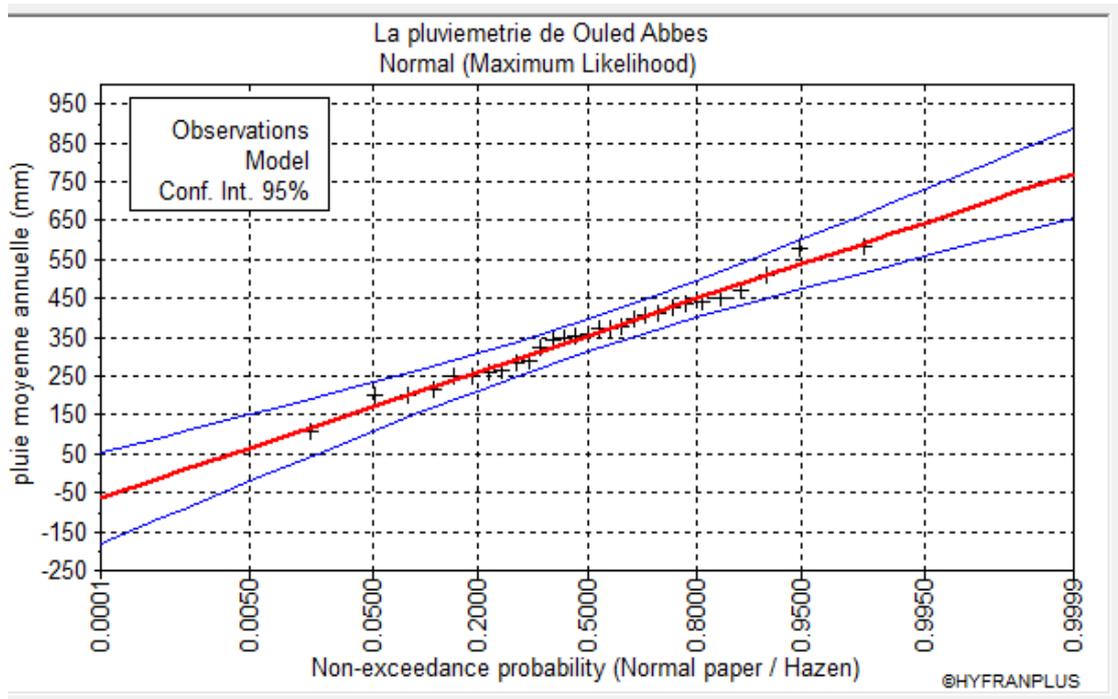


Figure III-1 : Ajustement des pluies annuelles aux lois Normale

Grace a Hyfran on peut automatiquement obtenir les données suivantes :

Tableau III-4: L'ajustement à la loi Normal

μ	354.555			
Σ	112.203			
T	Q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10.0	0.1000	498	28.3	443 – 554
5.0	0.2000	449	24.4	401 – 497
3.0	0.3333	403	21.8	360 – 446
2.0	0.5000	355	20.8	314 – 395
1.2500	0.8000	260	24.4	212 – 308

Et pour : - P80% On a XT=449

-P50% On trouve XT=355

III.5-Test de Khi carré :

Tableau III-5 : valeur de Khi carré (Hyfran)

Valeur calculé	p-valeur	degré de liberté	nombre de classe
$X^2 = 4.55$	$p = 0.3365$	4	7

Puis on détermine le χ^2 theorique de la table de Pearson (**Figure III-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	0,3745	0,4838	0,7107	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

Figure III-2 : table de distribution de χ^2 (Pearson)

Donc : $\chi^2_{\text{théorique}}=9.48$

On sait que

$$\chi^2_{\text{Calculé}} = 4.55$$

$$\chi^2_{\text{Calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}}$$

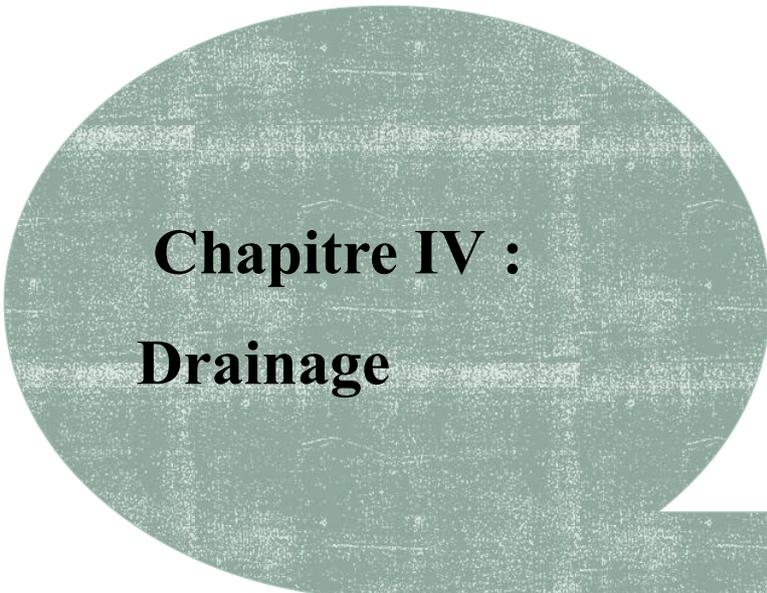
Alors l'ajustement est adéquat.

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons mis en évidence les principales caractéristiques statistiques de la série pluviométrique, retenue comme représentative, de la zone de projet.

L'application du test d'homogénéité de Mood sur les séries pluviométriques moyennes annuelles des stations retenues, confirme l'homogénéité et la fiabilité de ces dernières.

Concernant l'ajustement de la série de pluies moyennes annuelles, on a suggéré l'utilisation de l'ajustement des séries de pluies moyennes annuelles par la loi de Gauss, présentant une meilleure adéquation par le test de Khi carré.



Chapitre IV :
Drainage

IV.1-Introduction :

Dans les conditions de notre région, il est clair que la gestion rationnelle de l'eau disponible est devenue une nécessité absolue pour l'agriculture, qui est dans son propre intérêt et partagée avec d'autres activités humaines.

Dans ce cas, le drainage et l'irrigation, individuellement ou le plus souvent Une intervention collective est nécessaire pour corriger le cycle de l'eau processus de production agricole. Une telle intervention nécessite la capacité de Contrôlez correctement la quantité d'eau que vous traitez, sinon vous subirez des revers, comme nous le verrons plus tard.

Ce besoin de contrôle rationnel a conduit au développement de la recherche sur l'irrigation et le drainage en tant que science et technologie.

IV.2-But de drainage :

Le drainage en zone agricole a pour objectif principal d'évacuer les eaux souterraines et les sels grâce à des systèmes d'évacuation artificielle. Globalement, on peut constater ce qui suit :

IV.2.1-Prévention des inondations temporaires :

Provoquées par les précipitations, sols abondants et peu perméables ou ruissellement de surface s'écoulant dans les dépressions du terrain. Ces inondations sont de nature irrégulière et surviennent pendant les mois d'hiver.

En Algérie, ils vivent dans des zones au climat humide et avec au moins une saison des pluies, comme la vallée de l'Oued Cheliff. En outre, il existe également des zones inondées localement dans les zones côtières et les petites vallées alluviales.

IV.2.2-Drainage des terres vierges :

Il s'agit d'un développement terres qui n'ont pas encore été cultivées, c'est-à-dire de façon permanente ou périodiquement inondé. En installant un réseau de drainage complet ou en essayant d'abaisser la nappe phréatique à un niveau acceptable pour les cultures.

IV.2.3-Mesures pour prévenir la salinisation du sol :

La salinité du sol représente l'un des défis principaux observés dans tous les périmètres irrigués des zones arides ou semi-arides. À travers un système de drainage, l'objectif est de favoriser l'élimination des sels solubles qui s'accumulent dans le sol. En Algérie, cette problématique liée à la salinité est présente dans tous les périmètres irrigués où l'eau d'irrigation présente une teneur élevée en sel.

IV.2.4-Sécurisation des infrastructures majeures:

Pour empêcher que les fondations des barrages en terre ne se saturent, on recourt à une méthode de drainage qui est choisie en fonction du type de structure.

IV.3-Le réseau de drainage et ses composantes:

Un système de drainage est constitué d'un réseau de canaux visant à abaisser le niveau de la nappe phréatique en dessous de la profondeur des racines des plantes. Ce réseau peut être composé de deux éléments principaux :

1-Des canalisations enterrées dans le sol, connues sous le nom de drainage souterrain, ou des tranchées à découvert. Dans les deux cas, il s'agit de ce que l'on appelle le drainage horizontal (voir Fig.IV-1).

2-Dans certaines situations, l'excès d'eau est également éliminé en utilisant des puits verticaux pour le pompage. Ce type de drainage est appelé drainage vertical (voir Fig.IV-2).

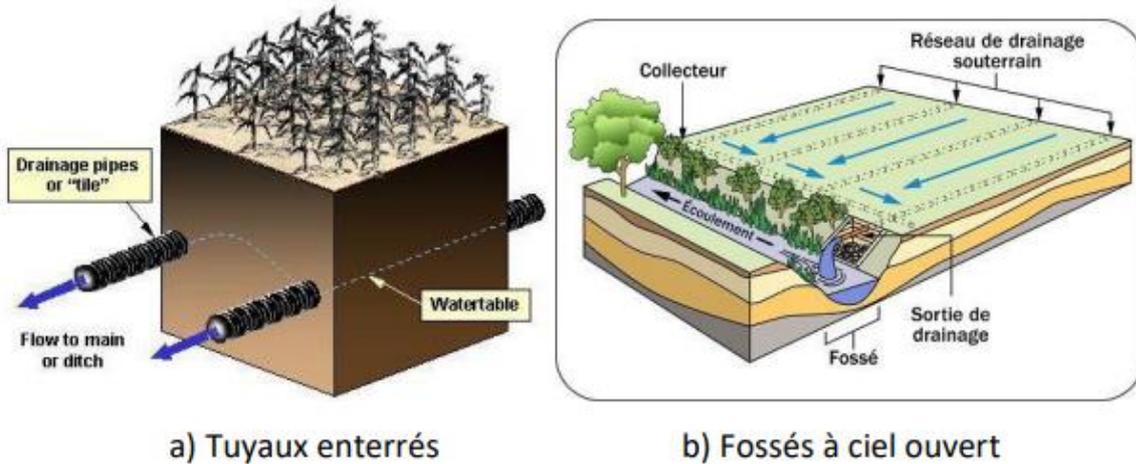
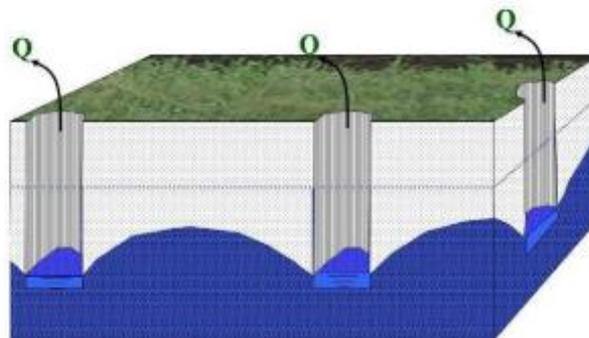


Figure IV-1: Drainage souterrain



FigureIV-2: Drainage vertical

IV.3-1-Le plan global d'un système de drainage

Un système de drainage comprend un réseau de canalisations conçu pour abaisser le niveau de la nappe phréatique en dessous de la profondeur des racines des plantes. Les eaux provenant de la zone drainée sont dirigées vers un émissaire par le biais d'un exutoire.

L'émissaire peut être une voie d'eau naturelle, aménagée ou non. Le point de jonction entre le système de drainage et l'exutoire correspondant est appelé le débouché. En général, ce débouché est constitué d'une bouche de décharge en béton préfabriqué. Il est impératif d'établir une connexion entre le système de drainage et le débouché, comme illustré dans la (voir Fig.IV-3).

