

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد هلا عرباوي"

ⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵔ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre
Larmah (180ha) à partir d'un forage (Wilaya de Ouargla)**

Présenté par :

GACEM Nassima

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Mr. MEDDI Mohamed	Professeur	Président
Mme.HARKAT Samra	M.C.A	Examineur
Mme. MAZOUZI Sabra	M.A.A	Examineur
Mr. RASSOUL Abdelaziz	Professeur	Promoteur

Session Septembre 2024

Dédicace

Du fond du cœur, je dédie cette thèse en signe d'amour, de respect et de reconnaissance :

Mes parents, ma chère maman et mon papa adoré j'aurais tellement aimé que vous soyez là. Que Dieu ait son âme dans sa miséricorde, je ne pourrai jamais exprimer ma gratitude pour ce que je suis devenue grâce à leur éducation et à leurs sacrifices.

Mon frère Amine et **Mes sœurs** : Meriem, Fatou, Amel,

Ma petite nièce Malak et **Mon petit-neveu Abdelkader**

Mon soutien de mes amis : Namira, Alaa, Nour, Bisma, Massinda

À tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, ainsi qu'à tous ceux que j'ai omis de mentionner.

GACEM Nassima

REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui m'a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage et de bonne volonté pendant tout mon cursus universitaire pour réaliser ce modeste travail.

Après avoir terminé cette petite étude, je souhaite exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à mon promoteur M. RASSOUL, pour sa patience, sa disponibilité, ses conseils et surtout ses commentaires constructifs, qui ont contribué à enrichir ma réflexion.

Je suis très reconnaissant envers Mr Benkaci pour leur générosité, leurs conseils et leur soutien dans la réalisation de ce travail.

Un grand merci à Mr Bourchak Brahim qui m'a guidé avec une générosité inestimable et partagé ses précieuses connaissances. Votre soutien constant et vos conseils éclairés ont été essentiels tout au long de ce projet. Je suis profondément reconnaissante pour votre expertise et votre engagement, qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحديد استراتيجيات إدارة المناطق المسقية لتصميم تهيئة هيدرو-زراعية فعالة في منطقة الارماح (180 هكتار)، الواقعة في ولاية ورقلة، وذلك باستخدام موارد المياه من بئر الارماح. تعتمد هذه المقاربة على تحليل دقيق للبيانات المناخية، التربة، والزراعية، مما يمكّن من اختيار المحاصيل واحتياجاتها المائية الضرورية لإنشاء نظام إمداد مياه مثالي. يهدف اعتماد تقنيات الري الحديثة، مثل الري بالتنقيط في منطقة صحراوية، إلى تحديث نظام التوزيع، تحسين إنتاجية المحاصيل، وضمان استدامة الربحية للمشروع.

Résumé

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'études est de définir les stratégies de gestion des périmètres irrigués pour concevoir un aménagement hydro-agricole efficace du périmètre Larmah (180ha), situé dans la wilaya de Ouargla, en utilisant les ressources en eau du forage de larmah. Cette démarche repose sur une analyse rigoureuse des données climatologiques, pédologiques et agronomiques, permettant de prendre de faire le choix des cultures et les besoins en eau nécessaires pour établir un système d'adduction optimal. L'adoption de techniques d'irrigation modernes, le goutte-à-goutte dans une zone saharienne, vise à moderniser le système de distribution, améliorer les rendements des cultures, et garantir une rentabilité durable du projet d'aménagement.

Mot clé : Mémoire - périmètre Larmah – Ouargla – Forage Larmah - aménagement hydro-agricole -zone saharienne

Abstract :

The main objective of this final dissertation is to define the management strategies for irrigated perimeters in order to design an efficient hydro-agricultural development of the Larmah perimeter (180ha), located in the wilaya of Ouargla, using the water resources from the Larmah borehole. This approach is based on a rigorous analysis of climatological, pedological, and agronomic data, enabling informed decisions on crop selection and water needs to establish an optimal water supply system. The adoption of modern irrigation techniques, such as drip irrigation in a Saharan region, aims to modernize the distribution system, improve crop yields, and ensure sustainable profitability for the development project

Sommaire :

I. Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles	7
I.1 Introduction	7
I.2 Présentation générale de la wilaya de Ouargla	7
I.2.1 Situation géographique	7
I.3 Présentation du périmètre d'étude : le périmètre de Larmah.....	8
I.3.1 Périmètre LARMAH:.....	8
I.4 Etude géologique :	9
I.5 Géomorphologie et relief :.....	9
I.6 La géomorphologie :.....	9
I.7 Le relief.....	11
I.8 Hydrologie.....	12
I.9 Réseau hydrographique :	13
I.10 Étude climatologique :.....	14
I.10.1 Pluviométrie :	15
I.10.2 Températures :.....	17
I.10.3 Vents :	18
I.10.4 Le Sirocco	19
I.10.5 Humidité relative :.....	20
I.11 Calcul des indices Agro-météorologiques.....	21
I.11.1 indice d'aridité de Martonne	21
I.11.2 Le Quotient Ombrothermique d'Emberger :.....	21
I.11.3 Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen :.....	22
I.12 Données agronomiques :	23
II. Chapitre II : Ressources en sol et ressources en eau.....	29
II.1 Introduction :	29
II.2 Les sols de Sahara.....	29
II.2.1 Classification des sols sahariens	29
II.2.2 Description et classification des sols du périmètre:	30
II.2.4 La texture.....	30
II.2.5 La structure.....	31
II.2.6 La perméabilité :.....	31

II.3	Ressource en eau	32
II.3.1	Introduction	32
II.3.2	Aperçu hydrogéologique générale du Sahara :	32
II.3.3	L'analyse de l'eau d'irrigation :	33
II.3.4	Caractéristiques physico-chimiques des eaux	34
II.4	Calcul de la pluie de projet :	37
II.4.1	Choix de la station :	37
II.5	Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique.....	39
II.5.1	Test de Wilcoxon :	39
II.5.2	Ajustement de la série pluviométrique.....	40
II.5.2.1	Ajustement à la loi normale :	41
II.5.2.2	Ajustement à la loi log-normale :	43
II.5.3	Test de validité d'un ajustement.....	44
II.5.4	Validation des résultats d'ajustement.....	44
II.5.5	Détermination de l'année de calcul :	44
III.	Chapitre III : Calcul des besoins en eau des cultures.....	47
III.1	Introduction	47
III.2	Besoin en eau du périmètre :	47
III.2.1	Calcul des besoins en eau.....	47
III.2.2	Calcul de l'évapotranspiration potentielle de référence :	48
III.2.2.1	L'évapotranspiration maximale (ETM).....	50
III.2.3	Calcul de la pluie efficace :	50
III.2.4	Calcul de la réserve en eau du sol	51
III.3	Choix des cultures :	51
III.3.1	Occupation des sols :	51
III.3.2	Estimation des coefficients culturaux (Kc)	52
III.4	Calcul des besoins en eau des cultures	53
III.4.1	Besoins totaux nets en eau d'irrigation :	56
III.5	Besoin en eau pour lessivage :	56
III.6	Calcul du débit spécifique :	58
III.7	Calcul des besoins en eau pour des cultures	60
III.8	Évaluation du Débit Caractéristique.....	61
III.9	Estimation des Volumes d'Eau d'Irrigation :	61
III.10	Conclusion.....	62
IV.	Chapitre V : Etude du système d'adduction	64

IV.1	Introduction :	64
IV.2	Alimentation en eau du périmètre :	64
IV.2.1	Caractéristiques du forage albien :	64
IV.2.2	Organisation et structure du périmètre	64
IV.2.2.1	Ilots et bornes d'irrigation:	64
IV.2.3	Calcul hydraulique des bornes :	65
IV.2.4	Choix du diamètre et du type des bornes :	65
IV.3	Description de l'aménagement du périmètre :	67
IV.3.1	Matériaux de construction des canalisations :	68
IV.3.2	Matériel hydromécanique :	69
IV.4	Etude de système de pompage :	69
IV.4.1	Calculs hydrauliques du système d'adduction :	71
IV.4.2	Détermination de diamètre économique de la conduite de refoulement:	72
IV.4.2.1	Calcul des frais d'amortissement :	72
IV.4.2.2	Calcul des Frais d'exploitation :	73
IV.4.3	Bilan total des frais :	74
IV.4.4	Choix des pompes et nombre des pompes :	75
IV.4.5	Description Du système de pompage :	76
IV.4.6	Protection contre de la cavitation :	77
IV.4.6.1	Calcul du volume du réservoir d'air anti-bélier:	78
IV.5	Dimensionnement de la bache de stockage :	80
IV.6	Dimensionnement du réseau de distribution :	81
IV.7	Conclusion :	86
V.	Chapitre V : Choix de technique d'irrigation.....	88
V.1	Introduction	88
V.2	Définition de l'irrigation.....	88
V.3	Classification des techniques d'irrigation :	88
V.3.2	L'irrigation par ruissellement :	90
V.3.4	L'arrosage par submersion :	90
V.3.5	L'irrigation par aspersion.	90
V.3.6	Irrigation par pivot	92
V.3.7	L'irrigation localisée (goutte à goutte) :	92
V.4	Choix de la technique d'arrosage pour la zone d'étude :	93
V.4.1	Technique recommandé :	94

