

Session 2024/2025

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail. comme un geste de gratitude ; A celle qui m'a enfanté dans la douleur et la joie. Mon symbole d'amour : En premier lieu :

- ❖ À ma très chère mère à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices. son amour. son aide et son soutien matériel et moral et me voir ainsi arriver à ce que je suis devenu aujourd'hui.
- ❖ À mes frères Djaber ; Anoir Essadet ; Ouwaïs et ma sœur.
- ❖ À tous mes amis et une grande dédicace pour Selmane Abd Elhakim ; Mordjane Riadh ; Himeur Rami ; Benkortbi Abd Elhak et Sahraoui Mohamed El amine Mostafa.
- ❖ À Zouaoua Mehdi et Soumati donia zed
- ❖ dédicace spéciale à mon frère et et mon ami et mon bras droit **Redjem Oussama.**

ROUBACHE Djoubeir

Remerciement

Avant tout propos. nous remercions « Dieu » le tout puissant qui nous a donné la sagesse et le courage Pour faire correctement ce modeste travail.

Il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Mme Sadoune Samra pour m'avoir encadré. Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont guidé dans la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Puis. je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Mr Benkaci Mouhamed Tarik pour leur aide et leur conseil.

Ainsi que toutes mes gratitudes à l'ensemble des enseignants de l'ENSH qui m'ont éclairé. orienté et aidé Durant toute ma formation.

Enfin. un vif remerciement pour toutes les personnes ayant idées de près ou de loin à l'élaboration de ce Mémoire et dont le nom n'a pas été cité. qu'ils ne nous en tiennent pas rigueur.

Je remercie également les membres du jury qui me feront l'honneur d'évaluer et d'apprécier mon travail.

ROUBACHE Djoubeir

ملخص

تتناول مذكرة نهاية الدراسة هذه، موضوع تصميم نظام للسقي في محيط تـلـأـغـمـة المتواجد بولاية ميلـة، الذي يغطي مساحة قدرها 160 هكتارًا، ويضم تنوعًا في الزراعات مثل الأشجار المثمرة، والخضروات، والحبوب. بدأ التصميم بإنشاء خزان لتخزين المياه القادمة من سد بني هارون، إضافةً إلى خط الجر نحو شبكة التوزيع. وبعد تقدير الاحتياجات المائية لمختلف الزراعات، مكّنت المحاكاة الهيدروليكية من تحديد الأقطار المناسبة للأنابيب مع ضمان أفضل للشروط التقنية للتشغيل، مثل الضغط والتدفق.

الكلمات المفتاحية: السقي، الزراعات الفلاحية، شبكة السقي

Résume :

Ce mémoire de fin d'études porte sur le dimensionnement d'un système d'irrigation pour le périmètre de Teleghma. couvrant une superficie de 160 hectares avec une diversité des cultures : arboriculture. cultures maraîchères et céréales. Le dimensionnement a débuté par la conception du réservoir de stockage pour l'eau provenant du barrage de Beni Haroun. ainsi que la conduite d'adduction vers le réseau de distribution. Après avoir estimé les besoins en eau des différentes cultures. la simulation hydraulique a permis de déterminer les diamètres appropriés des conduites tout en garantissant des conditions techniques optimales de fonctionnement. telles que la pression et le débit.

Mots clés : irrigation. cultures agricoles. réseau d'irrigation.

Abstract

This final year dissertation focuses on the design and sizing of an irrigation system for the Teleghma perimeter. covering an area of 160 hectares with diverse crops including orchards. vegetable crops. and cereals. The sizing process began with the design of a storage reservoir supplied by water from the Beni Haroun Dam. along with the conveyance pipeline leading to the distribution network. After estimating the water requirements of the different crops. hydraulic simulation was carried out to determine the appropriate pipe diameters while ensuring optimal technical operating conditions. such as pressure and flow rate.

Keywords: irrigation. agricultural crops. irrigation network.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	18
Chapitre I : Présentation de la zone de l'étude.....	21
Introduction :	21
I.1 Situation géographique du site :	21
I.1.1 Présentation de la wilaya de Mila :	21
I.1.2 Présentation de la zone d'étude :	21
I.1.3 Position du périmètre d'étude :	22
I.2 Caractéristiques physiques et environnementales de la zone :	23
I.2.1 Réseau hydrographique :	23
I.2.2 Géologie :	23
I.2.3 Étude climatologique :	25
I.3 Indices agro-météorologiques :	30
I.3.1 Indice d'aridité de Martonne (1926) :	30
I.3.2 Quotient Ombrothermique d'Emberger (1955) :	31
I.3.3 Climagramme de BAGNOULS et GAUSSEN :	32
Conclusion :	32
Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol	35
Introduction :	35
II.1 Ressources en sol :	35
II.1.1 Etude pédologique :	35
II.1.2 Classification des sols de la région :	35
II.1.3 Caractéristiques des sols de la région:	36
II.1.4 Caractéristiques hydrodynamiques des sols :	39
II.1.5 Les aptitudes culturales des sols :	39
II.2 Ressources en eau :	41
II.2.1 Origine des eaux destinées à l'irrigation :	41
II.2.2 Répartition des usages de l'eau transférée :	41
II.2.3 Alimentation du périmètre étudié :	41
II.2.4 Ressources en eau : Barrages et retenues :	41
II.2.5 Caractéristiques chimiques de l'eau du Barrage :	43
II.3 Calcul de la pluie de projet :	46

II.3.2 Série de précipitation moyenne mensuelle :	46
II.3.3 Test d'homogénéité (Test de Mood) :	47
II.3.4 Choix des lois de probabilités et ajustement :	49
II.3.5 Détermination de l'année de calcul :	54
Conclusion :	54
Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures	57
Introduction :	57
III.1 Besoin en eau du périmètre :	57
III.1.1 Calcul des besoins en eau :	57
III.1.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle de référence ET₀ :	58
III.1.3 Calcul de la pluie efficace :	59
III.1.4 Calcul de la réserve en eau du sol :	60
III.2 Choix des cultures :	61
III.2.1 Occupation des sols :	61
III.2.2 Les cultures proposées et système cultural :	61
III.2.3 Assolements des cultures :	61
III.2.4 Le régime d'irrigation :	62
III.2.5 Estimation des coefficients culturaux (Kc) :	62
III.3 Estimation des besoins en eau des cultures :	62
III.3.1 Les besoins en eau pour l'assolement 01 :	62
III.3.2 Les besoins en eau pour l'assolement 02:	65
III.4 Calcul de débit spécifique :	66
III.4.1 Les besoins en eau pour les assolements 01 et 02 :	67
III.4.2 Les besoins de lessivage :	68
III.5 Calcule de débit caractéristique :	70
III.6 Estimation des volumes d'eau d'irrigation :	70
Conclusion :	71
Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation	73
V.1 Les différentes techniques d'irrigation :	73
V.1.1 Irrigation par Aspersion :	73
V.1.2 Irrigation par goutte à goutte (localisée) :	74
V.1.3 Irrigation par gravité (surface) :	75
V.1.4 Irrigation par submersion :	75
V.1.5 Irrigation par pivot central :	76

Conclusion :	77
Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution	79
Introduction :	79
IV.1 Alimentation en eau du périmètre :	79
IV.2 Choix de la variante d'adduction :	79
IV.3 Le Réseau d'adduction :	80
IV.4 Le Réseau de Distribution :	82
IV.4.2 Decoupage des Ilots :	82
IV.4.3 Bornes d'irrigation (Rôle et fonction) :	82
IV.4.4 Tracé du réseau d'irrigation :	83
IV.4.5 Calcul hydraulique aux bornes :	84
IV.4.6 Implantation des bornes :	84
IV.4.7 Choix du diamètre de la borne :	84
IV.5 Matériaux de construction des canalisations :	85
IV.6 Dimensionnement du réseau de distribution :	87
IV.6.1 La vitesse admissible :	87
IV.6.2 Calcul du diamètre économique :	87
IV.6.3 Estimation des pertes de charge :	88
IV.6.4 Estimation des pressions aux bornes et nœuds :	89
Conclusion :	90
Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle	92
Introduction :	92
VI.1 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion :	92
VI.1.1 Calcul de RFU :	92
VI.1.2 Le diamètre de l'ajutage :	93
VI.1.3 Calcul de la portée jet (L) :	94
VI.1.4 Ecartements entre les rampes et arroseurs :	94
VI.2 Vérification de la pluviométrie :	94
VI.2.1 Débit de l'asperseur :	94
VI.2.2 Vérification de la pluviométrie de l'asperseur :	95
VI.3 Paramètres d'arrosage :	95
VI.3.1 Calcul du tour d'eau :	95
VI.3.2 Calcul de la dose réelle :	96
VI.3.3 Calcul de la dose brute :	96

VI.3.4 Temps d'arrosage :	96
VI.3.5 Calcul de l'unité d'arrosage :	96
VI.3.6 Calcul du débit d'équipement :	96
VI.3.7 Calcul du volume fourni par un asperseur par mois :	97
VI.3.8 Calcul du volume à épandre en un mois sur toute la parcelle :	97
VI.3.9 Calcul du nombre d'asperseurs requis :	97
VI.4 Calcul hydraulique du réseau d'irrigation par aspersion :	97
VI.4.1 La longueur de la rampe :	97
VI.4.2 Dimensionnement de la rampe :	98
VI.4.3 Calcul du diamètre de la rampe :	98
VI.4.4 Calcul de la perte de charge de la rampe :	99
VI.5 Dimensionnement de la porte rampe :	99
VI.5.1 Longueur de la porte rampe :	99
VI.5.2 Débit de la porte rampe :	100
VI.5.3 Calcul du diamètre de la porte rampe :	100
VI.5.4 Calcul de la perte de charge de la porte rampe :	100
VI.6 Les résultats du dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion.....	100
VI.7 Dimensionnement du réseau d'irrigation goutte à goutte :	101
VI.7.1 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation goutte à goutte :	101
VI.7.2 Impact du taux de couverture du sol :	101
VI.7.3 Calcul de la dose nette :	102
VI.7.4 Fréquence et intervalle des arrosages (Fr) :	103
VI.7.5 Calcul de la dose brute :	103
VI.7.6 Durée d'arrosage :	103
VI.7.7 Durée d'arrosage journalier :	103
VI.7.8 Nombre d'arbre par hectare :	104
VI.7.9 Nombre d'arbre par rampe :	104
VI.7.10 Nombre des goutteurs par rampe :	104
VI.7.11 Débit d'une rampe :	104
VI.7.12 Nombre de rampes :	104
VI.7.13 Débit de porte rampe :	105
VI.8 Calcul hydraulique du réseau d'irrigation goutte à goutte :	105
VI.8.1 Diamètre de la rampe :	105
VI.8.2 Diamètre de la porte rampe :	105

Conclusion :.....	106
CHAPITRE VII: Etude technico-économique	109
Introduction :	109
VII.1 Différents travaux à entreprendre :	109
VII.1.1 Exécution des tranchées :.....	109
VII.1.2 Pose du lit de sable :.....	109
VII.1.3 Mise en place des canalisations :	110
VII.1.4 Epreuve de joint et de la canalisation :	111
VII.1.5 Nivellement et compactage :.....	111
VII.1.6 Choix des engins du chantier :	112
VII.2 Évaluation financière des divers types de conduites et des travaux associés :	115
VII.3 Évaluation des volumes et coûts des travaux d'excavation et de remblayage :	116
VII.3.1 Calcul des volumes des travaux de l'adduction et distribution :.....	116
VII.3.2 Estimation du cout de pose de conduites d'adduction et distribution :.....	120
VII.3.3 Devis estimatif total :	120
Conclusion :.....	120
Conclusion générale	122

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 .Précipitations moyennes sur la période (2010-2020).....	25
Tableau I.2: Moyennes des températures pour la période 2010-2020.....	26
Tableau I.3: Humidité moyenne mensuelle à la station de Constantine (Période : 1991 – 2020).....	27
Tableau I.4: Vitesse de vent à la station de El Melha_El Mechira (Période : 2010 – 2020).....	28
Tableau I.5 : Distribution fréquentielle de la durée d’insolation totale (en heure).....	28
Tableau I.6 : Evaporation mensuelle et annuelle à la station du barrage d’Oued Athmania.....	29
Tableau I.7 : Classification du climat selon de Martonne.	30
Tableau I.8 : température et précipitation mensionnelle	32
Tableau II.1 : différents types de sols de la région.....	36
Tableau II.2 : Analyse physico-chimiques des profils étudié.....	37
Tableau II.3 : Différentes classes de perméabilité.....	39
Tableau II.4 : Caractéristiques hydrodynamiques des sols.....	39
Tableau II.5 : Les espèces culturales.....	40
Tableau II.6 : Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Beni Haroun	42
Tableau II.7 : Caractéristiques hydrotechniques de la retenue intermédiaire d’El Athmania	42
Tableau II.8 : Principaux paramètres chimiques de l’eau du périmètre de Teleghma.....	43
Tableau II.9 Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....	44
Tableau II.10 : Classification des eaux en fonction du SAR.....	45
Tableau II.11 Caractéristique de la station pluviométrique.....	46
Tableau II.12 : Moyenne mensuelle et annuelle des précipitations (1991-2020).....	46
Tableau II.13 : Résultats des calculs de l’ajustement à la loi de Gauss	51
Tableau II. 14 : Résultats des calculs de l’ajustement à la loi de Galton	53
Tableau II.15 : Résultat du test de khi carré (χ^2).....	53
Tableau II.16 : Pluies moyennes mensuelles pour l’année sèche (P80%).....	54
Tableau III.1 : Evapotranspiration de référence ET0	59
Tableau III.2 :Pluviométrie moyenne et efficace pour chaque mois en mm	60
Tableau III.3 L'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre.	61
Tableau III.4 Système de cultures proposées	61
Tableau III.5: Assolements des cultures.....	62
Tableau III.5: Coefficients culturaux des cultures.....	62
Tableau III.6 : Les besoins en eau du blé.	63
Tableau III.7 : Les besoins en eau du l’Orge.....	63
Tableau III.8 : Les besoins en eau du Pomme De Terre (AS).....	63

Tableau III.9 : Les besoins en eau de Tomate	64
Tableau III.10 : Les besoins en eau de l'Olivier.....	64
Tableau III.11 : Les besoins en eau de les agrumes	64
Tableau III.12 : Les besoins en eau de l'Orge En vert	65
Tableau III.13 : Les besoins en eau de l'Oignon.....	65
Tableau III.14 : les besoins en eau de le haricot.....	66
Tableau III.15 : les besoins en eau de de l'Ail	66
Tableau III.16 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 01	67
Tableau III.16 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 02	67
Tableau III.17 : Volumes de lessivage de l'assolement 1 pour chaque culture en mm.....	68
Tableau III.18 : Les besoins net avec volume de lessivage.....	69
Tableau III.19 : Volumes de lessivage de l'assolement 2 pour chaque culture en mm.....	69
Tableau III.20 : Les besoins net avec volume de lessivage.....	69
Tableau III.21: Volume d'eau d'irrigation	70
Tableau V.1: Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion.	74
Tableau V.2 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte	74
Tableau V.3 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par surface.	75
Tableau V.4 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par submersion	76
Tableau V.5 : Irrigation par pivot central.....	77
Tableau IV.1 : Les différents îlots du périmètre.....	82
Tableau IV.2 : Choix du type et de diamètre de la borne.	85
Tableau IV.3 : Les débits des ilots et les diamètres des bornes.....	85
Tableau IV.4 : Vitesses admissibles.....	87
Tableau IV.5 : Calcul du diamètre économique	88
Tableau IV.6 : Les résultats de calculs de pression.	89
Tableau VI.1 : Caractéristiques de l'asperseur du type A60	93
Tableau VI.2 : Coefficients de calcul des écartements.....	94
Tableau VI.3 : Résultats de calcul pratique du réseau d'irrigation par aspersion.	101
Tableau VI.4 : Caractéristiques des rampes.	105
Tableau VI.5 : Caractéristiques des portes rampes.....	106
Tableau VII.1 : Tarifs des conduites du réseau d'adduction et de distribution.	115
Tableau VII.2 : Tarifs des équipements de protection.....	115
Tableau VII.3 : Tarifs des systèmes d'irrigation.	116
Tableau VII.4 : Résultats de calcul du volume du déblai	117
Tableau VII.5 : Résultats de calcul du volume de lit de sable.....	118
Tableau VII.6 : Résultats de calcul du volume de remblai.....	119

Tableau VII.7 : Cout total des travaux de pose de conduites	120
---	-----

Liste Des Figures

Figure I.1 : Carte géographique de la wilaya de Mila _Source : ANRH 2022.....	21
Figure I.2 : Limites administratives de Teleghma _ Source : Image satellitaire .Google Maps. 2024..	22
Figure I.3 : Position géographique de périmètre d'étude _Source (Google MPS 2020 echelle 1/1000000)	22
Figure I.4 : Réseau hydrographique de la zone d'étude – Source : ANRH.....	23
Figure I.5 : Carte géologique simplifiée de la zone _ Source : Carte géologique nationale. ANRH	24
Figure I.6: Moyenne des précipitations mensuelles pour la période (2010-2020)	25
Figure I.7: Moyenne des températures pour la période (2010-2020).....	26
Figure I.8: Répartition de l'humidité relative de l'air mensuelle (Période : 1991 – 2020)	27
Figure I.9: Vitesse de vent de station de El Melha El Mechira	28
Figure I.10: Distribution fréquentielle de la durée d'insolation totale en heures	29
Figure I.11: Evaporation mensuelle et annuelle à la station du barrage d'Oued Athmania	29
Figure II.1 : Diagramme de classification de l'eau d'irrigation.	45
Figure II.2 : Table explicatif de la variable réduite de Gauss.....	49
Figure II.3 : Graphique de l'ajustement à la loi de Gauss	51
Figure II.4 : Graphique de l'ajustement à la loi de Galton	52
Figure V.1 : Irrigation par aspersion.	73
Figure V.2 : L'irrigation par goutte à goutte.....	74
Figure V.3 : L'irrigation par gravité (surface)	75
Figure V.4 : L'irrigation par submersion.....	76
Figure V.5 : Irrigation par pivot central	77
Figure IV.1 : Schéma explicatif de réseau d'adduction	81
Figure VI.1 : Mécanismes de fixation des arroseurs sur la rampe.....	98
Figure VII.1 : Pèle équipée en rétro	112
Figure VII.2 : Le Bulldozer	113
Figure VII.3 : Le chargeur.....	113
Figure VII.4 : Le camion à benne.....	114
Figure VII.5 : Bétonnière	114
Figure VII.6 : Schéma d'une tranchée.....	117

Liste des planches

Planche N°01 : Plan de situation du périmètre Teleghma(secteur Sud). Wilaya de Mila.

Planche N°02 : Plan d'occupation du périmètre Teleghma(secteur Sud). Wilaya de Mila.

Planche N°03 : Plan de bornage du périmètre Teleghma(secteur Sud). Wilaya de Mila.

Planche N°04 : Profile en long du périmètre Teleghma(secteur Sud). Wilaya de Mila.

Planche N°05 : Réseau d'irrigation (par Goutte à Goutte et Aspersions) du périmètre Teleghma(secteur Sud). Wilaya de Mila.

ABREVIATION

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

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

FAO : Food and Agriculture Organization of the united nations.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

PVC : Polychlorure de Vinyle.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 01 : Triangle des textures.....	124
Annexe 02 : Caractéristiques hydriques de quelques sols.....	124
Annexe 03 : Diagramme de classification de l'eau d'irrigation.....	125
Annexe 04 : Coefficients culturaux (Kc) (FAO d'irrigation et drainage n°33 tableau 18)....	126
Annexe 05 : La fiche technique d'un arroseur ZB de type Perrot.....	127

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'agriculture occupe une place stratégique en Algérie, représentant un levier essentiel pour le développement économique et la sécurité alimentaire. Cependant, ce secteur est fortement dépendant de l'eau, une ressource rare et soumise à une pression croissante, notamment dans les zones semi-arides. La gestion efficace et durable de l'eau devient ainsi un enjeu majeur pour assurer la production agricole et la valorisation des terres.

Dans la wilaya de Mila, le barrage de Béni Haroun constitue un ouvrage hydraulique majeur, assurant l'alimentation en eau potable, la régulation des crues et l'irrigation agricole. Malgré ce potentiel, la distribution de l'eau et la valorisation des terres irriguées restent limitées par l'absence de réseaux adaptés et par des pratiques d'irrigation peu optimisées. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre problématique : comment concevoir un périmètre irrigué moderne et fonctionnel à Teleghma, capable de répondre aux besoins en eau des cultures tout en respectant les contraintes techniques et économiques ?

L'objectif principal de cette étude est de dimensionner un périmètre irrigué de 160 hectares dans le secteur sud CP12, alimenté à partir du barrage de Béni Haroun, en optimisant l'utilisation de l'eau et en améliorant les rendements agricoles. Les objectifs spécifiques sont :

- Analyser les caractéristiques du site (climat, sols, eau) et les besoins hydriques des cultures ;
- Déterminer les solutions techniques les plus adaptées pour l'adduction et la distribution de l'eau ;
- Dimensionner les réseaux afin d'assurer une distribution efficace et durable ;
- Estimer le coût global du projet et évaluer sa faisabilité économique.

Pour réaliser cette étude, nous avons structuré notre travail en 07 chapitres :

- **Chapitre I** : Présentation de la zone d'étude . Localisation, caractéristiques géographiques, et contextes socio-économique et agricole.
- **Chapitre II** : Étude climatique et hydrologique . Analyse des précipitations, températures, évapotranspiration et disponibilité en eau.
- **Chapitre III** : Étude pédologique et aptitude des sols. Analyse des propriétés physico-chimiques, texture, perméabilité et classification des sols pour l'irrigation.
- **Chapitre IV** : Analyse des besoins en eau des cultures. Estimation des besoins mensuels et annuels à l'aide du logiciel CROPWAT.
- **Chapitre V** : Dimensionnement du réseau d'adduction et de distribution . Calcul des débits, pressions, vitesses et conception des conduites.
- **Chapitre VI** : Choix des techniques d'irrigation . Évaluation des systèmes par aspersion et goutte-à-goutte pour économiser l'eau et améliorer les rendements.
- **Chapitre VII** : Évaluation technico-économique . Estimation des coûts, analyse de la faisabilité et recommandations pour la gestion durable du périmètre.

Introduction générale

À travers cette étude, nous visons à proposer un modèle opérationnel et reproductible d'aménagement irrigué, contribuant à la valorisation agricole de Teleghma et à une gestion responsable et durable de l'eau dans la région.

Chapitre I
Présentation de la zone
De l'étude

Chapitre I : Présentation de la zone de l'étude

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude, à savoir le périmètre de Teleghma, situé dans la wilaya de Mila, en Algérie. L'objectif est de décrire ses caractéristiques géographiques, climatiques, hydrologiques et pédologiques afin de mettre en évidence les potentialités agricoles et les contraintes qui influenceront la conception du système d'irrigation. Cette étape constitue la base pour les analyses ultérieures liées au choix des cultures et à l'évaluation des besoins en eau.

I.1 Situation géographique du site :

I.1.1 Présentation de la wilaya de Mila :

La wilaya de Mila est située dans le Nord-Est de l'Algérie, entre 36°26'59" de latitude Nord et 6°15'51" de la longitude Est. Elle s'étend sur une superficie de 9 375 km² et comprend 13 daïras et 32 communes.

Elle est délimitée par :

- Au nord : les wilayas de Jijel et Skikda
- À l'est : la wilaya de Constantine
- Au sud : les wilayas de Batna et Oum-El-Bouaghi
- À l'ouest : la wilaya de Sétif

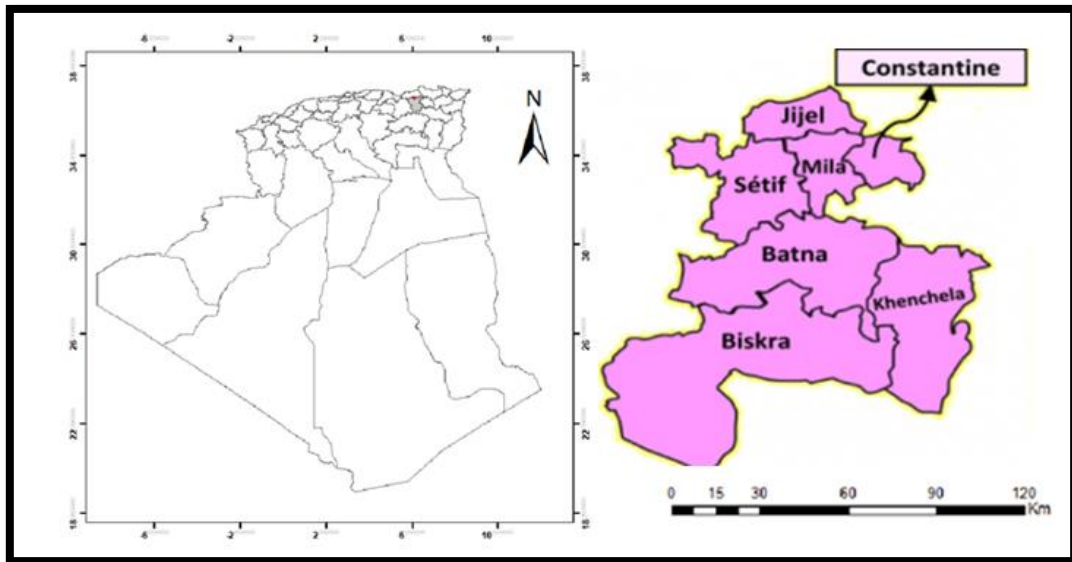


Figure I.1 : Carte administrative de la wilaya de Mila(ANRH, 2022)

I.1.2 Présentation de la zone d'étude :

La commune de Teleghma dont fait partie la zone d'étude localisée à environ 60 km au sud-ouest de Constantine, occupe la partie nord-ouest de la wilaya de Mila et couvre une superficie de 194 km².

Elle est délimitée par:

- Au nord : Oued Athmania

Chapitre I : Présentation de la zone de l'étude

- Au nord-est : Oued Seguin
- À l'est : Ouled Hamla (Oum El Bouaghi)
- Au sud et sud-est : Souk Naamane (Oum El Bouaghi)
- Au sud-ouest : El Mechira
- Au nord-ouest et à l'ouest : Chelghoum El Aid et El Mechira



Figure I.2 : Limites administratives de Teleghma (Google Maps, 2024)

I.1.3 Position du périmètre d'étude :

Le périmètre étudié est situé dans la partie sud de la commune de Teleghma. Il s'étend sur une superficie de 358.4 ha, dont 160 ha ont été retenus pour l'analyse détaillée dans le cadre de ce mémoire

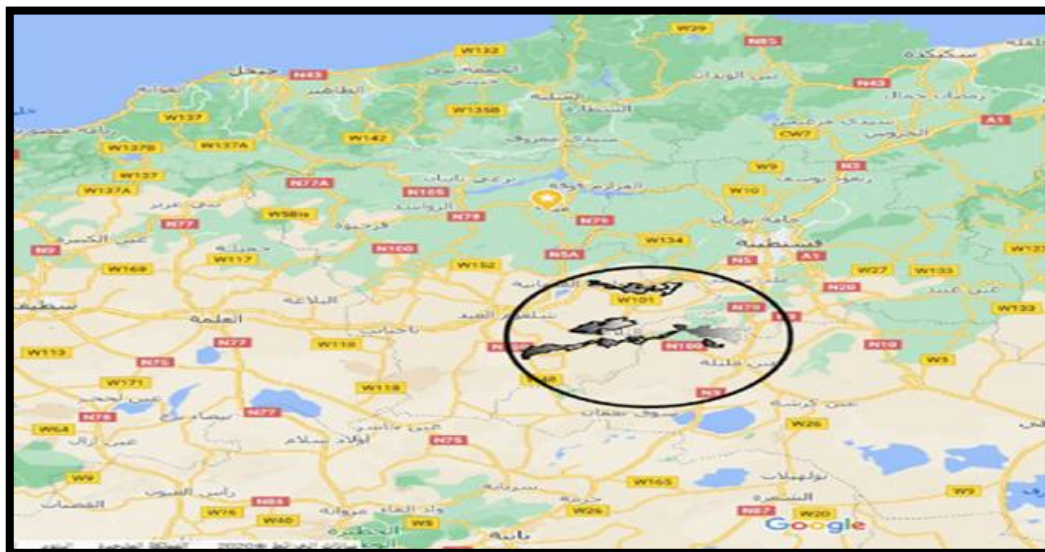


Figure I.3 : Position géographique de périmètre d'étude_Source (Google MPS, 2020 échelle 1/1000000)

I.2 Caractéristiques physiques et environnementales de la zone :

I.2.1 Réseau hydrographique :

La région de **Teleghma** présente un réseau hydrographique bien structuré, avec un écoulement orienté du **sud et sud-est vers le nord et nord-est**. Elle est drainée par plusieurs cours d'eau majeurs, parmi lesquels :

- **Oued Rhumel** (cours principal)
- **Oued El Athmania**
- **Oued Seguin**
- **Oued El Rhedir**
- **Oued Mekhalfa**

Ce réseau est complété par de nombreux ravins et *chaâbats*, formant un maillage hydrologique dense.

Le périmètre irrigué de Teleghma se situe au cœur du bassin versant de l'oued Rhumel, dans sa partie médiane.