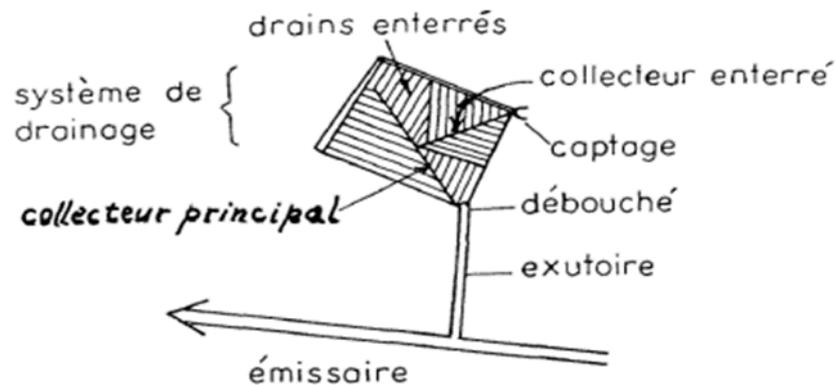


Figure IV-3: Schéma général d'un système de drainage

IV-3-2.Éléments clés d'un système de drainage:

Les éléments fondamentaux d'un système de drainage se résument comme suit:

1. Drains latéraux ;
2. Collecteurs ;
3. Structures complémentaires.

Il existe trois configurations de réseaux dans lesquelles les drains sont disposés spatialement de la manière suivante (voir Fig.IV-4) :

- Réseau naturel ;
- Réseau en arête de poisson ;
- Réseau parallèle.

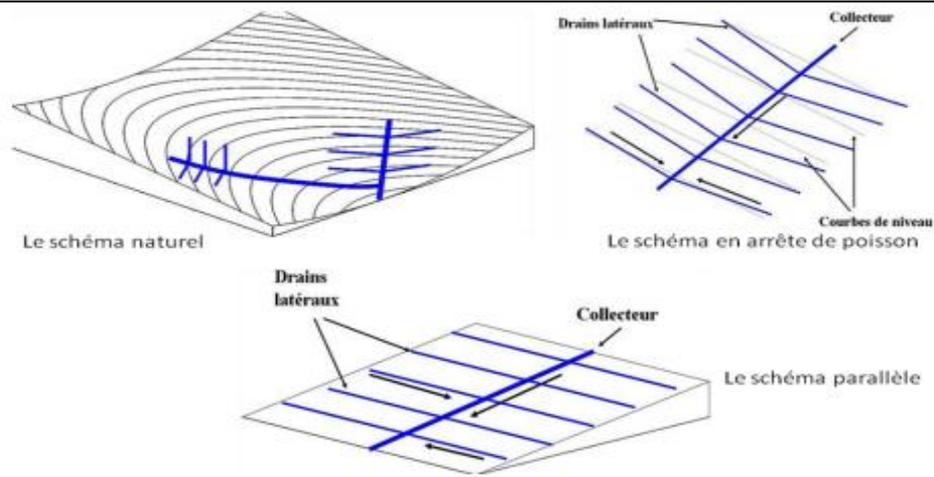


Figure IV-4: Les types de réseaux

Le choix du type de réseau dépend des caractéristiques topographiques du terrain. En présence d'une vaste plaine avec des parcelles rectangulaires, on opte pour un réseau parallèle. En revanche, si le terrain est accidenté, le choix se porte sur un réseau en arête de poisson ou un réseau naturel.

IV-4. Les modes essentiels de drainage:

Souvent, avant de décider d'investir dans un système de drainage, les agriculteurs cherchent des solutions temporaires et économiques pour résoudre les problèmes d'excès d'humidité dans leurs champs. Par exemple, lorsque l'excès d'eau est principalement présent dans les couches superficielles du sol, un labour profond peut suffire. Cette méthode implique un sous-solage pour briser les couches de sol imperméables à une profondeur de 50 à 90 centimètres, ce qui améliore le drainage naturel du sol. L'ajout d'amendements à base de calcium peut également être envisagé pour améliorer la structure du sol.

Lorsqu'il est décidé d'installer un système de drainage, deux options de conception sont généralement considérées :

Drainage de surface horizontal : Cette approche consiste à évacuer l'excès d'eau en utilisant des fossés à ciel ouvert, comme illustré dans la Figure 14. Bien que cette méthode soit économique, elle comporte certains inconvénients, tels que la perte de terres cultivables, des difficultés d'accès aux parcelles, un entretien coûteux et souvent différé. Même l'amélioration des propriétés du sol en remblayant les fossés présente des limites et est de plus en plus remplacée par le drainage par canalisations enterrées.

Drainage par canalisations enterrées : Cette approche est couramment utilisée lorsque la couche imperméable du sol n'est pas très profonde. Des canalisations de petit diamètre, appelées drains, sont enterrées dans le sol et comportent des ouvertures périphériques pour collecter l'eau excédentaire. Ces drains sont disposés en rangées horizontales espacées régulièrement et se rejoignent dans des canalisations plus larges appelées collecteurs. Ces collecteurs conduisent l'eau excédentaire vers un exutoire, qui peut être un fossé, un ruisseau ou une rivière. Les canalisations peuvent être fabriquées en terre cuite, en plastique ou en ciment (buses pour les gros collecteurs).

Pour améliorer l'efficacité du drainage, des techniques supplémentaires peuvent être utilisées, telles que la création de tranchées gravillonnées et l'ajout de matériaux filtrants autour des

drains. Dans les sols argileux, où l'eau a du mal à atteindre les drains, des galeries peuvent être creusées pour permettre à l'eau de s'écouler plus facilement dans le sol, ce qui est connu sous le nom de drainage taupe.

IV.4.1-Le drainage superficiel:

IV.4.1.1-définition :

Les systèmes de drainage de surface couramment utilisés comprennent les fossés peu profonds, les canaux ouverts, les cours d'eau gazonnés et les berges en pente. Ces systèmes de drainage évacuent les eaux de surface rapidement et efficacement, mais ne font pas beaucoup de différence pour les eaux souterraines.

IV.4.1.2-Objectifs du drainage de surface:

Une combinaison bien pensée du drainage souterrain et du drainage de surface offre une réponse plus adaptée aux besoins des plantes et aux exigences de la circulation des équipements agricoles. Les objectifs du drainage de surface comprennent :

1. **Assurer une répartition uniforme des précipitations et favoriser leur infiltration :**
Le drainage de surface vise à répartir de manière équilibrée l'eau provenant des précipitations et à encourager son absorption dans le sol.
2. **Évacuer les eaux qui ne peuvent pas s'infiltrer, tout en évitant l'érosion :** Il s'agit de drainer efficacement les eaux excédentaires qui ne peuvent pas être absorbées par le sol, tout en évitant l'érosion du sol causée par un écoulement excessif.
3. **Minimiser les perturbations pour les activités agricoles et les équipements :** Le drainage de surface est conçu de manière à ne pas perturber les opérations agricoles ni à entraver la circulation des machines agricoles.

En combinant ces deux méthodes de drainage, on peut créer un environnement optimal pour les cultures tout en évitant les problèmes liés à l'excès d'eau et à l'érosion, tout en facilitant les activités agricoles.

IV.4.2-Drainage souterrain :

L'objectif ici est d'augmenter la conductivité hydraulique saturée (K) du sol. Traditionnellement, on utilise le sous-solage pour atteindre cet objectif. Cette pratique permet de rompre les couches de sol compactées, de remuer le sol à une certaine profondeur et d'améliorer sa capacité à drainer naturellement l'eau.

Les profondeurs de sous-solage recommandées sont les suivantes :

- **Sous-solage fermier :** Une profondeur de 50 à 60 centimètres est généralement suffisante pour les besoins agricoles courants en ce qui concerne la brisure des couches de sol imperméables.
- **Sous-solage industriel :** Dans des situations nécessitant un traitement plus en profondeur, une profondeur de 70 à 90 centimètres peut être préférable, ce qui est typique des opérations de sous-solage à grande échelle dans le secteur industriel ou agricole intensif.

Le choix de la profondeur dépend des caractéristiques spécifiques du sol, des besoins de la culture et des objectifs de gestion de l'eau.

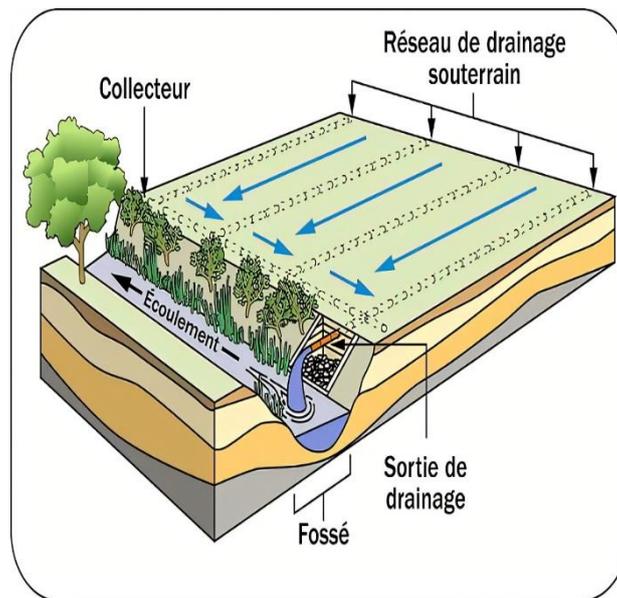


Figure IV-5: un réseau de drainage souterrain



FigureIV-6: Subsoiler

IV.4.3-Drainage par tuyaux enterrés :

Pour éviter tous les problèmes évoqués ci-avant, le fossé ou le matériau filtrant a été remplacé par un tuyau enterré, ce tuyau est pourvu d'ouvertures, celles-ci ont pour fonction de laisser entrer l'eau du terrain, cette eau est évacuée en écoulement à surface libre par le tuyau auquel on a donné une pente, vers un collecteur. Ce collecteur peut lui-même être un tuyau ou un fossé ou une voie naturelle d'écoulement. Toute l'eau drainée est ainsi acheminée vers un exutoire approprié (fig.IV-7).