V.5	Conclusion	94
VI.	Chapitre VI : dimensionnement à la parcelle	96
VI.1	Introduction	96
VI.2	Dimensionnement du réseau d'irrigation goutte à goutte	96
VI.2.1	Caractéristique du goutteur :	96
VI.2.2	Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :	97
VI.2.4	Calcul hydraulique :	100
VI.2.5	Dimensionnement des canalisations du réseau :	100
VI.2.6	Vérification des pertes de charges :	102
VI.2.7	Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution : ..	102
VII.	Chapitre VII : Calcul technico-économique	105
VII.1	Introduction :	105
VII.2	Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution :	105
VII.2.1	Estimation du cout des travaux du réseau d'adduction :	106
VII.2.2	Estimation du cout des travaux du réseau d'adduction :	109
VII.2.3	Estimation cout des bornes d'irrigation :	110
VII.2.4	Devis des travaux :	111
VII.3	Conclusion :	111
VII.4	Conclusion générale.....	112

Liste de figure :

Chapitre I :

Figure I.1: Carte de situation de la wilaya de Ouargla

Figure I.2 : Plan de situation Extrait du photo-Satellite

Figure I.3 : Périmètre de Larmah

Figure I.4: Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla, (le lièvre, 1969)

Figure I.5 : Carte géologique du système aquifère du Sahara septentrional (SASS)

Figure I.6 Bassin hydrographique du Sahara algérien (d'après UNESCO, 1972)

Figure I.7 : Diagramme de la précipitation maximale

Figure I.8: Diagramme de la précipitation moyenne

Figure I.9 : Diagramme des pluies saisonnières

Figure I.10: Variation mensuelles des températures moyennes, Minimales, maximales

Figure I.11: Représentation de la vitesse du vent en fonction du mois

Figure I.12: Humidité relative mensuelle

Figure I.13: Diagramme bioclimatique d'Emberger.

Figure I.14: Diagramme ombrothermique de Gaussen.

Figure I.15: Pourcentage de la surface de la wilaya d'Ouargla

Chapitre II :

Figure II.1 : Classification des sols

Figure II.2 : Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT).

Figure I.3: forage Albien Larmah

Figure II.4 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation

Figure II.5: courbe d'ajustement des pluies à la loi normal

Figure II.6: courbe d'ajustement des pluies à la loi log normal

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Résultats de l'étude technico-économique

Figure IV.2 : Courbe caractéristique de la pompe.

Chapitre V :

Figure V.1 : Schéma récapitulatif sur les systèmes d'irrigation

Figure V.2 : l'irrigation de surface

Figure V.3 : L'irrigation par aspersion

Figure V.4 : Système d'aspersion mécanisé : le pivot.

Figure V.5: Irrigation goutte a goutte

Chapitre VII :

Figure VII.1: Schéma d'une tranchée.

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau I.1: Situation de la station météorologique

Tableau I.2: Précipitations Moyennes Mensuelles (mm).

Tableau I.3 : Répartition des pluies selon les saisons

Tableau I.4: Températures moyennes mensuelles (°C)

Tableau I.5 : Vitesse moyenne mensuelle du vent

Tableau I.6: Humidité relative mensuelle

Tableau I.7 : Classification du climat selon de Martonne

Tableau I.8: La distribution totale des terres dans la wilaya d'Ouargla (Hectare)

Tableau I.9: Superficies des cultures irriguées

Tableau I.10: Situation par mode d'Irrigation

Tableau I.11 : l'élevage de wilaya d'Ouargla

Tableau I.12 : Productions animales

Chapitre II :

Tableau II.1 : Perméabilité de sol

Tableau II.2: le forage albien

Tableau II.3: Qualité de l'eau de l'irrigation

Tableau II.4 : Analyse des données

Tableau II.5 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Tableau II.6 : Classification des eaux en fonction du S.A.R

Tableau II.7. Caractéristiques de la station Hydro climatiqued'Ouargla

Tableau II. 8: Pluies moyennes mensuelles

Tableau II. 9: Caractéristiques de la série pluviométrique

Tableau II.10 : Résultat de l'ajustement à la loi Normale (Hyfran)

Tableau II.11 Résultat de l'ajustement à la loi log-normale (Hyfran).

Chapitre III :

Tableau III.1 : Résultat de calcul de L'Evapotranspiration de référence (E To)

Tableau III.2 : pluies moyennes et pluies efficaces.

Tableau III.3 : Occupation du sol.

Tableau III.4 : Cycle végétatif des cultures envisagées

Tableau III.5 : Coefficients culturaux des cultures.

Tableau III.6 : dose d'irrigation de l'olivier

Tableau III.7: dose d'irrigation de palmier dattier

Tableau III.8 : dose d'irrigation de pomme de terre

Tableau III.9: dose d'irrigation de Blé

Tableau III.10: dose d'irrigation d'avoine

Tableau III.11: dose de Tomate de serre

Tableau III.12 Récapitulatif des besoins en eau pour les cultures choisies.

Tableau III.13 : Besoin cultures +lessivage (mm)

Tableau III.14 : Récapitulatif des besoins nets (mm) et bruts (m³/ha)

Tableau III.15: volume d'eau d'irrigation.

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Caractéristiques du forage albien

Tableau IV.2 : Choix du diamètre de la borne

Tableau IV.3: Calcul des débits des ilots et choix du diamètre de la borne.

Tableau IV.4: Résultats du calcul

Tableau IV.5: Calcul de la HMT.

Tableau IV.6 : Calcul des prix d'amortissement

Tableau IV.7: Calcul des prix d'exploitation.

Tableau IV.8 : Calcul du bilan total des frais.

Tableau IV.9 : Choix de Nombre de pompes

Tableau IV.10 : Caractéristiques des pompes disponibles.

Tableau VI.11 : Calculs hydrauliques des pression

Chapitre V :

Tableau V.1 : Choix de la technique d'arrosage pour la zone d'étude

Chapitre VI :

Tableau VI.1: Récapitulatif des calculs hydraulique

Chapitre VII :

Tableau VII.1: Calcul des différents volumes

Tableau VII.2 Estimation Cout du réseau de distribution :

Tableau VII.3: Estimation du cout des travaux de terrassement.

Tableau VII.4 Estimation cout des bornes d'irrigation :

Tableau VII.5 : Devis estimatif total.

Liste des planches :

Planche 1 : Plan de situation du périmètre Larmah

Planche 2 : Plan d'adduction et distribution de périmètre de Larmah

Planche 3 : Profil en long de la conduite d'adduction.

Planche 4 : Plan du système d'irrigation goutte à goutte.

Liste des annexes :

Annexe 01 : Les propriétés physiques des sols.

Annexe 02 : Caractéristiques hydriques de quelques sols.

Annexe 03 : Caractéristiques de l'asperseur circulaire PERROT ZF 30.

Annexe 04 : Coefficient de foisonnement dépend de la nature de sole.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

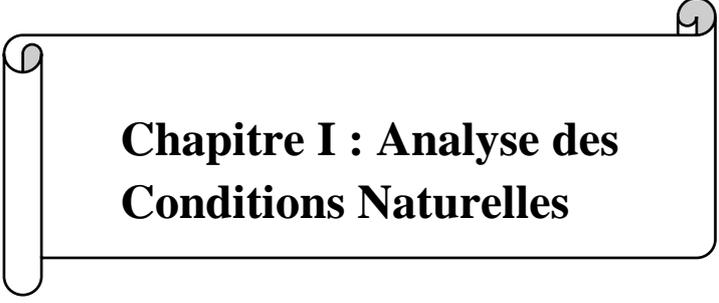
La wilaya de Ouargla, caractérisée par un climat aride et une disponibilité limitée des ressources hydriques de surface, dépend principalement des eaux souterraines pour soutenir son agriculture. Le périmètre de Larmah, d'une superficie de 180 hectares, illustre parfaitement les défis liés à la gestion de l'eau dans ces environnements contraints. L'objectif principal de ce mémoire est de proposer un aménagement hydro-agricole adapté à cette région, en prenant en compte les spécificités naturelles et les contraintes hydriques.