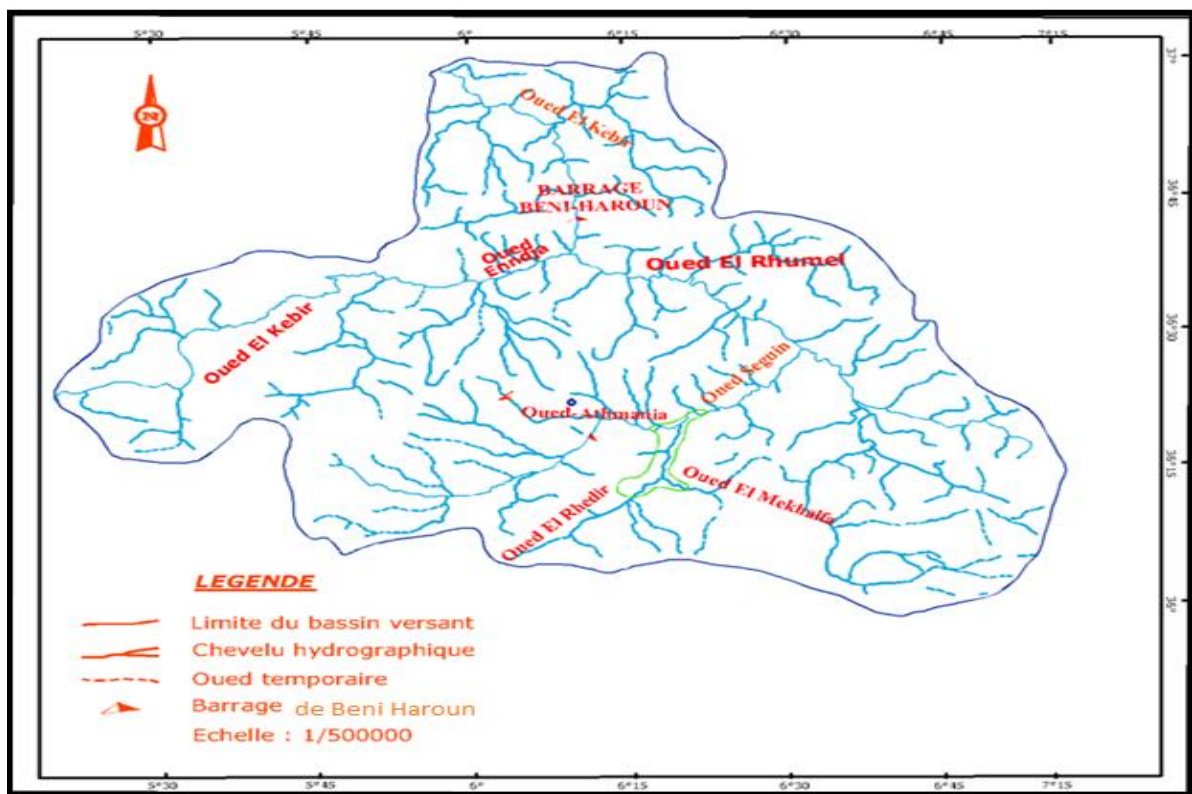


Figure I.4 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (ANRH, 2015)

I.2.2 Géologie :

Le périmètre d'irrigation de Teleghma appartient à la région des **Hautes Plaines Constantinoises**. Sur le plan géologique, il est constitué principalement de **formations quaternaires et tertiaires** :

► Formations quaternaires

Chapitre I : Présentation de la zone de l'étude

- **Alluvions récentes** : présentes dans les fonds de vallées. composées de limons, sables et argiles.
 - **Alluvions anciennes des terrasses** : constituées de limons, sables et graviers.
 - **Alluvions des plateaux** : sous forme de cônes d'épandage aux débouchés des thalwegs.
- **Formations tertiaires (Néogène : Miocène supérieur. Pliocène. Villafranchien)**
- Miocène supérieur : calcaires, marnes noires, grès, poudingues et marnes jaunes.
 - Pliocène-Villafranchien :
 - Calcaires lacustres et marnes rouges.
 - Conglomérats et argiles rouges.

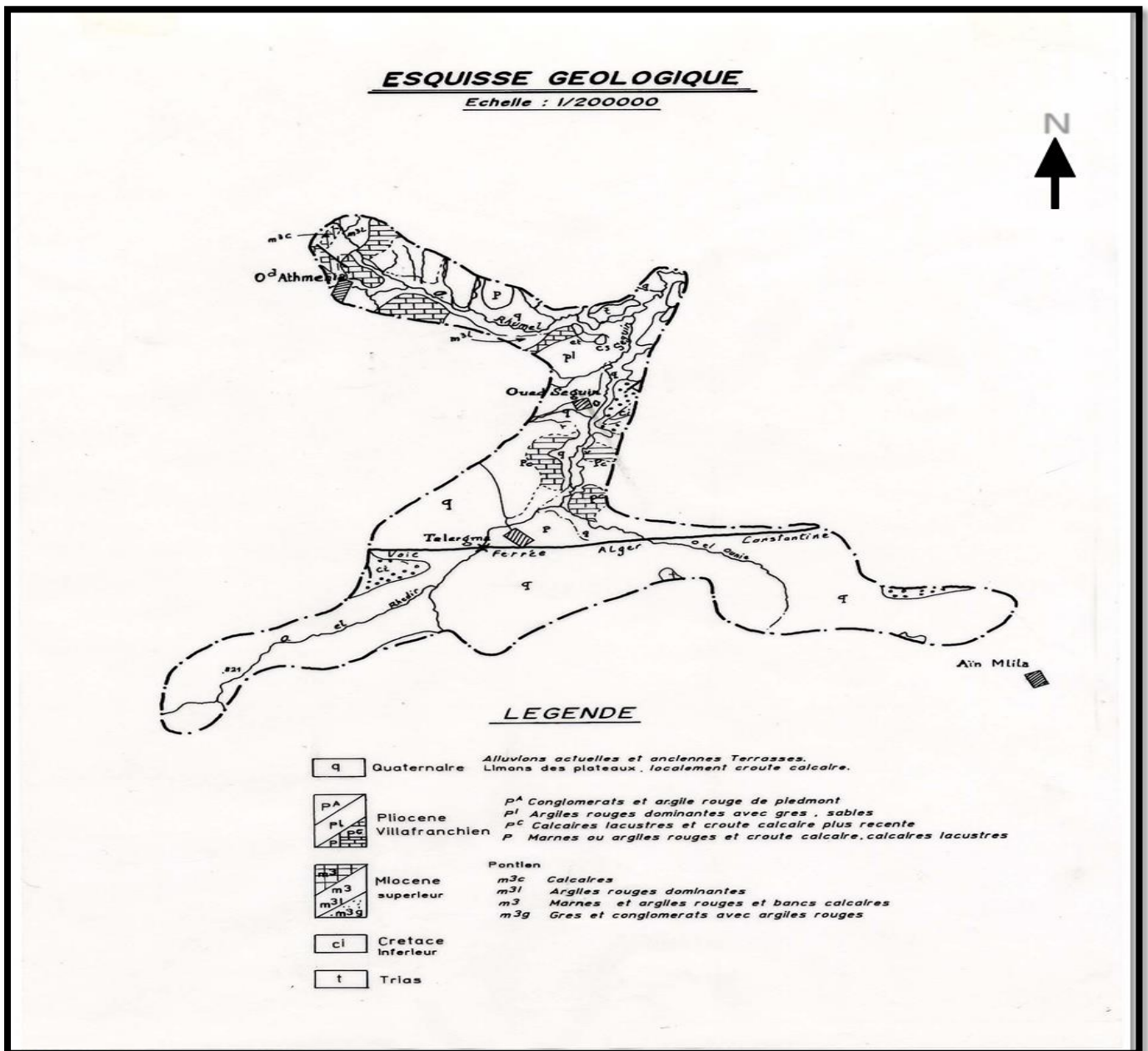


Figure I.5 : Carte géologique simplifiée de la zone (ANRH, 2015)

I.2.3 Étude climatologique :

La région présente un **climat méditerranéen typique**, caractérisé par :

- Étés secs et chauds
- Hivers doux et humides

Ces conditions influencent fortement l'agriculture et la gestion des ressources en eau. Dans ce chapitre, l'analyse climatologique s'appuie sur une série de **29 années de données (1991–2020)** pour les paramètres suivants :

- Température
- Humidité relative
- Vitesse et direction du vent
- Insolation
- Précipitations

A cause de manque des données climatiques on travailler sur plusieurs stations.

I.2.3.1 Précipitation :

La région de Teleghma est caractérisée par un climat continental semi-aride, marqué par de faibles précipitations et d'importantes variations thermiques. Ces éléments climatiques jouent un rôle déterminant dans le développement des activités agricoles et la répartition de la population dans cette zone.

Tableau I.1 .Précipitations moyennes sur la période (1991 - 2020)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
Précipitation (mm)	26	44	51	69	79	75	66	54	55	26	6	7	558

Source : Station météorologique de Mila 2020

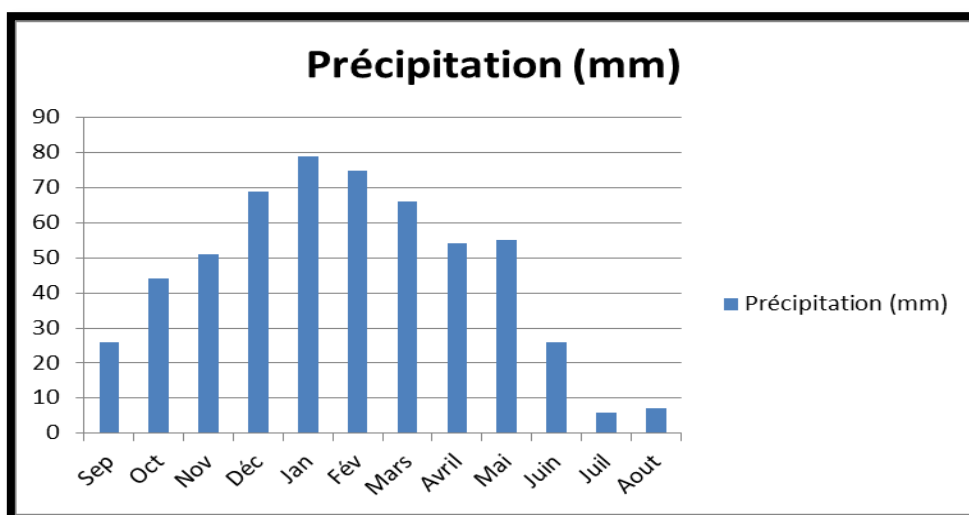


Figure I.6: Moyenne des précipitations mensuelles pour la période (1991 - 2020)

- À partir des données recueillies pour la période 1991 – 2020, on constate que :
- La quantité annuelle moyenne des précipitations est estimée à 558 mm.

Chapitre I : Présentation de la zone de l'étude

- Le maximum est observé en janvier (79 mm). tandis que le minimum est enregistré en juillet (6 mm).

Ces résultats montrent que :

- La région reçoit une quantité de pluie insuffisante pour assurer l'agriculture pluviale.
- Une partie importante des précipitations est perdue par ruissellement dans les oueds.
- Les précipitations présentent :
 - Un niveau annuel faible ;
 - Une répartition irrégulière, aussi bien mensuelle que saisonnière ;
 - Des périodes de sécheresse fréquentes et prolongées (juin à septembre).

I.2.3.2 Température :

Parmi les éléments climatiques ayant un impact majeur sur la plupart des activités, notamment l'agriculture, la température joue un rôle essentiel dans :

- La répartition des végétaux selon les différentes zones.
- L'estimation des besoins en irrigation des cultures au cours de leurs phases de croissance.

Afin d'évaluer son influence sur la région étudiée, nous avons analysé les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales sur la période 1991 – 2020.

Tableau I.2: Moyennes des températures pour la période 1991 – 2020

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmax	29.3	23.9	17.4	13.6	13.5	13.8	16.2	20.3	24.1	30.7	34.8	34.5
Tmoy	22.55	18.75	13.4	9.7	9.25	9.25	11.35	14.55	17.9	23.5	27.7	27.35
Tmin	15.8	13.6	9.4	5.8	5	4.7	6.5	8.8	11.7	16.3	20.6	20.2

Source : Données de la station météorologique de Mila 2020

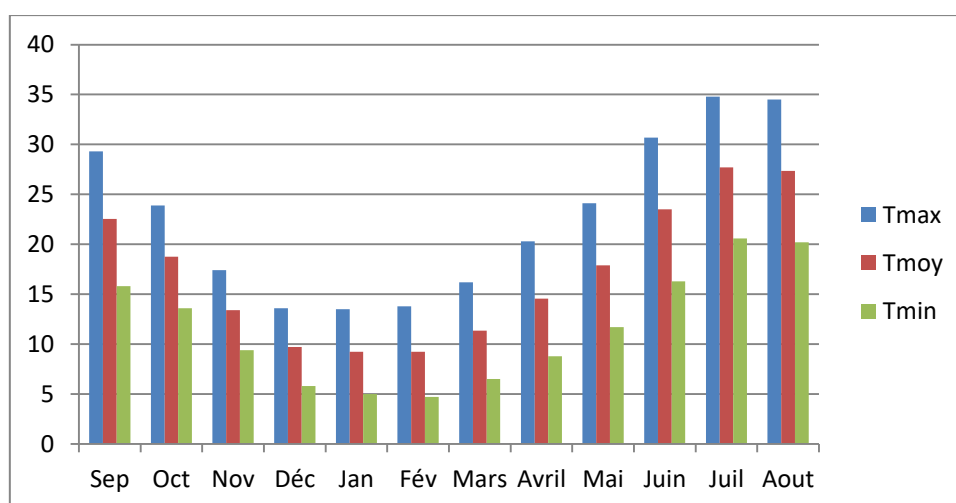


Figure I.7: Moyenne des températures pour la période (1991-2020)

- D'après l'analyse du tableau n°02 la température maximale moyenne atteint 34.8°C au mois de juillet. une période favorable à de nombreuses cultures de la région. En revanche, la température minimale descend à 4.7°C en février. ce qui représente un écart important pouvant affecter les plantations.

I.2.3.3 Humidité relative de l'air :

Elle représente le degré de saturation de l'air en vapeur d'eau. C'est un paramètre très important par rapport aux autres paramètres climatiques. il joue un rôle important dans l'évaporation du sol et la couverture végétale. Les données d'humidité relative mensuelles moyennes des différentes stations de la région sont présentées dans tableau suivant :

Tableau I.3: Humidité moyenne mensuelle à la station de Constantine (Période : 1991 – 2020)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Humidité moyenne
Humidité relative de l'air (%)	63	68	75	79	79	77	74	72	67	56	49	51	68

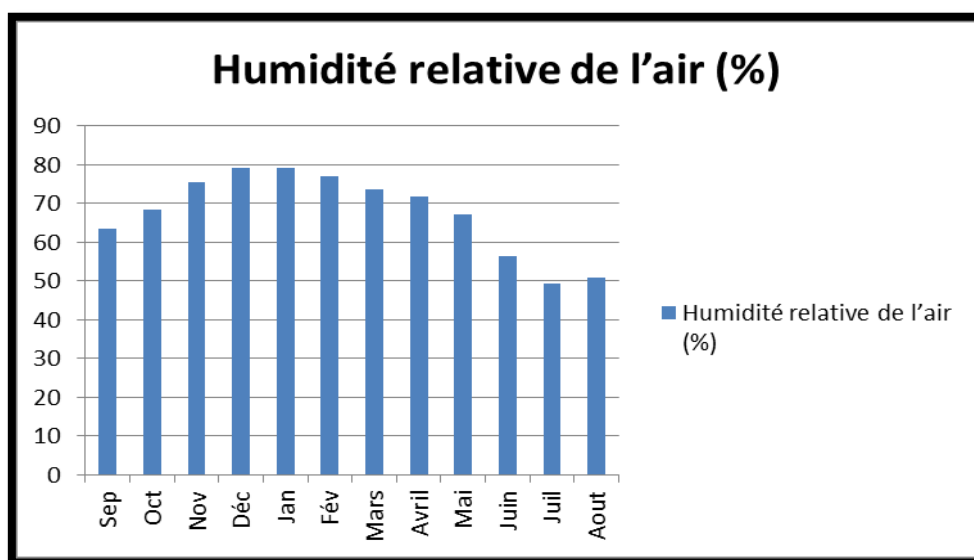


Figure I.8: Répartition de l'humidite relative de l'air mensuelle (Période : 1991 – 2020)

- D'après les données du tableau, juillet se distingue comme le mois le plus sec avec un taux d'humidité relative moyen de (49%). À l'inverse, les mois de janvier et décembre enregistrent les valeurs les plus élevées (79%). se positionnant ainsi comme les périodes les plus humides. L'humidité relative moyenne annuelle s'établit quant à elle à (68%).

I.2.3.4 Les vents :

Selon les données relevées à la station climatique de Constantine, les vents dominants soufflent principalement d'ouest en est. Le tableau ci-dessous présente les variations des moyennes mensuelles et annuelles observées à période de 2010 – 2020.

Chapitre I : Présentation de la zone de l'étude

Tableau I.4: Vitesse de vent à la station de El Melha_El Mechira (Période : 1991 – 2020)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse de vent (m/s)	2.42	2.39	2.33	2.28	2.06	1.94	1.97	1.94	1.94	2.06	2.31	2.42

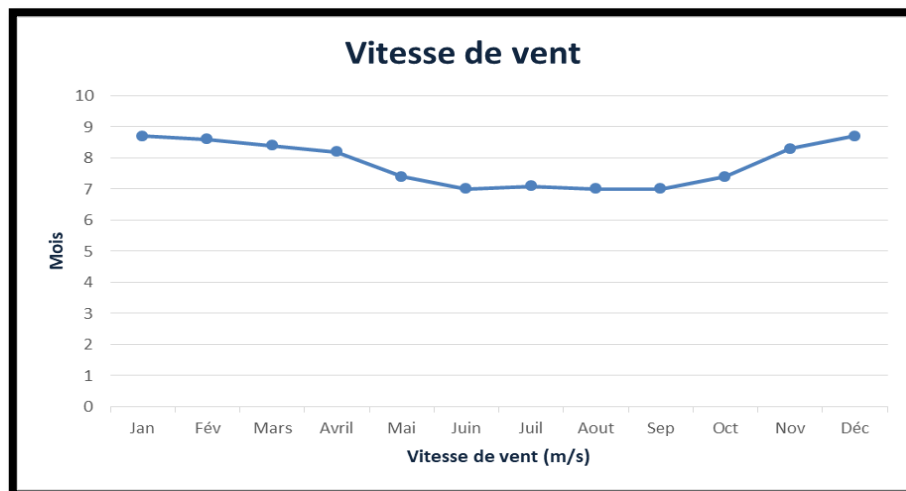


Figure I.9: Vitesse de vent de station de El Melha El Mechira

I.2.3.6 Ensoleillement :

Les valeurs les plus élevées d'ensoleillement sont enregistrées durant les mois de juin et juillet, atteignant respectivement 438 heures et 429 heures. À l'inverse, la durée d'ensoleillement chute à son minimum en décembre, avec seulement 291 heures. Cette baisse s'explique principalement par une couverture nuageuse plus dense durant la saison hivernale

Tableau I.6 : Distribution fréquentielle de la durée d'insolation total (en heure)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Ensoleillement (heures / mois)	300	327	360	396	423	438	429	405	372	336	306	291

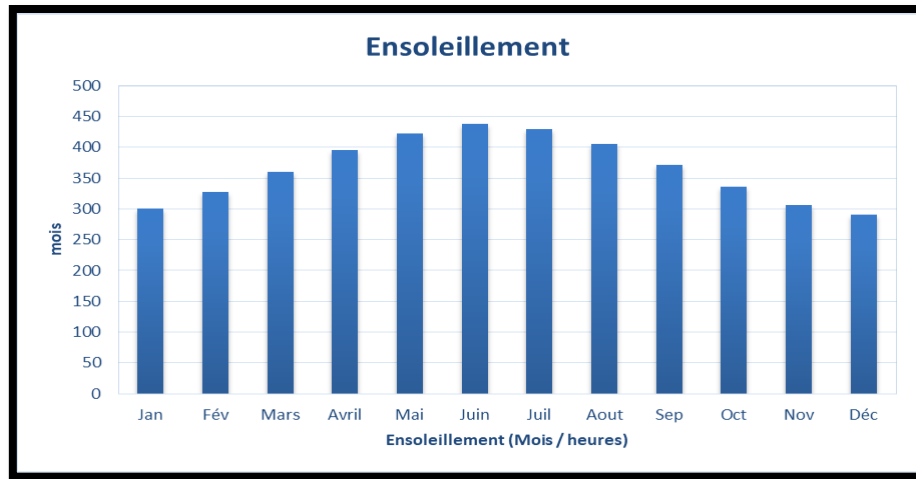


Figure I.11: Distribution fréquentielle de la durée d'insolation totale en heures

I.2.3.7 Evaporation :

Les valeurs de l'évaporation en surface libre ont été établies à partir des données relevées au niveau du barrage d'Oued Athmania. Ces données sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.7: Evaporation mensuelle et annuelle à la station du barrage d'Oued Athmania

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Evaporation (mm)	40.9	44.8	63.6	70.6	100.1	147.4	193.4	188.1	120.5	91.1	57.3	43.4	1161.2

- Le tableau ci-dessus montre que l'évaporation atteint des niveaux particulièrement élevés durant les mois de juillet et août, avec des valeurs respectives de 193.4 mm et 188.1 mm, nettement supérieures à celles des autres mois estivaux. En revanche, la plus faible valeur est enregistrée en janvier, avec un volume évaporé de seulement 40.9 mm.

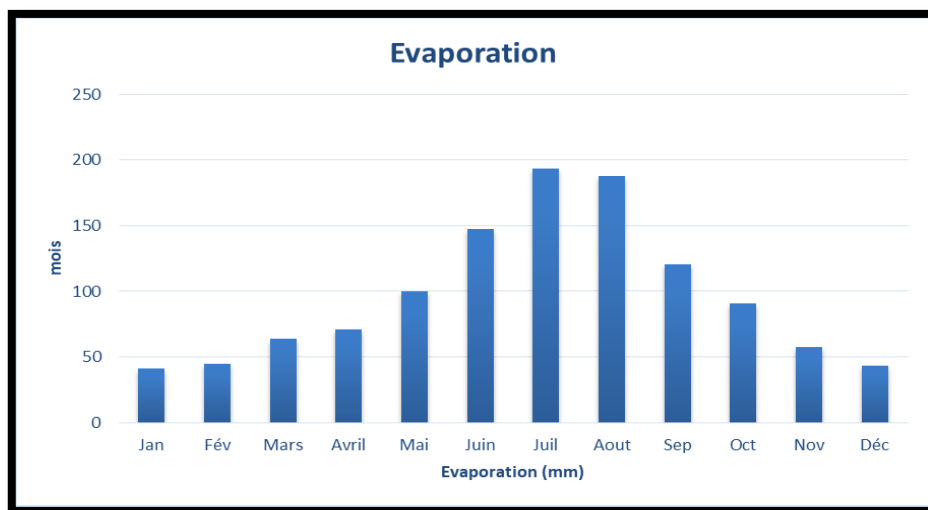


Figure I.12: Evaporation mensuelle et annuelle à la station du barrage d'Oued Athmania

I.3 Indices agro-météorologiques :

Les indices agro-météorologiques permettent d'évaluer l'influence des conditions climatiques sur les cultures et les rendements agricoles. Ils servent à mesurer les conditions de croissance des plantes ainsi qu'à identifier les risques liés au stress hydrique ou thermique.

I.3.1 Indice d'aridité de Martonne (1926) :

L'indice d'aridité de Martonne permet d'évaluer le degré d'aridité d'un site en tenant compte de sa pluviométrie et de son évapotranspiration potentielle. Il constitue ainsi un indicateur pertinent pour estimer le niveau de disponibilité en eau et, par conséquent, les contraintes liées à l'irrigation.

$$I_A = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots(I.1).$$

Avec :

- **P** : précipitation moyenne annuelle (mm) P = 558 mm
- **T** : température moyenne annuelle (°C) T = 17.10 °C
- **IA** : indice climatique.

Les limites des climats d'après l'indice climatique de Martonne sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.8 Classification du climat selon de Martonne.

Valeur de IA	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

Dans notre cas, nous prendrons en compte les éléments suivants :

- P = 558 mm
- T = 17.10 °C

D'où :
$$I_A = \frac{558}{17.10 + 10} = \mathbf{32.48}$$

- D'après la classification de l'indice d'aridité de Martonne. On constate que l'indice est supérieure à 30 donc le type de climat de notre zone est humide d'où l'irrigation est inutile.

I.3.2 Quotient Ombrothermique d'Emberger (1955) :

Le quotient ombrothermique d'Emberger est un indicateur permettant de caractériser le régime climatique d'une région, en établissant un rapport entre les précipitations et les températures.

$$Q = \frac{1000 * P}{(M + m) * (M - m) / 2} = \frac{2 * 1000 * P}{(M^2 - m^2)} \dots\dots\dots(I.2)$$

Avec :

- Q : coefficient Ombrothermique d'Emberger.
- P : précipitation moyenne annuelle (en mm).
- M : température maximale moyenne (en Kelvin).
- m : moyenne des températures minimales (en Kelvin).

Dans notre cas, nous prendrons en compte les éléments suivants :

- P = 558 mm
- M = 34.8 °C + 273.15 = 307.95 Kelvin.
- m = 4.7 °C + 273.15 = 277.65 Kelvin.

D'où :

$$Q = \frac{2 * 1000 * 558}{(307.95^2 - 277.65^2)} = 62.89$$

En utilisant le diagramme bioclimatique d'EMBERGER on peut déterminer l'étage bioclimatique de notre région.

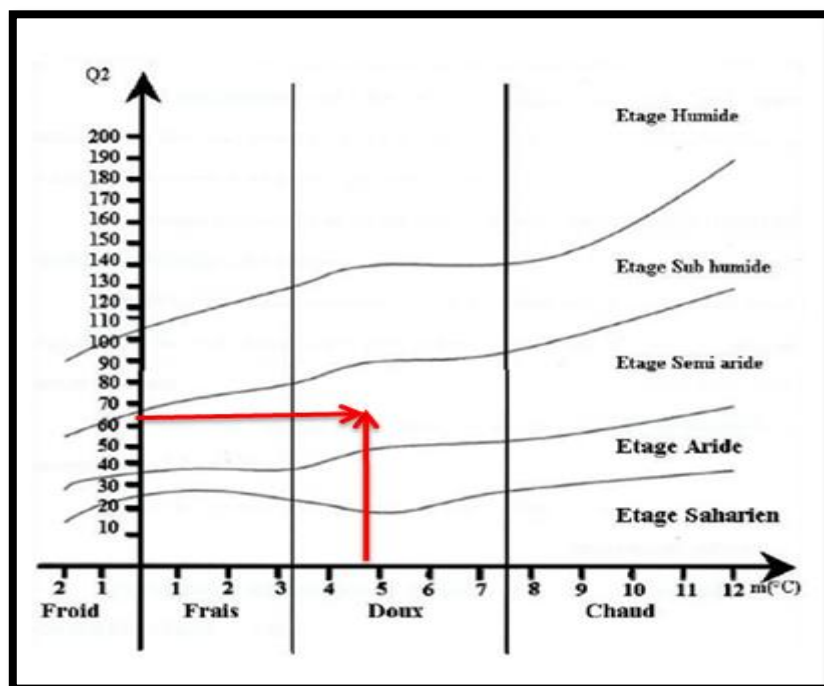


Figure 1.13 Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

- D'après le diagramme on peut dire que notre zone d'étude est classée dans ;
 - Etage bioclimatique semi aride et sous étage est hiver chaud.

I.3.3 Climagramme de BAGNOULS et GAUSSEN :

Selon Bagnouls et Gaussen (1953), une période de sécheresse se manifeste par un écart marqué entre les courbes de température et de précipitations. La combinaison de ces deux paramètres climatiques permet de tracer des courbes pluviothermiques, à partir desquelles il est possible d'identifier les saisons sèches et humides sur les périodes étudiées.

Les mois de l'année sont représentés sur l'axe horizontal, tandis que les précipitations (P) et les températures (T) figurent sur l'axe vertical. L'échelle utilisée pour les précipitations est le double de celle des températures, selon la relation conventionnelle $P = 2T$.

Tableau I.9 : température et précipitation mensuelle

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Précipitation (mm)	26	44	51	69	79	75	66	54	55	26	6	7
Tmoy (°C)	22.55	18.75	13.4	9.7	9.25	9.25	11.35	14.55	17.9	23.5	27.7	27.35

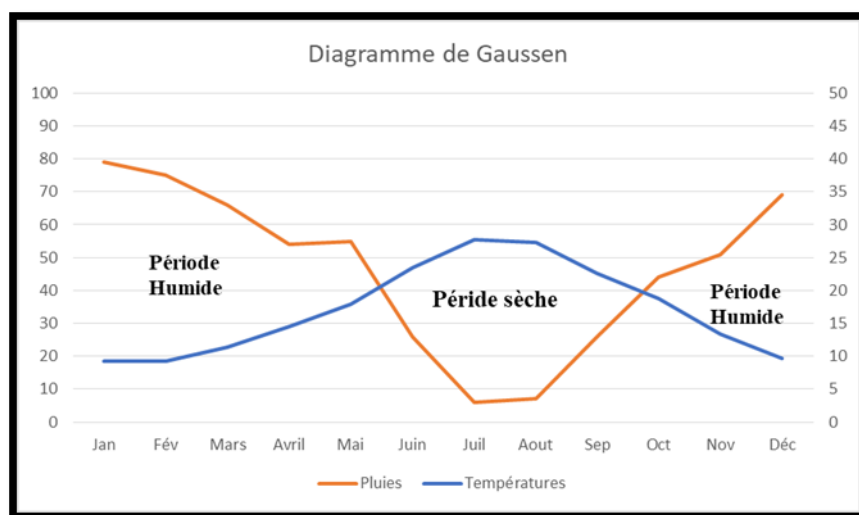


Figure 1.14 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen

- D'après le diagramme de Gaussen, la période humide s'étend de mai à octobre, soulignant ainsi l'importance du recours à l'irrigation durant ces mois.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pu montrer que :

- Le climat de la zone étudiée est de type sub-humide à hiver chaud, mais avec des tendances semi-arides en période estivale.
- La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 558 mm, concentrée essentiellement entre novembre et avril, ce qui limite fortement l'agriculture pluviale.
- Une période sèche prolongée s'étend de mi-mai à octobre, nécessitant la mise en place d'un système d'irrigation pour assurer la production agricole.

- La température moyenne annuelle est de 17.1 °C. avec des écarts saisonniers importants (maximal estivaux atteignant 34.8 °C et minima hivernaux proches de 4.7 °C).
- L'évaporation est très élevée en été. renforçant le déficit hydrique et l'importance d'une planification efficace de l'irrigation.
- Les indices agro-climatiques (Martonne et Emberger) confirment un étage bioclimatique sub-humide. soulignant la nécessité d'un aménagement hydraulique adapté.

Chapitre II

Ressources en eau et ressources en sol

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'analyse des ressources en sol et en eau du périmètre étudié. Cette étape est cruciale pour évaluer la compatibilité entre les caractéristiques pédologiques, la qualité des eaux disponibles et les besoins hydriques des cultures envisagées.

L'objectif est d'identifier les contraintes majeures (salinité, calcaire, perméabilité) et de proposer des solutions adaptées afin d'assurer une gestion durable et efficace des ressources.