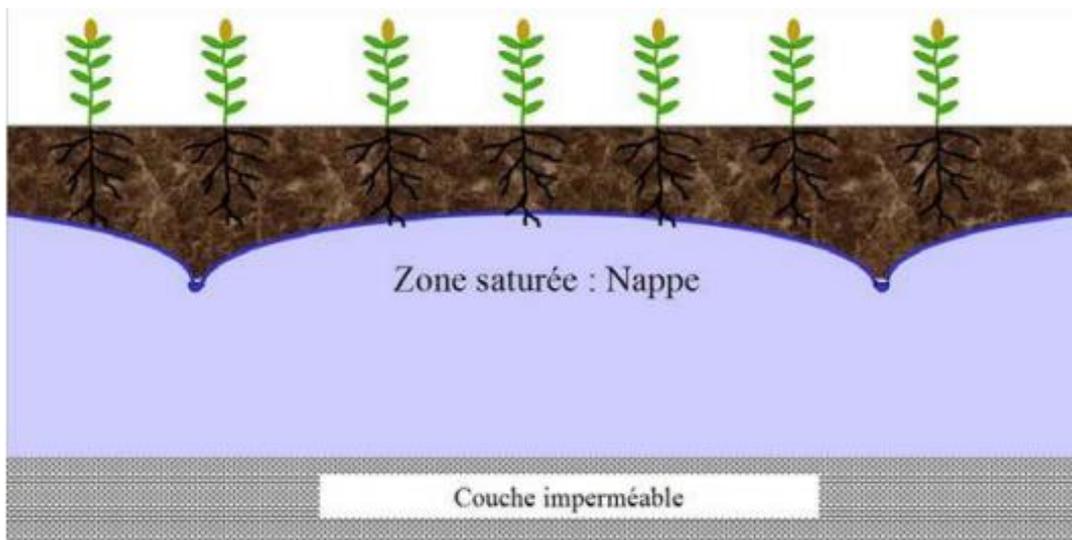


Figure IV-7: Drainage enterrés

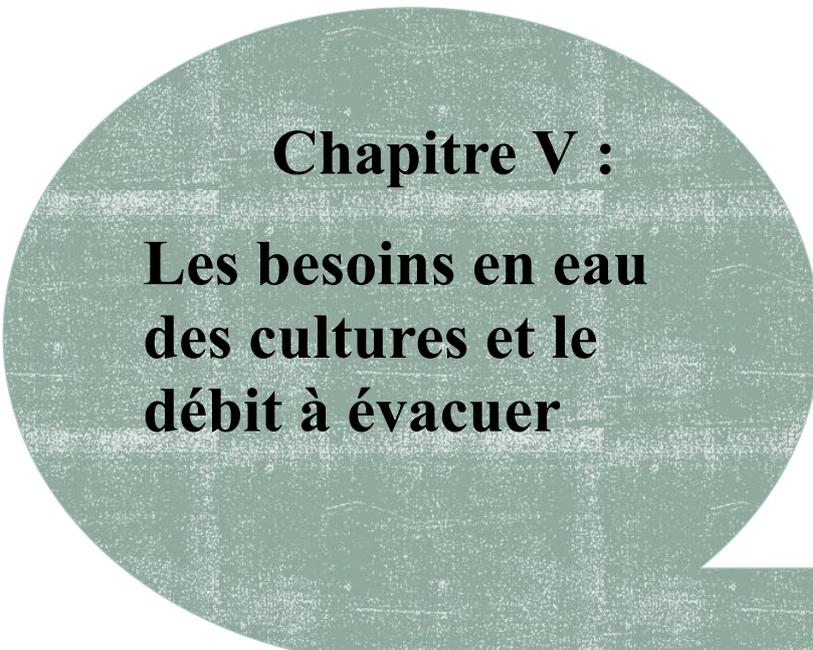
Les lignes de tuyaux, également appelées drains, peuvent être espacées de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres les uns des autres. En ce qui concerne la profondeur d'installation, elle varie généralement entre 1 et 3 mètres. Dans le cas du drainage profond, il est possible d'espacer davantage les lignes de tuyaux, ce qui signifie qu'il est nécessaire de creuser moins de tranchées et d'utiliser moins de tuyaux (comme illustré dans la Figure IV-8). Cette flexibilité dans l'espacement et la profondeur des drains permet d'adapter le système de drainage aux besoins spécifiques du terrain et des cultures.



FigureIV-8: Raccordement drain – collecteur

Conclusion:

Pour obtenir le débit nécessaire dans la conception d'un réseau de drainage, il est crucial de tenir compte de tous les critères de dimensionnement, en plus de comprendre l'origine de l'excès d'eau à évacuer. Dans les situations où plusieurs types d'excès d'eau se présentent (précipitations, irrigation, leaching, etc.), il convient de choisir la valeur maximale entre les débits calculés pour chacun de ces scénarios. Cela garantit que le système de drainage est capable de faire face à la demande maximale en évacuant efficacement l'excès d'eau, quel que soit son origine.



Chapitre V :

**Les besoins en eau
des cultures et le
débit à évacuer**

V.1-Introduction :

La connaissance des besoins en eau d'un périmètre est indispensable dans toute planification d'un aménagement hydro-agricole.

Dans le présent chapitre, on va quantifier le volume total des besoins en eau des cultures, en tenant compte des conditions climatiques, pédologiques, de la qualité de l'eau d'irrigation, ces informations ont été définies dans les chapitres précédents.

V.2-Les cultures concevables :

Le choix des cultures doit être basé sur plusieurs critères comme la qualité de l'eau d'irrigation, la qualité des sols et la climatologie de la région.

Parmi les choses qu'on doit prendre en considération dans le choix des cultures est la tolérance des plantes aux sels, la présence des moyens de production et l'assurance de la rotation des cultures et tout ça pour préserver la ressource en sol et pour satisfaire la demande commerciale.

Selon l'étude climatologique, la région est caractérisée par un climat semi-aride, et parmi les cultures tolérantes qui peuvent être rentable dans des conditions pareilles sont :

-Le maraîchage de plein champ : qui regroupe l'ensemble des cultures légumières cultivées en pleine terre et sans abris.

-Céréale : Elle sera maintenue vu son impact positif sur la rotation des assolements et compte tenu des limitations pédologiques. Cette culture sera dans la pérennité.

-Cultures fourragères : Les cultures fourragères destinées à la production du fourrage vert, ne peuvent être envisagées dans les premières années qui suivent la mise en eau du périmètre, étant donné qu'elles doivent être associées à l'élevage bovin laitier à valoriser.

V.3-L'occupation des sols :

Le calendrier de l'occupation des sols agricoles est une information primordiale pour tout décideur du secteur, on trouve dans la **Figure V-1** le calendrier des cycles cultureux :

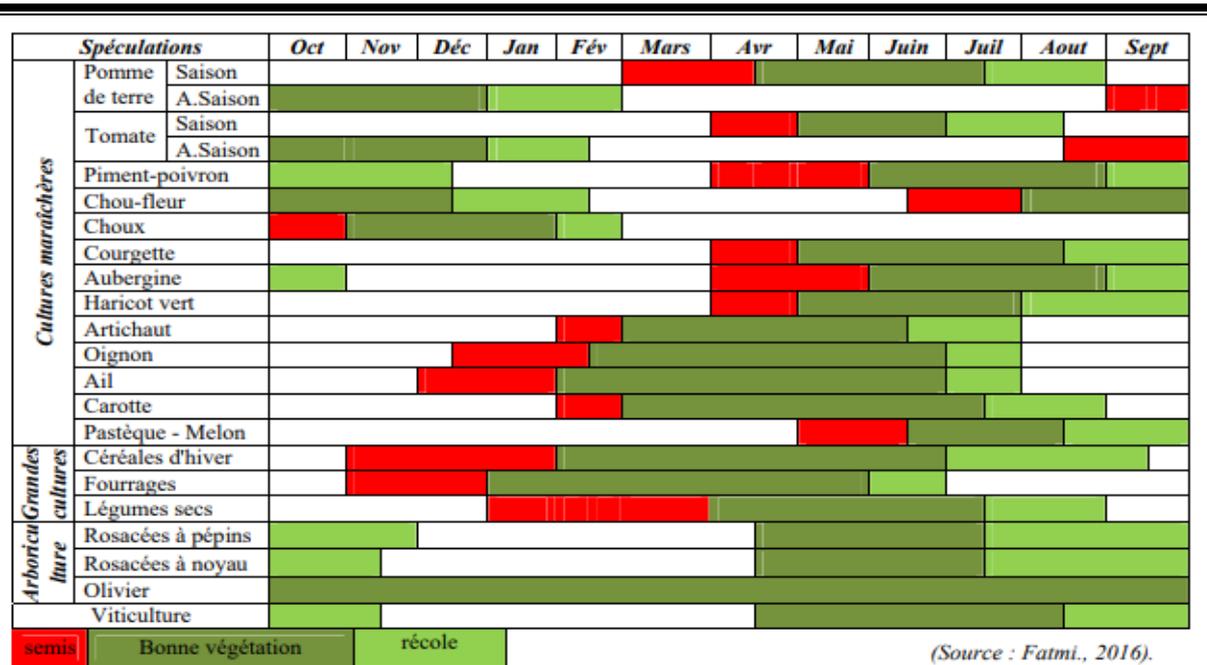


Figure V-1: L'occupation des sols

V.4-Le scénario d'occupation du sol du périmètre :

TableV-1: Les cultures de l'assolement 1

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
30ha					Tomate			Chou-fleur				
18ha			Carotte						Pastèque			
25ha				Melon			Oignon			Pomme de terre		
20ha	Choux							Poivron				
19ha	Concombre				Courgette							
8ha					Olivier							

TableV-2: Les cultures de l'assolement 2

	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil
30ha						Haricot						
28ha		Courgette			Tomate							
31ha	Poivron					Petit pois						
12ha						Blé						
19ha						Agrume						

La superficie agricole utile pour l'irrigation est de 120 ha.

V.5-Besoin en eau du périmètre :

Les besoins en eau des cultures se résument à la quantité d'eau additionnelle requise via l'irrigation pour compenser le déficit entre les précipitations naturelles (pluviométrie) et les besoins en eau réels des plantes.

Avant de quantifier ces besoins en eau pour les cultures, il est impératif de recueillir des données essentielles concernant les plantes ainsi que des informations climatiques et pédologiques spécifiques à la région en question.

V.5.1-L'évapotranspiration potentielle ou de référence :

C'est une évaluation de la capacité de l'atmosphère à évaporer l'eau de la surface d'un sol recouvert de végétation, lorsque cette surface est suffisamment approvisionnée en eau. En d'autres termes, il s'agit de la quantité maximale d'eau qui peut potentiellement être perdue sous forme de vapeur dans l'air, dans des conditions climatiques spécifiques, à partir d'une végétation continue donnée (comme une pelouse) qui reçoit suffisamment d'eau et qui est en bonne santé et en pleine croissance.

V.5.2-L'évapotranspiration réelle ou de culture :

Il s'agit de la mesure réelle de l'évapotranspiration. En général, elle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle car le sol n'est pas constamment à sa capacité maximale de rétention d'eau. De plus, elle peut varier au cours de la période de croissance de la culture. L'évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau perdue par une culture exempte de maladies, se développant dans un champ qui bénéficie de conditions optimales du point de vue agronomique, pédologique et climatique. Cette valeur est exprimée par l'expression suivante :

$$ET_{\text{culture}} = ET_0 \times K_c \dots \dots \dots \{V-1\}$$

Avec :

K_c : Représente le coefficient cultural,

Les besoins en eau des cultures nets "BEC", sont déterminés par la relation

$$BEC = ET_{\text{culture}} - (P_{\text{eff}} + K \times RFU) \dots \dots \dots \{V-2\}$$

Tel que :

BEC : Besoins en eau de cultures nettes en (mm)

P_{eff} : Pluies efficaces en (mm)

V.6-Calcul de l'évapotranspiration de référence :

Il existe plusieurs méthodes Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence, ces méthodes sont réparties en deux classes :

Les méthodes directes : - La cuve lysimétrique.

- Le bac évaporant.

Les méthodes indirectes : Ces méthodes permettent de calcul l'ET₀ à partir de formules basées sur des paramètres climatiques qu'on appelle des formules empiriques dont les principales sont :

- Prinstley- Taylor
- Makkink – Turc
- Hargreaves
- Blaney – Cridle
- Thornthwaite
- Penman et Monteith modifiée.

Dans notre cas, nous l'avons évaluée par la méthode la plus utilisée la méthode de Penman_Monteith Modifiée.

V.6.1-La formule de Penman-Monteith modifiée :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \dots\dots\dots \{\mathbf{V-3}\}$$

Avec :

ET₀ : évapotranspiration de référence, en mm/j ou mm/h.

R_n : rayonnement global en MJ/m²/j ou MJ/m²/h.

G : flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m²/j ou MJ/m²/h.

Δ et γ : constantes en kPa/°C.

C_{ste} : 900 pour un pas de temps journalier et 37 pour un pas de temps horaire.

T : température en °C.

P : pression atmosphérique en (kPa).

Z : altitude par rapport à la mer (m).

E_s(T) : la pression de vapeur saturante en (kPa).