L'étude se structure autour de plusieurs chapitres complémentaires. Dans un premier temps, une **analyse des conditions naturelles** de la zone d'étude permet de comprendre les facteurs climatiques, pédologiques et topographiques qui influencent la gestion de l'eau et les pratiques agricoles. Ensuite, le **deuxième chapitre** porte sur les **ressources en eau et en sol**, en s'attardant sur l'importance des nappes souterraines pour la viabilité du périmètre.

Le **troisième chapitre** se concentre sur le **calcul des besoins en eau des cultures**, afin de déterminer les volumes d'eau nécessaires pour chaque type de culture dans ce contexte aride. Le **quatrième chapitre** explore le **système d'adduction et de distribution** de l'eau, en veillant à optimiser l'efficacité des infrastructures existantes ou à développer des solutions plus performantes.

Le **cinquième chapitre** aborde le **choix des techniques d'irrigation** les plus appropriées, en privilégiant des méthodes modernes telles que l'irrigation goutte-à-goutte, adaptée aux contraintes locales en matière d'eau. Enfin, le **dernier chapitre** est dédié au **calcul technico-économique**, visant à évaluer la rentabilité du projet en fonction des coûts d'installation, de maintenance et des bénéfices escomptés.

Ce mémoire se propose ainsi de fournir une approche intégrée pour l'aménagement hydro-agricole du périmètre de Larmah, répondant aux exigences d'une gestion durable des ressources en eau dans un milieu aride.



**Chapitre I : Analyse des
Conditions Naturelles**

I. Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

Introduction

Avant de démarrer tout projet d'irrigation, il est impératif de réaliser une étude approfondie du site afin de comprendre toutes les caractéristiques environnementales, en particulier celles du périmètre irrigué, ainsi que les éléments qui influent sur la conception du projet, comme les données climatiques et les paramètres agronomiques spécifiques à la zone d'étude. Cette approche permet une gestion optimale des ressources, en particulier de l'eau, qui concerne le périmètre de Larmah situé au niveau de la wilaya de Ouargla.

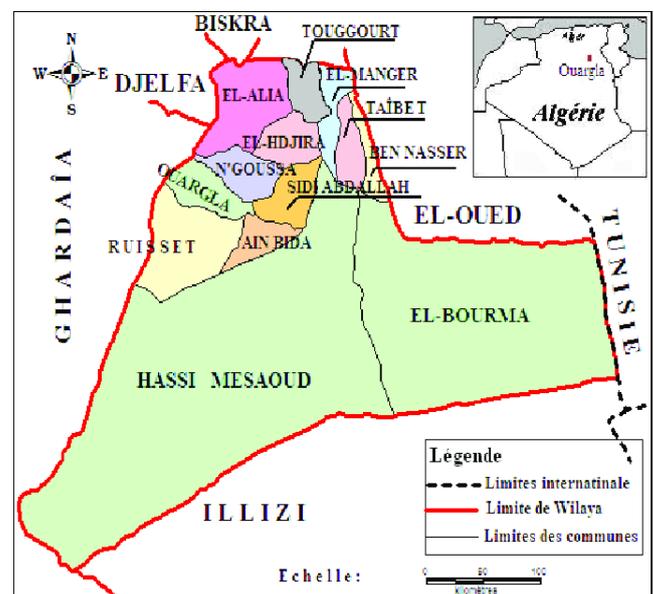
I.1 Présentation générale de la wilaya de Ouargla

La région est principalement constituée de vastes étendues de désert, mais elle comprend également des oasis et des zones agricoles irriguées, qui jouent un rôle crucial dans l'économie local.

I.1.1 Situation géographique

Ouargla Est située dans le sud-est de l'Algérie, plus précisément dans la partie septentrionale du Sahara algérien. Elle se situe à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra, à 800 km d'Alger et à 618 km de Constantine.

La Wilaya d'Ouargla a une superficie de 194 552 Km². La longueur de sa frontière avec la Tunisie est de 200Km environ.



La wilaya d'Ouargla est délimitée par :

Figure I.1: Carte de situation de la wilaya de Ouargla

- Au nord et au nord-ouest par la wilaya de Djelfa;
- Au nord et au nord-est. Par la wilaya de Touggourt.
- A l'Est par la commune de Borma de wilaya de Touggourt.

- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.
- Au sud par la wilaya d'Illizi

Ses coordonnées géographiques sont:

-les longitudes 5°15' et 5°25' Est,

-les latitudes 31°55' et 32°00' Nord.

I.2 Présentation du périmètre d'étude

I.2.1 Périmètre LARMAH

Le périmètre prend le nom de Larmah. Il est situé au Nord - Ouest de la wilaya d'Ouargla. Il fait partie des terres de la commune d'Ouargla. Le périmètre est distant du chef de la commune 7 km à vol d'oiseau. Le périmètre est délimité par :

- Au Nord – Est par la commune N'Goussa
- A l'Est par la ville d'Ouargla
- Au Sud par la route nationale n°49 reliant Ouargla –vers Ghardaia

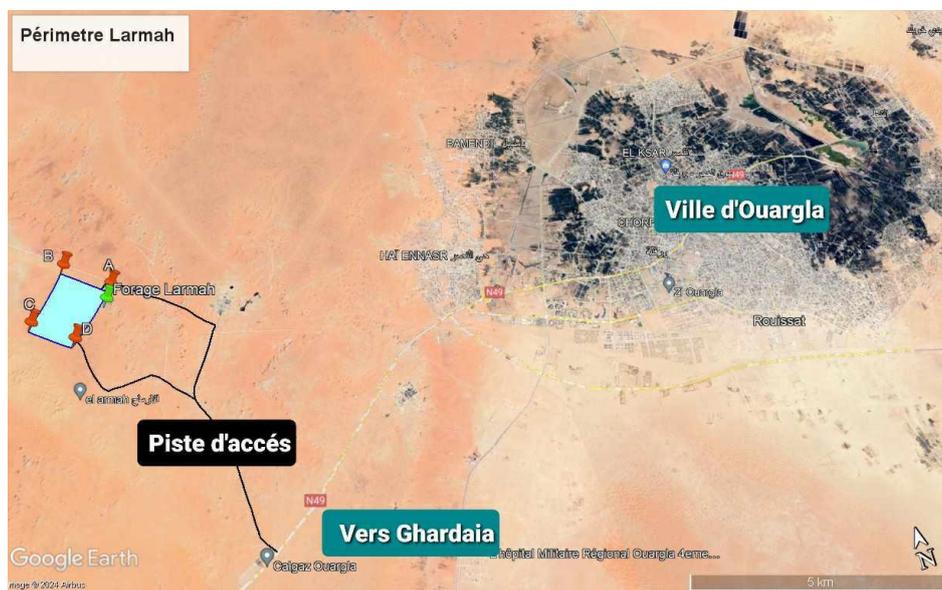


Figure I.2: Plan de situation Extrait du photo-Satellite

Le périmètre délimité est implanté au lieu-dit localité Larmah. Le site est situé dans une dépression envahi par les dunes de sable



Figure I.3: Périmètre de Larmah

I.3 Etude géologique

La région d'Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'oued Mya (fig.13). Cette dernière est mise en évidence par une dissymétrie marquée par la présence d'une falaise gréseuse occidentale (le baten) particulièrement nette et continue, avec une pente très abrupte, tandis que la limite orientale est imprécise.

A l'Ouest, un plateau calcaireux de la Hamada Pliocène, surplombe la cuvette à environ 230 mètres d'altitude, s'abaisse légèrement d'ouest en est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins appelées localement "Gours" (pluriel de Gara).

A l'Est, on constate un plateau avec une altitude ne dépassant pas les 160 mètres et les limites ne sont pas nettes. Les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous les sables des Ergs: Etouil, Boukhezana et El Arfdji.

Au Sud, un massif dunaire recouvre les ruines de Sedrata; Son altitude dépasse 155 mètres et domine de 20 mètres le point le plus bas de la vallée qui à cette altitude se trouve au pied du baten occidental.

Au Nord, la vallée reprend une direction SSO-NNE. La Sebket Sefioune occupe le centre, tandis que ses rives sont recouvertes par les massifs dunaires (Rouvillois-Brigol, 1975 ; ANAT, 1995, Hamdi-Aïssa, 2001)

I.4 Géomorphologie et relief

I.5 La géomorphologie

La géomorphologie de la région est constituée des éléments suivants :

La hamada (plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses) Mio-Pliocène et Plio-Quaternaire: formation continentale détritique qui forme des plateaux dont l'altitude est de 200 m en moyenne

Les formations sableuses : composées de dunes et de cordons d'erg ;

Les étendues alluviales correspondant au lit de l'oued Mya selon un axe SW-NE

Les sebkhas : Ceux sont des dépressions qui servent d'exutoire de la nappe phréatique. La plus grande est la Sebkhet Safioune à l'extrémité Nord, c'est aussi le point le plus bas de la région.