II.1 Ressources en sol :

II.1.1 Etude pédologique :

L'étude pédologique constitue une base essentielle pour comprendre la nature, la répartition et les contraintes des sols. Une connaissance approfondie de ces caractéristiques permet d'orienter judicieusement le choix des cultures les mieux adaptées au type de sol concerné.

Cette démarche favorise une utilisation rationnelle et efficiente des ressources disponibles, tout en assurant la réussite du projet d'irrigation par l'amélioration des rendements agricoles et la durabilité des systèmes de production.

L'étude pédologique vise à déterminer plusieurs paramètres essentiels :

- La profondeur du sol, qui conditionne l'épaisseur des horizons accessibles aux racines et la capacité de rétention en eau ;
- La texture (granulométrie) et la présence de cailloux, influençant la rétention d'eau et de nutriments ;
- La structure et la porosité, déterminant la perméabilité et l'infiltration de l'eau d'irrigation ;
- Les propriétés chimiques (pH, SAR, CE), qui impactent la fertilité et la compatibilité des sols avec certaines cultures.

II.1.2 Classification des sols de la région :

L'objectif de cette classification est d'évaluer la capacité des sols à supporter les systèmes d'irrigation et les cultures envisagées. Les sols de la plaine de Teleghma sont variés, leur répartition dépendant principalement de la géologie, du relief et des conditions hydriques.

On distingue principalement quatre grandes catégories :

- **Les sols minéraux bruts** : Peu profonds et non adaptés à l'irrigation, ces sols sont localisés dans la partie nord de Teleghma.
- **Les sols peu évolués** : Présentant une teneur moyenne en argile, une forte concentration en calcaire et une faible teneur en matière organique, ils se retrouvent également au nord de Téleghma.
- **Les sols calcaires magnésiens** : Très courants dans la région, ces sols doivent leur abondance à la richesse du sous-sol en formations calcaires (roches calcaires, croûtes calcaires, marnes). Ils sont répartis entre le sud et le nord-ouest de Teleghma.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

- **Les vertisols (sols fertiles bien développés)** : Caractérisés par une forte teneur en argiles gonflantes, ces sols se forment à partir de matériaux riches en argile. On les rencontre principalement à l'ouest et au sud-ouest de Teleghma.

La zone d'étude se situe au sud du périmètre et englobe principalement les communes de Ouled Hamla et El Mechira. Elle se caractérise par des pentes faibles, offrant ainsi une bonne homogénéité et des unités cartographiques de grande taille.

Dans cette zone, les sols peu évolués dominent. Ils se rencontrent surtout à proximité des cours d'eau et des zones inondables, leur répartition étant étroitement liée à la topographie et à la proximité du réseau hydrographique.

Tableau II.1 : différents types de sols de la région

Classe	Sous-Classe	Groupe	Sous-Groupe
Sols peu évolués	D'origine non climatique	D'apport alluvial	Vertique
		D'apport colluvial	Vertique
		D'apport alluvial	Hydromorphe
		D'apport alluvial	Modal
		D'apport colluvial	Modal
Sols Vertisols	A drainage externe nul ou réduit	A structure anguleuse sur au moins les 15 cm supérieurs	A caractères vertiques peu accentués
	A drainage externe possible	A structure anguleuse sur au moins les 15 cm supérieurs	A caractères vertiques peu accentués
Sols calcimagnésiques	Sols carbonatés	Rendzines	Modal
		Sols bruns alcaires	Modal
			Vertique
			Sur encroûtement
			Hydromorphe
Sols minéraux bruts	D'origine non climatique	D'érosion	Lithosols/ Regosols

I'ONID, 2020

II.1.3 Caractéristiques des sols de la région:

- **La Texture Et Structure** : D'après les résultats de l'étude réalisée, les sols de la zone du périmètre d'irrigation Teleghma sont caractérisés par une texture argileuse fine.
- **Calcaire actif** : Les sols de la zone étudiée possèdent un taux de calcaire actif élevé, qui est à la base de la suppression de plusieurs espèces d'arbres fruitiers qui supportent mal un tel taux de calcaire actif.
- **Matière organique et azote** : le taux en matière organique de la plaine reste faible.
- **La perméabilité ou vitesse d'infiltration** : Une des particularités des propriétés hydrodynamiques de nos sols constituant la zone d'étude est leur perméabilité ; en règle générale, le coefficient d'infiltration K est inférieur à 1 cm/heure (soit

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

inférieur à 0.24 m/jour ou 0.17 mm/min ou 10.2 mm/h) donc notre sol présente une perméabilité faible due à sa texture fine.

➤ *Le profil pédologique et aptitudes :*

Les profils pédologiques peuvent être caractérisés par différents paramètres, tel que la classe texturale qui indique la proportion relative des différentes tailles de particules dans le sol. La zone d'étude située au sud du périmètre, couvrant principalement les communes de Ouled Hamla et El Mechira, se caractérise par des pentes faibles et une homogénéité favorable aux cultures. Les sols peu évolués dominent, particulièrement proches des cours d'eau et zones inondables.

Voici le profil ci-dessous :

Profil N° 01 :

Caractéristique morphologique :

- **Classe :** vertisols.
- **Sous-classe :** a drainage externe nul ou réduit.
- **Topo :** Plane, pente 1% nord-ouest vers l'est.
- **Aptitude cultural :** bonne.
- **Géomorphologie :** terrasse alluviale.

Description des horizons :

Les horizons sont déterminés en fonction des différentes profondeurs :

➤ **0-32 cm :** Cet horizon est caractérisé par :

Sec, brun clair, structure polyédrique grossière à très grossière assez bien développée fentes de retrait de 0.5cm de large horizon dur et compact quelques racines et radicelles vive effervescence Hcl généralisée texture argilo limoneuse

➤ **32-63 cm :** Cet horizon est caractérisé par :

Sec, brun foncé, structure polyédrique moyenne à grossière mal développée, un peu moins dur que le précédent horizon, peu poreuse, quelques radicelles, texture limono-argileuse, vive effervescences Hcl généralisée limoneuse

➤ **63-91 cm :** Cet horizon est caractérisé par :

Sec, brun, structure polyédrique grasse à très grasse polyédrique moyenne assez bien développée, vive effervescences Hcl généralisée, texture argilo-limoneuses

Tableau II.2 : Analyse physico-chimiques des profils étudié.

Horizons		Horizon1	Horizon2	Horizon3
Profondeur de prélèvement des échantillons en centimètres (cm)		0 – 32	32 - 63	63 - 91
Granulométrie	Argile [%]	14	40	46
	Limon [%]	56	30	23
	Sable [%]	35	33	30

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Matière organique	Matière organique [%]	1.20	1.07	1.00
	Azote N [‰]	0.68	0.59	0.54
	Rapport C/N	10	11	11
Réserve minérales	CaCO ₃ Total %	20.14	23.56	19.00
	CaCO ₃ Actif [%]	9.90	10.70	12.00
	P ₂ O ₅ Assimilé [mg.kg ⁻¹]	101	95	69
	K ₂ O échangeable [mg.kg ⁻¹]	0.76	0.57	0.43
Complexe absorbant	Ca ²⁺ [méq/100g]	23	28	28
	Mg ²⁺ [méq/100g]	13	18	20
	Na ⁺ [méq/100g]	1.20	1.00	1.20
Solution du sol	pH Eau	8.20	8.20	8.20
	C.E. [mmhos/cm]	0.50	0.60	0.50

Source : (ANRH, 2020)

■ Interprétation :

- La matière organique et l'azote sont plus concentrés en surface et diminuent avec la profondeur. ce qui est typique des sols naturels.
- Le rapport C/N (10-11) est optimal. suggérant une bonne minéralisation de la matière organique.
- La teneur en CaCO₃ total est élevée (19-24%). indiquant un sol calcaire.
- Le CaCO₃ actif (9-12%) représente une fraction importante du calcaire total.
- Le phosphore assimilable (P₂O₅) et le potassium échangeable (K₂O) diminuent avec la profondeur. reflétant une disponibilité plus forte en surface.
- Les cations échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺) augmentent légèrement avec la profondeur.
- La teneur en Na⁺ est faible. ce qui limite les risques de salinité.
- Le pH est alcalin (8.2) dans tous les horizons. cohérent avec la présence de calcaire.
- La conductivité électrique (C.E.) est très faible (0.5-0.6 mmhos/cm). confirmant l'absence de salinité.

Sa texture est limoneuse. donc le sol est de Type : **limons argileux**

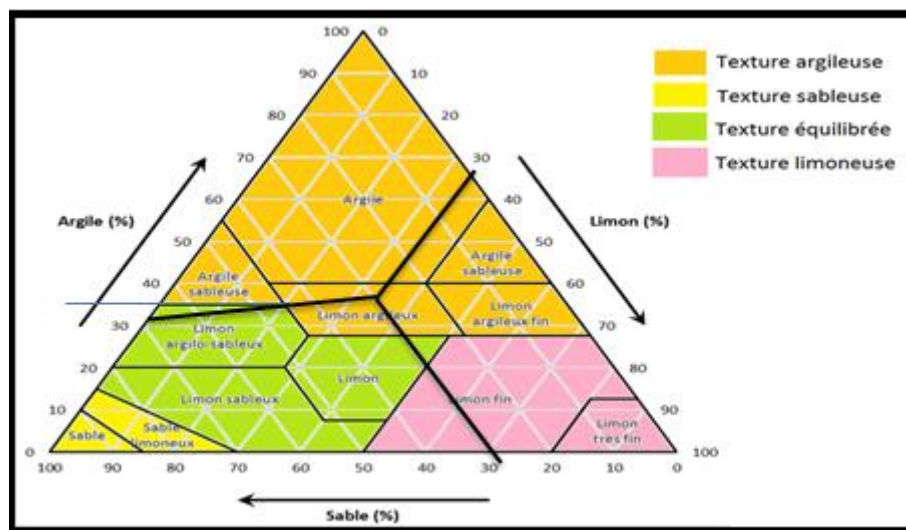


Figure II.1 : Triangle textures des sols étudiés.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

➤ **Perméabilité :**

La perméabilité d'un sol correspond à sa capacité à laisser circuler l'eau plus ou moins facilement. Elle se mesure à travers la vitesse d'infiltration, c'est-à-dire la quantité d'eau que le sol peut absorber en un temps donné, généralement exprimée en millimètres par heure (mm/h).

Tableau II.3 : Différentes classes de perméabilité.

Nature de sol	K (mm/h)
Très argileux	>1.2
Argileux	1.2 à 1.5
Limoneux	5 à 20
Limono-Sableux	60 à 120
Sableux	120 à 250
Sables grossiers	250 à 1000

▪ **Interprétation :**

Dans notre cas on a un sol qui a une classe texturale de sol Limoneux. Donc la perméabilité se trouve dans la plage 5 à 20.

II.1.4 Caractéristiques hydrodynamiques des sols :

Les propriétés physiques du sol peuvent être mesurées à travers différents paramètres, dont les valeurs dépendent surtout de sa texture et de sa structure (**voir Annexe 2**). Pour déterminer la dose d'irrigation à appliquer, il est essentiel de prendre en compte certains paramètres hydrodynamiques, présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.4 : Caractéristiques hydrodynamiques des sols.

Paramètres	unité	Valeur moyenne
Texture	-----	Limon argileux
Point de flétrissement (Hpf)	%	15
Densité apparente (Da)	g/cm ³	1.4
Perméabilité Porchet (K)	mm/h	20
la capacité au champ Hcc	%	27

II.1.5 Les aptitudes culturales des sols :

Les aptitudes culturales des sols diffèrent d'une région à l'autre et peuvent être influencées par les pratiques agricoles, telles que :

- l'usage des fertilisants.
- l'application de pesticides.
- l'emploi de cultures de couverture.
- ou encore les méthodes de gestion de l'eau.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Une gestion durable des sols doit prendre en compte leur composition chimique, leur structure physique, leur pH et leur teneur en matière organique, afin de préserver leur fertilité, améliorer la production agricole et protéger l'environnement.

Tableau II.5 : Les espèces culturales.

N°	Espèces Arboriculture	N°	Espèces Cultures maraichères	N°	Espèces Céréales et fourrages	N°	Espèces Cultures industrielles
1	Agrumes	1	Artichaut	1	Luzerne	1	Betterave sucrière
2	Pêcher/Franc	2	Tomate	2	Bersim	2	Cotton
3	Pêcher/Amandier	3	Oignon	3	Sorgho	3	Tournesol
4	Pêcher/Prunier	4	Pomme de terre	4	Mais	4	Tabac
5	Abricotier/Franc	5	Carotte	5	Fétuque	5	Lin
6	Abricotier/Prunier	6	Navet	6	Vesce avoine		
7	Olivier	7	Chou-fleur	7	Ray gras		
8	Pommier/Franc	8	Chou pommé	8	Blé dur		
9	Pommier/Doucin	9	Epinard	9	Blé tendre		
10	Pommier/Pa radja	10	Laitue	10	Orge		
11	Poirier/franc	11	Ail	11	Luzerne		
12	Poirier/cognassier	12	Melon				
13	Figuier	13	Courgette				

Degré d'aptitude culturale :

- **Arboriculture** : le sol présente une bonne aptitude pour le pommier, le poirier, l'amandier, le prunier, les agrumes, l'abricotier, l'olivier, le grenadier, la vigne, le pistachier et le cognassier.
- **Cultures maraichères** : bonne aptitude pour la tomate, la pomme de terre, la carotte, le navet, le chou-fleur, le poivron, l'oignon et l'ail.
- **Cultures industrielles** : bonne aptitude pour la tomate industrielle, la betterave sucrière et le tournesol.
- **Cultures céréalières et fourragères** : bonne aptitude pour le blé, l'orge, la luzerne, le bersim et le sorgho.

■ Interprétation :

Le sol de notre périmètre présente une texture limoneuse équilibrée, offrant une bonne perméabilité et favorisant ainsi le développement des cultures. Ce sol se distingue par une aptitude élevée à accueillir différents types de cultures : arboricoles, industrielles, céréalières et maraichères. Par ailleurs, il dispose d'une bonne aptitude à l'irrigation, ce qui constitue un atout majeur pour la croissance des plantes.

En conclusion, aucune contrainte significative ne limite la valorisation agricole de notre périmètre, qui réunit des conditions favorables à une exploitation optimale.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

II.2 Ressources en eau :

L'eau utilisée dans un projet d'irrigation peut provenir de différentes sources, mais sa gestion doit être rigoureuse afin d'assurer une utilisation efficace et durable. Les besoins hydriques dépendent de plusieurs facteurs, tels que :

- Le type de culture.
- Les conditions climatiques.
- Le stade phénologique des plantes.

Une planification et une gestion optimales de l'irrigation permettent de :

- Réduire les pertes en eau.
- Améliorer les rendements agricoles.
- Préserver les ressources pour les générations futures.

II.2.1 Origine des eaux destinées à l'irrigation :

Les eaux de surface du bassin versant de l'oued El Kebir constituent la ressource principale alimentant le périmètre irrigué de Teleghma. Grâce au projet de transfert de Beni Haroun, ces eaux sont régulées par deux ouvrages stratégiques :

- Barrage de Bou Siaba : destiné au stockage et à la régulation des flux.
- Barrage de Beni Haroun : conçu pour sécuriser l'approvisionnement en eau et atténuer les crues occasionnelles.

II.2.2 Répartition des usages de l'eau transférée :

L'eau issue du barrage de Beni Haroun contribue à :

- L'alimentation en eau potable et industrielle des villes de Mila et Constantine.
- L'irrigation d'environ 30 000 ha dans les plaines de Teleghma, Chemoura et Tafouna.

➤ Répartition des besoins :

- Alimentation en eau potable et industrielle : 50 % (déficit admissible : 5 % en temps. 2 % en volume).
- Irrigation agricole : 50 % (déficit admissible : 10 % en temps. 5 % en volume).

II.2.3 Alimentation du périmètre étudié :

Le périmètre sud de Teleghma sera alimenté par la retenue intermédiaire d'Oued El Athmania, qui fait partie intégrante du système de transfert d'eau depuis Beni Haroun.

- Volume transféré annuellement : 504 millions m³.
- Volume alloué à l'irrigation : 69.5 millions m³/an.

II.2.4 Ressources en eau : Barrages et retenues :

L'alimentation en eau du périmètre irrigué de Teleghma repose principalement sur les eaux de surface issues du bassin versant de l'Oued El Kebir. Ces ressources sont mobilisées grâce à deux ouvrages hydrauliques majeurs : le barrage de Beni Haroun (BBH) et la retenue intermédiaire d'El Athmania.

Le premier assure la régulation et le stockage des volumes d'eau destinés à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable, tandis que la seconde joue un rôle de redistribution vers les périmètres irrigués, dont celui de Teleghma.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

II.2.4.1 Barrage de Beni Haroun (BBH) :

Le barrage de Beni Haroun est situé dans la wilaya de Mila, sur l'Oued El Kebir, à la confluence des oueds Rhumel et Ennedja. Il constitue la plus grande infrastructure hydraulique d'Algérie, avec un rôle stratégique dans l'alimentation en eau potable, industrielle et agricole de plusieurs wilayas.

Ses caractéristiques hydrotechniques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Beni Haroun

Caractéristiques	Description
Localisation	Wilaya de Mila, sur l'Oued El Kebir
Mise en service	2001
Type	Barrage-poids en béton compacté au rouleau (BCR)
Hauteur	118 m (fondations) / 107 m (lit)
Longueur en crête	710 m
Largeur en crête	8 m
Altitude crête	216.3 m
Capacité totale	963 hm ³
Volume mort	240 hm ³
Volume utile	723 hm ³
Apport annuel moyen	435 Mm ³
Déversoir	Seuil libre, longueur 124 m, débit max 13 700 m ³ /s
Vidange de fond	2 conduites, débit total 700 m ³ /s
Surface du bassin versant	7 725 km ²

II.2.4.2 Retenue intermédiaire d'El Athmania :

La retenue d'El Athmania est implantée en aval, sur l'Oued El Kaim (affluent de l'Oued El Athmania). Elle permet de stocker temporairement l'eau transférée depuis le barrage de Beni Haroun avant sa distribution vers les périmètres irrigués.

Ses caractéristiques sont présentées ci-après :

Tableau II.7 : Caractéristiques hydrotechniques de la retenue intermédiaire d'El Athmania

Caractéristiques	Valeur / Description
Localisation	Wilaya de Mila, sur l'Oued El Kaim
Année de construction	2002

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Caractéristiques	Valeur / Description
Mise en eau	2007
Type	Barrage en remblai. seuil libre
Hauteur	44 m
Longueur en crête	630 m
Côte de retenue normale	841 m (NGMA)
Capacité totale initiale	108.47 Mm ³
Capacité actuelle	33.25 Mm ³ (après envasement)
Apport moyen annuel	2.40 Mm ³ /an
Déversoir	Seuil libre. débit max 2 345 m ³ /s
Surface bassin versant	16.5 km ²

- Le système hydraulique constitué par le barrage de Beni Haroun et la retenue d'El Athmania représente un maillon essentiel pour la sécurisation de l'irrigation dans la plaine de Teleghma. Grâce à cette infrastructure, l'eau est non seulement stockée mais également régulée et redistribuée de manière à répondre aux besoins en irrigation tout en réduisant les risques liés aux crues et à la variabilité climatique.

Dans la section suivante, nous aborderons les besoins en eau pour l'irrigation ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des eaux destinées à ce périmètre, afin d'évaluer leur adéquation avec les cultures prévues et de prévenir d'éventuelles contraintes liées à la salinité ou à d'autres paramètres de qualité.

II.2.5 Caractéristiques chimiques de l'eau du Barrage :

L'analyse physico-chimique des eaux utilisées pour l'irrigation est essentielle pour évaluer leur aptitude et anticiper les risques liés à la salinité et à l'alcalinité.

Les résultats obtenus (moyenne annuelle) sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Principaux paramètres chimiques de l'eau du périmètre de Teleghma

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Ca ²⁺ (mg/l)	140	144	149	149	154	154	152	136	157	146	163	133	148
Mg ²⁺ (mg/l)	42	51	35	40	47	42	61	50	49	66	46	49	48
Na ⁺ (mg/l)	142	134	130	165	173	174	199	168	192	147	154	124	158
K ⁺ (mg/l)	18	18	20	34	18	21	26	36	24	22	24	21	22
Cl ⁻ (mg/l)	206	193	136	256	230	280	320	292	306	228	202	230	247
pH	8.2	8.0	8.1	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.2	8.3	8.0	8.02	8.2
CE (mmho/cm)	1.45	1.58	1.55	1.72	1.79	1.94	2.06	1.93	1.95	1.7	1.64	1.52	1.74

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

II.2.6 Estimation des paramètres de la qualité d'eau :

II.2.6.1 Salinité :

La salinité correspond à la teneur totale en sels solubles présents dans l'eau, principalement constitués de sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}) et de sodium (Na^+).

Un taux élevé de salinité peut entraîner une réduction des rendements agricoles, un ralentissement de la croissance des plantes, voire, dans certains cas, être fatal pour les cultures.

La salinité est estimée par la **conductivité électrique (CE)** : exprimée en mmho/cm (ou dS/m selon les normes internationales).

Le tableau ci-dessous présente la classification de l'eau d'irrigation en fonction de la valeur de la conductivité électrique.

Tableau II.9 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique CE (mmhos/cm)	Qualité des eaux	culture
C1	$\text{CE} \geq 0.25$	Risque faible de salinité	Pour toutes les cultures
C2	$0.25 \leq \text{CE} \leq 0.75$	Risque moyen de salinité	pour les plantes moyennement tolérantes.
C3	$0.25 \leq \text{CE} \leq 0.75$	Risque élevé de salinité	ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes.
C4	$\text{CE} > 2.25$	Risque très élevé de salinité	eau difficilement utilisable

→ **Notre eau** : $\text{CE} = 1.74 \text{ mmho/cm}$ → **Classe C3** → **risque élevé de salinité**, utilisable uniquement sur **sols bien drainés** et avec des **cultures tolérantes**.

II.2.6.2 Taux de sodium adsorbé (SAR) :

rapport d'adsorption du sodium, est un paramètre utilisé pour évaluer le degré de saturation du complexe d'échange cationique (CEC) en ions sodium (Na^+).

Le **SAR** indique le risque d'alcalinisation. Il se calcule par :

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

Unités des Mg^{2+} ; Ca^{2+} et Na^+ sont exprimés en **méq/L**

Avec :

Ions	mg/l (valeur moyenne)	M (g/mol)	Valence	méq/l = (mg/l) * (valence/M)
Na^+	158	23	1	$(158 \div 23) \times 1 = 6.87$
Ca^{2+}	148	40	2	$(148 \div 40) \times 2 = 7.40$
Mg^{2+}	48	24.3	2	$(48 \div 24.3) \times 2 = 3.95$

Application numérique :

$$\text{SAR} = \frac{6.87}{\sqrt{\frac{7.40 + 3.95}{2}}} = 2.89$$

SAR = 2.89

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Tableau II.10 : Classification des eaux en fonction du SAR

Classes	SAR	Danger d'alcalinisation
S1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
S4	$SAR > 26$	Risque très élevé

→ Notre eau : $SAR = 2.89 \rightarrow$ Classe S1 → risque faible d'alcalinisation.

II.2.6.3 Classification globale (Diagramme Riverside) :

Pour la classification de notre eau d'irrigation, nous nous appuyons sur la méthode américaine, fondée sur les paramètres physico-chimiques précédemment déterminés et sur le diagramme de Riverside, élaboré par l'US Salinity Laboratory Staff en 1954.

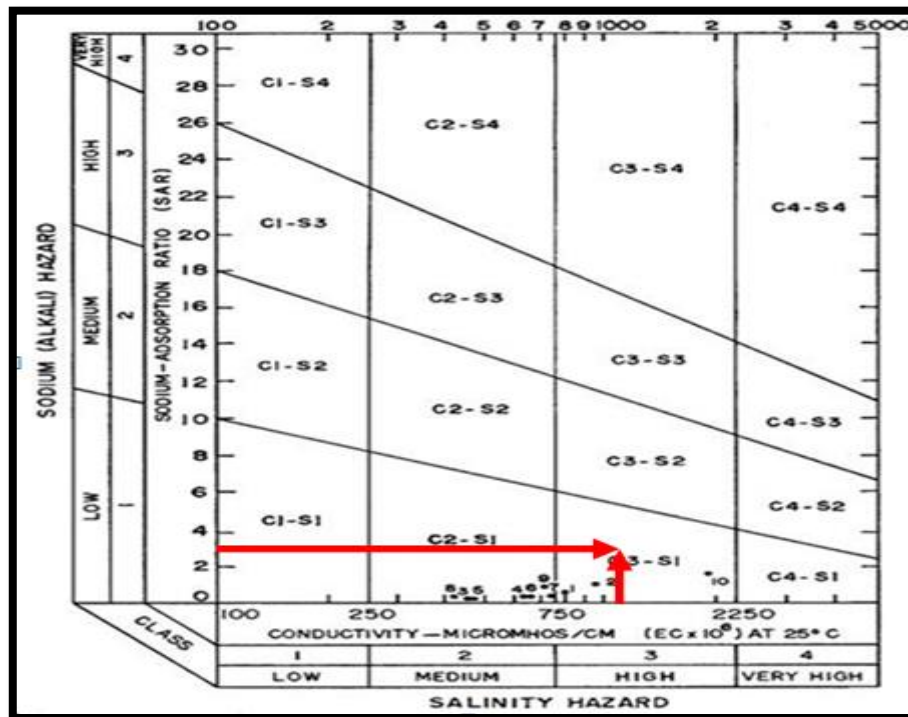


Figure II.2 : Diagramme de classification de l'eau d'irrigation.

En croisant la **salinité (C3)** et le **SAR (S1)** :

→ Classe C3-S1 → Eau avec **risque élevé de salinité** et **faible risque d'alcalinisation**. Elle est utilisable **sous certaines conditions** :

- Sols bien drainés
- Cultures tolérantes au sel

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

- Gestion rigoureuse du lessivage

II.3 Calcul de la pluie de projet :

La prise en compte des précipitations est une étape cruciale dans le cadre du projet. car elle permet d'estimer avec précision les besoins en eau des cultures envisagées dans le périmètre irrigué.

II.3.1 Choix de la station :

La station pluviométrique de Mechta Melha (El Mechira) a été retenue pour représenter notre périmètre en raison de sa proximité et de la fiabilité de ses données:

Tableau II.11 : Caractéristique de la station pluviométrique

Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude (m)	Période d'observation	Nombre d'années d'observer
		X (km)	Y (km)			
Mechta Melha (El Mechira)	10/04/2004	818.7	316.25	830	1991-2020	29

Source : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). 2021.

II.3.2 Série de précipitation moyenne mensuelle :

Le tableau ci-dessous présente la série des données pluviométriques enregistrées par la station choisie. couvrant la période allant de 1991-2020

Tableau II.12 : Moyenne mensuelle et annuelle des précipitations (1991-2020)

Années hydrologies	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aout	Précipitation annuelle
1990/1991	77.4	8.9	10	1.6	33.4	3	65.4	41.5	10.1	20.5	71.9	60.4	404.1
1991/1992	62.3	11.4	6.6	1.3	7.5	18.1	41.6	54.6	14.5	32	29.1	7.6	286.6
1992/1993	0	0	9.3	0	20.1	7	13.5	47.4	29.2	22.6	8.8	24.3	182.2
1993/1994	11.8	62	0	4	30.2	72.3	4.5	23	85	9	52.5	15.5	369.8
1994/1995	66	35	34	15	188.7	37	32	22	122	136	46	58	791.7
1995/1996	6	26.5	4	4.5	8	9	2.5	12	30.2	10	34	40.3	187
1996/1997	48.7	23	0.6	17.7	35.6	50.8	72.6	50.2	3.3	23.9	28	47.8	402.2
1997/1998	8	33.6	2.7	25.9	69	23.5	94	24	43.2	9.5	17	26	376.4
1998/1999	87	39	0	44	55	12	17.8	18	7.6	5	15	13.7	314.1
1999/2000	36	0	0	4	46.5	19.5	10.1	45.1	50.5	10.5	12	36.5	270.7
2000/2001	103	12	28	102.4	122	27	18	13.5	14	33.3	41	29	543.2
2001/2002	45.5	36.5	14	9	30.5	43	131	81	150.5	37	59	74.5	711.5

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

2002/2003	102.7	89.9	6.8	30.5	29.5	49.5	15	60.5	43.6	5	71.4	37.6	542
2003/2004	9	17.5	17.5	0	8	23.8	86	153	41.5	51.7	23.1	35	466.1
2004/2005	58.5	6.5	15.8	0	3.2	9	4	41.5	48.3	37.5	17.5	24	265.8
2005/2006	24.3	8.6	1	4	21.8	16.5	6.5	52.1	11	11	55	111.3	323.1
2006/2007	46.5	2.5	0	32.5	47.5	29.2	14.3	14	37	15.7	38.9	82.6	360.7
2007/2008	28.4	15.7	1	7.7	53.5	34.2	5.5	9.8	43	10	33.5	50.5	292.8
2008/2009	77.6	66	13	32.5	17.7	19.7	48.6	16.2	11.5	115	33	100.3	551.1
2009/2010	1	0	0	13.5	4.7	55.4	16.7	10.6	4.9	22.5	30.5	34.5	194.3
2010/2011	0	21.4	0	1.5	1.2	20.3	19.9	0	23.9	8.3	36.8	11.3	144.6
2011/2012	48	0	0	36	59.2	66.2	1.6	10.7	57.8	57	41.4	14.6	392.5
2012/2013	10.2	14	0	0	18.3	43.1	69.2	50.8	10.9	0	89.9	48.8	355.2
2013/2014	57.4	4.3	0	9.1	21.1	18.6	41.4	29.1	9.9	7.9	38.1	28.5	265.4
2014/2015	16	0	0	0	28	10	21.1	32.4	14.1	81.7	20.4	29.5	253.2
2015/2016	69.5	0	4	65.2	40.8	122.3	3.5	4.5	62.8	33.2	53.3	41.8	500.9
2016/2017	25	27.5	2.6	0.7	41.7	50	67.9	49.6	18.1	0	84.5	53.6	421.2
2017/2018	36.1	4.5	1	12.4	20.5	9.9	31.5	40.3	14	11.1	34.3	25	240.6
2018/2019	57.4	4.3	0	9.1	21.1	18.6	41.4	29.1	9.9	7.9	38.1	28.5	265.4
2019/2020	16	0	0	0	28	10	21.1	32.4	14.1	81.7	20.4	29.5	253.2
Moyenne	41.18	19.02	5.73	16.14	37.08	30.95	33.94	35.63	34.55	30.22	39.15	40.68	364.25

II.3.3 Test d'homogénéité (Test de Mood) :

Pour évaluer l'homogénéité de notre série pluviométrique, nous avons opté pour le **test de Mood**, également connu sous le nom de **test de la médiane**.