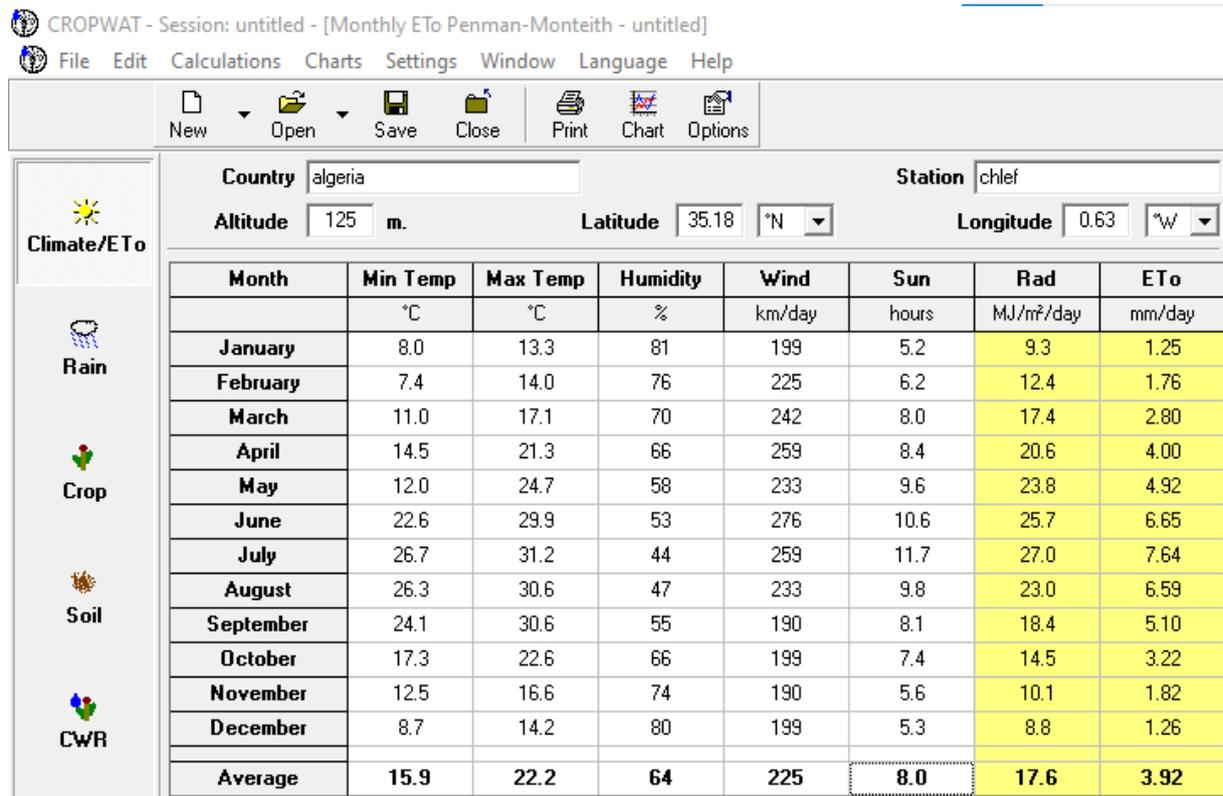
e_a(T) : pression de vapeur actuelle en (kPa).

u₂ : vitesse du vent à 2 mètres du sol en (m/s).

Nous avons effectué le calcul de l'évapotranspiration de référence par le logiciel CROPWAT (FAO, 2008), fondé sur la méthode de Mr Penman et Monteith, où nous avons introduit les données mensuelles :

- Température : Les températures minimales et maximales mensuelles.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation.
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en m/s.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ET₀ calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 selon la formule de Penman&Monteith, modifiée sont récapitulés dans la (**Figure V-2**)



FigureV-2: Tableau de CROPWAT

V.7-La pluie efficace :

Cela représente la partie des précipitations totales qui est effectivement absorbée par la culture, et son ampleur varie en fonction de la localité, du caractère des précipitations et de la composition du sol. Pour notre recherche, nous avons opté pour la méthode d'estimation des précipitations en utilisant un pourcentage fixe, détaillée comme suit :

$$\text{Pluies efficaces (mm/mois)} = A. \text{ Pluies totales (mm/mois)} \dots\dots\dots\{\mathbf{V-4}\}$$

Avec : A : coefficient de pertes généralement égal à 0.8.

Table V-3: Calcul des pluies efficaces

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Pmoy 80% (mm)	13.37	21.82	42.91	32.97	35.71	40.10	21.21	28.76	21.13	4.82	0.51	2.25
Peff	10.69	17.45	34.33	26.38	28.56	32.08	16.96	23.01	16.90	3.86	0.40	1.80

La réserve utile (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU)

V.7.1-La réserve utile (RU) :

Il s'agit de la proportion d'humidité qui s'accumule dans le sol pendant la saison hivernale. En d'autres termes, c'est la quantité d'eau présente dans la couche de sol explorée par les racines, située entre le point où le sol commence à sécher (He) et le point où les plantes commencent à se faner (Pf).

V.7.2-La réserve facilement utilisable (RFU) :

C'est la quantité d'eau égale à 1/2 ou 2/3 de la RU, soit 1/4 à 1/3 de l'humidité équivalente. Le calcul de la RFU se fait comme suit :

$$RFU = (hcc-hpf)/100 *y*Z*da..... \{V-5\}$$

Telle que :

Y : degré de tarissement (généralement y=2/3)

Da : densité apparente du sol (1.35).

Z : profondeur de la couche de terre parcourue par les racines, en mm.

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

Hpf : humidité au point de flétrissement, dans notre cas. On prend (16%)

V.8-Calcul des besoins en eau des cultures :

Les Besoins en eau d'irrigation représentent la quantité d'eau à apporter aux cultures pour satisfaire ces besoins, et ce denier est calculé par le bilant suivant :

$$Bi= ETM - (Peff + RU)..... \{V-6\}$$

Avec :

- ETM : l'évapotranspiration maximale
- Peff : La Pluit efficace.
- RU : la réserve utile

Chapitre V : Les besoins en eau des cultures et le débit à évacuer

V.8.1-Estimation des besoins en eau des cultures choisies :

Table V-4: Calcul des besoins en eau pour la tomate :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96	0,5	0,6	59,34	0	42	25,04
Avr	120	23,01	0,85	0,9	89,01	0	102	78,99
Mai	147,6	16,9	1,15	1,2	118,68	0	169,74	152,84
Juin	199,5	3,86	0,85	1,2	118,6812	59,34	169,57	106,37
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-5: Calcul des besoins en eau pour la pomme de terre :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08	0,5	0,25	24,74	6,18	26,4	
Mar	84	16,96	0,7	0,5	49,495	16,49	58,8	25,34
Avr	120	23,01	1	0,5	49,495	24,74	120	72,24
Mai	147,6	16,9	0,75	0,5	49,495	24,74	110,7	69,05
Juin	199,5	3,86						
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-6: Calcul des besoins en eau pour l'olivier :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	0,75	1,25	123,73	41,25	114,75	62,81
Oct	96,6	17,45	0,75	1,3	128,68	42,90	72,45	12,11
Nov	54,6	34,33	0,75	1,3	128,68	42,90	40,95	
Dec	37,8	26,38	0,65	1,4	138,58	46,20	24,57	
Jan	37,5	28,56	0,65	1,5	148,48	49,50	24,37	
Fev	52,8	32,08	0,65	1,5	148,48	49,50	34,32	
Mar	84	16,96	0,65	1,5	148,48	49,50	54,6	
Avr	120	23,01	0,65	1,8	178,12	59,39	78	
Mai	147,6	16,9	0,75	1,8	178,12	59,39	110,7	34,4
Juin	199,5	3,86	0,85	1,8	178,12	59,39	169,57	106,32
Juil	229,2	0,4	0,85	1,6	158,38	52,79	194,82	141,62
Aout	197,7	1,8	0,85	1,6	158,38	52,79	168,04	113,45

Table V-7: Calcul des besoins en eau pour les agrumes :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	0,75	1,5	148,49	49,50	114,75	54,57
Oct	96,6	17,45	0,75	1,5	148,49	49,50	72,45	5,51
Nov	54,6	34,33	0,75	1,5	148,49	49,50	40,95	
Dec	37,8	26,38	0,65	1,5	148,49	49,50	24,57	
Jan	37,5	28,56	0,65	1,5	148,49	49,50	24,38	
Fev	52,8	32,08	0,65	1,5	148,49	49,50	34,32	
Mar	84	16,96	0,65	1,5	148,49	49,50	54,60	
Avr	120	23,01	0,65	1,5	148,49	49,50	78,00	5,50
Mai	147,6	16,9	0,65	1,5	148,49	49,50	95,94	29,55
Juin	199,5	3,86	0,65	1,5	148,49	49,50	129,68	76,32
Juil	229,2	0,4	0,75	1,5	148,49	49,50	171,90	122,01
Aout	197,7	1,8	0,75	1,5	148,49	49,50	148,28	96,98

Table V-8: Calcul des besoins en eau pour les haricots :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	0,85	0,7	69,293	0	130,05	119,36
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9						
Juin	199,5	3,86	0,5	0,5	49,49	0	99,75	95,89
Juil	229,2	0,4	0,65	0,5	49,49	0	148,98	148,58
Aout	197,7	1,8	0,95	0,7	69,29	0	187,81	186,01

Table V-9: Calcul des besoins en eau pour l'Oignon :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45	0,5	0,2	19,79	2,47	48,3	28,37
Nov	54,6	34,33	0,75	0,4	39,59	13,19	40,95	
Dec	37,8	26,38	0,95	0,4	39,59	19,79	35,91	
Jan	37,5	28,56	0,9	0,4	39,59	19,79	33,75	
Fev	52,8	32,08	0,7	0,4	39,59	13,19	36,96	
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9						
Juin	199,5	3,86						
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-10: Calcul des besoins en eau pour l’Courgette :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	0,4	0,5	49,49	0	61,2	50,51
Oct	96,6	17,45	0,5	0,5	49,49	8,24	48,3	22,60
Nov	54,6	34,33	0,8	0,5	49,49	16,49	43,68	
Dec	37,8	26,38	0,95	0,5	49,49	24,74	35,91	
Jan	37,5	28,56	0,6	0,5	49,49	24,74	22,5	
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9						
Juin	199,5	3,86						
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-11: Calcul des besoins en eau pour le Poivron :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	1,2	0,75	74,24	0	183,6	172,91
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9	0,6	0,5	49,49	3,29	88,56	68,36
Juin	199,5	3,86	0,9	0,5	49,49	0	179,55	175,69
Juil	229,2	0,4	1,2	0,7	69,29	0	275,04	274,64
Aout	197,7	1,8	1,2	0,75	74,24	0	237,24	235,44

Table V-12: Calcul des besoins en eau pour le Blé :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45	0,3	0,1	9,89	2,47	28,98	9,05
Nov	54,6	34,33	0,4	0,3	29,69	9,89	21,84	
Dec	37,8	26,38	0,6	0,5	49,49	24,74	22,68	
Jan	37,5	28,56	0,6	0,6	59,39	29,69	22,5	
Fev	52,8	32,08	0,6	0,6	59,39	19,79	31,68	
Mar	84	16,96	1	0,6	59,39	11,87	84	55,16
Avr	120	23,01	1,2	0,6	59,39	7,42	144	113,56
Mai	147,6	16,9	0,8	0,6	59,39	0	118,08	101,18
Juin	199,5	3,86	0,2	0,6	59,39	0	39,9	36,04
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-13: Calcul des besoins en eau pour le Concombre :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	0,5	0,2	19,79	0	76,5	65,81
Oct	96,6	17,45	0,7	0,4	39,59	6,59	67,62	43,57
Nov	54,6	34,33	1	0,5	49,49	16,49	54,6	3,77
Dec	37,8	26,38	0,75	0,5	49,49	24,74	28,35	
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9						
Juin	199,5	3,86						
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-14: Calcul des besoins en eau pour le melon:

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9	0,3	0,3	29,69	0	44,28	27,38
Juin	199,5	3,86	0,5	0,4	39,59	0	99,75	95,89
Juil	229,2	0,4	0,6	0,4	39,59	0	137,52	137,12
Aout	197,7	1,8	0,8	0,4	39,59	0	158,16	156,36

Table V-15: Calcul des besoins en eau pour la pastèque :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96	0,6	0,4	39,59	13,19	50,4	20,24
Avr	120	23,01	0,7	0,5	49,49	9,89	84	51,09
Mai	147,6	16,9	0,75	0,5	49,49	6,18	110,7	87,61
Juin	199,5	3,86	0,75	0,7	69,29	0	149,62	145,76
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-16: Calcul des besoins en eau pour les choux :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56	0,4	0,4	39,59	19,79	15	
Fev	52,8	32,08	0,6	0,4	39,59	13,19	31,68	
Mar	84	16,96	0,6	0,4	39,59	7,91	50,4	25,52
Avr	120	23,01	0,95	0,5	49,49	6,18	114	84,80
Mai	147,6	16,9	1,1	0,6	59,39	0	162,36	145,46
Juin	199,5	3,86	1,1	0,6	59,39	0	219,45	215,59
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-17: Calcul des besoins en eau pour le chou-fleur :

Mois	ETP(mm/mois)	Peff(mm)	Kc	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69	0,5	0,2	19,79	0	76,5	65,81
Oct	96,6	17,45	0,7	0,3	29,69	3,71	67,62	46,45
Nov	54,6	34,33	0,9	0,3	29,69	7,42	49,14	7,38
Dec	37,8	26,38	1,1	0,5	49,49	24,74	41,58	
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01						
Mai	147,6	16,9						
Juin	199,5	3,86						
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-18: Calcul des besoins en eau pour le petit pois :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(mm)	RU (mm)	ETM(mm)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08	0,6	0,9	89,09	22,27	31,68	
Mar	84	16,96	0,8	1	98,99	16,498	67,2	33,74
Avr	120	23,01	0,8	1	98,99	0	96	72,99
Mai	147,6	16,9	1	1,1	108,88	0	147,6	130,7
Juin	199,5	3,86						
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

Table V-19: Calcul des besoins en eau pour la carotte :

Mois	ETP(mm/mois)	Pe _{eff} (mm)	K _c	Z(m)	RFU(m)	RU (mm)	ETM(m)	B(mm)
Sep	153	10,69						
Oct	96,6	17,45						
Nov	54,6	34,33						
Dec	37,8	26,38						
Jan	37,5	28,56						
Fev	52,8	32,08						
Mar	84	16,96						
Avr	120	23,01	0,8	0,4	39,59	4,94	96	68,04
Mai	147,6	16,9	0,9	0,4	39,59	0	132,84	115,94
Juin	199,5	3,86	0,9	0,5	49,49	0	179,55	175,69
Juil	229,2	0,4						
Aout	197,7	1,8						

V.8.2-Besoins en eau pour les assolements 1 et 2 :

Table V-20: Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 1

Mois	Sep	Oct	Nov	De c	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Tomate							25.0 4	78.99	152.84	106.37		
Chou-fleur	65.81	46.45	7.38									
Carotte								68.04	115.94	175.69		
Oignon		28.37										
Pastèque							20.2 4	51.09	87.61	145.76		
Melon									27.38	95.89	137.12	156.36
Courgette	50.51	22.6										
Choux							25.5 2	84.80	145.46	215.59		
Concombre	65.81	43.57	3.77									
Poivron	172.9 1								68.36	175.74	274.64	235.44
Pomme de terre							25.3 4	72.24	69.05			
Olivier	62.81	12.11							34.4	106.32	141.62	113.45
Totale	417.8	151.1	11.1 5				96.1 4	355.16	701.04	1021.3 6	553.38	505.25

Table V-21: Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Tomate							25.04	78.99	152.84	106.37		
Haricot	119.36									95.89	148.58	186.01
Courgette	50.51	22.6										
Petit pois							33.74	72.99	130.7			
Poivron	172.91								68.36	175.69	274.64	235.44
Blé		9.05					55.16	113.56	101.18	36.04		
Agrumes	54.57	5.51						5.50	29.55	76.32	122.01	96.98
Totale	297.35	37.16					113.94	271.13	482.63	49.31	545.23	518.43

V.9-Les débits de drainage :

V.9.1-L'efficacité d'irrigation :

A cause des fuites qui sont toujours existes dans le système d'irrigation on doit prendre au sérieux le taux d'efficacité de réseau.

L'efficacité c'est le rapport entre la lame d'eau fourni par le réseau et la lame d'eau à l'entrée de la parcelle. Les fuites sont directement liées à la maintenance des équipements .Si le temps de réponse est long, la concentration de fuite se détériorera.

V.9.2-Efficacité globale :

C'est le rapport entre les pertes d'eau dans le réseau **e1** et les pertes d'eau à la parcelle **e2**.

$$E = e1 * e2 \dots \dots \dots \{V-7\}$$

Avec :

e1 : pertes d'eau dans le réseau

e2 : perte d'eau à la parcelle

V.9.3-L'évaluation des besoins bruts :

D'après le chapitre précédent on peut voir que la culture la plus exigeante en eau c'est le poivron (B=274.64mm), donc on peut écrire :

$$B_{brute} = \frac{B_{net}}{E} = \frac{274.64}{0.75} = 366.18mm$$

Avec :

- B_{brute} : Les besoins bruts
- B_{net} : les besoins nets
- E : Efficacité globale. = 0.75

V.9.4-La fréquence d'irrigation :

La fréquence d'irrigation est le nombre d'arrosage par mois et elle est déterminée comme suite :

$$N = \frac{B_{brut}}{RFU} \dots \dots \dots \{V-8\}$$

$$N = \frac{366.18}{69,29} = 5.2$$

Avec :

- B_{brut} : Les besoins bruts
- RFU : La réserve facilement utile de poivron
- N : la fréquence d'arrosage

On considère que la fréquence d'arrosage N = 6 arrosage / mois

V.9.5-L'espaceur d'arrosage :

Espaceur d'irrigation est la durée entre 2 irrigations consécutives

$$Ess = \frac{\text{nombre de jour de mois}}{N} \dots\dots\dots \{V-9\}$$

$$Ess = \frac{28}{6} = 4.66$$

Avec :

- Ess : espaceur d'arrosage
- N : la fréquence d'arrosage

-On considère que l'espaceur d'arrosage ess=5 jours

V.9.6-Le débit à drainé :

La lame d'eau à évacuer est la différence entre les besoins brute et les besoins nette pour une période donnée, calculée comme suit :

$$Qc = \frac{Bbrut - Bnet}{Ess \times N} \dots\dots\dots \{V-10\}$$

Avec :

- Bbrut : Les besoins brut
- Bnet : Les besoins net
- Ess : espaceur d'arrosage
- N : la fréquence d'arrosage

Donc :

$$Qc = \frac{366.18 - 274.64}{5 \times 6} = 3.05 \text{ mm/j}$$

V.10-Le lessivage du sol :

Le lessivage est la pratique consistant à ajouter une dose d'eau supplémentaire en plus de la dose d'irrigation pour réduire la salinité dans la zone accessible aux racines.

Il est indispensable de faire un lessivage d'entretien dans notre zone d'étude car il s'agit d'une zone semi-aride ou les précipitations sont parcimonieuses.

V.10.1-Calcul des doses de lessivage :

Il est préférable d'utiliser la formule de Rhoads pour déduire le rapport de lessivage nécessaire (LR).

Le LR calculé par Rhoads représente les besoins de lessivage nécessaire pour lutter contre la salinité avec les méthodes ordinaires d'irrigation de surface.

$$LR = \frac{Ce_{iw}}{5C_{ees} - Ce_{iw}} \dots\dots\dots \{V-11\}$$

Avec :

- Ceiw : conductivité électrique d'eau d'irrigation
- Cees : le volume de la table de tolérance qui provoque une chute de rendement de 10%

Donc :

$$LR = \frac{1.79}{5 \times 5 - 1.79} = 7.7 \%$$

V.10.2-Efficience de lessivage :

En pratique, l'hétérogénéité du sol fait que l'eau s'infiltré en partie très rapidement par des chemins préférentiels (racine, fissures...) sans avoir d'actions de lessivage. On est donc amené à considérer une efficience de lessivage (LE) qui a une relation directe avec la texture et la structure du sol.

- Le =30% pour un sol fissurés
- Le = 50% à 60% pour un sol de texture moyenne
- Le= 90% à 100% pour un sol sableux

Donc l'apport d'eau total devient comme suit :

$$V = ETM \times \frac{LR/Le}{1-LR/Le} \dots\dots\dots \{V-12\}$$

Avec :

- LR : Dose de lessivage
- ETM : évapotranspiration maximale
- Le : efficience de drainage

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Table V-22: Calcule de dose de lessivage

Mois	Sep	Oct	nov	Dec	janv	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout
Tomate							6.80	16.52	27.49	27.47		
pomme de terre						4.27	9.52	19.44	17.93			
Haricot	21.06									16.15	24.13	30.42
Ognion		7.82	6.63	5.81	5.46	5.98						
Courgette	9.91	7.82	7.07	5.81	3.645							
Olivier	12.33	2.37							6.75	20.88	27.82	22.28
Agrumes	10.72	1.08						1.08	5.8	14.99	23.97	19.05
Poivron	29.74								14.34	29.08	44.55	38.43
Blé		4.69	3.53	3.67	3.645	5.13	13.60	23.32	19.12	6.46		
concombre	12.39	10.95	8.84	4.59								
Melon									7.17	16.15	22.27	25.62
Pastèque							8.16	13.60	17.93	24.23		
Choux					2.43	5.13	8.16	18.46	26.30	35.55		
chou-fleur	12.39	10.95	7.96	6.73								
petit pois						5.13	10.88	15.5	23.91			

Pour calculer le débit à évacuer, on choisit la plus grande valeur des doses de lessivages. Clairement le poivron est le plus exigeant avec une dose de 44.55 en mois de Juillet.

$$q = \frac{V}{ess \times N} = \frac{44.55}{5 \times 6} \dots\dots\dots \{V-13\}$$

$$q = 1.48 \text{ mm/j}$$

Avec :

- Ess : espacement d’arrosage
- N : la fréquence d’arrosage

V.11-La pluie :

L'évaluation des volumes d'eau à évacuer nécessite une définition du régime de la pluie, et parmi les régimes les plus courants, on peut citer :

- Le régime permanent
- Le régime variable

En effet, le régime permanent est caractérisé par des pluies d'une intensité moyenne dans des durées courtes. En revanche, le régime variable est caractérisé par des pluies d'une forte intensité mais laissant entre elles un temps assez lent.

Notre région est caractérisée par un régime permanent (on peut dire ça pour toute la wilaya de Chlef).