La cuvette d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest. Après son creusement, la cuvette d'Ouargla a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Un niveau charbonneux a été daté de – 17 000 ans.

Des oueds, descendant de la dorsale mzabite à l'Ouest (oueds M'Zab, N'Sa, Z'gag) ou du Tadmaït (oued Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'oued M'Zab) ou barrant la vallée (oueds N'Sa et Z'Gag au Nord de la Sebkhet Safioune) ou se confondant avec la cuvette comme c'est le cas pour oued MYA. À la suite du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré, laissant derrière lui l'oued Mya avec un cours intermittent, limité par les reliefs en aval de la Sebkhet Safioune. Au centre de la zone étudiée, la cuvette d'Ouargla est bien visible, cependant, les alluvions des oueds N'Sa et Z'Gag obstruent le flux vers l'aval. La rupture de cette barrière à l'est a permis aux eaux du lac de s'échapper vers le nord-est, en direction de Touggourt et du Chott Melrhir.

Actuellement, les plus importantes crues de l'oued Mya se limitent à 200 km en amont de Ouargla. Par ailleurs, celles de l'oued M'Zab atteignent la Sebkhet Safioune deux fois par siècle, tandis que celles de l'oued N'sa semblent plus fréquentes. Les recherches archéologiques confirment que la dépression de l'oued Mya n'a été drainée que pendant une période très ancienne du Quaternaire, et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique en raison de la présence de gisements. Les sebkhas sont apparues lors d'une période humide antérieure.

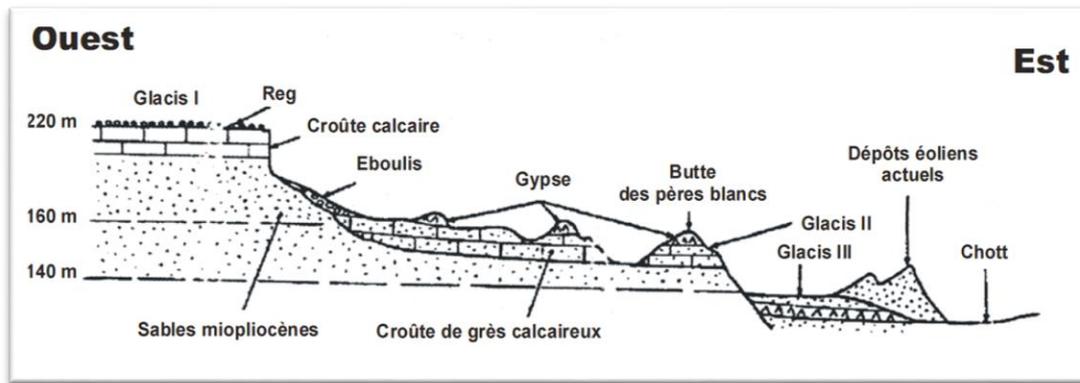


Figure I.4: Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla, (le lièvre, 1969)

I.6 Le relief

Le relief est très varié dans l'immense bassin saharien..

Le grand Erg oriental est constitué d'une mer de sable impressionnante dont la hauteur de certaines dunes peut atteindre 200 m. Les 2/3 du territoire de la Wilaya sont couverts par ce grand Erg.

Le plateau rocailleux de la Hamada est situé en grande partie à l'ouest et au sud.

La vallée fossile de l'oued Miya ainsi que celle de l'oued Righ représentent les vallées. Les plaines vont du nord au sud et sont assez limitées à la limite occidentale de la Wilaya.

Les dépressions sont principalement présentes dans la région de l'Oued Righ.

Les reliefs sont dominés par :

Le Grand Erg Oriental est un véritable métro de sable où les dunes peuvent être élevées.

Grand Erg Oriental : Une véritable mer de sable, avec des dunes atteignant 200 mètres de hauteur. Couvre les 2/3 du territoire

Hamada : Plateaux pierreux, situés principalement au sud et à l'ouest

Plaines : Très petites, s'étendant du nord au sud. Oued Mya et Oued Ri forment les deux vallées fossiles de la région.

Les dépressions: Il existe de nombreux et ils sont situés dans la zone de l'Oued Righ.

Notre zone d'étude est située dans le vaste bassin du Sahara et est caractérisée par une prédominance de sédiments plio-quadernaires, bien qu'il existe des affleurements éocènes et créacés dans la partie orientale.

La Wilaya est située dans une région très hétérogène et est tectoniquement stable. Trois zones se distinguent :

- Grand Erg oriental : immenses dépôts de sable éolien à l'est et au sud.
- Centrale : Région de la vallée dominée par les dépôts alluviaux,
- Plateau du Mzab occidental.

I.7 Hydrologie

Les ressources en eau disponibles dans la région de Ouargla sont précieuses et permettent une expansion significative du patrimoine agricole.

Ils sont essentiellement constitués de très importantes réserves souterraines de quatre aquifères dont la profondeur varie entre 1 mètre et 1 800 mètres (IDDER T., 2005).

- Nappe phréatique : Sa profondeur varie entre 1 et 8 mètres (selon la montée ou la baisse de la nappe phréatique) selon les régions et les saisons, et atteint parfois la surface de la terre. Située dans les sables alluviaux de la vallée, c'est la principale source d'eau de la palmeraie de Boule (non irriguée). La rivière coule du sud vers le nord.

- La nappe du miopllocène : Sa profondeur varie entre 30 et 200 mètres.

La température de l'eau dans cet aquifère varie de 23°C à 25°C et la salinité est relativement faible.

- Aquifère Sénonien Eocène : Situé entre 100 et 200 mètres, il est sous-développé en raison des faibles rendements des puits.

La température de l'eau chaude est d'environ 30 °C.

- Aquifère d'Albien : Situé à une profondeur de 1 000 à 1 800 mètres.

On l'appelle « nappe intermédiaire continentale » car elle est contenue dans l'argile sableuse de la couche intermédiaire continentale.

Elle représente une zone protégée importante et sa rivière coule du sud vers le nord. La source d'eau (artésienne) a une température de 50°C à 55°C et une faible salinité.

D'un point de vue économique, l'utilisation de l'eau de cette nappe est intéressante car l'eau coule.

Cela élimine les coûts de production d'eau (électricité, carburant, matériel de pompage).

Or, les coûts du forage d'Albia sont très élevés (des dizaines de milliards de dinars), donc les superficies irriguées avec cette eau doivent avoir une valeur élevée.

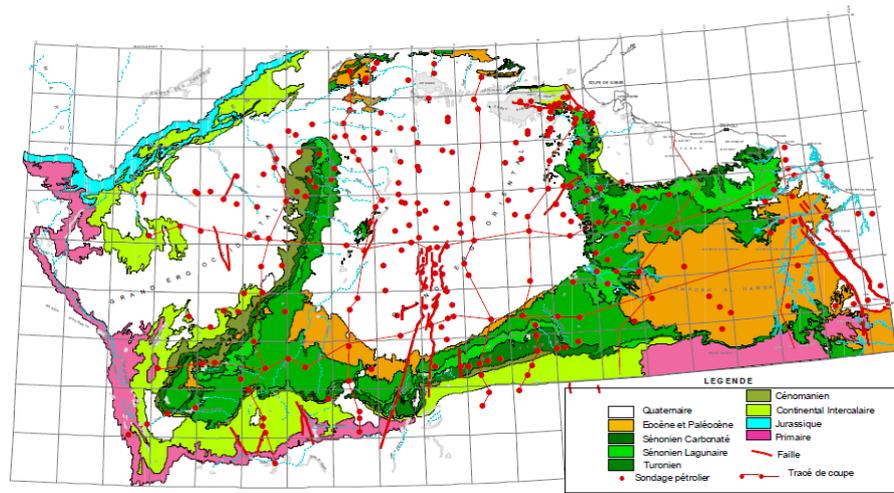


Figure I.5: Carte géologique du système aquifère du Sahara septentrional (SASS)

I.8 Réseau hydrographique

Les recherches fondamentales menées par des pionniers tels que J. Dubief (1953) ont fourni les premiers aperçus des voies navigables du nord du Sahara. Cependant, des études récentes, notamment celle de M. Côte (2005), ouvrent de nouvelles perspectives et remettent en question certaines notions établies. Ils ont révélé que certains oueds mythiques comme Igharghar, M'ya et Rhir n'existent pas. Si les oueds fonctionnels de l'Atlas saharien sont de mieux en mieux compris, les oueds de la crête du Mzab le sont encore moins.