Considérons un échantillon de données noté :

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$.

Nous commençons par **trier ces valeurs par ordre croissant**, puis nous déterminons la **médiane M**, qui correspond à la valeur séparant l'échantillon en deux parties égales :

- 50 % des observations sont **inférieures ou égales** à M.
- 50 % sont **supérieures ou égales** à M.

Ensuite, pour appliquer le test, nous **remplaçons chaque valeur** de la série initiale (non classée) par un **signe** :

- « + » si la valeur est supérieure à la médiane
- « - » si elle est inférieure à la médiane
- (et parfois, « 0 » si elle est égale à la médiane, selon le protocole choisi).

Cette suite de signes permet ensuite d'évaluer, par des méthodes statistiques simples, si la série est **homogène ou présente une rupture** (changement de tendance ou d'origine).

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Calculons les quantités N_s et T_s avec :

- N_s : nombre total de série de + ou de -
- T_s : Taille de la plus grande série de + ou de -

N_s suit approximativement une loi normale de moyenne $\frac{N+1}{2}$ et T_s suit une loi binomiale.

Ceci a permis d'établir que pour un seuil de signification compris entre 91% et 95%. les conditions du test sont les suivantes :

$$N_s > 0.5 * (N + 1 - \mu_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{N + 1}) \dots\dots\dots(II.2)$$

$$T_s < 3.3 * \log_{10}(N + 1) \dots\dots\dots(II.3)$$

$\mu_{1-\frac{\alpha}{2}}$: représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1 - \frac{\alpha}{2}$.

Dans notre cas :

N°	Pluie moyenne annuelle	Tri	Pluie moyenne annuelle	Signe
1	404.1	144.6	404.1	+
2	286.6	182.2	286.6	-
3	182.2	187	182.2	-
4	369.8	194.3	369.8	+
5	791.7	240.6	791.7	+
6	187	253.2	187	-
7	402.2	265.4	402.2	+
8	376.4	265.4	376.4	+
9	314.1	265.8	314.1	-
10	270.7	270.7	270.7	-
11	543.2	286.6	543.2	+
12	711.5	292.8	711.5	+
13	542	314.1	542	+
14	466.1	323.1	466.1	+
15	265.8	355.2	265.8	-
16	323.1	360.7	323.1	-
17	360.7	369.8	360.7	+
18	292.8	376.4	292.8	-
19	551.1	392.5	551.1	+
20	194.3	402.2	194.3	-
21	144.6	404.1	144.6	-
22	392.5	421.2	392.5	+
23	355.2	466.1	355.2	
24	265.4	500.9	265.4	-
25	253.2	542	253.2	-
26	500.9	543.2	500.9	+
27	421.2	551.1	421.2	+
28	240.6	711.5	240.6	-
29	265.4	791.7	265.4	-

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Donc :

- $M = 355.2$.
- $N = 29$.
- $N_s = 14$ et $T_s = 4$.

Pour déterminer $\mu_{1-\frac{\alpha}{2}}$ on se réfère à la table de la variable réduite de Gauss.

- Pour $\alpha = 5\%$: $1 - \frac{\alpha}{2} = 0.975$.

X	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5635	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6025	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8868	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998

Figure II.3 : Table explicatif de la variable réduite de Gauss

De la table : $\mu_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.96$

Application numérique :

$$N_s = 14 > 0.5 * (29 + 1 - 1.96 * \sqrt{29 + 1}) = 9.63$$

$$T_s = 4 < 3.3 * \log_{10}(29 + 1) = 4.87$$

En conclusion, les deux conditions sont vérifiées, ce qui nous permet de déclarer que notre série des données pluviométriques est homogène.

II.3.4 Choix des lois de probabilités et ajustement :

Les lois statistiques les plus fréquemment utilisées pour modéliser ou ajuster les données de pluviométrie annuelle sont les suivantes :

- La loi de Gauss, également connue sous le nom de loi normale.
- La loi de Galton, également appelée loi log-normale.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Ces lois sont parmi les plus couramment utilisées dans l'analyse des précipitations annuelles, car elles offrent en général les meilleurs résultats d'ajustement.

Quel que soit le type de loi choisie, la démarche d'ajustement suit des étapes standards :

- Classer les données de l'échantillon par ordre croissant ou décroissant, selon que l'on étudie la fréquence de dépassement ou de non-dépassement.
- Attribuer un rang à chaque valeur dans cette série classée.
- Calculer la fréquence expérimentale à l'aide d'une formule empirique, comme celle de Hazen.
- Déterminer les caractéristiques statistiques de l'échantillon : moyenne, écart-type, coefficient de variation, et le cas échéant, le coefficient d'asymétrie.
- Représenter les données sur un papier à probabilité adapté à la loi choisie (Normale ou Log-Normale).
- Tracer la courbe ou la droite théorique qui correspond à cette loi.
- Dédire les valeurs extrêmes (quantiles) correspondant à des probabilités spécifiques.
- Tester la validité de l'ajustement statistique à la loi retenue.
- Enfin, calculer un intervalle de confiance, généralement à 95 %, sur les paramètres statistiques estimés et sur les quantiles.

PS : Tous les calculs se feront en utilisant le logiciel HYFRAN.

II.3.4.1 Ajustement de la série à la loi de Laplace-Gauss (Normale) :

La loi normale est une loi de probabilité continue définie par deux paramètres : l'espérance μ (variable réduite) et l'écart type σ .

Les caractéristiques empiriques de la loi sont :

Moyenne de la série des logarithmes : $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots(II.4)$

L'écart-type de la série des logarithmes : $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \dots\dots\dots(II.5)$

D'après application numérique : $\bar{X} = 364.25 \text{ mm}$ et $\sigma = 152.36 \text{ mm}$

Les quantiles peuvent être obtenus soit graphiquement en traçant la droite de Henry, soit analytiquement en utilisant son équation, ce qui permet d'estimer les valeurs correspondant à des probabilités données dans une distribution normale par l'équation suivante :

$$\ln X = \bar{X} + \sigma * \mu \dots\dots\dots(II.6)$$

Aussi par la méthode analytique :

$$X_{P\%} = e^{\ln X} = e^{\bar{X} + \sigma * \mu_{P\%}} \dots\dots\dots(II.7)$$

Avec :

- $X_{P\%}$: précipitation de probabilité P% .
- $\mu_{P\%}$: variable réduite de probabilité P% .

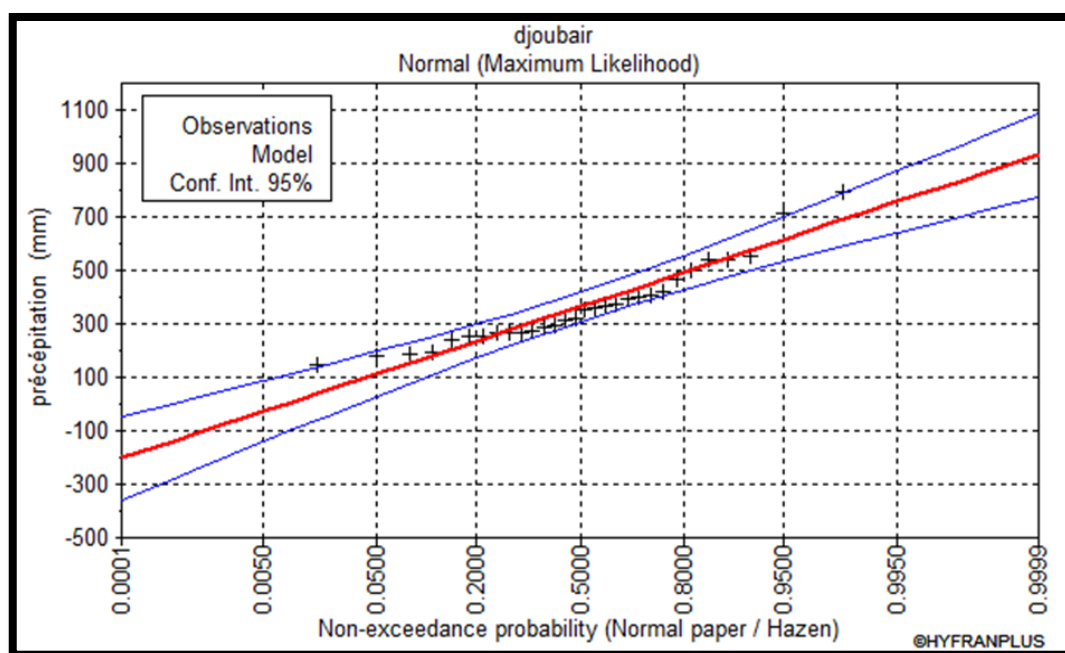


Figure II.4 : Graphique de l'ajustement à la loi de Gauss

Tableau II.13 : Résultats des calculs de l'ajustement à la loi de Gauss

$T = 1/q$	$q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)				
T	q	XT	Standard deviation	Confidence interval (95%)	
10000	0.9999	931	79.4	775	1090
2000	0.9995	866	71.5	726	1010
1000	0.999	835	67.8	702	968
200	0.995	757	58.6	642	872
100	0.99	719	54.2	612	825
50	0.98	677	49.6	580	775
20	0.95	615	43.1	530	699
10	0.9	560	37.8	485	634
5	0.8	492	32.5	429	556
3	0.6667	430	29.1	373	487
2	0.5	364	27.8	310	419
1.4286	0.3	284	29.7	226	343
1.25	0.2	236	32.5	172	300
1.1111	0.1	169	37.8	94.8	243
1.0526	0.05	114	43.1	29.1	198
1.0204	0.02	51.3	49.6	-46	149
1.0101	0.01	9.75	54.2	-96.6	116
1.005	0.005	-28.3	58.6	-143	86.6
1.001	0.001	-107	67.8	-240	26.3
1.0005	0.0005	-137	71.5	-277	2.98
1.0001	0.0001	-202	79.4	-358	-46.7

II.3.4.2 Ajustement de la série à la loi de Galton (Log-Normale) :

La loi de Galton, issue de la loi normale, introduit une dissymétrie par un changement de variable. Elle reste définie par deux paramètres : la moyenne μ (appelée variable réduite) et l'écart type σ .

Les caractéristiques empiriques de la loi sont :

- Moyenne de la série des logarithmes : $\overline{\ln X} = \frac{1}{N} * \sum_N \ln X_i \dots\dots\dots(II.8)$

- L'écart-type de la série des logarithmes : $\sigma_{\ln X} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_n^i (\ln X_i - \overline{\ln X})^2} \dots\dots\dots(II.9)$

D'après application numérique : $\overline{\ln X} = 5.82$ et $\sigma_{\ln X} = 0.4$

Les quantiles peuvent être déterminés graphiquement en utilisant la droite de Galton, qui permet de visualiser la répartition des données et d'estimer les valeurs correspondant à des probabilités données par l'équation suivante :

$$\ln X = \overline{\ln X} + \mu * \sigma_{\ln X} \dots\dots\dots(II.10)$$

Aussi par la méthode analytique :

$$X_{P\%} = e^{\ln X} = e^{\overline{\ln X} + \mu_{P\%} * \sigma_{\ln X}} \dots\dots\dots(II.11)$$

Avec :

- $X_{P\%}$: précipitation de probabilité P% .
- $\mu_{P\%}$: variable réduite de probabilité P% .

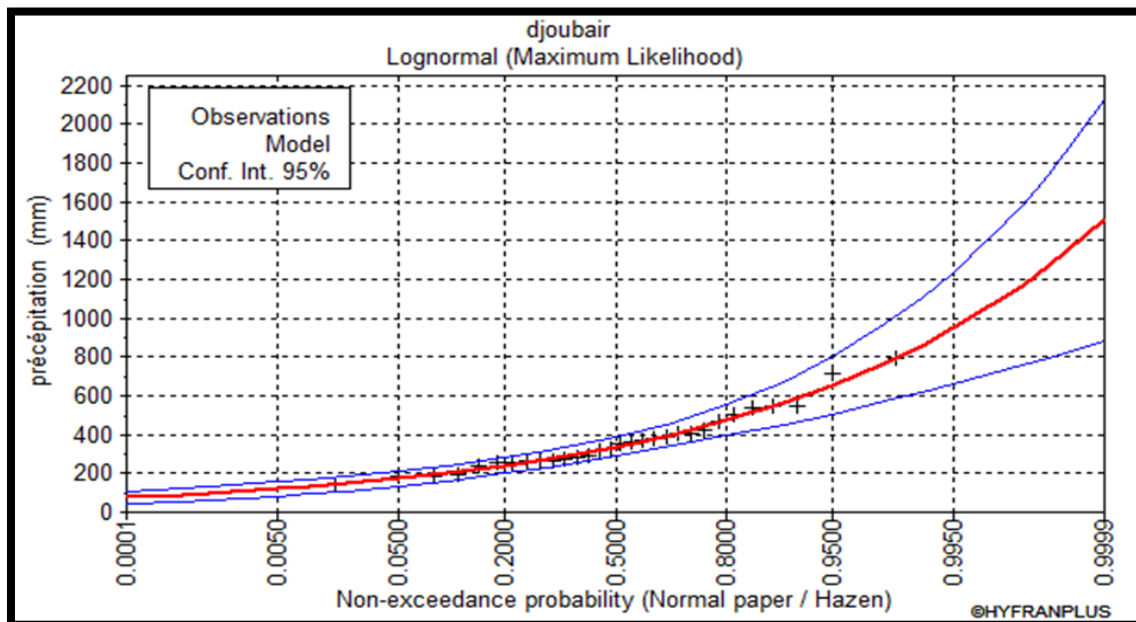


Figure II.5: Graphique de l'ajustement à la loi de Galton

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

Tableau II. 13 : Résultats des calculs de l'ajustement à la loi de Galton

T = 1/q	q = F(X) (probabilité au non-dépassement)				
T	q	XT	Standard deviation	Confidence interval (95%)	
10000	0.9999	1510	316	886	2120
2000	0.9995	1270	239	798	1740
1000	0.999	1170	209	758	1580
200	0.995	950	147	662	1240
100	0.99	859	123	618	1100
50	0.98	770	101	572	968
20	0.95	653	74.4	507	799
10	0.9	564	56.4	453	675
5	0.8	472	40.6	393	552
3	0.6667	400	30.8	340	461
2	0.5	337	24.8	288	385
1.4286	0.3	273	21.4	231	315
1.25	0.2	240	20.6	199	280
1.1111	0.1	201	20.1	162	240
1.0526	0.05	174	19.8	135	212
1.0204	0.02	147	19.3	109	185
1.0101	0.01	132	18.9	94.8	169
1.005	0.005	119	18.5	83.1	155
1.001	0.001	97	17.4	62.9	131

II.3.4.3 Test de validité :

Lorsqu'on choisit une loi pour ajuster une série de données, il est possible de se tromper sur sa pertinence. C'est pourquoi il est important de comparer plusieurs lois afin de sélectionner celle qui convient le mieux. Parmi les tests les plus utilisés pour cela, figure le test du Khi carré (χ^2). Ce test permet de vérifier si l'échantillon suit bien la loi choisie. L'adéquation est jugée acceptable si la valeur calculée du χ^2 est inférieure à la valeur théorique :

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

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.14 : Résultat du test de khi carré (χ^2)

Les lois	Nombre degré de liberté	$\chi^2_{\text{calculé}}$	$\chi^2_{\text{théorique}}$
Loi normale	5	5.62	11.07
Loi log normale	5	4.87	11.07

La condition de validité de l'ajustement étant respectée, la série des précipitations annuelles moyennes peut être modélisée par les deux lois à un niveau de confiance de 95 %. Toutefois, les figures précédentes montrent que la loi log-normale s'adapte mieux aux données que la loi

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

normale. La plupart des points observés se situent dans l'intervalle de confiance de la log-normale, ce qui indique une meilleure précision et fiabilité de cette loi pour représenter les précipitations annuelles. Ainsi, la loi log-normale apparaît comme la plus appropriée pour ce type de données.

II.3.5 Détermination de l'année de calcul :

L'objectif de la détermination de l'année de calcul est d'estimer la quantité d'eau réellement disponible pour les plantes. Cela correspond à une partie de la pluie appelée *pluie efficace*, définie comme la pluie ayant 80 % de probabilité de se produire chaque année. Autrement dit, c'est la quantité minimale de pluie qu'on peut espérer atteindre presque chaque année. Cette estimation est essentielle pour une bonne gestion des ressources en eau, notamment pour planifier l'irrigation de manière fiable et durable.

Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante :

$$P_{moy80\%} = P_{moy} * \frac{P_{théorique (80\%)annuelle}}{P_{théorique (50\%)annuelle}} \dots\dots\dots(II.12)$$

Avec :

- **P_{moy80%}** : La précipitation mensuelle de l'année de calcul.
- **P_{moy}** : La précipitation moyenne mensuelle.
- **P_{théorique (80%)annuelle}** : La précipitation théorique annuelle de fréquence 80%.
- **P_{théorique (50%)annuelle}** : La précipitation théorique annuelle de fréquence 50%.

D'après les résultats de l'ajustement par la loi log-normal on trouve :

- **P_{théorique (80%)annuelle} = 253.2 mm**
- **P_{théorique (50%)annuelle} = 323.1 mm**

Les résultats de calcul sont dans le tableau suivant :

Tableau II.15 : Pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche (P80%)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P _{moy} (mm)	37.08	30.95	33.94	35.63	34.55	30.22	39.15	40.68	41.18	19.02	5.73	16.14
P _{moy80%} (mm)	29.06	24.25	26.60	27.92	27.07	23.68	30.68	31.88	32.27	14.90	4.49	12.65

Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons conclu que :

- Le sol de la zone étudiée présente une texture argileuse fine, offrant de bonnes potentialités agronomiques mais nécessitant une gestion appropriée de la structure et de la perméabilité.
- L'eau d'irrigation issue du barrage d'El Athmania est faiblement salinisée et classée C3-S1, indiquant un risque élevé de salinité et un risque faible d'alcalinisation.

Chapitre II : Ressources en eau et ressources en sol

- Les précipitations annuelles moyennes s'ajustent mieux à la loi log-normale. fournissant ainsi les valeurs de référence nécessaires pour le calcul des besoins en eau des cultures dans le chapitre suivant.

Chapitre III

**Calcule des besoins en eau
des cultures**

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Introduction :

L'évaluation des besoins en eau constitue une étape essentielle dans la conception d'un réseau d'irrigation. Elle permet de déterminer avec précision la quantité d'eau nécessaire pour assurer un développement optimal des cultures, en tenant compte des conditions climatiques, des caractéristiques du sol et de la disponibilité des ressources hydriques.

Dans ce chapitre, nous présenterons la démarche adoptée pour le calcul des besoins en eau des cultures à travers les étapes suivantes :

- Détermination de l'évapotranspiration de référence (ET_0) à partir des données climatiques disponibles.
- Ajustement des besoins en fonction des coefficients culturaux (K_c) propres à chaque stade de développement.
- Prise en compte de la pluie efficace et des pertes par lessivage des sels.
- Détermination des débits nécessaires et du volume total d'irrigation.

III.1 Besoin en eau du périmètre :

Savoir précisément combien d'eau une culture nécessite est une étape incontournable pour

La détermination précise des besoins en eau constitue une étape incontournable pour tout projet d'irrigation. Elle dépend à la fois :

- des caractéristiques des plantes (espèce, stade de développement, coefficient cultural, profondeur racinaire).
- et des conditions du milieu (pluviométrie, évapotranspiration, texture et capacité de rétention du sol).

L'objectif est de fournir aux cultures, au moment opportun, la quantité d'eau nécessaire pour maintenir une humidité optimale dans la zone racinaire, assurant ainsi un rendement maximal

III.1.1 Calcul des besoins en eau :

Les besoins en eau d'irrigation sont calculés période par période, et culture par culture s avec la formule :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + R_{S_{i-1}}) \dots\dots\dots(III.1)$$

Avec :

- P_{eff} : La pluie annuelle efficace (mm).
- $R_{S_{i-1}}$: La réserve utile du sol du mois précédent (mm).
- B_i : Besoin en eau d'irrigation (mm).
- ETM : L'évapotranspiration maximale (mm), tel que :

$$ETM = ET_0 * K_c \dots\dots\dots(III.2)$$

Avec :

- ET_0 : Evapotranspiration de référence (mm/jour).

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

- K_c : Coefficient cultural considérée.

III.1.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle de référence ET_0 :

L'évapotranspiration de référence (ET_0) décrit la quantité maximale d'eau qui peut être perdue par évaporation et transpiration depuis une surface végétale de référence (gazon ras, bien alimenté en eau et en pleine croissance), sous des conditions climatiques spécifiques. Elle est généralement exprimée (mm/jour).

L' ET_0 constitue un paramètre clé en irrigation, car elle permet d'évaluer les besoins réels en eau des cultures lorsqu'elle est multipliée par un coefficient cultural (K_c) propre à chaque espèce et à chaque stade de développement.

Il existe deux grandes méthodes pour estimer l' ET_0 :

- Les méthodes directes : Ils reposent sur des mesures de terrain effectuées à l'aide d'instruments spécifiques, tels que : la cuve lysimétrique et le bac évaporant
 - Les méthodes indirectes : elles reposent sur l'utilisation de formules empiriques ou semi-empiriques, établies à partir des paramètres climatiques. Parmi les plus connues, on cite :
 - Formule de Turc (1960).
 - Formule de Thornthwaite (1948, 1955).
 - Formule de Blaney-Criddle (1959).
 - Formule de Penman-Monteith ou formule dite du bilan d'énergie (1948).
 - Formule de Priestley-Taylor (1972).
 - Méthode de Doorenbos et Pruitt (1977) dans le cadre de L'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- Dans notre étude, nous avons retenu la méthode Penman-Monteith FAO modifiée, qui est la plus précise et la plus couramment utilisée à l'échelle mondiale pour le calcul de l' ET_0 .

➤ *Formule de Penman-Monteith 1948 :*

Introduite dès 1948 par H. L. Penman et enrichie par J. L. Monteith, la version modifiée de la formule Penman-Monteith est aujourd'hui la référence mondiale pour estimer l'évapotranspiration de référence. Elle a été officiellement adoptée comme méthode standard par la FAO. La formule :

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

Avec :

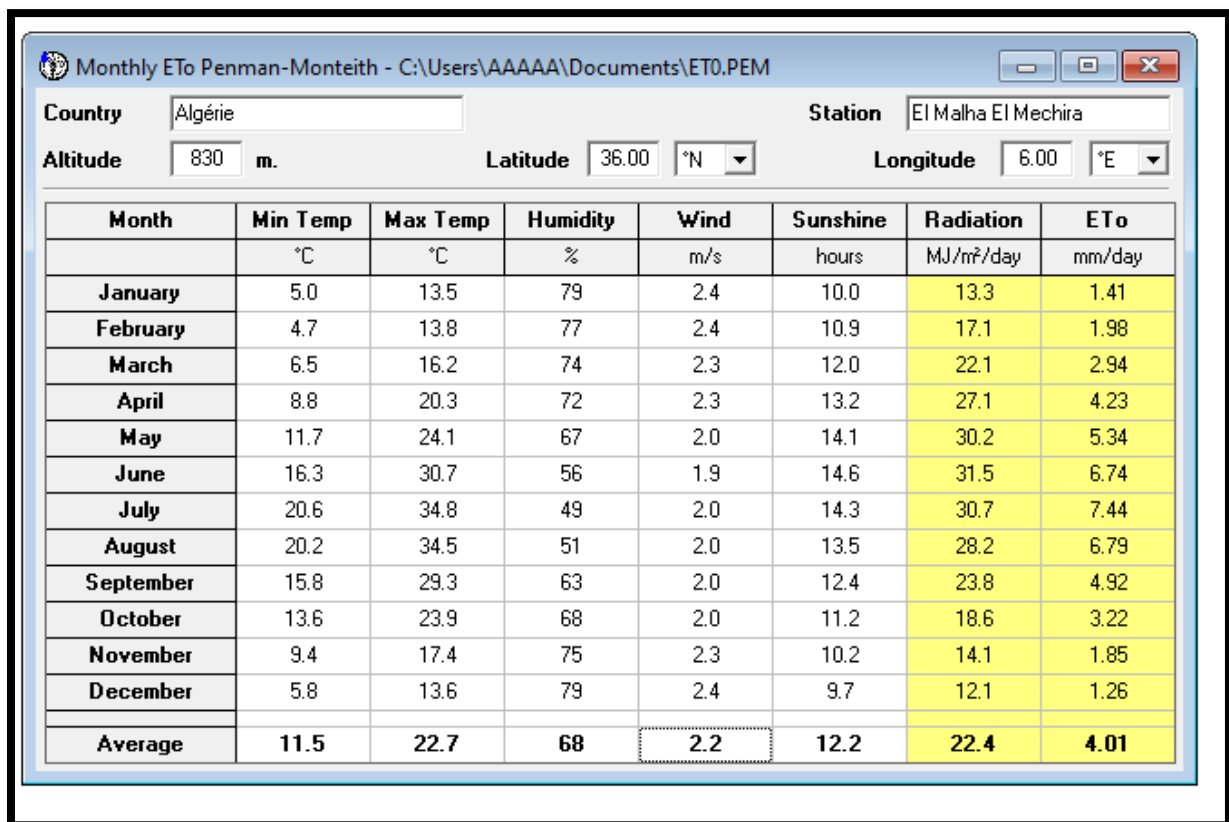
- ET_0 : évapotranspiration de référence [mm.jour⁻¹]
- R_n : rayonnement net à la surface de la culture [MJ.m⁻². jour⁻¹]
- G : densité de flux de chaleur dans le sol [MJ.m⁻². jour⁻¹]
- T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]
- u_2 : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m. s⁻¹]

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

- e_s : pression de vapeur saturante [Kpa]
- e_a : pression de vapeur réelle [Kpa]
- Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante pour la température T [Kpa . °C⁻¹]
- γ : Constante psychrométrique [Kpa . °C⁻¹]
- C_{ste} : coefficient pour la culture de référence = **900** [Kj⁻¹. Kg. K]

➤ Dans notre étude. les calculs ont été réalisés avec le logiciel CROPWAT 8.0 selon la méthode Penman-Monteith FAO.

Tableau III.1 : Evapotranspiration de référence ET₀



Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sunshine hours	Radiation MJ/m²/day	ET ₀ mm/day
January	5.0	13.5	79	2.4	10.0	13.3	1.41
February	4.7	13.8	77	2.4	10.9	17.1	1.98
March	6.5	16.2	74	2.3	12.0	22.1	2.94
April	8.8	20.3	72	2.3	13.2	27.1	4.23
May	11.7	24.1	67	2.0	14.1	30.2	5.34
June	16.3	30.7	56	1.9	14.6	31.5	6.74
July	20.6	34.8	49	2.0	14.3	30.7	7.44
August	20.2	34.5	51	2.0	13.5	28.2	6.79
September	15.8	29.3	63	2.0	12.4	23.8	4.92
October	13.6	23.9	68	2.0	11.2	18.6	3.22
November	9.4	17.4	75	2.3	10.2	14.1	1.85
December	5.8	13.6	79	2.4	9.7	12.1	1.26
Average	11.5	22.7	68	2.2	12.2	22.4	4.01

▪ Interprétation :

Selon les données du tableau. il est observé que l'évapotranspiration de référence ET₀ est élevée pendant la période estivale. atteignant 10.63 mm par mois pour le mois de juillet Cela indique que les cultures ont un besoin accru en eau d'irrigation pendant cette période. En d'autres termes. les besoins en eau des cultures augmentent pendant les mois d'été (juin. juillet et Aout .

III.1.3 Calcul de la pluie efficace :

La pluie efficace correspond à la fraction des précipitations réellement disponible pour les plantes. après déduction des pertes par ruissellement et percolation profonde. Son évaluation précise nécessite en principe de longues séries de mesures. ce qui reste difficile à obtenir. À

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

défaut. on utilise des méthodes empiriques telles que celle du pourcentage fixe. qui considère que 80 % des précipitations contribuent aux besoins des cultures.

- Dans cette étude. nous avons retenu cette approche tel que :

$$P_{\text{eff}} = A * P_{\text{moy } 80\%} \dots \dots \dots (III.4)$$

Avec :

- P_{eff} : Pluie annuelle efficace en (mm/mois).
- $P_{\text{moy } 80\%}$: Pluie moyenne en (mm/mois).
- A : coefficient de correction égal à 0.8

Tableau III.2 :Pluviométrie moyenne et efficace pour chaque mois en mm

Mois	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
$P_{\text{moy } 80\%}$ (mm /mois)	29.06	24.25	26.60	27.92	27.07	23.68	30.68	31.88	32.27	14.90	4.49	12.65
P_{eff} (mm /mois)	23.25	19.4	21.28	22.34	21.66	18.94	24.54	25.5	25.81	11.92	3.59	10.12

III.1.4 Calcul de la réserve en eau du sol :

- **Réserve utile (RS)** : c'est la quantité d'eau présente dans la zone de sol exploitée par les racines. c'est-à-dire l'eau retenue entre deux seuils critiques la capacité au champ (après drainage) et le point de flétrissement permanent (moment où la plante n'arrive plus à extraire l'eau). Cette eau constitue le stock potentiel que les plantes peuvent puiser pour leur croissance.
 - **Réserve facilement utilisable (RFU)** : dès que l'humidité s'approche du point de flétrissement. les plantes éprouvent des difficultés à absorber l'eau. La RFU représente donc seulement la partie de la RS que les végétaux peuvent utiliser sans stress. généralement estimée entre un tiers et les deux tiers de la réserve utile. selon le type de sol et les caractéristiques de la culture.
- La relation entre réserve utile et réserve facilement utilisable est comme suivant :

$$R_{S_{i-1}} = RFU * K \dots \dots \dots (III.5)$$

Avec :

- $R_{S_{i-1}}$: La réserve utile du sol du mois précédent (mm).
- K : degré de tarissement = { 1 ; 1/2 ou 1/3 ; 0 dans le cas de réserve en eau nulle }.
- RFU : Réserve facilement utilisable en (mm) est donnée par la relation suivante :

$$RFU = (H_{CC} - H_{PF}) * D_a * Y * Z \dots \dots \dots (III.6)$$

Avec :

- H_{CC} : Humidité à la capacité au champ en % (on prend $H_{cc} = 27\%$)
- H_{PF} : Humidité au point de flétrissement en % (on prend $H_{pf} = 15\%$)
- D_a : Densité apparente du sol (on prend $D_a = 1.4$)

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

- **Y** : Coefficient qui dépend de la nature du sol (on prend $Y=2/3$).
- **Z** : Profondeur racinaire dépend de culture en (mm).