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 V-23 : 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 V-24 : Trie de la pluviométrie 2^{ème} trimestre

Année	Dec					Jan					Fev				
	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

Table V-25: Trie la pluviométrie 3éme trimestre

Année	Mars					Avr					Mai				
	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

V.11.2-Les valeurs maximales de la pluviométrie :

Table V-26: 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

V.11.3-Détermination de la pluie critique :

On trace des courbes HDF (**Figures V-3,4,5**) pour chaque semestre de période de retour défierent a l'aide de logiciel Hyfran

Table V-27: la pluie critique pour le 1^{er} semestre

	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

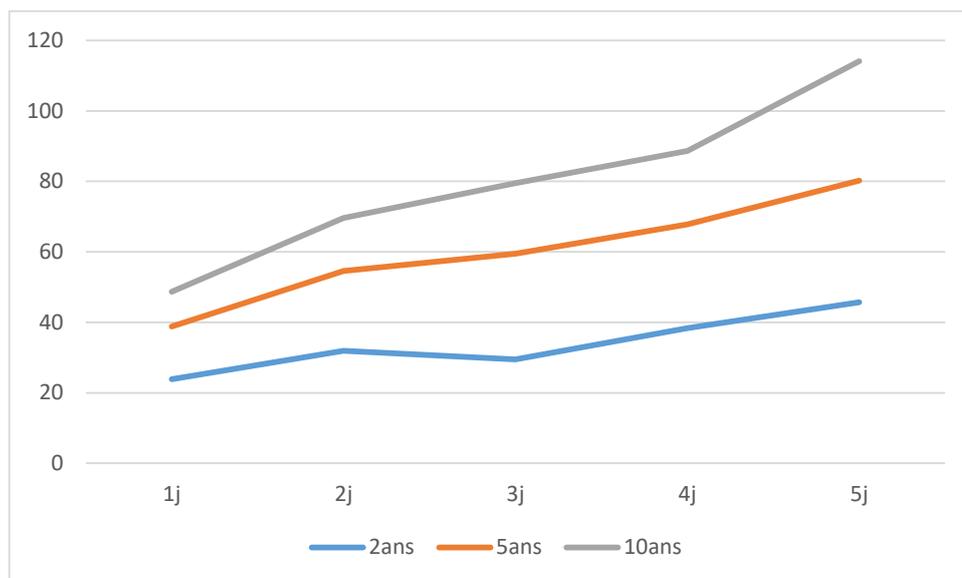


Figure V-3: Courbe HDF pour le 1^{er} semestre

Table V-28: 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

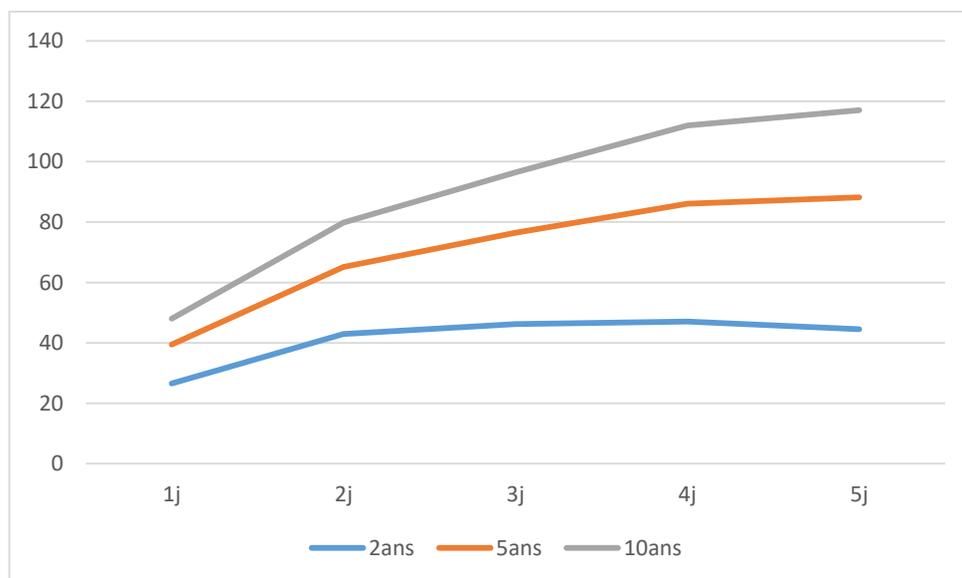


Figure V-4 : Courbe HDF pour le 2^{ème} semestre

Table V-29: 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

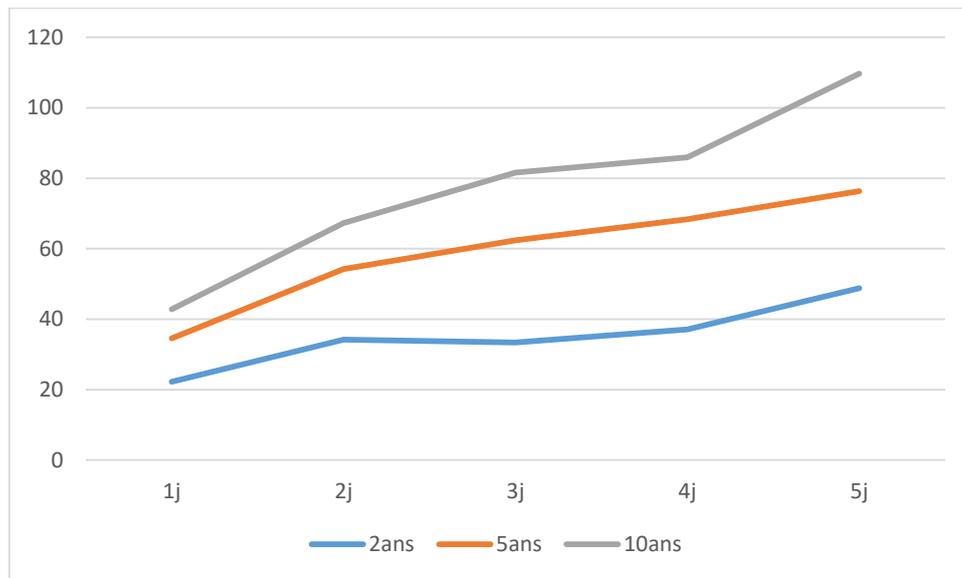


Figure V-5 : Courbe HDF pour le 3^{ème} semestre

V.12-Le débit à évacué (régime permanent avec stockage) :

En régime permanent en tenant compte du stockage

$$q_c = \frac{P - E - S}{\theta} \dots\dots\dots \{V-14\}$$

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)..... $S = hc \times \mu$ {V-15}

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 ;

Chapitre V : Les besoins en eau des cultures et le débit à évacuer

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

Table V-30: Le Q_c en régime permanent avec stockage :

Cultures	Arboricultures	Maraichères	Céréales
$\Theta(j)$	5	2	3
Hc	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 $Q_c=16.52\text{mm/j}$

V.13-Débit caractéristique en régime variable :

Dans ce régime le débit est caractérisé par la formule :

$$Q_c = \frac{S}{\theta} \dots \dots \dots \{V-16\}$$

$$S=(h_0-h_1) \times \mu \dots \dots \dots \{V-17\}$$

Table V-31: Le Q_c en régime variable :

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

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

Conclusion:

A cause de la pluie et de lessivage du réseau d'irrigation l'installation de réseau de drainage est un must pour notre perimetre.

-D'après les calculs, on a arrivés à la conclusion que le débit pris c'est celui de la pluie du régime permanent avec stockage (**16.52mm/j**).



Chapitre VI :
Le
dimensionnement
du réseau

VI.1-Introduction :

Afin de dimensionner un réseau de drainage, plusieurs critères doivent être considérés comme la longueur des drains, leur profondeur, l'écartement....

VI.2-L'écartement des drains "E" :

Les différentes méthodes peuvent faire intervenir soit l'un ou tous les facteurs suivants

- Les sols (profondeur, conductivité hydraulique, porosité...)
- Régime d'écoulement (permanant ou variable).
- Les cultures projetées.

Pour cela on aura la :

- Méthode proposée par Hooghoutt au régime permanent.
- Méthode proposée par Glover - Dum au régime variable.

VI.2.1-La formule de Hooghoutt : (régime permanent)

- Cas où les drains reposent sur la couche imperméable (**Figure VI-1**):

$$E^2 = \frac{4 \times k \times hc^2}{qc} \dots \dots \dots \{VI-1\}$$

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 où les drains ne reposent pas sur la couche imperméable:

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

Avec :

E : Ecartement des drains en (m).

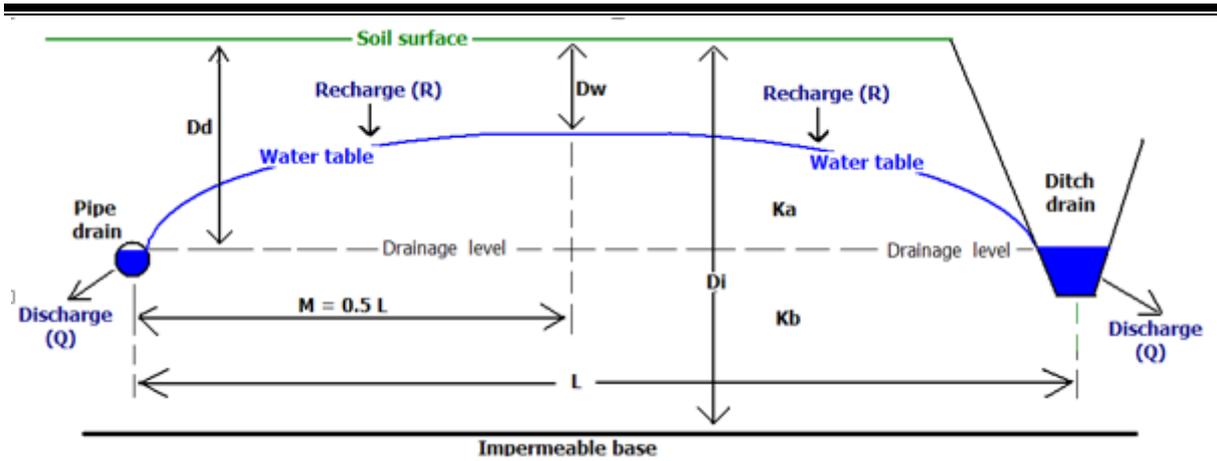
ks : Conductivité hydraulique du sol en dessous des drains (m/j).

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 : Débit caractéristique (mm. 10^{-3}).



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

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

$$\frac{ht}{h_0} = 1.16 \cdot e^{-\alpha t} \dots\dots\dots \{\text{VI-3}\}$$

$$\alpha = \frac{10 \times k \times d}{\mu \times t^2} \dots\dots\dots \{\text{VI-4}\}$$

$$E^2 = \frac{10 \times k \times d \times t}{\mu} \left[\ln \left(1.16 \cdot \frac{h_0}{ht} \right) \right]^{-1} \dots\dots\dots \{\text{VI-5}\}$$

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);

h_0 : Niveau initial de la nappe (m);

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

α : Facteur de réaction (j^{-1})

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

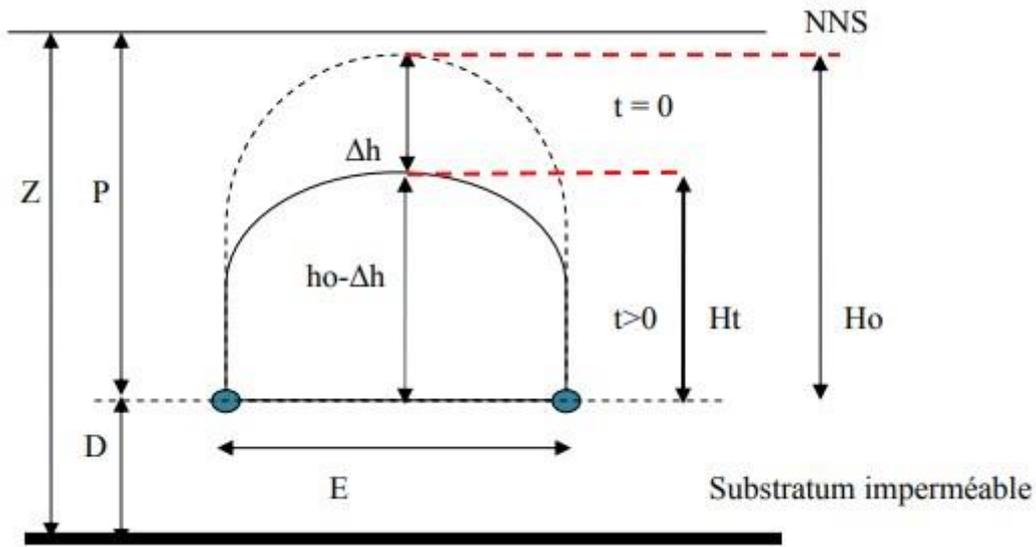


Figure VI-2: Réseau de drainage pour le model d'un régime variable

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

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

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

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

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

$$E^2 = 114.75d + 40.16$$

Et en utilisant la table de profondeur équivalente (**Annexe 4**), nous pouvons effectuer des itérations de l'équation de Hooghoudt :