Un nouvel oued fossile a été découvert à Souf, en amont du Grand Erg Oriental. Les seules rivières qui durent éternellement sont celles alimentées par les réseaux d'eau de pluie des oasis et des zones urbaines.

Le régime d'écoulement dans cette région est complexe, caractérisé par des précipitations peu fréquentes et irrégulières.

Le canal Wed Lille et l'oued Itter dans notre zone d'étude sont alimentés par différents oueds qui déposent des sources d'eau et de minéraux à Merhir et Meruan Shot.

- Oued Mya : Ouargla, ou la vallée en aval de Oued Muya, a une vallée formée à travers l'oued Mya Tademite, il n'y a pas de routes de vallée associées à l'oued Mya (Dubief, 1953).

A la latitude de Ouargla, elle est remplacée par une dépression irrégulière.

L'inondation de Mya Wadi à Tademite est bien connue (Dubief, 1953), et la zone a été touchée au printemps 1985 (Ballais, 2010).

- Oued Rhir : La dépression topographique de l'Oued Rhir (Figure I.5) apparaît trop importante pour former une vallée ou même un très grand fleuve (15-30 km de large (Busson, 1972)).

- Oued de la crête du Mzab : L'oued draine les pentes sud-est de l'Atlas saharien à l'est de la crête du Mzab (Figure I.6) et est encore fonctionnel, constitué d'une vallée orientée vers l'ouest.

Il se jette dans deux immenses points de rassemblement, Muya Wadi au sud et Lil Wadi au nord, mais est interrompu par une série de dépressions qui empêchent désormais un écoulement continu..

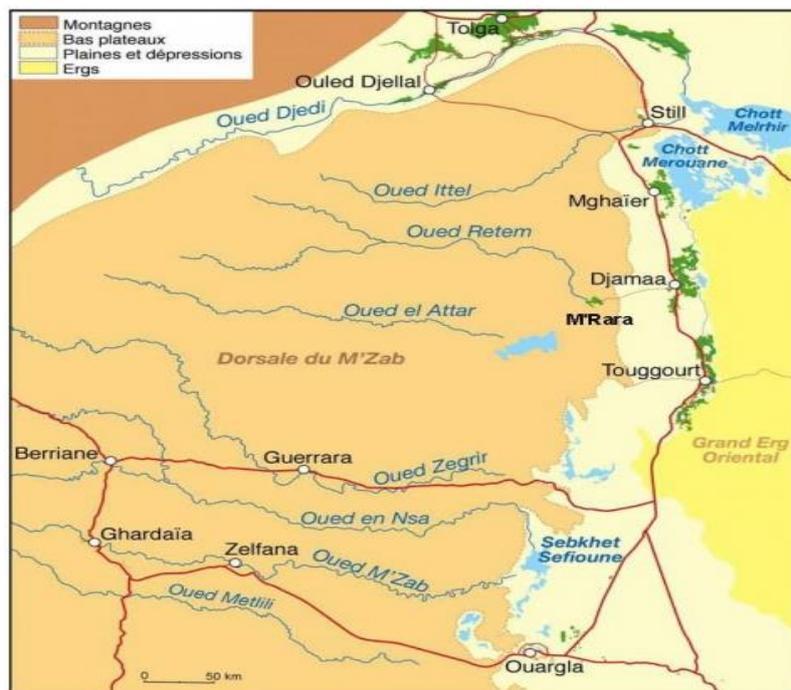


Figure I.6: Bassin hydrographique du Sahara algérien (d'après UNESCO, 1972)

I.9 Étude climatologique :

La caractérisation climatique de la zone a été élaborée à partir de données climatiques pour la période 1990-2022 disponibles à l'Office National Météorologique de Ouargla (O.N.M).

L'analyse se concentre sur les facteurs climatiques suivants : précipitations, température et autres facteurs.

Tableau I.1: Situation de la station météorologique

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation	Durée d'observation
Ouargla	5°40E	31°92N	130	1990-2022	33ans

(Source ANRH d'Alger)

I.9.1 Pluviométrie**a) Pluviométrie mensuelle :**

La Pluviométrie est un facteur primordial dans le conditionnement de la nature des zones semi-aride ; il constitue le facteur essentiel de leur régime hydrologique.

La région d'Ouargla, à l'instar des autres zones du sud algérien est très vulnérable aux changements climatiques. Sa position géographique lui confère un climat aride, caractérisé par un été très chaud et sec et un hiver doux.

Tableau I.2: Précipitations Moyennes Mensuelles (mm).

Station	Pluviométrie	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ouargla	Pmoy (mm)	6,43	1,82	4,73	2,72	3,27	0,36	0,15	0,68	3,72	4,93	5,32	3,17	37,31
	Pluies max	54,1	24,5	147,4	25,6	50,9	3	2,2	13,1	15,2	36,4	43,3	24,5	-

Station d'Ouargla (1990-2022)

La moyenne annuelle des précipitations enregistrées au cours des 33 années est faible, elle est estimée **37,31 mm**.

La distribution des précipitations tout au long de l'année dans les zones climatiques sahariennes suit un schéma particulier. À l'exception de la période la plus sèche, qui couvre les mois de février, juin, juillet et août, les mois les plus pluvieux sont janvier, avril, octobre et novembre

Ainsi, pour soutenir les cultures tout au long de l'année, un apport d'eau supplémentaire sous forme d'irrigation est nécessaire.

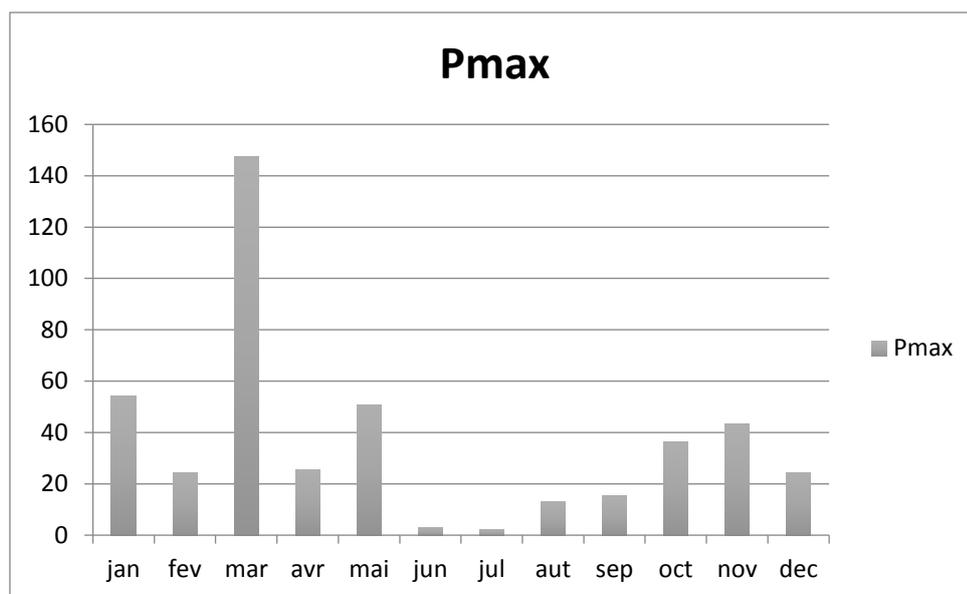


Figure I.7: Diagramme de la précipitation maximale

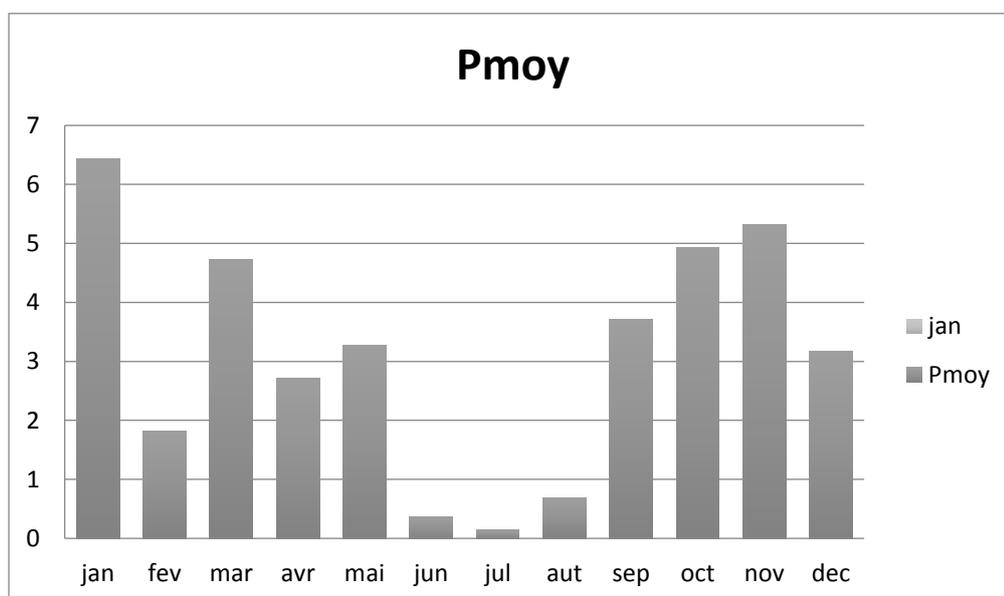


Figure I.8: Diagramme de la précipitation moyenne

b) Régime saisonnier

Pour mettre en évidence l'importance du niveau de pluviosité et la conséquence sur le sol, notamment sur la couverture végétale en période de croissance, la saison du début des pluies est importante dans la planification des opérations agricoles.