III.2 Choix des cultures :

Facteurs pris en compte :

- conditions climatiques.
- types de sols et contraintes pédologiques.
- disponibilité et qualité de l'eau.
- vocation socio-économique de la région.

III.2.1 Occupation des sols :

Tableau III.3 L'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre.

Type de culture	Les céréalicultures	Les maraîchages	Les arboricultures	Total
Surface occupé (ha)	70	80	10	160
Surface occupé en (%)	43.75	50	6.25	100

III.2.2 Les cultures proposées et système cultural :

Notre projet vise avant tout à renforcer la production céréalière. Les cultures retenues sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.4 Système de cultures proposées

Type de culture	Culture	Surface occupé (ha)
Les céréalicultures	Blé	35
	Orge	35
Les maraîchages	Pomme de terre (AS)	25
	Tomate	30
Les arboricultures	Agrumes	10
	Olivier	25
Total	160	

III.2.3 Assolements des cultures :

L'assolement et la rotation des cultures sont des techniques agricoles essentielles qui permettent d'optimiser l'utilisation des terres, de préserver la fertilité du sol et de limiter la propagation des maladies et des parasites.

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Tableau III.5: Assolements des cultures.

Assolement 1	Assolement2
Blé	Orge en vert
Orge	Ail
Pomme De Terre (AS)	Haricot
Tomate	Oignon
Olivier	Olivier
Agrumes	Agrumes

III.2.4 Le régime d'irrigation :

Un régime d'irrigation est une stratégie définissant la gestion et l'application de l'eau d'irrigation à une culture agricole spécifique.

Il existe différents types de régimes d'irrigation, tels que l'irrigation par aspersion, l'irrigation goutte à goutte, l'irrigation par submersion, etc.. chacun ayant ses avantages et ses inconvénients en fonction du contexte d'utilisation.

- Dans notre étude, nous allons utiliser l'irrigation goutte à goutte pour l'arboriculture et l'irrigation par aspersion pour les cultures maraîchères.

III.2.5 Estimation des coefficients cultureux (Kc) :

Les coefficients cultureux (Kc) de chaque culture ont été déterminés à partir des valeurs de référence proposées par Doorenbos (**Voir Annexe 04**). Ces valeurs varient selon le stade de développement de la plante et les conditions climatiques locales. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.5: Coefficients cultureux des cultures.

Culture	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé	-	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	1.0	1.2	0.87	0.23	-	-
Orge	-	-	0.3	0.4	0.7	0.85	0.95	0.75	0.55	-	-	-
Oignon	-	0.5	0.75	0.95	0.90	0.70	-	-	-	-	-	-
Ail	-	0.5	0.75	0.85	0.90	0.70	0.55	-	-	-	-	-
Pomme de terre (AS)	0.50	0.70	0.95	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-
Tomate	-	-	-	-	-	-	0.50	0.85	1.15	0.85	-	-
Haricots	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50	0.65	0.95
Olivier	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.85	0.85	0.85
Agrumes	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75

III.3 Estimation des besoins en eau des cultures :

Pour chaque culture on calcule les besoins suivant son stade végétatif :

III.3.1 Les besoins en eau pour l'assolement 01 :

III.3.1.1 Les céréalicultures :

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Tableau III.6 : Les besoins en eau du blé.

Mois	Pmoy80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m ³ /ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0			0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3		0			0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4	0.3	33.6	33.6	0.4	33.4	0.0	0.00
Dec	27.92	22.34	59.4	0.5	56	16.8	0.7	41.6	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4	0.5	56	28	0.85	53.0	0.0	0.00
Fev	23.68	18.94	71.4	0.6	67.2	18.67	0.95	67.8	24.8	330.15
Mar	30.68	24.54	104.4	0.6	67.2	0	1.05	109.6	84.2	1122.61
Avr	31.88	25.5	145.8	0.6	67.2	0	0.95	138.5	114.4	1525.17
Mai	32.27	25.81	189.6	0.6	67.2	0	0.85	161.2	137.4	1832.31
Juin	14.9	11.92	268.8	0.6	67.2	0	0.45	121.0	114.2	1522.73
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

Tableau III.7 : Les besoins en eau du l'Orge.

Mois	Pmoy80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Binet (mm)	Bi brute (m ³ /ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0			0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3		0			0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4	0.2	22.4	0	0.3	25.0	0.0	0.00
Déc	27.92	22.34	59.4	0.45	50.4	11.2	0.4	23.8	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4	0.6	67.2	25.2	0.7	43.7	0.0	0.00
Fév	23.68	18.94	71.4	0.6	67.2	22	0.85	60.7	13.9	185.17
Mar	30.68	24.54	104.4	0.6	67.2	78.4	0.95	99.2	0.0	0.00
Avr	31.88	25.5	145.8	0.6	67.2	33.6	0.75	109.4	51.6	688.37
Mai	32.27	25.81	189.6	0.6	67.2	0	0.55	104.3	80.5	1073.91
Juin	14.9	11.92	268.8		0	0		0.0	0.0	0.00
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

III.3.1.2 Les maraîchages :

Tableau III.8 : Les besoins en eau du Pomme De Terre (AS)

Mois	Pmoy80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m ³ /ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0			0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3		0			0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Déc	27.92	22.34	59.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Fév	23.68	18.94	71.4		0	0		0.0	0.0	0.00

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Mar	30.68	24.54	104.4	0.25	28	28	0.5	52.2	0.0	0.00
Avr	31.88	25.5	145.8	0.5	56	18.67	0.7	102.1	59.3	790.24
Mai	32.27	25.81	189.6	0.5	56	0	0.9	170.6	146.9	1958.71
Juin	14.9	11.92	268.8	0.5	56	0	0.75	201.6	194.8	2597.93
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

Tableau III.9 : Les besoins en eau de Tomate

Mois	Pmoy80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0			0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3		0			0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Déc	27.92	22.34	59.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Fév	23.68	18.94	71.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Mar	30.68	24.54	104.4	0.7	78.4	78.4	0.5	52.2	0.0	0.00
Avr	31.88	25.5	145.8	0.9	100.8	33.6	0.7	102.1	44.3	591.17
Mai	32.27	25.81	189.6	1.2	134.4	0	0.9	170.6	146.9	1958.71
Juin	14.9	11.92	268.8	1.2	134.4	0	0.75	201.6	194.8	2597.93
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

III.3.1.3 Les arboriculture :

Tableau III.10 : Les besoins en eau de l'Olivier

Mois	Pmoy80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3	1.5	168	0	0.75	0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3	1.5	168	0	0.75	0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4	1.5	168	33.6	0.75	33.4	0.0	0.00
Déc	27.92	22.34	59.4	1.5	168	84	0.65	41.6	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4	1.5	168	84	0.65	53.0	0.0	0.00
Fév	23.68	18.94	71.4	1.5	168	56.00	0.65	67.8	24.8	330.15
Mar	30.68	24.54	104.4	1.5	168	0	0.65	109.6	84.2	1122.61
Avr	31.88	25.5	145.8	1.5	168	0	0.65	138.5	114.4	1525.17
Mai	32.27	25.81	189.6	1.5	168	0	0.75	161.2	137.4	1832.31
Juin	14.9	11.92	268.8	1.5	168	0	0.85	121.0	114.2	1522.73
Juillet	4.49	3.59	318.9	1.5	168	0	0.85	0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3	1.5	168	0	0.85	0.0	0.0	0.00

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Tableau III.11 : Les besoins en eau de les agrumes

Mois	Pmoy80%	Peff(mm)	ET0	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3	1.5	168		0.75	155.5	132.8	1770.60
Oct	24.25	19.4	141.3	1.5	168		0.75	106.0	85.4	1138.41
Nov	26.6	21.28	83.4	1.5	168	33.6	0.75	62.6	3.0	39.73
Dec	27.92	22.34	59.4	1.5	168	84	0.65	38.6	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4	1.5	168	84	0.65	40.6	0.0	0.00
Fev	23.68	18.94	71.4	1.5	168	56.00	0.65	46.4	0.0	0.00
Mar	30.68	24.54	104.4	1.5	168	0	0.65	67.9	42.4	565.81
Avr	31.88	25.5	145.8	1.5	168	0	0.65	94.8	70.6	941.97
Mai	32.27	25.81	189.6	1.5	168	0	0.65	123.2	99.5	1326.71
Juin	14.9	11.92	268.8	1.5	168	0	0.65	174.7	168.0	2239.53
Juillet	4.49	3.59	318.9	1.5	168		0.75	239.2	237.4	3165.85
Aout	12.65	10.12	297.3	1.5	168		0.75	223.0	215.1	2868.00

III.3.2 Les besoins en eau pour l'assolement 02:

Tableau III.12 : Les besoins en eau de l'Orge En vert

Mois	Pmoy80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0			0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3		0			0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4	0.2	22.4	0	0.3	25.0	0.0	0.00
Dec	27.92	22.34	59.4	0.45	50.4	11.2	0.4	23.8	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4	0.6	67.2	25.2	0.7	43.7	0.0	0.00
Fev	23.68	18.94	71.4	0.6	67.2	22	0.85	60.7	13.9	185.17
Mar	30.68	24.54	104.4	0.6	67.2	78.4	0.95	99.2	0.0	0.00
Avr	31.88	25.5	145.8	0.6	67.2	33.6	0.75	109.4	51.6	688.37
Mai	32.27	25.81	189.6	0.6	67.2	0	0.55	104.3	80.5	1073.91
Juin	14.9	11.92	268.8		0	0		0.0	0.0	0.00
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

Tableau III.13 : Les besoins en eau de l'Oignon

Mois	Pmoy80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0	0		0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3	0.5	56	0	0.5	70.7	50.1	667.41
Nov	26.6	21.28	83.4	0.75	84	0	0.75	62.6	36.6	487.73
Dec	27.92	22.34	59.4	0.95	106.4	0	0.95	56.4	22.0	293.20
Jan	27.07	21.66	62.4	0.9	100.8	0	0.9	56.2	27.5	366.88
Fev	23.68	18.94	71.4	0.7	78.4	0	0.7	50.0	25.6	341.04
Mar	30.68	24.54	104.4		0	0		0.0	0.0	0.00

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Avr	31.88	25.5	145.8		0	0		0.0	0.0	0.00
Mai	32.27	25.81	189.6		0	0		0.0	0.0	0.00
Juin	14.9	11.92	268.8		0	0		0.0	0.0	0.00
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

Tableau III.14 : les besoins en eau de le haricot

Mois	Pmoy80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3	0.7	78.4		0.85	176.2	153.5	2047.00
Oct	24.25	19.4	141.3		0			0.0	0.0	0.00
Nov	26.6	21.28	83.4		0	56		0.0	0.0	0.00
Dec	27.92	22.34	59.4		0	33.6		0.0	0.0	0.00
Jan	27.07	21.66	62.4		0	0		0.0	0.0	0.00
Fev	23.68	18.94	71.4		0	0.00		0.0	0.0	0.00
Mar	30.68	24.54	104.4		0	22.4		0.0	0.0	0.00
Avr	31.88	25.5	145.8		0	0		0.0	0.0	0.00
Mai	32.27	25.81	189.6		0	0		0.0	0.0	0.00
Juin	14.9	11.92	268.8	0.5	56	0	0.5	134.4	127.6	1701.93
Juillet	4.49	3.59	318.9	0.5	56		0.65	207.3	205.5	2740.65
Aout	12.65	10.12	297.3	0.7	78.4		1.1	327.0	319.2	4255.40

Tableau III.15 : les besoins en eau de de l'Ail

Mois	Pmoy80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RSi-1	Kc	ETM	Bi net (mm)	Bi brute (m³/ha)
Sep	29.06	23.25	207.3		0			0.0	0.0	0.00
Oct	24.25	19.4	141.3	0.4	44.8		0.5	70.7	50.1	667.41
Nov	26.6	21.28	83.4	0.4	44.8	0	0.75	62.6	36.6	487.73
Dec	27.92	22.34	59.4	0.4	44.8	0	0.95	56.4	22.0	293.20
Jan	27.07	21.66	62.4	0.4	44.8	22.4	0.95	59.3	8.2	109.81
Fev	23.68	18.94	71.4	0.4	44.8	14.93	0.75	53.6	14.2	189.53
Mar	30.68	24.54	104.4		0	0	0	0.0	0.0	0.00
Avr	31.88	25.5	145.8		0	0	0	0.0	0.0	0.00
Mai	32.27	25.81	189.6		0	0	0	0.0	0.0	0.00
Juin	14.9	11.92	268.8		0	0	0	0.0	0.0	0.00
Juillet	4.49	3.59	318.9		0			0.0	0.0	0.00
Aout	12.65	10.12	297.3		0			0.0	0.0	0.00

III.4 Calcul de débit spécifique :

Le débit spécifique se calcul par la formule suivantes :

$$q_s = \frac{B_{net} * 10^4}{N_j * N_i * 3600 * E_i} \dots\dots\dots(III.7)$$

Avec :

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

- B_{net} : besoin net du mois de pointe en (mm. mois⁻¹)
- N_j : nombre de jours du mois de pointe = 30 jours
- N_i : nombre des heures d'irrigation = 22h
- E_i : Efficience d'irrigation que nous avons estimée à 75%
- q_s : débit spécifique en L . s⁻¹. ha⁻¹

III.4.1 Les besoins en eau pour les assolements 01 et 02 :

Tableau III.16 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 01

Culture Mois	Blé	Orge	Pomme de terre (AS)	Tomate	Olivier	Agrumes
Jan	0	0	0	0	0	132.8
Fév	0	0	0	0	0	85.4
Mars	0	0	0	0	0	3
Avril	0	0	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0	0	0
Juin	24.8	13.9	0	0	24.8	0
Juil	84.2	0	0	0	84.2	42.4
Aout	114.4	51.6	59.3	44.3	114.4	70.6
Sep	137.4	80.5	146.9	146.9	137.4	99.5
Oct	114.2	0	194.8	194.8	114.2	168
Nov	0	0	0	0	0	237.4
Déc	0	0	0	0	0	215.1

Tableau III.16 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 02

Culture Mois	Orge en vert	Ail	Haricot	Oignon	Olivier	Agrumes
Jan	0	0	153.5	0	0	132.8
Fév	0	50.1	0	50.1	0	85.4
Mars	0	36.6	0	36.6	0	3
Avril	0	22	0	22	0	0
Mai	0	8.2	0	27.5	0	0
Juin	13.9	14.2	0	25.6	24.8	0
Juil	0	0	0	0	84.2	42.4
Aout	51.6	0	0	0	114.4	70.6
Sep	80.5	0	0	0	137.4	99.5
Oct	0	0	127.6	0	114.2	168
Nov	0	0	205.5	0	0	237.4
Déc	0	0	319.2	0	0	215.1

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

III.4.2 Les besoins de lessivage :

L'eau destinée à l'irrigation de notre périmètre est classée C3S1. ce qui indique un risque d'accumulation de sels au niveau des racines des plantes. Pour éviter ce problème. il est nécessaire d'apporter un volume d'eau supplémentaire lors de l'irrigation.

Cette eau excédentaire permet de lessiver les sels en les entraînant vers les couches profondes du sol. là où les racines ne peuvent plus les atteindre. Ce procédé de lessivage contribue ainsi à prévenir la salinisation primaire des terres.

La fraction de lessivage est déterminée en fonction de la méthode de Rhoads :

$$L_R = \frac{C_{eiw}}{5C_{ees} - C_{eiw}} \dots\dots\dots(III.8)$$

Avec :

- L_R : Fraction de lessivage
- C_{eiw} : Conductivité électrique d'eau d'irrigation. pour notre cas : 1.74 mmohms/cm
- C_{ees} : Conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol.

➤ Nous avons basé nos analyses sur les données du tableau de tolérance à la salinité des cultures fourni par la FAO.

Le volume de lessivage est calculé par la formule ci-dessous :

$$V_{less} = ETM * \frac{L_R}{1 - L_R} \dots\dots\dots(III.9)$$

Tableau III.17 : Volumes de lessivage de l'assolement 1 pour chaque culture en mm.

Culture Mois	Blé	Orge	Pomme De Terre	Tomate	Olivier	Agrumes
Jan	0	0	0	0	0	9.1434
Fév	0	0	0	0	0	6.2328
Mars	1.96392	1.47	0	0	1.96392	3.68088
Avril	2.44608	1.39944	0	0	2.44608	2.26968
Mai	3.1164	2.56956	0	0	3.1164	2.38728
Juin	3.98664	3.56916	0	0	3.98664	2.72832
Juil	6.44448	5.83296	3.06936	3.06936	6.44448	3.99252
Aout	8.1438	6.43272	6.00348	6.00348	8.1438	5.57424
Sep	9.47856	6.13284	10.03128	10.03128	9.47856	7.24416
Oct	7.1148	0	0	11.85408	7.1148	10.27236
Nov	0	0	0	0	0	14.06496
Déc	0	0	0	0	0	13.1124

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Tableau III.18 : Les besoins net avec volume de lessivage

Culture Mois	Blé	Orge	Pomme de terre (AS)	Tomate	Olivier	Agrumes
Jan	0	0	0	0	0	141.9434
Fév	0	0	0	0	0	91.6328
Mars	1.96392	1.47	0	0	1.96392	6.68088
Avril	2.44608	1.39944	0	0	2.44608	2.26968
Mai	3.1164	2.56956	0	0	3.1164	2.38728
Juin	28.78664	17.46916	0	0	28.78664	2.72832
Juil	90.64448	5.83296	3.06936	3.06936	90.64448	46.39252
Aout	122.5438	58.03272	65.30348	50.30348	122.5438	76.17424
Sep	146.8786	86.63284	156.9313	156.9313	146.8786	106.7442
Oct	121.3148	0	194.8	206.6541	121.3148	178.2724
Nov	0	0	0	0	0	251.465
Déc	0	0	0	0	0	228.2124

Tableau III.19 : Volumes de lessivage de l'assolement 2 pour chaque culture en mm

Culture Mois	Orge en vert	Ognion	Haricot	Ail	Olivier	Agrumes
Jan	0	0	10.36056	0	0	9.1434
Fév	0	4.15716	0	4.15716	0	6.2328
Mars	1.47	3.68088	0	3.68088	1.96392	3.68088
Avril	1.39944	3.31632	0	3.31632	2.44608	2.26968
Mai	2.56956	3.30456	0	3.48684	3.1164	2.38728
Juin	3.56916	2.94	0	3.15168	3.98664	2.72832
Juil	5.83296	0	0	0	6.44448	3.99252
Aout	6.43272	0	0	0	8.1438	5.57424
Sep	6.13284	0	0	0	9.47856	7.24416
Oct	0	0	7.90272	0	7.1148	10.27236
Nov	0	0	12.18924	0	0	14.06496
Déc	0	0	19.2276	0	0	13.1124

Tableau III.20 : Les besoins net avec volume de lessivage

Culture Mois	Orge en vert	Ognion	Haricot	Ail	Olivier	Agrumes
Jan	0	0	163.8606	0	0	141.9434
Fév	0	54.25716	0	54.25716	0	91.6328
Mars	1.47	40.28088	0	40.28088	1.96392	6.68088
Avril	1.39944	25.31632	0	25.31632	2.44608	2.26968
Mai	2.56956	30.80456	0	11.68684	3.1164	2.38728
Juin	17.46916	28.54	0	17.35168	28.78664	2.72832
Juil	5.83296	0	0	0	90.64448	46.39252
Aout	58.03272	0	0	0	122.5438	76.17424

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Sep	86.63284	0	0	0	146.8786	106.7442
Oct	0	0	135.5027	0	121.3148	178.2724
Nov	0	0	217.6892	0	0	251.465
Déc	0	0	338.4276	0	0	228.2124

➤ Les besoins en eau pour l'assolement le plus exigeant (Assolement 01) :

On calcule les besoins en eau pour l'assolement 01 le plus exigeant d'où les besoins de pointe correspondent au mois de Novembre est : B net = 251.465 mm

$$D'où : q_s = \frac{251.465 * 10^4}{30 * 22 * 3600 * 0.75} \longrightarrow q_s = 1.41 \text{ L/s/ha}$$

$$q_s = 1.41 \text{ L/s/ha} < 1.5 \text{ L/s/ha}$$

Le débit spécifique obtenu est inférieur à 1.5. aucun risque de surdimensionnement des conduites de refoulement ou gravitaire.

III.5 Calcule de débit caractéristique :

Le débit caractéristique est donc essentiel pour planifier et concevoir les systèmes de distribution d'eau et les infrastructures associées. afin de garantir une utilisation efficace et durable des ressources en eau.

$$Q_{car} = q_s * S \dots\dots\dots(III.10)$$

- Q_{car} : débit caractéristique en m^3/s
- q_s : débit spécifique du mois de pointe
- S : la superficie nette à irriguer = 160 ha

D'où :

$$Q_{car} = 1.33 * 160$$

$$Q_{car} = 225.6 \text{ L} \cdot s^{-1} = 0.2256 \text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

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

L'estimation des volumes d'eau pour l'irrigation permet de prévoir la quantité d'eau à stocker dans la retenue et d'élaborer un calendrier d'arrosage plus adapté.

$$\text{Le volume des besoins en eau} = \text{Besoins bruts de la culture (m}^3\text{)} * \text{la surface} \dots\dots\dots(III.11)$$

Les calculs des volumes d'eau d'irrigation de notre périmètre d'étude sont détaillées en tableau suivant :

Tableau III.21: Volume d'eau d'irrigation

Cultures	Surface (ha)	Besoins brutes (m ³ /ha)	Besoins totaux (m ³)
Blé	35	3862.33	135181.6
orge	35	4343.247	152013.6
pomme de terre (AS)	25	1702.66	42566.5

Chapitre III : Calcule des besoins en eau des cultures

Tomate	30	2969.041	89071.22
Olivier	25	9058.773	226469.3
Agrumes	10	7928.12	79281.2
Total	160	29864.17	4778267

Le volume total d'eau d'irrigation est : **4778267 m³**

Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons conclu que :

- Les besoins en eau des cultures ont été évalués en tenant compte des paramètres climatiques, pédologiques et agronomiques de la zone d'étude.
- L'évapotranspiration de référence (ET_0) a été calculée à l'aide de la méthode Penman-Monteith modifiée via le logiciel CROPWAT 8.0, permettant une estimation fiable des besoins.
- La pluie efficace a été déterminée par la méthode empirique (80 % des précipitations), représentant la part réellement disponible pour les cultures.
- Les besoins en eau des différentes cultures ont été estimés en fonction de leur coefficient cultural (K_c) et de leur stade de développement.
- Une correction pour le lessivage des sels a été intégrée, en raison de la qualité de l'eau (classe C3-S1), afin de prévenir la salinisation du sol.
- Le débit spécifique obtenu pour le mois de pointe est de 1.41 L/s/ha, valeur inférieure à la limite critique (1.5 L/s/ha), confirmant l'absence de risque de surdimensionnement du réseau.
- Le débit caractéristique du périmètre, calculé sur la base d'une superficie nette de 160 ha, est estimé à 0.2256 m³/s.
- Le volume total d'eau d'irrigation nécessaire pour la campagne est évalué à 4 778 267 m³, ce qui constitue une donnée clé pour le dimensionnement des ouvrages et la planification de la gestion des ressources hydriques.

Chapitre V :
Choix de technique
d'irrigation

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

Introduction :

Choisir un système d'irrigation adapté est essentiel pour gérer efficacement la ressource en eau et répondre au mieux aux besoins hydriques des cultures. Pour faire un choix éclairé, il est nécessaire de bien comprendre les différentes méthodes disponibles, leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs avantages et limites.

L'objectif de ce chapitre est donc de présenter les principales techniques d'irrigation afin de sélectionner celles qui conviennent le mieux aux particularités de notre zone d'étude.

V.1 Les différentes techniques d'irrigation :

Il existe Cinq principales techniques d'irrigation utilisées dans en agriculture :

- L'irrigation par aspersion.
- L'irrigation par goutte à goutte.
- L'irrigation par gravité.
- L'irrigation par submersion.
- L'irrigation par pivot central.

V.1.1 Irrigation par Aspersion :

L'irrigation par aspersion est l'une des méthodes les plus utilisées dans le domaine agricole. Elle reproduit l'effet de la pluie en projetant l'eau sous forme de fines gouttelettes, réparties de manière homogène sur la surface cultivée. Cette technique permet d'assurer une bonne humidification du sol et des plantes, tout en favorisant une utilisation rationnelle de la ressource en eau.



Figure V.1 : Irrigation par aspersion.

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

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

Avantages	Inconvénients
• Elle permet une répartition uniforme de l'eau sur toute la parcelle. • Elle offre une grande flexibilité car elle s'adapte à différents types de cultures. • Elle est capable de couvrir de vastes superficies. ce qui la rend adaptée aux grandes exploitations.	• Elle peut engendrer une perte d'eau par évaporation. surtout en période de forte chaleur. • Le vent peut perturber la répartition des gouttelettes. entraînant une irrégularité d'arrosage. • Des pertes d'eau supplémentaires peuvent se produire par ruissellement. ce qui réduit l'efficacité globale du système.

V.1.2 Irrigation par goutte à goutte (localisée) :

L'irrigation goutte à goutte est une technique qui permet d'apporter l'eau directement au niveau des racines des plantes. de manière lente et régulière. sous forme de petites gouttes.



Figure V.2 : L'irrigation par goutte à goutte.

Tableau V.2 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte

Avantages	Inconvénient
• Une utilisation optimale de l'eau. car elle est délivrée directement aux racines. • Une réduction significative des pertes par évaporation. • Une meilleure qualité d'irrigation. favorisant la croissance et la santé des plantes.	• Le système présente un coût d'installation et d'entretien relativement élevé. avec une mise en place parfois complexe. • Les goutteurs risquent de se colmater. ce qui peut provoquer une distribution inégale de l'eau.

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

V.1.3 Irrigation par gravité (surface) :

L'irrigation par gravité est une méthode traditionnelle utilisée depuis des siècles. Elle repose sur l'utilisation de la gravité pour acheminer l'eau, à partir d'une source naturelle comme une rivière ou un étang, jusqu'aux champs. L'eau circule généralement à travers des canaux, des tranchées ou des conduites enterrées. Cette technique est surtout adoptée dans les petites exploitations agricoles, lorsqu'une source d'eau est disponible à proximité et qu'il n'est pas envisageable d'installer un système d'irrigation plus coûteux.



Figure V.3 : L'irrigation par gravité (surface)

Tableau V.3 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par surface.

Avantages	Inconvénients
• Une utilisation optimale de l'eau, car elle est délivrée directement aux racines. • Une réduction significative des pertes par évaporation. • Une meilleure qualité d'irrigation, favorisant la croissance et la santé des plantes.	• Le système présente un coût d'installation et d'entretien relativement élevé, avec une mise en place parfois complexe. • Les goutteurs risquent de se colmater, ce qui peut provoquer une distribution inégale de l'eau.

V.1.4 Irrigation par submersion :

L'irrigation par submersion, aussi appelée irrigation par inondation, consiste à recouvrir les champs ou les parcelles d'une couche d'eau. Cette méthode est principalement utilisée pour les cultures très consommatrices en eau, comme le riz, le coton ou la canne à sucre, et convient particulièrement aux sols lourds et argileux. Dans ce système, l'eau est accumulée dans des réservoirs ou des canaux, puis dirigée vers les parcelles, où elle reste en surface jusqu'à ce que le sol en ait absorbé la quantité nécessaire.



Figure V.4 : L'irrigation par submersion

Tableau V.4 : Avantages et inconvénients de l'irrigation par submersion

Avantages	Inconvénients
• Elle permet d'apporter l'eau directement et en continu aux racines, favorisant ainsi la croissance et le rendement des cultures. • Elle présente une faible consommation d'énergie et contribue à une fertilisation naturelle du sol grâce aux sédiments transportés par l'eau.	• Elle peut entraîner des pertes importantes par évaporation. • Elle favorise l'accumulation excessive de sels dans le sol, ce qui peut nuire à la fertilité à long terme.

V.1.5 Irrigation par pivot central :

L'irrigation par pivot central est une technique d'aspersion où des buses, fixées sur une structure mobile, tournent autour d'un pivot, arrosant ainsi une surface circulaire.

Le système est constitué de segments de tuyaux mesurant généralement entre 30 et 60 mètres, reliés entre eux en travées et alimentés en eau au niveau du pivot.

Très répandus à l'échelle mondiale notamment aux États-Unis, en Europe, en Afrique et au Brésil. Les pivots d'irrigation représentent une solution efficace et performante pour irriguer de grandes superficies, en particulier dans les régions à climat aride.

Ces équipements, le plus souvent motorisés par des moteurs électriques, offrent à la fois des avantages économiques (réduction des coûts de main-d'œuvre) et écologiques (meilleure gestion de l'eau et de l'énergie).



Figure V.5 : Irrigation par pivot central

Tableau V.5 : Irrigation par pivot central

Avantages	Inconvénients
• Elle assure une distribution uniforme de l'eau sur les cultures, favorisant une croissance homogène. • Elle présente une consommation d'énergie relativement faible par rapport à d'autres systèmes couvrant de grandes surfaces.	• Coûts élevés : l'installation et la maintenance d'un pivot central nécessitent un investissement important. • Limitation topographique : ce système est moins adapté aux terrains accidentés ou irréguliers.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté et comparé les principales techniques d'irrigation en soulignant leurs avantages et leurs limites.

Après analyse, notre choix s'oriente vers deux systèmes complémentaires :

- l'irrigation par aspersion, adaptée aux grandes superficies et permettant une couverture uniforme des cultures ;
- l'irrigation localisée (goutte-à-goutte), optimisant l'utilisation de l'eau et convenant particulièrement aux cultures exigeantes et sensibles.

L'association de ces deux méthodes représente un compromis efficace entre performance technique, économie d'eau et durabilité des systèmes de production agricole.