- $d = 1.3 \text{ m} \longrightarrow E = 13.73 \text{ m}$
- $d = 1.5 \text{ m} \longrightarrow E = 14.57 \text{ m}$
- $d = 2.15 \text{ m} \longrightarrow E = 16.39 \text{ m}$
- $d = 2.8 \text{ m} \longrightarrow E = 19.01 \text{ m}$
- $d = 3.05 \longrightarrow E = 19.75 \text{ m}$

-On prend l'espace entre les drains 20 m

VI.3-La profondeur des drains :

Coût d'installation et d'entretien d'un système de drainage enterré Le niveau est étroitement lié à la profondeur de la gouttière sélectionnée. La profondeur du fossé de drainage est d'environ 1 à 2 m. D'un point de vue hydraulique, une augmentation de la profondeur de drainage se traduit par une augmentation de l'espacement avec une diminution proportionnelle des drains linéaires. Cependant, l'augmentation de la profondeur du drain nécessite la construction d'émissaires plus profonds et plus coûteux et parfois même de stations de relevage ; ces émissaires sont également plus difficiles et plus coûteux à entretenir et doivent donc rester dans les limites de profondeur et de coût du drainage selon les spécifications techniques locales et les contraintes économiques, trouver un compromis.

Pour la région d'Ouled Abbas qui a un sol moyen avec un régime permanent avec des cultures maraichage et céréales, on prend une profondeur des drains de **1.3 m**.

VI.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**.

VI.5-La pente d'installation :

Le choix de la pente influence directement la vitesse d'écoulement. Si cette dernière est suffisamment élevée, lorsque le drain fonctionne en plein régime, on évite toute formation de sédimentation des particules et donc, éviter toute obstruction (bouchage) des drains. La pente de notre zone d'étude peut être considérer à **I = 0.3%**.

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 :

$$Q_d = q \times S \dots \dots \dots \{VI-6\}$$

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

Avec :

S : la surface drainée par le drain,

q : le débit du drain ;

L : la longueur du drain ;

E : l'écartement entre les drains.

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

$$Q' = \frac{Q}{0.5} = \frac{99.12}{0.5} = 198.24 \text{ m}^3/j = 2.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/s$$

VI.7-Le dimensionnement des drains:

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

$$Q' = 38 d^{2.67} \cdot i^{0.50} \dots\dots\dots \text{\{VI-7\}}$$

On extrait le “d” :

$$d = \sqrt[2.67]{\frac{Q'}{38 \times i^{0.50}}} = \sqrt[2.67]{\frac{2.29 \times 10^{-3}}{38 \times 0.003^{0.50}}} = 96 \text{ mm}$$

- Le marché algérien dispose de plusieurs diamètres standards (110mm, 125mm, 200mm, 400mm) et comme le diamètre calculé est de 96mm, le drain de 110mm est le plus adapté.

-Pour la bonne installation des drains il y a des instructions qu'on doit les respecter :

- Creuser une tranchée de 20 cm de largeur et 1.5 m de profondeur
- Poser un lit de sable d'une épaisseur de 4 cm
- Poser la gaine (le drain)
- Remplir la tranchée par le gravier

VI.8- dimensionnement du collecteur :

VI.8.1-Calcul hydraulique des collecteurs

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

$$Q = \sum q_{drains} \dots\dots\dots \text{\{VI-8\}}$$

Avec :

$\sum q_{drains}$: 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 VI-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	

VI.8.2-Diamètre des collecteurs

Pour déterminer le diamètre requis des collecteurs, il est essentiel de commencer par connaître la pente du terrain naturel tout en évitant les pentes importantes (généralement entre 0,1% et 1%) en fonction de la topographie. En outre, il est crucial de maintenir des vitesses d'écoulement comprises entre 0,5 m/s et 1,5 m/s. Cela permet d'éviter les phénomènes d'aspiration aux joints et aux perforations des drains, ainsi que la sédimentation des particules infiltrées.

Nous supposons que l'écoulement est uniforme et que la conduite est lisse, ce qui nous conduit à utiliser la formule de Darcy-Weisbach, avec une marge de sécurité de 15% incluse. La formule utilisée est la suivante :

$$Q = 50 \times d^{2.71} \times i^{0.57} \dots\dots\dots \{\text{VI-9}\}$$

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

Table VI-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 VI-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**).

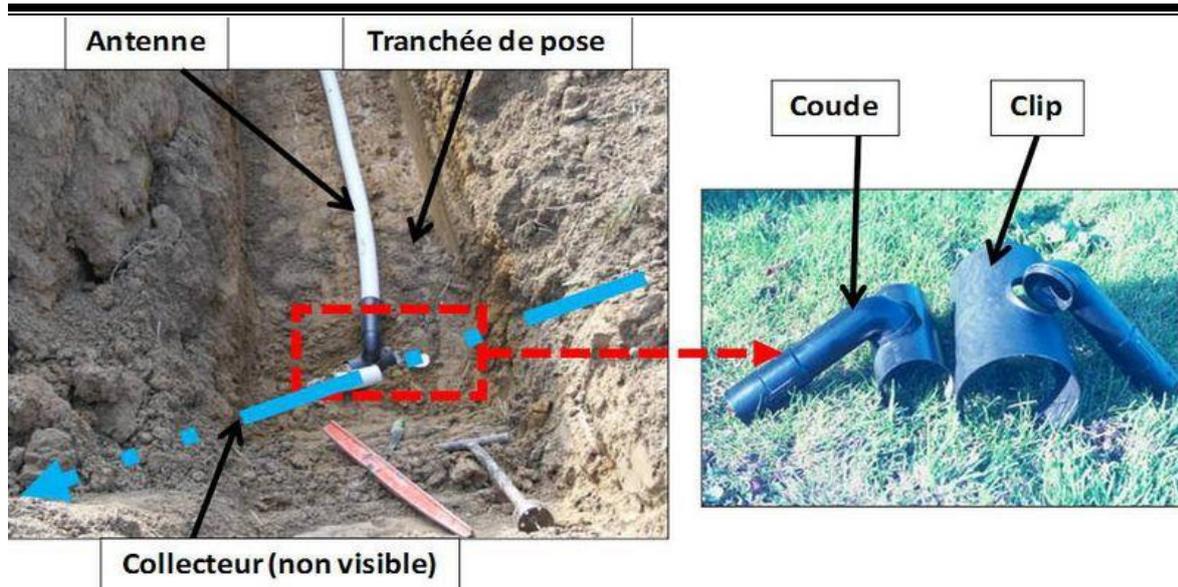


Figure VI-3: Raccordement drain-collecteur et ensemble clip + coude

VI.8.3.2-Entre collecteur et collecteur :

Les regards sont utilisés pour assurer la connexion entre les collecteurs, et ils remplissent plusieurs fonctions au sein du réseau. Ces fonctions comprennent la correction de la pente, le changement de diamètre et de direction, ainsi que la sédimentation des particules qui ont pénétré dans le drain.

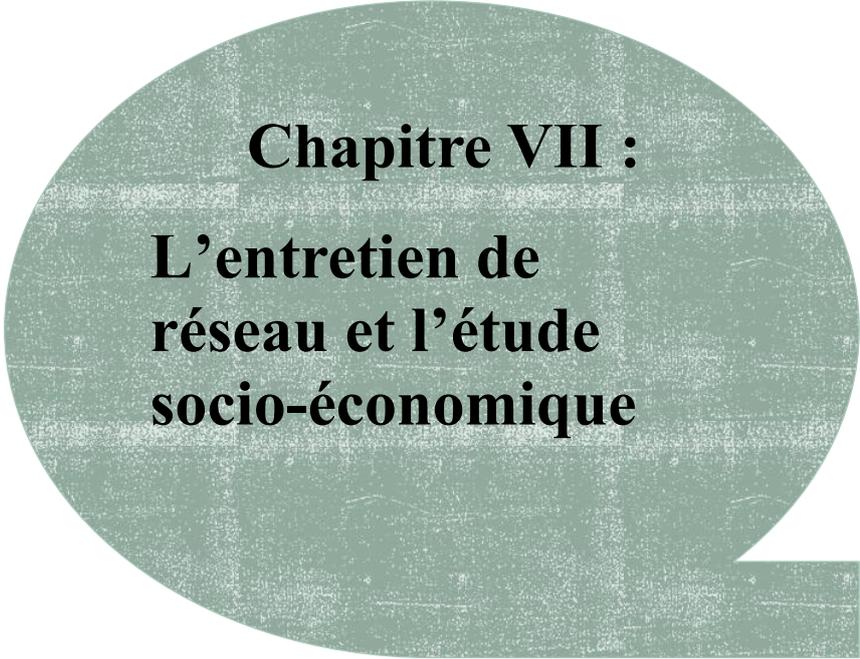
VI.8.3.3- Entre Collecteur et exutoire :

Le collecteur doit être débouché à l'émissaire, avec une élévation d'au moins 0,2 mètres au-dessus du plafond et à 0,1 mètre au-dessus du niveau moyen des eaux.

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons procédé au dimensionnement du réseau de drainage souterrain spécifiquement adapté à notre situation. Le réseau se compose de 203 drains d'une profondeur de 1,3 mètre et d'une longueur variant entre 21 et 392 mètres, tous ayant un diamètre normalisé de 110 mm. Ces dimensions ont été calculées en prenant en compte le débit caractéristique le plus élevé, correspondant au régime permanent, qui atteint 29,28 mm/jour.

De plus, le réseau comprend 7 collecteurs, répartis en 3 collecteurs principaux et 4 collecteurs secondaires, avec des longueurs allant de 365 à 498 mètres et des diamètres normalisés allant de 200 à 400mm. En outre, l'espacement entre les drains est de 20 mètres, calculé en utilisant la loi de Hooghoudt pour le régime permanent.



Chapitre VII :
L'entretien de
réseau et l'étude
socio-économique

VII.1-Introduction :

Après avoir étudié la variante approuvée, il est nécessaire de faire une estimation économique du projet et d'attribuer les principes de divertissement en réseau qui assurent son bon fonctionnement à long terme. Et ce chapitre ça sera la dernière partie de notre travail.

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

L'entretien du réseau de drainage n'est pas pris au sérieux par tous Il le mérite. La raison est simple : le drainage est considéré comme moins important que l'irrigation. Les eaux de drainage sont généralement de mauvaise qualité car, après avoir traversé le sol, elles s'enrichissent en sels, en nutriments et en oligo-éléments (minéraux) ou éléments organiques.

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

En raison de la faible vitesse de l'eau et de la faible quantité d'eau dans les fossés de drainage, ceux-ci sont rapidement envahis par la végétation, réduisant ainsi la capacité d'écoulement. La détérioration des berges des fossés et des canaux peut être aggravée par l'utilisation des eaux de drainage, notamment pour l'irrigation du bétail.

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

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

VII.2.2.1-Méthodes mécaniques :

Elles consistent en faucardage et curage des fossés au moyen de machines réalisant soit une coupe soit un arrachage mécanique de la végétation. L'arrachage des racines est bien sûr plus efficace que le faucardage. Toutefois, ces méthodes sont les plus courantes et les plus coûteuses.