Le régime pluviométrique tel qu'il a été mentionné auparavant, a permis de caractériser les précipitations saisonnières. La figure ci-dessous énonce un régime saisonnier marqué par la diminution généralisée des précipitations. La saison de croissance des cultures correspondant aux mois de septembre, octobre et novembre est caractérisée par une intensité supérieure. En revanche la saison pluvieuse (Décembre, Janvier et Février) enregistre une accumulation de 40mm de pluie. Le minimum d'été correspondant à la

saison la plus sèche (Juin, Juillet, Aout) ne présente qu'un évènement pluvieux très insignifiant.

Tableau I.3 : Répartition des pluies selon les saisons

Saison	Hiver	Printemps	été	Automne	Moyenne annuel
P (mm)	3,81	3,57	0,40	4,66	12,43
%	30,62	28,74	3,19	37,45	100,00

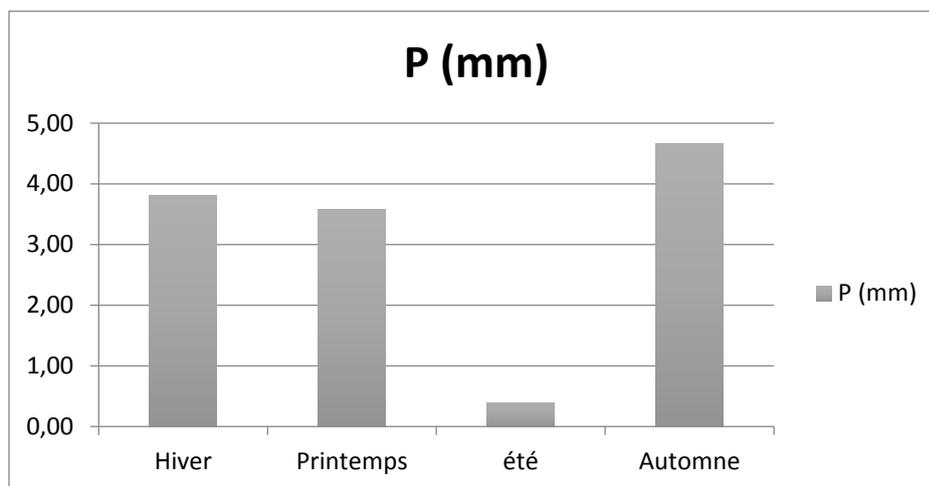


Figure I.9: Diagramme des pluies saisonnières

I.9.2 Températures

Outre l'importance des pluies pour l'activité végétative et la production, l'intensité du froid hivernal et la sécheresse estivale sont cruciales. Ces facteurs sont préoccupants car les espèces végétales sont particulièrement sensibles aux températures minimales en hiver et aux températures maximales en été, notamment lors des vagues de chaleur et de froid, ainsi qu'à l'amplitude de leurs variations.

À Ouargla, l'analyse des températures moyennes montre une augmentation progressive des températures durant les mois chauds, ce qui reflète un effet de continentalité.

Tableau I.4: Températures moyennes mensuelles (°C)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
T° max °C	19.66	21.35	25.58	31.15	35.6	41.2	44	42.6	38.34	31.8	24.8	19.79	31.32
T° min °C	5.28	7.36	10.87	16	20.4	24.6	28.2	27.6	23.86	17.03	11.9	6.2	16.6
T° moy °C	12.47	14.35	18.22	23.57	28	32.9	36.1	35.1	31.09	24.41	18.3	12.99	23.96

Source O.N.M

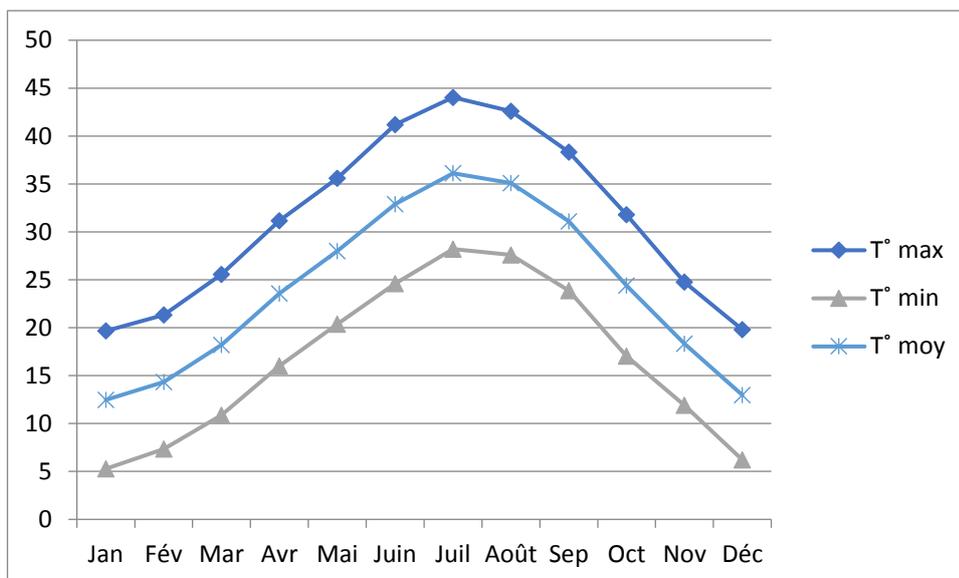


Figure I.10: Variation mensuelles des températures moyennes, Minimales, maximales.

I.9.3 Vents

Le vent est un facteur important à considérer dans l’agriculture. Il joue un rôle dans le phénomène de pollinisation et le flétrissement de certaines espèces végétales sensibles.

Pour la région d'Ouargla les vents fréquents qui soufflent sont deux types : les vents Nord-Ouest porteurs de pluie et les vents Sud- Ouest. Ces derniers sont généralement, secs et chargés de poussières, et ils se manifestent par des siroccos qui réduisent l’efficacité des pluies, augmentent l’évapotranspiration du couvert végétal, provoquant les risques su stress de sécheresse, accélèrent l’évaporation des réservoirs d’eau, et diminuent l’humidité. Les valeurs enregistrées dans la station d'Ouargla sont:

Tableau I.5 : Vitesse moyenne mensuelle du vent

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V(m/s)	2,5	2,7	3,0	3,3	3,3	3,4	3,1	2,9	3,0	2,7	2,4	2,4	2,9

Source O.N.M

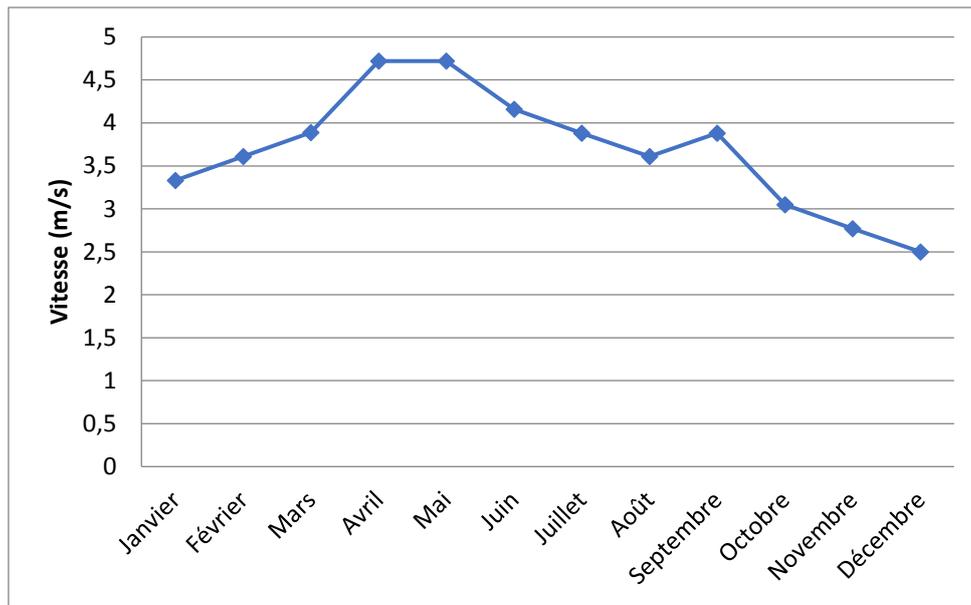


Figure I.11 : Représentation de la vitesse du vent en fonction du mois. Selon les données de l'Office National de la Météorologie (ONM), durant la période de surveillance, des vitesses de vent relativement élevées ont été enregistrées pendant toute la saison estivale, c'est-à-dire d'avril à juillet. Les valeurs maximales ont été observées plus particulièrement entre les mois de mai et de juin, atteignant respectivement **3.3m/s** et **3.4 m/s**.