Chapitre IV

**Etude du système
d'Adduction Et
Distribution**

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

Introduction :

L'étude d'un système d'adduction et de distribution dans un périmètre irrigué repose sur l'examen de plusieurs composantes essentielles : la source d'eau, les canalisations, les stations de pompage, les réservoirs ainsi que les dispositifs de régulation. Une telle analyse permet non seulement de comprendre le fonctionnement global du réseau, mais aussi de mettre en évidence les points à améliorer afin d'accroître son efficacité et sa rentabilité, tout en réduisant les pertes d'eau.

Dans ce chapitre, nous analyserons l'ensemble des éléments constitutifs du système d'adduction et de distribution de notre périmètre, et nous présenterons les approches et stratégies permettant d'optimiser leur gestion et leur performance.

IV.1 Alimentation en eau du périmètre :

Notre périmètre d'irrigation sera alimenté en eau à partir du réservoir d'Oued Athmania, dont la capacité avoisine les 35 millions de m³. Cette ressource stratégique permet d'assurer l'approvisionnement en eau nécessaire aux cultures durant toute la saison de croissance.

L'eau prélevée sera ensuite dirigée vers le bassin d'expansion de Ouled Hamla, d'une capacité de 300 000 m³, avant d'être distribuée aux parcelles.

IV.2 Choix de la variante d'adduction :

Le choix de la variante la plus appropriée repose sur deux critères essentiels :

- la réduction au minimum des pertes de charge.
- l'adoption d'un tracé économiquement optimal.

Deux options ont été envisagées :

▪ **Variante 1 : Irrigation gravitaire :**

L'irrigation des terres situées immédiatement à l'aval de la conduite de transfert sera assurée par un piquage sur cette conduite principale de 1500 mm de diamètre. L'eau sera ensuite acheminée via une conduite enterrée en fonte pour alimenter l'ensemble du périmètre. Cette solution permet de garantir une pression compatible avec les infrastructures existantes. La variante gravitaire présente l'avantage majeur d'être économique, tout en assurant une irrigation efficace des terres proches de la conduite principale.

▪ **Variante 2 : Irrigation par pompage (à partir d'un réservoir de mise en charge :**

Cette variante prévoit l'alimentation du périmètre via un système de pompage, qui transférera l'eau vers un réservoir de stockage. Ce dispositif permettra de réguler et de maintenir des pressions adéquates, généralement de l'ordre de 2 bars, au niveau des bornes d'irrigation.

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

- Après analyse comparative, le choix définitif s'est porté sur la **variante 01 gravitaire**, en raison de sa simplicité, de son efficacité pour les terres situées à l'aval et de son coût réduit.

IV.3 Le Réseau d'adduction :

L'approvisionnement en eau du périmètre irrigué de Teleghma est assuré par le système de transfert provenant de la retenue de Beni Haroun. Compte tenu de la situation géographique du périmètre et du tracé de la conduite principale, la prise d'eau est prévue sur le tronçon reliant le barrage d'Oued Athmania au réservoir de régulation d'Ouled Hamla.

Selon l'Avant-Projet Détaillé, le volume annuel alloué à l'irrigation du périmètre est estimé à 64.2 millions de m³. Pour garantir une desserte optimale, trois points de piquage ont été définis :

- P1A : situé entre Oued Athmania et la station de pompage d'Oued Seguin. Ce point alimente le secteur Nord via les conduites principales CPN1 et CPN2.
- P2 : positionné entre Oued Seguin et Ouled Hamla. Il donne naissance à la conduite principale CPCO, qui se divise ensuite en CPC et CPO, destinées à alimenter les secteurs Centre et Ouest.
- P3 : localisé à proximité d'Ouled Hamla. Ce point alimente le secteur Est (partie nord via la conduite CPE, partie sud-ouest via la conduite CPSE) ainsi que le secteur Sud grâce à la conduite CPS.

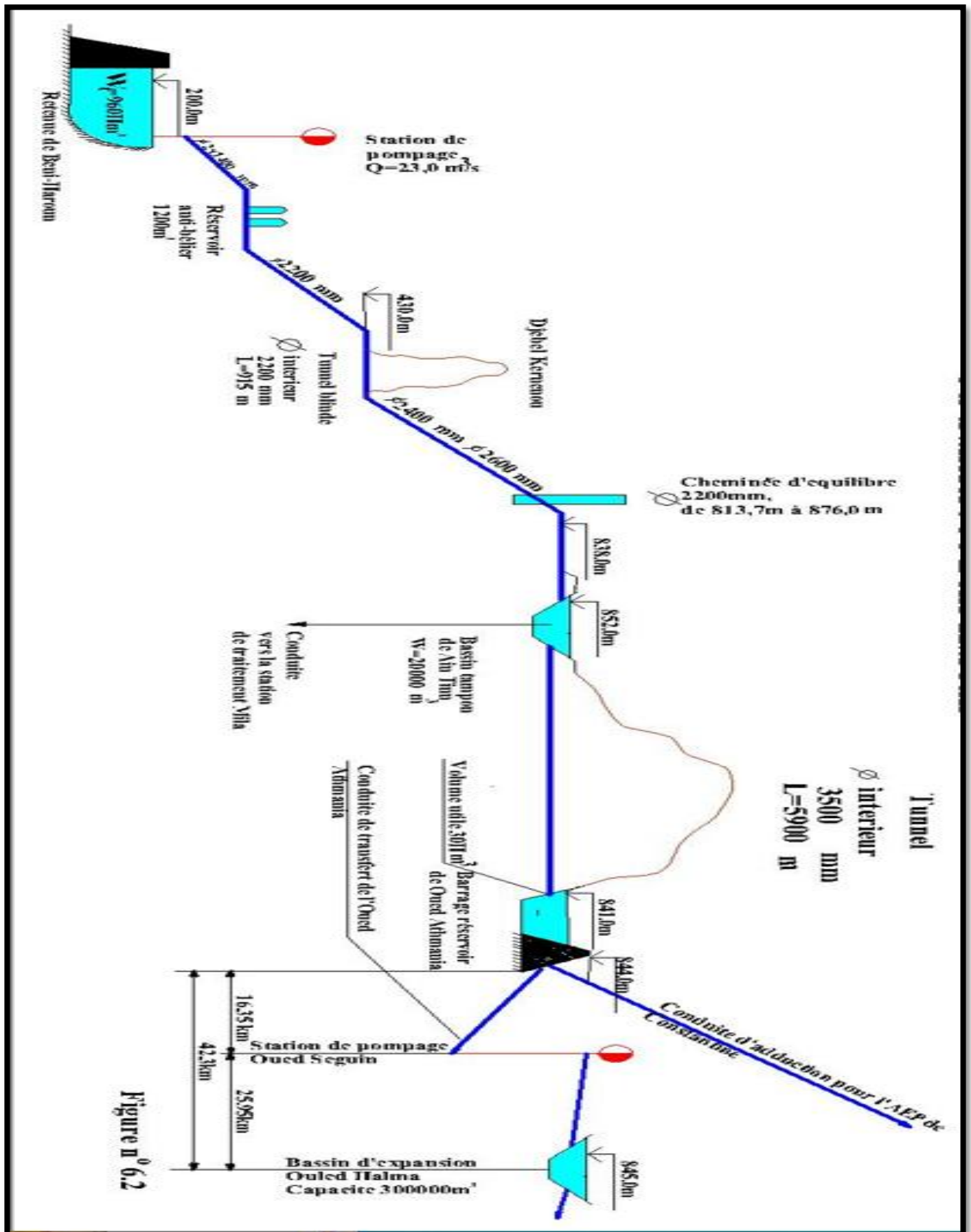


Figure n° 6.2

Figure IV.1 : Schéma explicatif de réseau d'adduction

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

IV.4 Le Réseau de Distribution :

Le réseau de distribution concerne la distribution de l'eau d'irrigation depuis le bassin d'expansion, à partir de la station de pompage, jusqu'aux bornes d'irrigation des îlots du périmètre.

IV.4.1 Organisation et l'aménagement du périmètre :

Notre périmètre englobe 18 îlots dont la superficie varie de 5 à 10 ha, et chaque îlot est à son tour discrétisé en une à deux parcelles.

IV.4.2 Decoupage des îlots :

Un îlot désigne une portion bien délimitée à l'intérieur d'un périmètre irrigué, où l'eau est distribuée de façon ciblée afin de satisfaire précisément les besoins hydriques des cultures qui y sont implantées.

Tableau IV.1 : Les différents îlots du périmètre.

Cultures	Ilots	Nombre de parcelles	Surface (ha)
Pomme de terre (AS)	Ilot 1	2	10
	Ilot 2	2	10
	Ilot 3	1	5
Orge	Ilot 4	2	10
	Ilot 5	2	10
	Ilot 6	2	10
	Ilot 7	1	5
Blé	Ilot 8	2	10
	Ilot 9	2	10
	Ilot 10	2	10
	Ilot 11	1	5
Tomate	Ilot 12	2	10
	Ilot 13	2	10
	Ilot 14	2	10
Olivier	Ilot 15	2	10
	Ilot 16	2	10
	Ilot 17	1	5
Agrumes	Ilot 18	2	10
Total		31	160

IV.4.3 Bornes d'irrigation (Rôle et fonction) :

Une borne d'irrigation est un dispositif essentiel des réseaux d'irrigation agricole, conçu pour contrôler et réguler l'approvisionnement en eau. Installée le long des conduites principales ou secondaires, elle assure la distribution de l'eau vers les différents îlots ou parcelles, selon les besoins spécifiques des cultures.

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

Pour les petites et moyennes exploitations, l'installation des bornes doit respecter certains critères :

- Une seule prise par îlot d'exploitation.
- Un maximum de quatre (04) prises sur une même borne.
- Une implantation en limite des îlots ou, pour les grandes parcelles, au centre de celles-ci afin de faciliter la distribution.

La borne d'irrigation joue un rôle central dans le fonctionnement du réseau, en remplissant plusieurs fonctions clés :

- **Distribution de l'eau** : elle assure l'alimentation des différentes zones de manière contrôlée et ciblée.
- **Régulation du débit** : équipée de vannes, elle permet d'ajuster le volume d'eau fourni en fonction des besoins réels des cultures.
- **Répartition équitable** : en limitant le nombre de prises par borne, elle contribue à une distribution homogène et évite les déséquilibres entre exploitations.
- **Contrôle de la pression** : certaines bornes intègrent des régulateurs de pression, garantissant une irrigation uniforme et évitant les variations préjudiciables à l'efficacité du système.
- **Mesure et suivi** : lorsqu'elles sont équipées de compteurs, elles permettent de quantifier l'eau consommée, facilitant le suivi de la gestion de la ressource et, le cas échéant, la facturation.

IV.4.4 Tracé du réseau d'irrigation :

Le tracé des conduites de distribution est établi en tenant compte de plusieurs paramètres techniques, topographiques, géologiques et géographiques, afin de garantir un écoulement maîtrisé et adapté aux conditions du terrain.

Les principaux critères pris en considération sont :

- La topographie du terrain, qui conditionne les pentes et donc le sens de circulation de l'eau.
- La pédologie, incluant la structure et la texture du sol, sa capacité de rétention en eau ainsi que son humidité relative, afin d'adapter l'irrigation aux caractéristiques physiques du milieu.
- Les conditions climatiques de la zone étudiée, notamment l'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR), qui déterminent les besoins en eau des cultures.
- La nature des cultures à irriguer, dont les exigences hydriques orientent la conception du réseau.
- Le choix du système d'irrigation, en particulier lorsqu'il s'agit d'un réseau sous pression, qui impose des contraintes hydrauliques spécifiques.
- La recherche d'un profil en long adapté, permettant d'éviter les contrepentes susceptibles de perturber l'écoulement.

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

- La minimisation des longueurs de conduites, afin de réduire les coûts d'investissement et d'exploitation.
- La nécessité d'éviter les traversées complexes, qu'il s'agisse d'obstacles naturels (cours d'eau, reliefs) ou artificiels (routes, infrastructures).

IV.4.5 Calcul hydraulique aux bornes :

Le débit spécifique est déterminé à partir des besoins en eau de chaque culture, lesquels ont été préalablement établis en fonction de la répartition culturale du périmètre.

Le calcul du débit attribué à chaque borne, destinée à l'alimentation d'un îlot, s'effectue selon la démarche suivante :

$$Q_b = q_s * S_i \dots\dots\dots (IV.1)$$

Tel que :

- Q_b : Débit de chaque îlot en l/s.
- q_s : Débit spécifique en l/s/ha égal à 1.41 l/s/ha
- S_i : Superficie de l'îlot en ha.

IV.4.6 Implantation des bornes :

La position des bornes d'irrigation découle directement du découpage en îlots, qui a fait l'objet d'une étude spécifique. Les principes généraux retenus pour leur implantation peuvent être résumés comme suit :

- Pour les petites parcelles autonomes, ainsi que pour les îlots regroupant quelques exploitations, les bornes sont installées de préférence en limite de parcelle.
- Pour les grandes parcelles, les bornes sont en règle générale placées au centre, avec une ou plusieurs unités selon la superficie à irriguer.
- Chaque fois que possible, les bornes sont positionnées au point le plus élevé de l'îlot, afin de laisser à l'exploitant une plus grande liberté quant au choix du mode d'irrigation.
- Dans le cas du micro-parcellaire, la desserte de plusieurs petites parcelles est assurée par une borne équipée de plusieurs tubulures (au maximum quatre), pour une surface totale cumulée d'environ 5 hectares.
- Il est recommandé d'éviter, autant que possible, de desservir un même exploitant par plusieurs bornes, afin de simplifier la gestion de l'irrigation.
- Enfin, les bornes doivent être placées au plus près des parcelles à alimenter, afin de limiter les « têtes mortes » trop longues, qui pénaliseraient certains exploitants.

IV.4.7 Choix du diamètre de la borne :

Le choix du type de borne à installer est directement lié à la taille de l'îlot ainsi qu'au nombre de parcelles qu'il regroupe. De manière générale, les règles suivantes sont retenues :

- Pour les îlots de 4 à 8 parcelles et d'une superficie inférieure à 15 hectares, on utilise une borne à quatre prises (type A4).

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

- Pour les îlots de deux parcelles dont la superficie est inférieure à 15 hectares. on privilégie une borne à deux prises (type A2).
- Pour les îlots de deux parcelles mais dont la superficie est supérieure ou égale à 15 hectares. on opte pour une borne à deux prises (type B).
- Enfin. pour les grands îlots dont la superficie est supérieure à 50 hectares. des bornes de type C sont prévues.

Tableau IV.2 : Choix du type et de diamètre de la borne.

Type	Débit fourni	Entrée	Sortie (prise)
Type A2	$Q < (11.11) \text{ l/s}$	1 Entrée $\Phi 80. 100$	2 Entrée $\Phi 65$
Type A4	$Q < (11.11) \text{ l/s}$	2 Entrée $\Phi 80. 100$	4 Entrée $\Phi 65$
Type B	$(11.11 \text{ l/s}) < Q < (22.22 \text{ l/s})$	2 Entrée $\Phi 80. 100.125$	2 Entrée $\Phi 100$
Type C	$Q > (33.33 \text{ l/s})$	2 Entrée $\Phi 80. 100.125$	1 Entrée $\Phi 150$

Tableau IV.3 : Les débits des îlots et les diamètres des bornes.

Cultures	Ilots	Nombre de parcelles	Surface (ha)	Qs (l/s/ha)	Qilot (l/s)	Type de la borne
Pomme de terre (AS)	Ilot 1	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 2	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 3	1	5	1.41	7.05	A2
Orge	Ilot 4	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 5	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 6	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 7	1	5	1.41	7.05	A2
Blé	Ilot 8	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 9	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 10	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 11	1	5	1.41	7.05	A2
Tomate	Ilot 12	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 13	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 14	2	10	1.41	14.1	Type B
Olivier	Ilot 15	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 16	2	10	1.41	14.1	Type B
	Ilot 17	1	5	1.41	7.05	A2
Agrumes	Ilot 18	2	10	1.41	14.1	Type B

IV.5 Matériaux de construction des canalisations :

La sélection du matériau destiné aux conduites d'irrigation dépend de plusieurs critères essentiels. Elle doit notamment tenir compte de la pression de service à supporter. de la nature et de l'agressivité du sol. mais également des aspects économiques tels que le coût. la disponibilité sur le marché local et la production nationale en Algérie. De plus. le choix doit

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

assurer une compatibilité avec les équipements auxiliaires (joints, coudes, vannes, etc.), afin de garantir la fiabilité et la durabilité du réseau.

Parmi les matériaux couramment utilisés pour les conduites d'irrigation, on retrouve : la fonte; (PEHD); (PVC) et l'acier.

➤ Conduites en PEHD :

Les conduites en PEHD présentent plusieurs avantages notables :

- Elles sont légères, faciles à manipuler et à découper, ce qui simplifie leur mise en œuvre sur le terrain.
- Elles offrent de bonnes performances hydrauliques, grâce à leur paroi interne lisse qui réduit les pertes de charge.
- Elles sont largement disponibles sur le marché et se distinguent par une installation simple et rapide.
- Elles sont également relativement économiques, ce qui en fait une solution compétitive pour les réseaux d'irrigation.

Cependant, un inconvénient à prendre en compte est le risque de rupture en cas de mauvaise soudure.

➤ Conduites en fonte :

Les conduites en fonte présentent plusieurs avantages significatifs :

- Elles offrent une excellente résistance aux forces internes, ce qui garantit leur durabilité face aux pressions élevées.
- Elles disposent d'une bonne résistance à la corrosion, leur assurant une longue durée de vie dans différents types de sols.
- Elles se distinguent par leur rigidité et leur solidité, ce qui les rend adaptées aux conditions d'exploitation exigeantes.

En revanche, leur principal inconvénient réside dans leur coût relativement élevé.

➤ Conduites en acier :

Les conduites en acier présentent plusieurs atouts :

- Elles sont plus légères que les conduites en fonte, ce qui réduit les coûts liés au transport et facilite leur mise en place.
- Elles offrent une bonne résistance mécanique, notamment face aux contraintes telles que les chocs ou l'écrasement.

Cependant, leur principal inconvénient reste leur vulnérabilité à la corrosion.

➤ Conduites en PVC :

Les conduites en PVC offrent plusieurs avantages :

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

- Elles présentent une excellente résistance à la corrosion, ce qui garantit leur durabilité dans différents environnements.
- Elles sont facilement disponibles sur le marché, ce qui facilite leur approvisionnement.
- Leur légèreté et leur simplicité d'assemblage rendent leur installation rapide et peu contraignante.

Cependant, leur principal inconvénient réside dans leur fragilité relative, qui les expose à un

IV.6 Dimensionnement du réseau de distribution :

L'ingénieur se trouve face à un défi essentiel : dimensionner les conduites de manière optimale. Cette étape doit concilier deux aspects indissociables :

- d'un côté, les exigences techniques, pour garantir un écoulement régulier et un fonctionnement fiable du réseau ;
- de l'autre, les contraintes économiques, afin de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation.

Ainsi, les diamètres des conduites doivent être choisis en respectant les normes hydrauliques en vigueur, de façon à assurer une circulation de l'eau efficace, durable et adaptée aux besoins réels du périmètre irrigué.

IV.6.1 La vitesse admissible :

Dans la conception hydraulique, la vitesse d'écoulement de l'eau dans les conduites doit rester dans une plage optimale, comprise entre 0.5 m/s (vitesse minimale) et 2.5 m/s (vitesse maximale).

Tableau IV.4 : Vitesses admissibles

Dénomination	Valeurs									
Diamètre (mm)	75-110	125-140	160	200	250	300	350	400	500	600
Vitesse minimale (m/s)	0.20	0.25	0.25	0.35	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitesse maximale (m/s)	1.80	1.85	1.95	2.05	2.15	2.25	2.30	2.50	2.50	2.50

Pour notre projet, nous avons retenu une vitesse de **1.5 m/s**.

IV.6.2 Calcul du diamètre économique :

Le diamètre économique est calculé par la relation de LABYE comme suit :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} * 1000 \dots\dots\dots(IV.2)$$

Avec :

- Q : le débit en mètre cube par second m³/s.
- D : le diamètre exprimé en mm.
- V : la vitesse économique de l'ordre de 1.5 m/s.

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

Tableau IV.5 : Calcul du diamètre économique

Tronçon	L (m)	Débit (l/s)	D calculer (m)	D normaliser (mm)
CPS11-C-4	442.15	225.6	0.464147	500
C-4	157.02	42.3	0.189487	200
C-4'	61.51	28.2	0.154716	160
C-4''	237.94	14.1	0.1094	125
C-4-1	50.14	14.1	0.1094	125
C-5	296.67	211.5	0.423706	500
C-5'	78.78	211.5	0.423706	500
C-5''	293.74	183.3	0.394449	400
C-5-1	95.76	42.3	0.189487	200
C-5-2	271.12	28.2	0.154716	160
C-6	206.28	141	0.345955	315
C-6'	213.11	112.8	0.309431	315
C-6-1	79.1	14.1	0.1094	125
C-7	213.11	98.7	0.289446	315
C-7'	225.78	98.7	0.289446	315
C-7''	234.38	70.5	0.244627	250
C-8	107.09	56.4	0.218801	250
C-8'	178.04	42.3	0.189487	200
C-8''	215.87	14.1	0.1094	125
C-8-1	102.59	14.1	0.1094	125

IV.6.3 Estimation des pertes de charge :

Les pertes de charge unitaires ont été déterminées en utilisant la formule de LECHAPT et CALMON :

$$\Delta H_L = \frac{\lambda \cdot I}{D} * \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (IV.3)$$

Avec :

- **L** : longueur du tronçon en (m).
- **V** : vitesse moyenne d'écoulement en (m/s).
- **I** : gradient hydraulique en (m/m).
- **ΔH_L** : perte de charge en mètre (m).

Le coefficient λ est obtenu par les formules suivantes :

$$\lambda = (1.14 - 0.86 * \ln \left(\frac{\varepsilon}{D} \right))^{-2} \dots \dots \dots (IV.4)$$

- ε : Rugosité absolue égale à 0.002 mm.

Pour déterminer les pertes de charge totales. il est nécessaire de considérer les pertes de charge singulières. qui sont évaluées à environ 10 % des pertes totales.

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

IV.6.4 Estimation des pressions aux bornes et nœuds :

La pression au point x est donnée par la relation suivant :

$$P = H - \Delta H - Z \dots \dots \dots (IV.5)$$

Avec :

- H : Cote piézométrique (m).
- ΔH : Perte de charge Totale (m/m).
- Z : Cote terrain aval (m) de point x.

Les calculs hydrauliques du réseau de distribution de notre secteur sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 : Les résultats de calculs de pression.

Tronçon	L (m)	Débit (l/s)	D normaliser (mm)	V(m/s)	ΔH Total	C terrain	C piezometrique (m)	P (bar)
CPS11-C-4	442.15	225.6	500	1.29	1.067134	763.3	839.49	7.62
C-4	157.02	42.3	200	1.34	1.26	764.0	837.18	7.32
C-4'	61.51	28.2	160	1.40	0.70	763.0	834.53	7.15
C-4''	237.94	14.1	125	1.148	2.53	762.3	834.09	7.18
C-4-1	50.14	14.1	125	1.148	0.53	761.0	831.20	7.02
C-5	296.67	211.5	500	1.07	0.51	760.8	830.21	6.94
C-5'	78.78	211.5	500	1.07	0.13	759.7	828.32	6.86
C-5''	293.74	183.3	400	1.458	1.17	760.5	829.10	6.86
C-5-1	95.76	42.3	200	1.346	0.77	762.2	827.08	6.49
C-5-2	271.12	28.2	160	1.40	3.101	761.0	826.58	6.56
C-6	206.28	141	315	1.81	1.66	760.8	825.21	6.44
C-6'	213.11	112.8	315	1.447	1.12	761.9	824.37	6.25
C-6-1	79.1	14.1	125	1.148	0.84	767.9	833.36	6.55
C-7	213.11	98.7	315	1.266	0.87	766.0	830.25	6.43
C-7'	225.78	98.7	315	1.266	0.92	768.5	832.83	6.43
C-7''	234.38	70.5	250	1.436	1.62	773.5	829.34	5.58
C-8	107.09	56.4	250	1.148	0.48	772.6	827.96	5.54
C-8'	178.04	42.3	200	1.346	1.43	780.0	827.75	4.77
C-8''	215.87	14.1	125	1.148	2.29	765.2	840.00	7.48
C-8-1	102.59	14.1	125	1.148	1.09	763.3	839.49	7.62

▪ Interprétation :

Le tableau des calculs hydrauliques montre des valeurs de vitesse (1.08 à 1.81 m/s) et de pression (4 à 7 bar) conformes aux normes en irrigation. Ainsi, le réseau de distribution est correctement dimensionné, garantissant un débit suffisant, une pression maîtrisée et une répartition homogène de l'eau dans tout le périmètre. On remarquant que la pression est élevé

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

dans C-8'' et C-8-1 donc il faut faire prise de charge pour minimiser les pressions et protéger notre installation.

Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons présenté la conception du système de distribution en mettant l'accent sur :

- le calcul des débits aux bornes d'irrigation.
- la détermination des diamètres des conduites.
- l'évaluation des pertes de charge.
- ainsi que la vérification des pressions dans le réseau.

Le périmètre étudié couvre 160 hectares de superficie nette irriguée, subdivisés en 18 îlots regroupant 31 parcelles. Chaque îlot est desservi par une borne d'irrigation, ce qui assure une distribution homogène de l'eau.

Les pressions enregistrées dans le réseau sont jugées globalement satisfaisantes, atteignant parfois plus de 4 bars, ce qui garantit de bonnes conditions de fonctionnement. Ces performances hydrauliques permettent d'envisager sereinement le recours à des systèmes d'irrigation modernes, tels que l'aspersion ou le goutte-à-goutte, assurant ainsi une gestion rationnelle et efficace de l'eau.

CHAPITRE VI :
Dimensionnement à la
parcelle

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Introduction :

La conception d'un réseau d'irrigation à l'échelle de la parcelle constitue une étape cruciale dans le dimensionnement global d'un périmètre irrigué. Qu'il s'agisse d'un système goutte-à-goutte ou par aspersion, plusieurs paramètres doivent être pris en considération :

- les besoins en eau de la culture.
- la superficie à irriguer.
- les caractéristiques pédologiques du sol.
- la topographie du terrain.
- la disponibilité et la variabilité de la ressource hydrique au cours de la saison culturale.

L'intégration de ces facteurs permet de concevoir un système d'irrigation performant et économe, garantissant une distribution homogène et une utilisation optimale de l'eau.

VI.1 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion :

Un système d'irrigation par aspersion a été installé sur la parcelle de l'îlot 9, d'une superficie de 10 hectares. L'alimentation en eau se fait par une borne hydraulique, dont la pression disponible a été estimée à bars. Cette valeur est largement suffisante pour assurer un fonctionnement correct du réseau et garantir une couverture uniforme.

Données générales de la parcelle :

- **Culture implantée** : blé (céréale d'hiver).
- **Mode de couverture** : couverture totale.
- **Temps de fonctionnement du réseau** : 20 heures/jour sur 26 jours/mois.
- **Besoins en eau maximaux** : 137.4 mm (au mois de mai, période critique).
- **Caractéristiques du sol** : texture limono-argileuse, perméabilité estimée à $K = 20 \text{ mm/h}$.

VI.1.1 Calcul de RFU :

Elle est calculée par la relation suivante :

$$\text{RFU} = Y * (H_{cc} - H_{pf}) * D_a * Z \dots\dots\dots(VI.1)$$

Avec :

- **Y** : coefficient d'assèchement, équivalent à 2/3.
- **Da** : densité apparente, égale à 1.4.
- **Z** : profondeur d'enracinement en millimètres (50 cm).

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

En ce qui concerne l'humidité du sol, nous avons les valeurs suivantes :

- **Hcc** : humidité à la capacité au champ, égale à 27%.
- **Hpf** : humidité au point de flétrissement, égale à 15%.

➤ Application numérique : $RFU = 2/3 * (0.27 - 0.15) * 1.4 * 500 = 56 \text{ mm}$

VI.1.2 Le diamètre de l'ajutage :

On suppose :

$P \leq K$ avec la perméabilité $K=10 \text{ mm/h}$ et P la pluviométrie de l'asperseur. Le diamètre de l'ajutage est donnée par la formule suivante :

$$d = \frac{P * 1.04}{1.5} \dots\dots\dots(VI.2)$$

Avec :

- **P** : La pluviométrie de la buse en mm.
- **d** : Le diamètre de la buse en mm.

On prend $P = 7 \text{ mm/h}$ donc :

$$d = \frac{7 * 1.04}{1.5} = 4.85 \text{ mm}$$

Pour l'irrigation, le choix s'est porté sur des asperseurs de type **A-60**, fabriqués par la société Anabib. Ce modèle a été retenu car il est parfaitement compatible avec les équipements du réseau de distribution, également produits par la même société.

Le tableau suivant représente les caractéristiques de ce type d'asperseur :

Tableau VI.1 : Caractéristiques de l'asperseur du type A60

Diamètre de buse (mm)	Pression (bars)	Consommation d'eau (m3/h)	Portée (m)	Pluviométrie (mm/h) pour un écartement		
				12x12 m	12x18 m	18x18 m
4.0	2.0	0.85	14.4	5.9	3.9	-
	3.0	1.04	15.3	7.2	4.8	3.2
4.5	2.0	1.08	15.0	7.5	5.0	3.3
	3.0	1.32	16.0	9.2	6.1	4.1
5	2.0	1.33	15	9.2	6.1	4.1

On se référant à ce tableau, on prend : $d = 5 \text{ mm}$

Et pour vérifier : $P = \frac{5 * 1.5}{1.04} = 7.2 \text{ mm /h}$

Donc : $P < K$ c'est vérifier.

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI.1.3 Calcul de la portée jet (L) :

La portée du jet se calcule par l'équation suivante :

$$L = 3 * h^{0.25} * d^{0.5} \dots\dots\dots(VI.3)$$

Avec :

- **h** : La pression à la buse en m (9.43 bars dans notre cas) donc $h = 64.9$ m
- **d** : Le diamètre de la buse en mm.