VII.2.2.2-Méthodes chimiques :

Ils reposent sur l'utilisation d'herbicides, qui doivent être utilisés avec prudence en raison de leurs impacts négatifs sur la santé et l'environnement, surtout si les eaux de drainage sont réutilisées.

VII.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.

VII.2.3-L'entretien des réseaux enterrés :

Des inspections régulières des réseaux de drainage enterrés sont nécessaires, tout particulièrement aux points névralgiques que sont les bouches de décharges. Les regards doivent également être visités : ils sont généralement placés en des points importants du réseau comme les jonctions ou les changements de diamètre des tuyaux.

Les canalisations enterrées sont nettoyées par pulvérisation d'un jet d'eau sous pression. Cette technique n'est pas systématique car elle risque de déstabiliser le sol autour du pipeline.

VII.2.4-L'entretien des tuyaux :

Aujourd'hui, la plupart des projets de drainage sont construits avec des tuyaux en polyéthylène (PE) ou en polychlorure de vinyle (PVC). Nous sommes ainsi en mesure d'éliminer les problèmes pouvant découler de l'utilisation de tuyaux en céramique ou en béton (sable/ciment) de mauvaise qualité, souvent produits sur place. Les tuyaux en PE ou PVC sont généralement de bonne qualité mais

Matériau PVC sensible aux UV. Le matériau perdra sa stabilité s'il est exposé pendant une longue période sans protection. De plus, le matériau est très sensible aux températures élevées et se déforme à environ 80°C.

VII.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.

VII.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 VII-1: Photo de draineuse (Wikipédia)

L'estimation de cout est résumée dans le tableau suivant

Table VII-1: Estimation du cout des travaux:

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 :

Ce travail nous a aidés à acquérir une compréhension des étapes essentielles pour concevoir un réseau de drainage, ainsi qu'à réaliser l'importance cruciale d'une gestion efficace de ce réseau dans le contexte complexe du drainage agricole dans les régions.

CONCLUSION GENERALE :

En conclusion, l'ensemble des informations présentées dans les sections précédentes révèle l'importance cruciale de l'aménagement hydro-agricole et de la gestion des ressources en eau dans le périmètre situé en aval du barrage d'Oum Drou. Le climat semi-aride, caractérisé par un hiver doux relativement humide et un été sec et chaud, pose des défis significatifs pour l'agriculture, nécessitant une irrigation soigneusement planifiée.

Le classement des sols révèle une diversité de potentiel agronomique, avec des zones d'excellent, moyen et faible potentiel. Cela souligne la nécessité d'une approche différenciée en matière d'irrigation, mettant l'accent sur le drainage pour éviter les problèmes de salinisation.

L'analyse de la série pluviométrique montre la fiabilité des données utilisées, et l'ajustement des séries de pluies par la loi de Gauss renforce la base statistique de la planification agricole.

Le dimensionnement du réseau de drainage est un élément clé pour la gestion des eaux, avec des drains et collecteurs adaptés aux besoins du périmètre. Cette conception précise est essentielle pour prévenir la détérioration des sols due à la pluie et au lessivage du réseau d'irrigation.

Dans l'ensemble, cette étude met en évidence l'importance de la planification minutieuse, de la gestion efficace des ressources en eau et de l'infrastructure de drainage pour assurer un développement agricole durable dans la région. Elle fournit des orientations cruciales pour optimiser l'utilisation des ressources disponibles tout en minimisant les risques de dégradation des sols. Une approche équilibrée, prenant en compte les caractéristiques climatiques et agronomiques spécifiques de la zone, est essentielle pour garantir le succès de l'agriculture dans ce périmètre.

Les REFERENCES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

1. **APD –MC-ZB (2004)**: Avant-Projet Détaillé de la zone B du périmètre Moyen Chélif.....2-6
2. **BOULAIN, J. (1957)**: Étude des Sols des Plaines du Cheliff. Thèse de Doctorat, Université d'Alger.....4
3. **ELMEDDAHI, 2009** : Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du moyen Cheliff.....4
4. **KIRECHE (1977)**: Étude Géologique des Bassins Cheliff.....4
5. **PERRODON, A. (1957)**: Étude Géologique des Bassins Néogènes Sublittoraux de l'Algérie Occidentale.....5
6. **MOKADAM.A, 2016** : Les réseaux hydrographique..... 5
7. **LECHAA Mohamed Tahar (2020)**: Dimensionnement d'un réseau de drainage d'un périmètre de 350ha à Oum Drou wilaya de Chlef.
8. **HETTAK Nesrine (2020)**: Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre Achaacha à partir du barrage Kramis (W.Mostaganem).

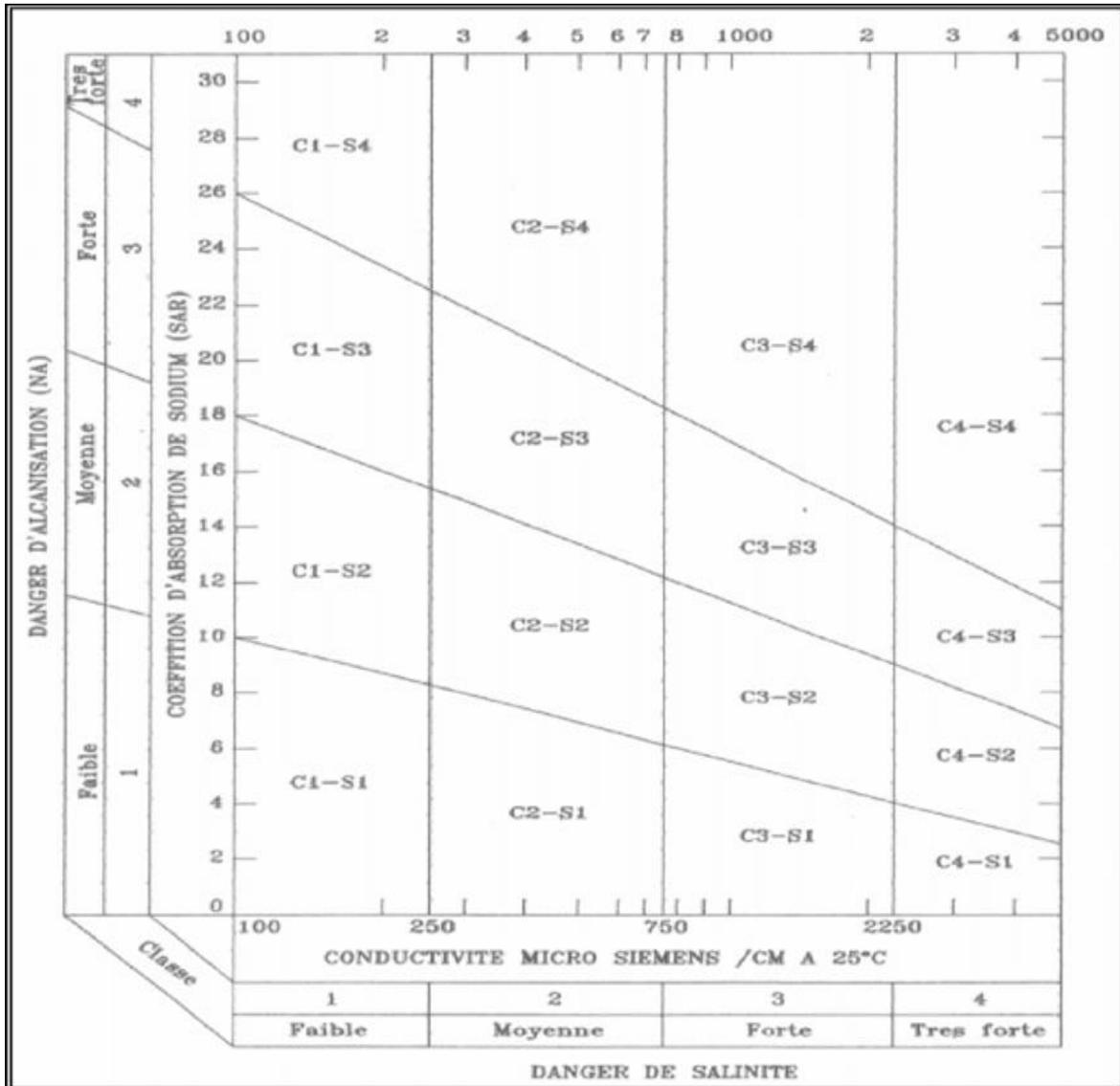
Annexe 1

Les zones homogènes du périmètre moyen Chéloff

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.	4 500	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).	7 800	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'agriculture est recommandée en rive gauche du Chéloff. (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 Ouahrane-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.	4 150	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 verticales dès 40-50 cm de profondeur. La conductivité électrique est inférieure à 4 mmhos/cm. Sur alluvions récentes (confluent Ouahrane-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'interfluvie 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 verticales 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-Chéloff en raison de la spécificité et de la similitude des problèmes. Éventuellement, modification de l'affectation de ces terres (const. 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.	7 650	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'Ouled Farrès). - Irrigation gravitaire à exclure lorsque la pente est supérieure à 5 %.	Protection de piémont.	Arboriculture irriguée recommandée compte-tenu des caractéristiques de sol et microclimat.
7 = Sols sur crêtes et encroûtements calcaires.	Exclusivement sur les bordures du périmètre et dans la plaine des MEDJADJAS.	2 150	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 éperrage dans les quelques secteurs à crête caractérisée.	Arboriculture à exclure sauf : - Olivier - Figurier - Pêcher et abricotier sur amandier

Annexe 2

Diagramme de classification des eaux d'irrigation



Annexe 3

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	0,2240	0,3177	0,4541	0,7107	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 4

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	1.00		
1.25	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15											
1.50		0.90	0.95	1.10	1.20	1.25	1.30	1.30	1.35	1.35	1.35											
1.75		0.90	1.00	1.20	1.30	1.40	1.45	1.50	1.50	1.55	1.55											
2.00			1.10	1.30	1.40	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.70	1.80	1.80	1.80	1.85	1.85	1.90	1.90	1.90	1.95		
2.25			1.15	1.35	1.50	1.70	1.70	1.75	1.80	1.85	1.85											
2.50				1.40	1.55	1.70	1.80	1.85	1.95	2.00	2.00											
2.75				1.40	1.65	1.75	1.90	2.00	2.05	2.10	2.20											
3.00				1.45	1.65	1.85	1.95	2.10	2.15	2.25	2.30	2.50	2.50	2.55	2.55	2.60	2.70	2.80	2.80	2.85		
3.25				1.50	1.70	1.90	2.05	2.15	2.25	2.35	2.40											
3.50				1.50	1.75	1.95	2.10	2.25	2.35	2.45	2.55											
3.75				1.50	1.80	1.95	2.15	2.30	2.45	2.55	2.65											
4.00					1.80	2.00	2.20	2.35	2.50	2.60	2.70	3.05	3.10	3.10	3.15	3.25	3.45	3.60	3.60	3.65		
4.50					1.85	2.10	2.30	2.50	2.65	2.75	2.85											
5.00					1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.50	3.55	3.60	3.65	3.80	4.10	4.30	4.30	4.45		
5.50						2.20	2.45	2.65	2.85	3.00	3.15											
6.00							2.50	2.70	2.90	3.10	3.25	3.85	3.95	4.00	4.10	4.25	4.70	4.95	5.15	5.15		
7.00							2.55	2.80	3.05	3.25	3.45	4.15	4.25	4.35	4.40	4.60	5.20	5.55	5.80	5.80		
8.00								2.55	2.85	3.15	3.35	3.55	4.40	4.50	4.60	4.70	4.95	5.70	6.15	6.45		
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																		9.45	11.60	13.40		
35.00																			11.80	13.80		
40.00																				12.00	13.80	
45.00																					12.10	14.30
50.00																						14.60
60.00																						14.70
~	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 > 1/3 L.