Dans l'ensemble ces vents sont modérés pouvant avoir des impacts négatifs importants en milieu agricole. Ils se manifestant par une dégradation qui touche particulièrement la fertilité des sols, l'apparition d'encrouement en surface, le développement de nebkas, l'érosion sur les terres sableuses, les tempêtes de sable et plus particulièrement la mise à nu des systèmes racinaires des cultures. A cet effet, l'introduction de brises vents constitue les mesures d'accompagnement les plus adéquats pour la réussite du projet et la protection des futures cultures.

I.9.4 Le Sirocco

Le sirocco est un phénomène météorologique qui peut affecter la région d'Ouargla, située dans le Sahara algérien. Le sirocco est un vent chaud et sec qui souffle généralement du sud ou du sud-est. Il peut entraîner des températures élevées, une baisse de l'humidité relative et une augmentation de la quantité de poussière dans l'air. Ces conditions peuvent avoir un impact sur divers aspects de la vie quotidienne, y compris l'agriculture, en asséchant les sols et en affectant la croissance des cultures.

I.9.5 Humidité relative

L'humidité relative est une mesure qui indique la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à la quantité maximale qu'il pourrait contenir à une température donnée, exprimée en pourcentage. Cela permet de déterminer le degré d'humidité de l'air, ce qui peut avoir un impact sur le confort humain, la santé, la météorologie et d'autres aspects de l'environnement. En agriculture, l'humidité relative joue un rôle crucial car elle influence la transpiration des plantes, la croissance des cultures, et peut favoriser le développement de maladies fongiques. Une humidité relative élevée peut également entraîner la condensation sur les feuilles et favoriser la propagation des maladies, tandis qu'une humidité trop faible peut causer le dessèchement des plantes et des sols. Ainsi, un équilibre optimal de l'humidité relative est essentiel pour maintenir des conditions favorables à la croissance des cultures.

Tableau I.6: Humidité relative mensuelle

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
HR	5	5	4	33	2	2	1	2	3	3	4	6	37
%	8	0	1		8	1	8	1	0	7	9	2	

Source O.N.M

Le taux faible d'humidité est caractéristique des régions sahariennes, dans la région d'étude l'analyse du Tableau I.6 fait ressortir la valeur moyenne annuelle d'humidité est de 18% pour les mois les plus secs. Les mois de Décembre et Janvier sont les plus humides, avec une moyenne de 62 % et 58 % successivement.

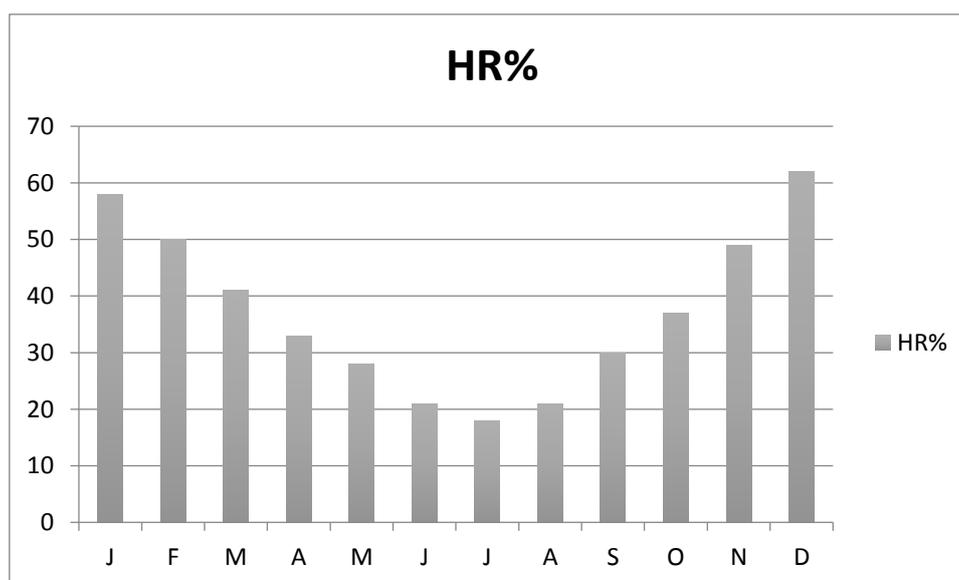


Figure I.12: Humidité relative mensuelle

I.10 Calcul des indices Agro-météorologiques

Pour évaluer le type de climat et comprendre comment les différentes variables climatiques affectent la croissance des plantes, nous nous concentrons sur deux éléments clés : la pluviométrie et la température

I.10.1 Indice d'aridité de Martonne

L'Indice d'aridité de De Maronne est défini comme suit :

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

Avec : I_A : indice climatique.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C)

Dans notre cas, nous avons : $I_A = \frac{33.78}{23.96+10} = 0.99$.

$I_A \approx 1$

Tableau I.7 : Classification du climat selon de Martonne

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

On obtient un indice d'aridité : $I_A < 5$

Selon la classification de MARTON, cela correspond à un régime désertique où l'irrigation est indispensable.

I.10.2 Le Quotient Ombrothermique d'Emberger

Cet indice est utilisé pour évaluer l'étage bioclimatique. Son calcul est effectué de la manière suivante :

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

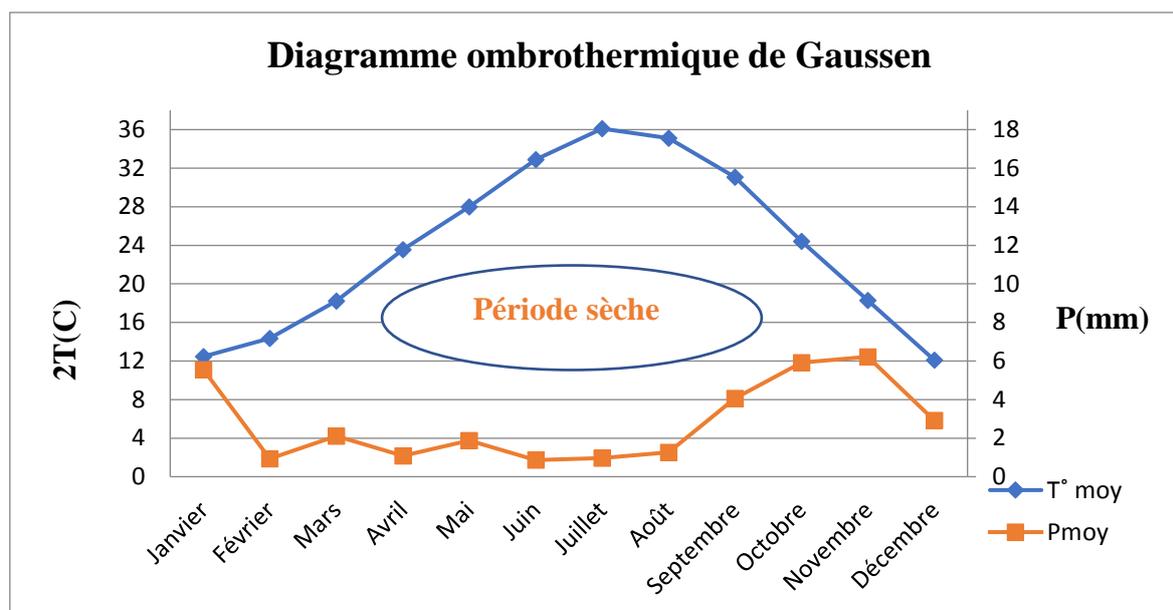


Figure I.14: Diagramme ombrothermique de Gaussen.

Description du graphe :

En analysant ce diagramme, il est clair que l'année hydrologique dans la région d'étude est marquée exclusivement par une période sèche, sans aucune trace de période humide. Cela indique que notre région est soumise à un climat sec, ce qui rend nécessaire l'utilisation de l'irrigation.