Application numérique : $L = 3 * 64.9^{0.25} * 4.85^{0.5} = 18.75$ m

Pour le diamètre de la buse de 4.85 mm à une pression de 3.0 bars la portée sera de l'ordre de 20.59 m au minimum. D'après la fiche technique d'un arroseur ZB de type Perrot (voir Annexe 5)

VI.1.4 Ecartements entre les rampes et arroseurs :

D'après les normes américaines, l'écartement maximum à respecter varie en fonction de la vitesse du vent :

- **Entre les lignes d'arrosage (El)** : l'écartement recommandé est de **1.3 m** en cas de vent faible et de **1.02 m** lorsque les vents sont forts.
- **Entre les asperseurs sur la rampe (Ea)** : l'écartement est de **0.8 m** pour des vents faibles et de **0.6 m** pour des vents forts

Tableau VI.2 : Coefficients de calcul des écartements

Écartement	Vitesse du vent (km/h)	
	Vent faible (<10 km/h)	Vent fort (>10 km/h)
Entre les lignes d'arrosage (El)	1.3	1.02
Entre les arroseurs sur la rampe (Ea)	0.8	0.6

Dans notre cas : $V = 2.41$ m/s donc $V = 8.67$ km/h donc cas est **vent faible** d'ou :

- $Ea = 0.8 * 18.75 = 15$ m
- $El = 1.3 * 18.75 = 24.37$ m

VI.2 Vérification de la pluviométrie :

La vérification de la pluviométrie constitue une étape essentielle aussi bien dans la conception que dans le suivi des systèmes d'irrigation.

VI.2.1 Débit de l'asperseur :

Le débit d'un asperseur est déterminé à partir de la relation suivante :

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

$$Q_{asp} = 0.95 * \frac{\pi * d^2}{4} * \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots(VI.4)$$

Avec :

- **Qasp** : Le débit d'asperseur en m³ /s.
- **d** : Le diamètre de la buse en m.
- **h** : La pression à la buse en m.

Pour notre cas, nous allons prendre en considération les éléments suivants :

$$Q_{asp} = 0.95 * \frac{\pi * 0.00485^2}{4} * \sqrt{2 * 9.81 * 64.9} = 0.00063 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{2.25 \text{ m}^3/\text{h}}$$

VI.2.2 Vérification de la pluviométrie de l'asperseur :

En considérant que l'écartement est proportionnel à la longueur, la pluviométrie horaire P peut être estimée à l'aide de la relation suivante :

$$P = \frac{Q_{asp}}{E_l * E_a} \dots\dots\dots(VI.5)$$

Avec :

- **Qasp** : Le débit d'asperseur en m³/h.
- **El et Ea** : L'écartement entre les arroseurs et les lignes d'arrosage en m.

Pour notre cas, nous allons prendre en considération les éléments suivants :

$$P = \frac{2.25}{18 * 24} = \mathbf{0.0078 \text{ m/h} = 7.8 \text{ mm/h}}$$

Ainsi, en sélectionnant un diamètre de buse adapté, on obtient une pluviométrie d'environ **7.8 mm/h**, valeur inférieure à la perméabilité du sol (**20 mm/h**). Ce résultat confirme la pertinence du diamètre choisi.

VI.3 Paramètres d'arrosage :

VI.3.1 Calcul du tour d'eau :

Le calcul du tour d'eau s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$T_{eau} = \frac{RFU * N_j}{B_p} \dots\dots\dots(VI.6)$$

Avec :

- **Teau** : Le tour d'eau en jours.
- **Nj** : Nombre de jour de travail par mois.
- **Bp** : le besoin du mois de pointe.

➤ Application numérique : $T_{eau} = \frac{56 * 26}{137.4} = 10.6 \text{ jours} \approx \mathbf{11 \text{ jours}}$

Donc pour le nombre d'irrigation par mois : on irrigue trois fois par mois.

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI.3.2 Calcul de la dose réelle :

La détermination de la dose réelle s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Dose}_{\text{réelle}} = T_{\text{eau}} * \text{Dose}_{\text{journalier}} \dots\dots\dots(\text{VI.7})$$

Avec :

Dose_{journalier} = Besoins de pointes : 137.4 mm/mois en jour = 4.58 mm/jour.

Application numérique : $\text{Dose}_{\text{réelle}} = 11 * 4.58 = \mathbf{50.38 \text{ mm}}$

VI.3.3 Calcul de la dose brute :

Le calcul de la dose brute s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Dose}_{\text{brute}} = \frac{\text{Dose}_{\text{réelle}}}{0.75} \dots\dots\dots(\text{VI.8})$$

Application numérique : $\text{Dose}_{\text{brute}} = \frac{50.38}{0.75} = \mathbf{67.17 \text{ mm}}$

VI.3.4 Temps d'arrosage :

Le calcul du temps d'arrosage par position, tout en veillant à ne pas dépasser la capacité d'infiltration du sol, s'effectue selon la méthode suivante :

$$T_a = \frac{\text{Dose}_{\text{brute}}}{K} \dots\dots\dots(\text{VI.9})$$

Application numérique : $T_a = \frac{67.17}{20} = 3.36 \text{ heures} \approx \mathbf{4 \text{ heures}}$

Ainsi, il est possible de réaliser jusqu'à **N_p = 5 cycles** d'arrosage par jour pour un asperseur, tout en respectant une durée totale maximale de 20 heures.

VI.3.5 Calcul de l'unité d'arrosage :

Le calcul de l'unité d'arrosage s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$S_u = \frac{S_{\text{parcelle}}}{T_{\text{eau}} * N_p} \dots\dots\dots(\text{VI.10})$$

Application numérique : $S_u = \frac{10}{11 * 5} = \mathbf{0.18 \text{ ha}}$

VI.3.6 Calcul du débit d'équipement :

Le Calcul du débit d'équipement s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$Q_{\text{eq}} = \frac{S * B_p * 10}{T_a * N_p * N_j * 0.75} \dots\dots\dots(\text{VI.11})$$

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Application numérique : $Q_{\text{éq}} = \frac{10 * 137.4 * 10}{4 * 5 * 26 * 0.75} = 35.23 \text{ m}^3/\text{h}$

VI.3.7 Calcul du volume fourni par un asperseur par mois :

Le calcul du volume mensuel fourni par un asperseur s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$V = Q_{\text{asp}} * N_p * T_a * N_j \dots\dots\dots(\text{VI.12})$$

Application numérique : $V = 2.7 * 5 * 4 * 26 = 1404 \text{ m}^3$

VI.3.8 Calcul du volume à épandre en un mois sur toute la parcelle :

Le calcul du volume à épandre en un mois sur toute la parcelle s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$V_t = B_p * \frac{\text{Largeur terrain} * \text{Longueur terrain}}{1000} \dots\dots(\text{VI.13})$$

Tel que :

- Longueur du terrain : 250 m.
- La largeur du terrain : 74.8 m.

Application numérique : $V_t = 137.4 * \frac{78.08 * 148}{1000} = 1587.77 \text{ m}^3$

VI.3.9 Calcul du nombre d'asperseurs requis :

Le calcul du nombre d'asperseurs requis s'effectue à l'aide de la relation suivante :

$$N_{\text{asp}} = \frac{S_u * 10000}{E_l * E_a} \dots\dots\dots(\text{VI.14})$$

Application numérique : $N_{\text{asp}} = \frac{0.18 * 10000}{18 * 24} = 8.33 \approx 9 \text{ asperseurs}$

VI.4 Calcul hydraulique du réseau d'irrigation par aspersion :

Le dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion constitue une étape clé dans la conception d'un système d'irrigation performant. Il requiert la prise en compte de plusieurs paramètres afin de garantir une distribution homogène de l'eau sur l'ensemble de la surface à irriguer.

VI.4.1 La longueur de la rampe :

Deux configurations peuvent être envisagées pour l'installation des asperseurs sur la rampe :

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

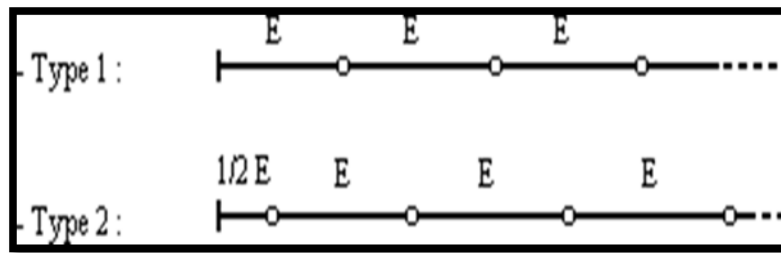


Figure VI.1 : Mécanismes de fixation des arroseurs sur la rampe.

La longueur de la rampe est calculée de la manière suivante :

- Pour le type 1 : $L = N \times E$.
- Pour le type 2 : $L = (N + 0.5) \times E$.

Par conséquent, la longueur de la rampe se détermine à l'aide de la formule suivante :

$$L_r = \frac{\text{Largeur} - E_a}{2} \dots\dots\dots(\text{VI.15})$$

Application numérique : $L_r = \frac{78.07 - 18}{2} = 30.03 \text{ m}$

Le nombre d'asperseurs par rampe est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$N_{\text{asperseur}} = \frac{L_r}{E_l} \dots\dots\dots(\text{VI.16})$$

Application numérique : $N_{\text{asperseur}} = \frac{28.53}{24} = 1.18 \approx 2 \text{ asperseurs}$

VI.4.2 Dimensionnement de la rampe :

Le débit de la rampe est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{\text{ramp}} = Q_{\text{asp}} * N_{\text{asperseur}} \dots\dots\dots(\text{VI.17})$$

Application numérique : $Q_{\text{ramp}} = 2.25 * 2 = 4.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Le nombre de positions des rampes est obtenu en divisant la longueur totale de la zone par l'écartement entre les rampes :

$$N_{\text{rampe}} = \frac{\text{Longueur terrain}}{E_l} \dots\dots\dots(\text{IV.18})$$

Application numérique : $N_{\text{rampe}} = \frac{148}{24} = 6.16 \approx 7 \text{ rampes}$

VI.4.3 Calcul du diamètre de la rampe :

Le diamètre de la rampe est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$D_r = \sqrt{\frac{4 * Q_{\text{ramp}}}{\pi * V}} \dots\dots\dots(\text{IV.19})$$

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Avec :

- **Q_r** : le débit exprimé en m³ /s.
- **D_r** : le diamètre exprimé en mm.
- **V** : la vitesse économique de l'ordre de 1 m/s.

Application numérique : $D_r = \sqrt{\frac{4 * 4.5}{\pi * 1 * 3600}} = \mathbf{0.04 \text{ m}}$

Donc le diamètre normaliser est **D = 50 mm**.

On choisi le diamètre normalisé de **63 mm** a été retenu pour la conduite en PEHD. afin de réduire au minimum les pertes de charge

Donc :

$$V = \frac{4 * Q_{\text{ramp}}}{\pi * D_r^2} \dots\dots\dots (IV.20)$$

Application numérique : $V = \frac{4 * 4.5}{\pi * 3600 * 0.050^2} = \mathbf{0.64 \text{ m/s}}$

VI.4.4 Calcul de la perte de charge de la rampe :

Les pertes de charge sont déterminées à l'aide de la formule de Hazen-Williams :

$$J = \left(\frac{3.592}{CH} \right)^{1.852} * \frac{L}{D_r^{4.87}} * Q_r^{1.852} \dots\dots\dots (IV.21)$$

Avec :

- **J** : représente la perte de charge linéaire en m.
- **CH** : est le coefficient de Hazen-Williams (130-140) pour les conduites en fonte ou en PEHD).
- **D** : correspond au diamètre de la canalisation. exprimé en mètres.
- **L** : représente la mesure de la longueur de la conduite. en mètres.

Application numérique : $J = \left(\frac{3.592}{130} \right)^{1.852} * \frac{148}{0.050^{4.87}} * \left(\frac{4.5}{3600} \right)^{1.852} = \mathbf{1.75 \text{ m}}$

VI.5 Dimensionnement de la porte rampe :

VI.5.1 Longueur de la porte rampe :

La longueur du port-rampe est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$L_{\text{pr}} = \text{Longueur terrain} - \frac{E_l}{2} \dots\dots\dots (IV.22)$$

Application numérique : $L_{\text{pr}} = 148 - \frac{24}{2} = \mathbf{136 \text{ m}}$

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI.5.2 Débit de la porte rampe :

Le diamètre de la rampe est déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$Q_{pr} = Q_r * N_r \dots\dots\dots(IV.23)$$

Application numérique : $Q_{pr} = 4.5 * 9 = 40.5 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{0.011 \text{ m}^3/\text{s}}$

VI.5.3 Calcul du diamètre de la porte rampe :

Le diamètre de la porte-rampe est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$D_{pr} = \sqrt{\frac{4 * Q_{pr}}{\pi * V}} \dots\dots\dots(IV.24)$$

Avec :

- **Q_{pr}** : le débit exprimé en m³ /s.
- **D_r** : le diamètre exprimé en mm.
- **V** : la vitesse économique de l'ordre de 2 m/s.

Application numérique : $D_{pr} = \sqrt{\frac{4 * \mathbf{0.011}}{\pi * 2}} = 0.083 \text{ m}$

Donc le diamètre normaliser est **D_{pr} = 110 mm.**

On choisi le diamètre normalisé de **125 mm** a été retenu pour la conduite en PEHD. afin de réduire au minimum les pertes de charge.

D'où :

$$V = \frac{4 * Q_{pr}}{\pi * D_{pr}^2} \dots\dots\dots(IV.25)$$

Application numérique : $V = \frac{4 * \mathbf{0.011}}{\pi * 0.125^2} = \mathbf{0.89 \text{ m/s}}$

VI.5.4 Calcul de la perte de charge de la porte rampe :

Les pertes de charge sont calculées en appliquant la formule de Hazen-Williams :

$$J = \left(\frac{3.592}{CH} \right)^{1.852} * \frac{L}{D_{pr}^{4.87}} * Q_{pr}^{1.852} \dots\dots\dots(IV.26)$$

Application numérique : $J = \left(\frac{3.592}{130} \right)^{1.852} * \frac{139}{0.125^{4.87}} * 0.011^{1.852} = \mathbf{0.81 \text{ m}}$

VI.6 Les résultats du dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion

Les résultats obtenus lors du dimensionnement sont résumés dans le tableau ci-après :

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Tableau VI.3 : Résultats de calcul pratique du réseau d'irrigation par aspersion.

Conduites	Rampe	Porte Rampe
Longueur (m)	30.03	136
Diamètre (mm)	50	125
Débit (m ³ /s)	0.0045	0.011
Vitesse (m/s)	0.64	0.89
Perte de charge (m)	1.75	0.81

VI.7 Dimensionnement du réseau d'irrigation goutte à goutte :

Le système d'irrigation goutte à goutte est installé sur la parcelle (ilot 7), d'une superficie de 5 hectares, dont la pression disponible est estimée à 7.42 bars, une valeur largement suffisante pour assurer son irrigation.

Données générales :

- Choix de la culture : Olivier.
- Un écartement entre arbre de 4 m (Sa), et un espacement entre rangs de 4 m (Sr).
- Besoins de pointes : 137.4 mm/mois pour le mois de Mai.
- Surface brute de la parcelle: 5 ha.
- Longueur (L_{ngp}) : 177.49 m.
- Largeur (L_{rgp}) : 78.78 m.

Caractéristique du goutteur :

- Débit nominal : 4 L/h, pour une pression nominale de 10 m.c.e.
- Nombre de goutteurs : 2 par arbre.
- Espacement entre goutteurs : 2 m

VI.7.1 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation goutte à goutte :

Les besoins en irrigation des cultures sous-système goutte à goutte sont évalués en tenant compte de plusieurs facteurs.

VI.7.2 Impact du taux de couverture du sol :

Dans le cadre de la micro-irrigation, où les apports d'eau sont concentrés sur une partie réduite de la surface du sol, un coefficient de réduction est appliqué à l'évapotranspiration de référence (ETM), en fonction du taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) pour les plantes adultes.

Ce coefficient de réduction (K_r) est déterminé à l'aide de la formule de Freeman et Garzoli :

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

$$K_r = C_s + 0.5 * (1 - C_s) \dots\dots\dots(IV.27)$$

Cette formule permet d'estimer le K_r en fonction du taux de couverture du sol (C_s), exprimé en pourcentage.

D'où : $K_r = 0.6 + 0.5 * (1 - 0.6) = 0.8$

Le coefficient K_r est utilisé pour ajuster les besoins réels en eau des cultures en micro-irrigation, en considérant la surface limitée du sol effectivement arrosée.

$$B_{nets} = B_j * K_r \dots\dots\dots(IV.28)$$

D'où : $B_{nets} = \frac{139}{30} * 0.8 = 3.70 \text{ mm/jour}$

VI.7.3 Calcul de la dose nette :

La dose nette est déterminée à partir de la hauteur d'eau P , selon l'équation suivante :

$$\text{Dose}_{\text{nette}} = (H_{CC} - H_{PF}) * D_a * Y * Z * P(\%) \dots\dots\dots(IV.29)$$

Avec :

- **H_{CC}** : représente la hauteur d'eau de capacité au champ (27 %).
- **H_{PF}** : représente la hauteur d'eau du point de flétrissement permanent (15%).
- **D_a** : Densité apparente du sol (on prend $D_a = 1.4$)
- **Y** : Coefficient qui dépend de la nature du sol (on prend $Y=2/3$).
- **Z** : Profondeur racinaire dépend de culture en (mm) on prend 1500 m (Olivier)
- **P(%)** : correspond au taux de saturation du sol en eau.

La valeur de **P%** est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$P(\%) = \frac{N * S_{pd} * S_h}{S_a * S_r} \dots\dots\dots(IV.30)$$

Avec :

- **N** : étant le nombre de points de distribution par arbre.
- **S_{pd}** : étant la distance entre deux points de distribution voisins du même arbre (m).
- **S_h** : étant la largeur de la bande humidifiée.
- **S_r** : étant l'écartement entre les rangs d'arbres.
- **S_a** : étant l'espacement des arbres sur les rangs.

D'où : $P(\%) = \frac{2 * 2 * 1}{4 * 4} = 25\%$

Donc : $\text{Dose}_{\text{nette}} = (0.27 - 0.15) * 1.4 * \frac{2}{3} * 1500 * 0.25 = 42 \text{ mm.}$

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI.7.4 Fréquence et intervalle des arrosages (Fr) :

L'intervalle entre deux arrosages (tour d'eau) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$F_r = \frac{Dose_{nette}}{B_{nets}}(IV.31)$$

D'où : $F_r = \frac{42}{3.70} = 11.35 \text{ jours}$

On peut adopter une fréquence d'arrosage de **12 jours**. ce qui correspond à environ **trois irrigations par mois**.

VI.7.5 Calcul de la dose brute :

La nouvelle dose pratique (Dp') est recalculée à l'aide de la formule suivante :

$$D_p' = F_r * B_{nets}(IV.32)$$

D'où : $D_p' = 12 * 3.70 = 44.4 \text{ mm}$

Le besoin brute est ensuite calculé à l'aide de la formule suivante :

$$D_{brute} = \frac{D_p'}{Eff * Cu}(IV.33)$$

Avec :

- **Eff** : représente l'efficience du réseau d'irrigation (**90%**).
- **Cu** : représente le coefficient d'uniformité (**90%**).

D'où : $D_{brute} = \frac{44.44}{0.9 * 0.9} = 54.86 \text{ mm}$

VI.7.6 Durée d'arrosage :

La durée d'arrosage est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$h = \frac{D_{brute} * S_a * S_r}{n * Q_g}(IV.34)$$

Avec :

- **D_{brute}**: représente le besoin brut calculé précédemment .
- **S_a** et **S_r** : sont respectivement l'espacement entre les arbres. les rangs.
- **n** : est le nombre de goutteurs (2).
- **Q_g** : est le débit du goutteur (4 l/h).

D'où : $h = \frac{54.86 * 4 * 4}{2 * 4} = 109.72 \text{ h/mois.}$

VI.7.7 Durée d'arrosage journalier :

La durée d'arrosage journalier est déterminée à l'aide de la formule suivante :

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

$$D_j = \frac{h}{F_r} \dots\dots\dots(IV.35)$$

D'où : $D_j = \frac{109.72}{12} = 9.14 \text{ h/jour.}$

VI.7.8 Nombre d'arbre par hectare :

La formule pour calculer le nombre d'arbre par hectare est la suivante :

$$N_{\text{arbre}} = \frac{1 \text{ ha}}{S_a * S_r} \dots\dots\dots(IV.36)$$

D'où : $N_{\text{arbre}} = \frac{10000}{4 * 4} = 625 \text{ arbres}$

VI.7.9 Nombre d'arbre par rampe :

La formule pour calculer le nombre d'arbre par rampe est la suivante :

$$N_{\text{a rampe}} = \frac{L_{\text{rgp}}}{S_a} \dots\dots\dots(IV.37)$$

D'où : $N_{\text{a rampe}} = \frac{78.78}{4} = 20 \text{ arbres}$

VI.7.10 Nombre des goutteurs par rampe :

La formule pour calculer le nombre des goutteurs par rampe est la suivante :

$$N_g = \frac{L_{\text{rgp}}}{S_a} * 2 \dots\dots\dots(IV.38)$$

D'où : $N_g = \frac{78.78}{4} * 2 = 40 \text{ goutteurs.}$

VI.7.11 Débit d'une rampe :

Le débit d'une rampe se détermine à partir de la formule suivante :

$$Q_{\text{rampe}} = N_g * q_g \dots\dots\dots(IV.39)$$

D'où : $Q_{\text{rampe}} = 40 * 4 = 160 \text{ l/h.}$

VI.7.12 Nombre de rampes :

Pour trouver le nombre de rampes. on utilise la formule suivante :

$$N_{\text{rampes}} = \frac{L_{\text{ngp}}}{S_r} \dots\dots\dots(IV.40)$$

D'où : $N_{\text{rampes}} = \frac{177.49}{4} = 45 \text{ rampes}$

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI.7.13 Débit de porte rampe :

La relation utilisée pour calculer le débit de la porte rampe est la suivante :

$$Q_{pr} = Q_r * N_{rampes} \dots\dots\dots(IV.41)$$

Donc : $Q_{pr} = 160 * 45 = 7200 \text{ l/h}$

VI.8 Calcul hydraulique du réseau d'irrigation goutte à goutte :

Le dimensionnement hydraulique du réseau d'irrigation goutte à goutte consiste à estimer les paramètres hydrauliques essentiels. tels que les diamètres. les pressions et les pertes de charge. afin de garantir un fonctionnement optimal du système.

VI.8.1 Diamètre de la rampe :

Pour connaître le diamètre de la rampe. on applique la formule suivante :

$$D_{rampe} = \left(\frac{J_{th} * 2.75}{0.478 * Q_r^{1.75} * L_{rgp}} \right)^{\frac{-1}{4.75}} \dots\dots\dots(IV.42)$$

- J_{th} : est la perte de charge admissible égale à 1.4

D'où : $D_{rampe} = \left(\frac{1.4 * 2.75}{0.478 * 160^{1.75} * 78.78} \right)^{\frac{-1}{4.75}} = 10.48 \text{ mm} \rightarrow D_{rampe} = 12 \text{ mm}$

Calcule de pertes de charge de la rampe :

$$J_{cal} = \frac{0.478 * L_{rgp} * D_r^{-4.75} * Q_r^{1.75}}{2.75} \dots\dots\dots(IV.43)$$

D'où : $J_{cal} = \frac{0.478 * 78.78 * 12^{-4.75} * 160^{1.75}}{2.75} = 0.74 \text{ m}$

$P_{dc} = 0.74 \text{ m} < 1.4$ la condition est vérifiée.

Tableau VI.4 : Caractéristiques des rampes.

Cultures	L'olivier
Lrgp (m)	78.78
Ng	40
Qramp(l/h)	160
J th (m)	1.4
D calculer (mm)	10.48
D normaliser (mm)	12
J calculer (m)	0.74

VI.8.2 Diamètre de la porte rampe :

La formule pour calculer le diamètre de la rampe est la suivante :

$$D_{pr} = \left(\frac{J_{th} * 2.75}{0.478 * Q_{pr}^{1.75} * L_{ngp}} \right)^{\frac{-1}{4.75}} \dots\dots\dots(IV.44)$$

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

D'où :
$$D_{pr} = \left(\frac{0.8 * 2.75}{0.478 * 7200^{1.75} * 177.49} \right)^{\frac{-1}{4.75}} = 56.89 \text{ mm} \rightarrow D_{pr} = 63 \text{ mm}$$

Calcule de pertes de charge de la porte rampe :

$$J_{cal} = \frac{0.478 * L_{ngp} * D_{pr}^{-4.75} * Q_{pr}^{1.75}}{2.75} \dots\dots\dots(IV.45)$$

D'où :
$$J_{cal} = \frac{0.478 * 177.49 * 63^{-4.75} * 7200^{1.75}}{2.75} = 0.49 \text{ m}$$

$J_{cal} = 0.49 \text{ m} < 0.8$ la condition est vérifiée.

Tableau VI.5 : Caractéristiques des portes rampes.

Cultures	L'olivier
Lrgp (m)	78.78
Ng	40
Qramp(l/h)	7200
J th (m)	0.8
D calculer (mm)	56.89
D normaliser (mm)	63
J calculer (m)	0.49

Conclusion :

On conclut dans ce chapitre que :

- Le dimensionnement d'un réseau par aspersion pour la culture du blé (îlot 9. 10 ha) a montré que :
 - le besoin maximal en eau atteint 137.4 mm au mois de mai.
 - la pression disponible à la borne est largement suffisante.
 - les diamètres retenus (50 mm et 200 mm) permettent d'obtenir des vitesses correctes (0.76 m/s et 1.37 m/s) et des pertes de charge limitées (1.34 m et 2.45 m).
- Le dimensionnement du réseau goutte-à-goutte pour la culture de l'olivier(îlot 17. 10 ha) a permis de déterminer que :
 - le débit total de la rampe est de 7200 l/h avec 40 goutteurs.
 - le diamètre calculé (56.89 mm) a été normalisé à 63 mm.
 - la pente calculée (0.49 m) est très proche de la valeur théorique (0.80 m). garantissant une bonne homogénéité d'irrigation.

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

- L'adoption de ces deux systèmes d'irrigation permet :
 - Une utilisation rationnelle et économe de l'eau.
 - Une distribution homogène adaptée aux cultures.
 - Une amélioration des rendements agricoles et une gestion durable de la ressource hydrique.

CHAPITRE VII:
Etude technico-économique

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

Introduction :

Dans ce chapitre, l'analyse du devis quantitatif et de la liste prévisionnelle nous a permis d'estimer le coût de mise en œuvre du projet d'irrigation proposé. Cette évaluation inclut à la fois la détermination des quantités de matériaux nécessaires et la planification des différentes opérations à réaliser sur le terrain.

Plus précisément, elle concerne :

- **Le réseau de distribution** : comprenant l'ensemble des éléments nécessaires pour assurer une répartition efficace et ciblée de l'eau vers les différentes zones de la parcelle.
- **Le réseau d'irrigation (par aspersion et goutte à goutte)** : incluant la mise en place des conduites, asperseurs, pompes, vannes et autres équipements indispensables pour garantir un apport d'eau homogène et maîtrisé aux cultures.

VII.1 Différents travaux à entreprendre :

Travaux relatifs au réseau de distribution.

Les interventions à réaliser pour la mise en place du réseau de distribution comprennent les tâches suivantes :

VII.1.1 Exécution des tranchées :

La réalisation des travaux de terrassement dépend des caractéristiques du terrain.

L'excavation est, en règle générale, exécutée mécaniquement au moyen d'une pelle mécanique. La profondeur minimale des tranchées est fixée à 1.00 m, tandis que leur largeur doit permettre l'intervention d'un opérateur sans difficulté ; elle est augmentée en fonction du diamètre des conduites à poser.

L'ouverture des tranchées s'effectue par sections successives, afin d'assurer une progression maîtrisée et continue le long du tracé.

VII.1.2 Pose du lit de sable :

Le lit de pose a pour rôle principal d'assurer une répartition uniforme des charges sur la zone de support. Il est donc essentiel de poser les conduites de manière à éviter tout appui linéaire ou ponctuel.

Avant la mise en place des tuyaux, plusieurs opérations préliminaires doivent être réalisées :

- Élimination des grosses pierres présentes sur les talus de la tranchée.
- Vérification et respect des dimensions prévues dans le profil en long du projet.
- Nivellement soigneux du fond de la tranchée afin d'obtenir une surface plane.
- Mise en place d'un lit de pose à l'aide de sable.

Dans notre cas, une épaisseur de 20 cm est prévue pour le lit de pose.

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

Ces dispositions permettent d'assurer une base solide et homogène pour la mise en place des conduites, garantissant ainsi une répartition uniforme des charges sur l'ensemble du réseau.

L'utilisation d'un lit de sable contribue à la stabilisation des conduites et limite les risques de déformation ou de détérioration, aussi bien lors de la pose que durant l'exploitation du système.

VII.1.3 Mise en place des canalisations :

L'installation des conduites s'effectue selon une procédure rigoureuse afin de garantir leur stabilité et leur bon fonctionnement. Les principales étapes sont les suivantes :

- Les conduites sont posées à partir de l'extrémité aval, l'emboîture étant toujours orientée vers l'amont.
- Chaque élément est placé avec soin dans la tranchée, en assurant un alignement parfait avec le tuyau précédemment installé.
- Le fond de fouille est rectiligne, permettant un appui continu des tuyaux sur toute leur longueur ; les grosses pierres présentes dans les talus de la tranchée sont systématiquement retirées.
- Une excavation localisée est prévue au niveau des emboîtements afin d'éviter que ceux-ci ne reposent directement sur le sol.
- Dans la mesure du possible, un appui en arc est réalisé de manière à ce que le tuyau repose sur environ le quart de sa circonférence extérieure.

Ces dispositions permettent d'assurer une pose précise et stable des conduites, garantissant un alignement correct et une bonne tenue mécanique. En respectant ces étapes, on contribue à la durabilité du réseau d'irrigation et à son fonctionnement optimal.

Les conduites en polyéthylène haute densité (PEHD) sont disponibles sous deux formes principales :

- En barres rigides de 6 à 12 mètres de longueur.
- En couronnes souples pouvant atteindre de 50 à 100 mètres, idéales pour limiter le nombre de raccords.

Pour assurer leur jonction, deux procédés sont utilisés selon le diamètre des conduites :

➤ **Raccordement mécanique par emboîtement :**

- ✓ Employé pour les conduites de diamètre inférieur ou égal à 63 mm.
- ✓ Les tuyaux sont simplement emboîtés les uns dans les autres, offrant une liaison rapide, étanche et résistante.

➤ **Raccordement électro-soudable :**

- ✓ Utilisé pour les conduites de diamètres plus importants.
- ✓ Ce procédé repose sur des raccords spéciaux en PEHD munis d'un emboîtement femelle contenant une résistance chauffante intégrée.

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

- ✓ Lors de l'opération, cette résistance est reliée à des bornes électriques situées à l'entrée du raccord. Sous l'effet de la chaleur, les parois internes du raccord et externes du tuyau se ramollissent et se soudent entre elles, garantissant une connexion homogène, étanche et très robuste.

Le soudage électro-soudable des conduites en polyéthylène haute densité (PEHD) suit un cycle précis :

- ✓ Phase de chauffage : la résistance intégrée chauffe le raccord, ce qui ramollit le matériau et permet la fusion des surfaces en contact (durée ≈ 1 minute).
- ✓ Phase de refroidissement : une période d'environ 1 heure est nécessaire pour garantir une solidification complète et homogène de la soudure.

Durant ces deux étapes, il est indispensable de :

- maintenir un alignement parfait des conduites.
- assurer un serrage constant des tuyaux.
- utiliser des positionneurs adaptés pour éviter tout mouvement ou désajustement.

Ces précautions permettent d'obtenir une connexion parfaitement étanche et durable, capable de résister à la pression et aux contraintes mécaniques du réseau.

VII.1.4 Epreuve de joint et de la canalisation :

Afin de garantir la sécurité et la fiabilité du réseau, un test de pression doit être réalisé avant le remblayage des conduites.

- Méthode utilisée : le test s'effectue à l'aide d'une pompe d'essai, en remplissant la conduite d'eau sous une pression équivalente à 1.8 fois la pression de service prévue en fonctionnement normal.
- Durée de l'essai : environ 30 minutes.
- Tolérance admise : durant cette période, la variation de pression ne doit pas dépasser 0.2 bar.

Ce contrôle permet de vérifier :

- ✓ l'étanchéité des joints.
- ✓ la résistance des conduites aux contraintes hydrauliques.
- ✓ l'absence de fuites ou de défaillances potentielles.

L'essai de pression constitue donc une étape cruciale avant la mise en service du système d'irrigation. En respectant cette procédure, on garantit un réseau fiable, limitant les pertes d'eau et réduisant les risques de dommages ultérieurs.

VII.1.5 Nivellement et compactage :

Le nivellement constitue une étape essentielle pour obtenir une surface plane et régulière, garantissant ainsi une bonne stabilité du sol autour des conduites enterrées. Un étalage homogène du sol permet d'éviter les irrégularités et les poches d'air susceptibles de fragiliser le système d'irrigation.

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

Une fois le sol nivelé, il est indispensable de procéder au compactage. Cette opération consiste à comprimer le sol afin d'augmenter sa densité, ce qui améliore sa stabilité et limite les risques de tassement ou de déplacement ultérieur.

En combinant nivellement et compactage, on assure une assise solide et durable pour les conduites, contribuant ainsi à la fiabilité et à la longévité du réseau d'irrigation.

VII.1.6 Choix des engins du chantier :

➤ Pelle hydraulique équipée en rétro :

La pelle équipée en rétro est un engin de terrassement monté sur roues ou sur chenilles, utilisé pour excaver ou charger des matériaux grâce à un godet placé à l'extrémité d'un bras articulé. Son fonctionnement repose principalement sur une transmission hydraulique (pelle hydraulique), mais peut aussi être assuré par des câbles (pelle à câble).

Dans le cadre des travaux de terrassement, notamment pour l'exécution des déblais lors de l'excavation de la tranchée de semelle, on emploie généralement une pelle hydraulique en rétro.

Elle se compose de :

- Un châssis porteur (truck), qui assure la mobilité et la stabilité de l'engin.
- Une cabine pivotante, montée sur le châssis et capable de tourner autour d'un axe vertical grâce à des vérins hydrauliques jouant le rôle de flèche et de bras.
- Un godet, équipé de dents d'attaque en acier au manganèse très dur, garantissant une capacité de pénétration efficace dans les sols compacts.



Figure VII.1 : Pèle équipée en rétro

➤ Bulldozer :

Le bulldozer est un engin de terrassement puissant, monté sur chenilles ou sur pneus, principalement utilisé pour préparer les terrains et dégager les obstacles. Sa performance est

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

liée à la puissance de son tracteur, généralement comprise entre 25 et 40 chevaux, ainsi qu'à la longueur de sa lame frontale, qui peut varier de 1.8 à 6 mètres.

Grâce à cette combinaison, le bulldozer est particulièrement adapté aux travaux de terrassement nécessitant une grande force de poussée et une capacité de nivellement efficace.



Figure VII.2 : Le Bulldozer

➤ Les chargeurs :

Le chargeur (ou chargeuse) est un engin de chantier polyvalent, équipé d'un corps automoteur articulé et d'un godet frontal de grande capacité. Ce godet, monté à l'avant, peut se déplacer verticalement et pivoter autour de son axe porteur, ce qui le rend idéal pour le chargement, le déplacement et le déversement de matériaux en vrac.

Pour les travaux de plus petite envergure, on privilégie l'utilisation du rétrochargeur, qui combine les fonctions de pelle hydraulique et de chargeur, offrant ainsi une plus grande flexibilité sur les chantiers.



Figure VII.3 : Le chargeur

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

➤ Camion à benne :

Le camion à benne basculante, couramment appelé camion benne, est un véhicule de chantier conçu pour le transport de matériaux en vrac tels que le sable, le gravier, la terre ou les gravats. Sa benne basculante facilite le chargement et surtout le déversement rapide des matériaux sur le site de travail, ce qui en fait un équipement indispensable pour les travaux de terrassement et d'aménagement.



Figure VII.4 : Le camion à benne

➤ Matériel de bétonnage

Pour la réalisation des ouvrages en béton, on utilise généralement des bétonnières. Ces machines permettent de malaxer et homogénéiser les différents constituants du mortier ou du béton (ciment, sable, gravier et eau), afin d'obtenir un mélange de qualité, indispensable à la construction des canaux et autres structures en béton.



Figure VII.5 : Bétonnière

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

VII.2 Évaluation financière des divers types de conduites et des travaux associés :

L'évaluation vise à estimer avec précision les dépenses nécessaires à la réalisation du projet. Elle constitue un outil essentiel pour :

- Définir le budget de manière réaliste.
- Apprécier la rentabilité de l'investissement.
- Assurer une gestion financière rigoureuse durant toutes les phases d'exécution.

➤ Présentation des tarifs des conduites :

Tableau VII.1 : Tarifs des conduites du réseau d'adduction et de distribution.

Tronçon	L (m)	D normaliser (mm)	Prix unitaire	Montant (DA)
CPS11-C-4	442.15	500	14910.06	1659490
C-4	157.02	200	9385.28	213335.2
C-4'	61.51	160	5917.94	213335.2
C-4"	237.94	125	5917.94	9984522
C-4-1	50.14	125	5917.94	213335.2
C-5	296.67	500	9385.28	213335.2
C-5'	78.78	500	9385.28	213335.2
C-5''	293.74	400	8385.28	9984522
C-5-1	95.76	200	5917.94	213335.2
C-5-2	271.12	160	5917.94	213335.2
C-6	206.28	315	5917.94	213335.2
C-6'	213.11	315	3807.15	9984522
C-6-1	79.1	125	3807.15	213335.2
C-7	213.11	315	3807.15	213335.2
C-7'	225.78	315	3807.15	213335.2
C-7''	234.38	250	3807.15	213335.2
C-8	107.09	250	1501.62	213335.2
C-8'	178.04	200	1501.62	9984522
C-8''	215.87	125	1501.62	213335.2
C-8-1	102.59	125	1501.62	9984522
			Total	56228280
			TVA 19%	10683373
			TCC	66911653

➤ Présentation des équipements de protection :

Tableau VII.2 : Tarifs des équipements de protection.

Equipements	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Vannes	12	12000	144000
Borne	18	50000	900000
//	//	Total	1044000
//	//	TVA 19%	198360
//	//	TCC	1242360

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

➤ Présentation des équipements des systèmes d'irrigation :

Tableau VII.3 : Tarifs des systèmes d'irrigation.

systèmes d'irrigation	Quantité	Prix Unitaire(DA)	Montant (DA)
Les Asperseurs	4	600	1800
Les Rampes	605	70.77	42815.85
Les Portes Rampes	197	387.33	76304.01
Les Goutteurs	5280	45	237600
Les Rampes	10428	55.87	582612.4
Les Portes Rampes	265	812.5	215312.5
Vanne	2	1400	2800
//	//	Total	1159245
//	//	TVA 19%	2202565
//	//	TCC	3361810

VII.3 Évaluation des volumes et coûts des travaux d'excavation et de remblayage :

VII.3.1 Calcul des volumes des travaux de l'adduction et distribution :

Ce calcul concerne la partie terrassement et pose du lit de sable.

VII.3.1.1 Calcul du volume de terrassement :

▪ Largeur du fond de la tranchée :

La largeur d'ouverture de la tranchée est obtenue par la formule :

$$B = d + (2 * 0.3)(VII.1)$$

Avec :

- **B** : largeur de la tranchée en m
- **d** : diamètre de la conduite en m

▪ Profondeur de la tranchée :

La profondeur de la tranchée doit être suffisante pour :

- Permettre l'exécution correcte des branchements particuliers.
- Éviter toute interférence ou interconnexion avec les autres réseaux déjà en place (eau potable, assainissement, etc.).

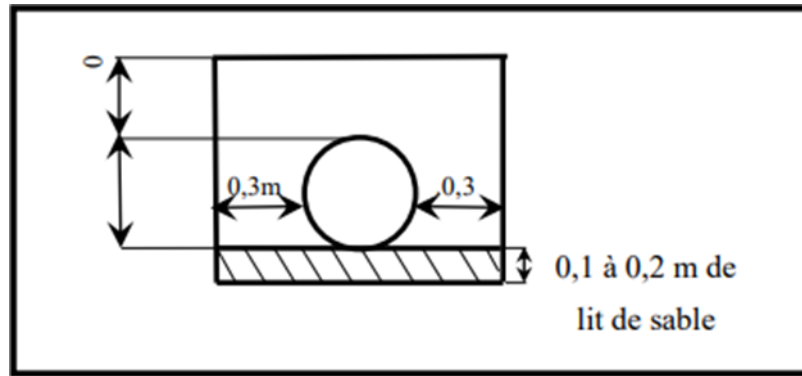


Figure VII.6 : Schéma d'une tranchée

$$h_{tr} = e + d + h \dots\dots\dots(VII.2)$$

Avec :

- h_{tr} : Profondeur de la tranchée (m).
- e : hauteur du lit de pose (m).
- d : diamètre de la conduite (m).
- h : La hauteur du remblai au-dessus de la conduite = 0.8m.

VII.3.1.2 Calcul du volume de déblai :

Le volume est calculé comme suit :

$$V_d = B * H * L \dots\dots\dots(VII.3)$$

Avec :

- B : Largeur du tranché en m
- H : Hauteur du tranché en m
- L : Longueur du tronçon en m

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.4 : Résultats de calcul du volume du déblai

Tronçon	L (m)	D normaliser (mm)	Largeur du tranché (m)	Hauteur du tranché (m)	Volume de déblai (m3)
CPS11-C-4	442.15	500	0.73	1.13	364.7295
C-4	157.02	200	1	1.4	219.828
C-4'	61.51	160	0.71	1.11	48.47603
C-4"	237.94	125	1	1.4	333.116
C-4-1	50.14	125	1	1.4	70.196
C-5	296.67	500	0.71	1.11	233.8056
C-5'	78.78	500	0.68	1.08	57.85603
C-5''	293.74	400	0.69	1.09	220.9219
C-5-1	95.76	200	1	1.4	134.064

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

C-5-2	271.12	160	0.69	1.09	203.9094
C-6	206.28	315	1	1.4	288.792
C-6'	213.11	315	1	1.4	298.354
C-6-1	79.1	125	0.8	1.2	75.936
C-7	213.11	315	0.74	1.14	179.7796
C-7'	225.78	315	0.71	1.11	177.9372
C-7''	234.38	250	0.69	1.09	176.2772
C-8	107.09	250	0.68	1.08	78.6469
C-8'	178.04	200	0.9	1.3	208.3068
C-8''	215.87	125	0.71	1.11	170.1271
C-8-1	102.59	125	0.9	1.3	120.0303
				Total	3661.09
				TVC 19%	695.607
				TCC	4356.697

VII.3.1.3 Calcul du volume de lit de sable :

Le volume est calculé comme suit :

$$V_s = B * e * L \dots\dots\dots(VII.4)$$

Avec :

- **B** : Largeur du tranché en m
- **e** : épaisseur du lit de sable en m
- **L** : Longueur du tronçon en m

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.5 : Résultats de calcul du volume de lit de sable

Tronçon	L (m)	Largeur du tranché (m)	Epaisseur du lit de sable (m)	Volume du lit de sable (m3)
CPS11-C-4	442.15	0.73	0.2	64.5539
C-4	157.02	1	0.2	31.404
C-4'	61.51	0.71	0.2	8.73442
C-4''	237.94	1	0.2	47.588
C-4-1	50.14	1	0.2	10.028
C-5	296.67	0.71	0.2	42.12714
C-5'	78.78	0.68	0.2	10.71408
C-5''	293.74	0.69	0.2	40.53612
C-5-1	95.76	1	0.2	19.152
C-5-2	271.12	0.69	0.2	37.41456
C-6	206.28	1	0.2	41.256
C-6'	213.11	1	0.2	42.622
C-6-1	79.1	0.8	0.2	12.656

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

C-7	213.11	0.74	0.2	31.54028
C-7'	225.78	0.71	0.2	32.06076
C-7''	234.38	0.69	0.2	32.34444
C-8	107.09	0.68	0.2	14.56424
C-8'	178.04	0.9	0.2	32.0472
C-8''	215.87	0.71	0.2	30.65354
C-8-1	102.59	0.9	0.2	18.4662
			Total	600.4629
			TVC 19%	114.0879
			TCC	714.5508

VII.3.1.3 Calcul du volume de remblai :

Le volume est calculé comme suit :

$$V_r = V_d - V_c - V_s \dots\dots\dots(VII.5)$$

Avec :

- **V_d** : Volume du déblai en m³
- **V_s** : Volume du lit de sable en m³
- **V_c** : Volume de la conduite m³

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.6 : Résultats de calcul du volume de remblai

Tronçon	L (m)	D normaliser	Volume de déblai (m ³)	Volume du lit de sable (m ³)	Volume de la conduite (m ³)	Volume de remblai (m ³)
CPS11-C-4	442.15	500	364.7295	64.5539	1.74	298.4356
C-4	157.02	315	219.828	31.404	5.8	182.624
C-4'	61.51	250	48.47603	8.73442	1.25	38.49161
C-4''	237.94	250	333.116	47.588	71.82	213.708
C-4-1	50.14	250	70.196	10.028	15.48	44.688
C-5	296.67	315	233.8056	42.12714	1.83	189.8485
C-5'	78.78	315	57.85603	10.71408	0.57	46.57195
C-5''	293.74	315	220.9219	40.53612	0.73	179.6558
C-5-1	95.76	250	134.064	19.152	68.04	46.872
C-5-2	271.12	250	203.9094	37.41456	0.58	165.9148
C-6	206.28	250	288.792	41.256	84.11	163.426
C-6'	213.11	200	298.354	42.622	265.02	9.288
C-6-1	79.1	200	75.936	12.656	21.67	41.61
C-7	213.11	200	179.7796	31.54028	2.81	145.4293
C-7'	225.78	200	177.9372	32.06076	1.21	144.6664
C-7''	234.38	200	176.2772	32.34444	1.51	142.4228
C-8	107.09	125	78.6469	14.56424	0.22	63.86266
C-8'	178.04	125	208.3068	32.0472	33.08	143.1796

CHAPITRE VII: Etude technico-économique

C-8''	215.87	125	170.1271	30.65354	0.89	138.5836
C-8-1	102.59	125	120.0303	18.4662	21.41	80.1541
					Total	2460.857
					TVC 19%	467.5628
					TCC	2928.419

VII.3.2 Estimation du cout de pose de conduites d'adduction et distribution :

L'estimation du cout est représentée dans le tableau suivant :

Tableau VII.7 : Cout total des travaux de pose de conduites

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai et remblai	m3	7285.11	300	2185535
lit de sable	m3	714.5508	800	571640.6
			TCC	2757175

VII.3.3 Devis estimatif total :

D_T = la somme de TCC

$$D_T = 2757175 + 3361810 + 66911653 + 1242360$$

$$D_T = \mathbf{74272998 \text{ DA}}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'organisation du chantier ainsi que l'estimation budgétaire relative aux travaux d'adduction et de distribution. L'analyse effectuée a permis de dégager des résultats chiffrés significatifs :

- **Durée totale prévue du projet** : 325 jours.
- **Coût estimatif global** : 74272998 DA.

Ces données constituent des éléments de référence essentiels pour la planification, le suivi et la gestion financière du projet.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

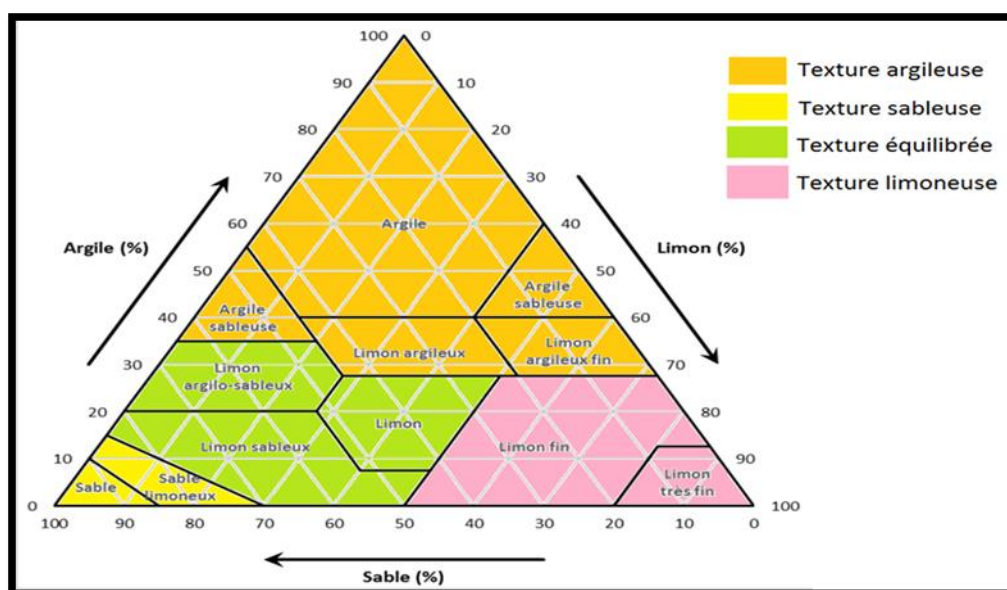
Au terme de ce mémoire, où nous avons élaboré un projet d'irrigation pour le périmètre sud CP12 à Teleghma, Wilaya de Mila, couvrant une superficie de 160 hectares, nous pouvons conclure :

- La région de Teleghma est caractérisée par un climat semi-aride, avec une température minimale moyenne de 9.25 °C en hiver et une maximale moyenne de 27.7 °C en été. La période sèche s'étend de mai à octobre, confirmant la nécessité d'un système d'irrigation performant.
- Les sols sont à texture limono-argileuse, relativement lourds et peu perméables, nécessitant un choix de techniques d'irrigation adaptées.
- L'eau disponible appartient à la classe C3S1, traduisant une salinité élevée mais une faible alcalinité, utilisable en irrigation avec certaines précautions.
- Les besoins en eau des cultures ont été estimés à 4 778 267 m³ annuellement, avec un mois de pointe en novembre (demande nette de 251.465 mm pour les cultures les plus exigeantes).
- Le dimensionnement du réseau d'adduction et de distribution a permis :
 - Des débits et pressions suffisants aux bornes.
 - Des vitesses d'écoulement compatibles avec la durabilité des conduites.
 - Une protection contre le colmatage et le désassemblage.
- Les techniques recommandées sont l'aspersion et le goutte-à-goutte, permettant une économie d'eau et un meilleur rendement agricole.
- Le coût global du projet est estimé à soixante-trois millions huit cent quarante-neuf mille six cent quarante-huit dinars algériens, ce qui est acceptable par rapport à la superficie irriguée et aux travaux réalisés.
- L'ensemble de l'étude intègre tous les aspects nécessaires : analyse climatique et pédologique, estimation des besoins en eau, dimensionnement du réseau, choix des techniques d'irrigation et évaluation économique.

Ce projet confirme la pertinence de l'aménagement d'un périmètre irrigué à Teleghma, contribuant au développement agricole, à la rationalisation de l'usage de l'eau et au progrès socio-économique de la wilaya de Mila, sous réserve d'une gestion rigoureuse et d'un entretien régulier des installations.

ANNEXES

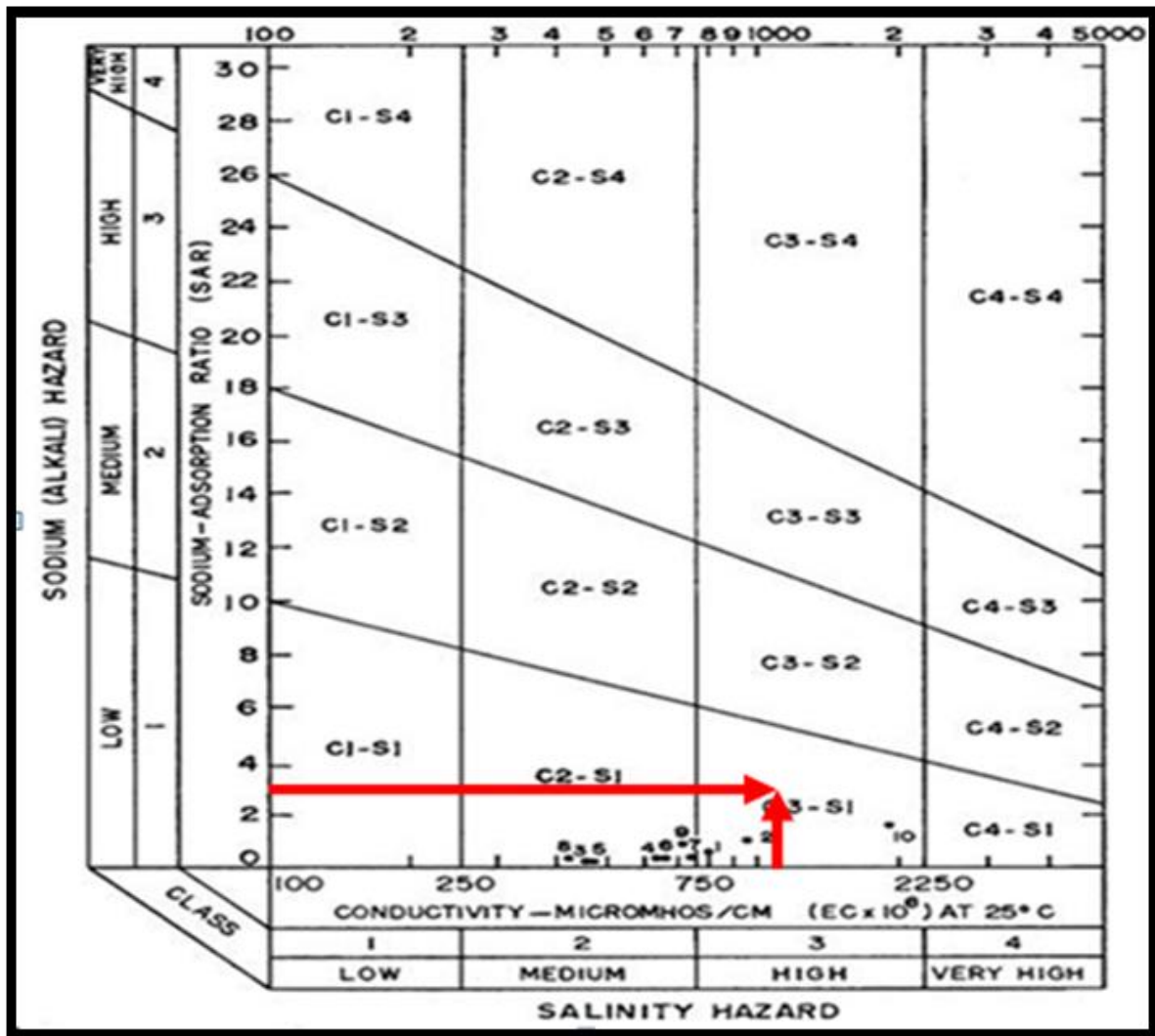
Annexe 01 : triangle des textures



Annexe 02 : Caractéristiques hydriques de quelques sols

Texture	Humidités pondérales en % du poids sec			Réserve utile volumétrique en mm/m
	à la rétention HCC	du flétrissement HPF	disponible HCC-HPF	
Sableuse	9 (6 à 12)*	4 (2 à 6)*	5 (4 à 6)*	85 (70 à 100)*
Sablo-limoneuse	14 (10 à 18)	6 (4 à 8)	8 (6 à 10)	120 (90 à 150)
Limoneuse	22 (18 à 26)	10 (8 à 12)	12 (10 à 14)	170 (140 à 190)
Limono-argileuse	27 (25 à 31)	13 (11 à 15)	14 (12 à 16)	190 (170 à 220)
Argilo-limoneuse	31 (27 à 35)	15 (13 à 17)	16 (14 à 18)	210 (180 à 230)
Argileuse	35 (31 à 39)	17 (15 à 19)	18 (16 à 20)	230 (220 à 250)

Annexe 03 : Diagramme de classification de l'eau d'irrigation.



**Annexe 04 : Coefficients culturaux (Kc) (FAO d'irrigation et drainage n°33
tableau 18)**

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

Premier chiffre: avec forte humidité (HR min > 70%) et vent faible (U < 5 m/s).
Second chiffre: avec faible humidité (HR min < 20%) et vent fort (> 5 m/s).

Annexe 05 : La fiche technique d'un arroseur ZB de type Perrot

Diamètres des buses	P (bar) 2,5	P (bar) 3,0	P (bar) 3,5	P (bar) 4,0	P (bar) 4,5	P (bar) 2,5 	P (bar) 3,0 	P (bar) 3,5 	P (bar) 4,0 	P (bar) 4,5 					
mm	Portée en m					Distances entre arroseurs									
4.2	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
4.5	15.0	15.4	15.8	16.3	16.9	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
4.8	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
5.0	15.8	15.9	16.3	16.7	17.3	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
5.2	16.0	16.4	16.6	16.8	17.4	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
6.0	16.4	16.5	16.7	17.2	17.6	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
7.0**	16.8	17.0	17.2	17.3	17.8	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
ZB 22/ZB 22W	Consommation d'eau					Précipitations									
	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
4.2	0.99	1.09	1.17	1.26	1.33	2.3	3.1	2.5	3.4	2.7	3.6	2.9	3.9	3.1	4.1
4.5	1.14	1.25	1.35	1.44	1.53	2.6	3.5	2.9	3.9	3.1	4.2	3.3	4.4	3.5	4.7
4.8	1.30	1.42	1.53	1.64	1.74	3.0	4.0	3.3	4.4	3.5	4.7	3.8	5.1	4.0	5.4
5.0	1.41	1.54	1.66	1.78	1.89	3.3	4.4	3.6	4.8	3.8	5.1	4.1	5.5	4.4	5.8
5.2	1.52	1.67	1.80	1.92	2.04	3.5	4.7	3.9	5.2	4.2	5.6	4.4	5.9	4.7	6.3
6.0	1.89	2.07	2.24	2.39	2.54	4.7	6.3	5.1	6.9	5.6	7.4	5.9	7.9	6.3	8.4
7.0**	2.53	2.77	2.99	3.19	3.39	6.4	8.5	7.0	9.3	7.5	10.1	8.1	10.8	8.6	11.4
ZB 22l	Consommation d'eau					Précipitations									
	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
4.2x2.4	1.32	1.44	1.56	1.66	1.77	3.1	4.1	3.3	4.4	3.6	4.8	3.8	5.1	4.1	5.5
4.5x2.4	1.46	1.60	1.73	1.85	1.96	3.4	4.5	3.7	4.9	4.0	5.3	4.3	5.7	4.5	6.0
4.8x2.4	1.62	1.77	1.92	2.05	2.17	3.8	5.0	4.1	5.5	4.4	5.9	4.7	6.3	5.0	6.7
5.0x2.4	1.73	1.90	2.05	2.19	2.32	4.0	5.3	4.4	5.9	4.7	6.3	5.1	6.8	5.4	7.2
5.2x2.4	1.85	2.02	2.18	2.33	2.48	4.3	5.7	4.7	6.2	5.0	6.7	5.4	7.2	5.7	7.7
6.0x2.4	2.22	2.43	2.62	2.80	2.97	5.4	7.3	5.9	7.9	6.4	8.6	6.9	9.2	7.3	9.7
7.0x2.4	2.85	3.12	3.37	3.60	3.82	7.1	9.5	7.8	10.4	8.4	11.2	9.0	12.0	9.6	12.7

Caractéristiques du canon ZB22

Image 5 sur 11



Références bibliographiques

Références bibliographiques

FAO. (1975) *Les besoins en eau des cultures (Bulletin FAO n° 24)*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAO. (s.d) *Calcul des besoins en eau des cultures (Bulletin n° 30)*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAO. (2015). *Indicateurs sensibles au genre pour l'agriculture et l'eau en Algérie : Rapport interne*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome.

Lavek. R. (1992). *Critères de choix d'un système d'irrigation*. Comité International de l'Irrigation et du Drainage (CIID).

Ollier. Ch.. & Poirée. M. (1983). *Les réseaux d'irrigation : Théorie, technique et économie des arrosages*. Paris : [Éditeur non précisé].

Rhoades. J. D. Kandiah. A.. & Mashali. A. M. (1992). *The use of saline waters for crop production*. FAO Irrigation and Drainage Paper. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

SAGREN. (2018) *Perte de la capacité de stockage d'eau au barrage de Beni Haroun. Algérie / Loss of water storage capacity at the Beni Haroun dam. Algeria*. SAGREN. 2(1). 82–84.

Touibia. B. (2015). *Manuel pratique d'hydrologie*.