I.11 Données agronomiques

La wilaya d'Ouargla se caractérise par une vocation de type sylvo-agro-pastoral dont l'agriculture se distingue par une importante superficie en palmiers dattiers (phoeniculture).

Tableau I.8: La distribution totale des terres dans la wilaya d'Ouargla (Hectare)

Ouargla	SAU		Terres en jachère et pastorales (ha)	Terres non productives Réservées pour l'agriculture	SAT (superficie agricole total)(ha)	Superficie totale de la wilaya (ha)
	Total	irrigué				
Superficie (ha)	60648	57699	4 750 000	881 007	5 691 996	21 198 000
Pourcentage (%)	0.29	0.27	22.4	4.15	26.85	100

Source : La Direction des Services Agricoles (DSA) Ouargla

La répartition générale des terres permet de classer le paysage de la wilaya et d'envisager la structure de la couverture actuelle des terres. Deux grandes catégories d'occupation sont identifiées : les terrains agricoles et les en jachère et pastorales.

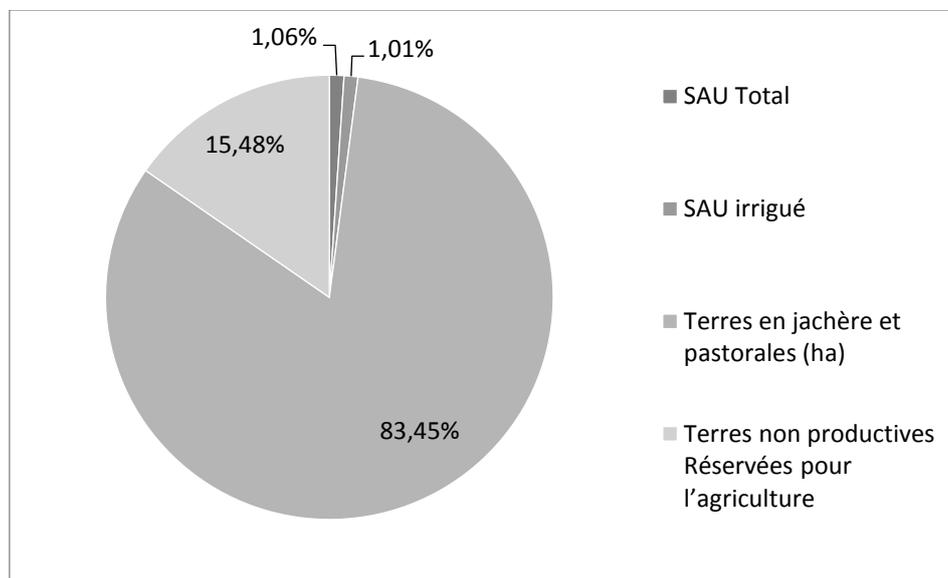


Figure I.15: Pourcentage de la surface de la wilaya d'Ouargla

Tableau I.9: Superficies des cultures irriguées

Cultures	Cultures céréalières	Cultures maraichères	Cultures fruitières (bour et ghout)	Cultures industrielles	Cultures fourragères	Vignobles	Total
Superficie (ha)	2697	3889.98	24265.26	56.10	312	31.08	31251.42
Pourcentage (%)	8.6	12.4	77.6	0.2	1	0.01	100

Source DSA Ouargla

La culture fruitière la plus dominante représentée par le palmier dattier occupe une superficie de 2465.26 ha soit un taux de 78 % de la superficie totale.

Tableau I.10: Situation par mode d'Irrigation

Mode d'irrigation	Gravitaires	Goutte à Goutte	Aspersion	pivot	autre	Total
Superficie (ha)	19952.63	5049.79	21	3294	2934	31251.42

Source DSA Ouargla

I.11.1 Elevage

Dans la wilaya d'Ouargla, on s'exprime pleinement la vocation agro-pastorale.

L'élevage présente un intérêt socio-économique très important il est représenté par le gros élevage, le petit élevage et l'aviculture

➤ Gros élevage:

Le gros élevage est parmi les principales activités agricoles les mieux placées dans la wilaya.

Il est composé de quatre principales espèces : ovin, bovin, caprin, et camelin cet élevage est maintenu comme activité indispensable grâce à l'exploitation des ressources naturelles, ou les parcours représentent 83 % de la superficie agricole totale (SAT) , les effectifs récents donnent l'état suivant :

Etat animaux (campagne 2019.2020)

Tableau I.11 : l'élevage de wilaya d'Ouargla

Espèces	Nombre de tête
BOVIN	895
Total vaches laitières	214
OVIN	145615
Brebis	68309
CAPRIN	214237
Chèvres	106649
CAMELIN	40134
Chamelle	28065
CHEVALLINE	458
Aulete	400
Jeune	58
MULASSIERE	554
ASINE	4054

Source DSA Ouargla

➤ **Les petits élevages :**

Le petit élevage est représentés par :

L'apiculture: L'apiculture est faible présentée dans la wilaya on compte 810 ruches pour une production de miel de 751Qx.

L'aviculture : repose essentiellement sur le poulet de chair avec une production de 448700

Tableau I.12 : Productions animales

Type de production	Production
Total production laitière : (x 1000L)	19304.01
Total viande rouge : Contrôlée	22289.79
Total viande rouge : Non contrôlée	56198.00
Production viande rouge totale (Qx)	78487.79
Totale viande rouge bovine	6796.00
Totale viande rouge ovine	50411.85
Totale viande rouge caprine	12022.94
Totale viande rouge cameline	9257.00
Total viande blanche : (Qx)	7499.70
Poulet chair	7357.70
Poulet ponte	0.00
Dinde	142.00

Source DSA Ouargla

Conclusion :

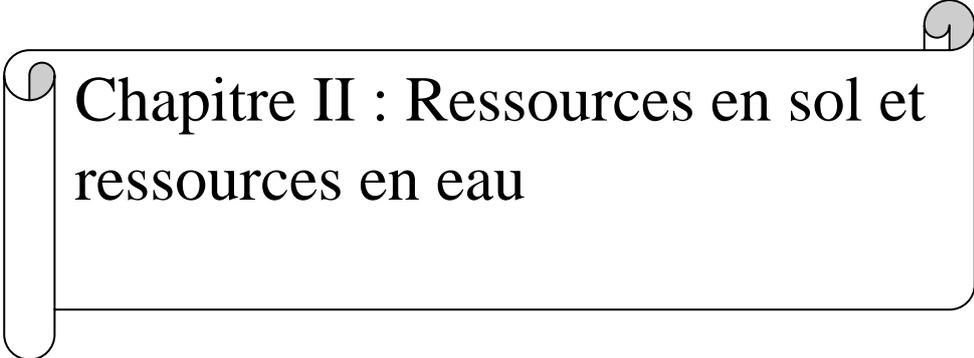
A travers ce chapitre, nous avons dégagé les principales caractéristiques climatiques de notre région d'étude.

Le climat de la commune d'Ouargla est de type continental désertique caractérisé par de faibles températures hivernales, des températures estivales très élevées et des vents de sables violents d'Avril à juin avec une faible humidité atmosphérique.

Les amplitudes thermiques sont très importantes entre le jour et la nuit et d'une Saison à une autre.

L'examen des données climatiques de la zone du projet met en évidence une nette dominance d'une saison chaude et longue.

La zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique Saharien Aride à hiver chaud. Les conditions climatiques de la zone du projet (notamment les températures) sont favorables à la culture du palmier dattier. Cependant elles le sont moins du point de vue pluviométrique, ce qui nécessitera une irrigation des cultures.



Chapitre II : Ressources en sol et
ressources en eau

II. Chapitre II : Ressources en sol et ressources en eau

Introduction

Pour l'aménagement du périmètre Larmah, l'étude pédologique est l'une des étapes essentielles pour prendre en compte la nature, les caractéristiques et les contraintes relevant du sol dans tout aménagement hydro-agricole. Pour l'irrigation, plusieurs caractéristiques doivent être prises en considérations. On peut citer notamment :

- La profondeur du sol qui commande l'épaisseur des couches accessibles aux racines et par suite la réserve en eau disponible.
- La texture ou granulométrie de la terre fine et la charge caillouteuse qui jouent sur les possibilités de rétention en eau.
- La structure et la porosité des horizons qui commandent la perméabilité du milieu, globalement, la plus au moins grande facilité de conduite des arrosages.
- Les caractéristiques chimiques (pH, CE) qui influent sur l'éventail des possibilités culturales de la zone à irriguer.
- La bonne connaissance du sol permet le bon choix des cultures les plus adaptées aux agriculteurs.

II.1 Les sols de Sahara

Au Sahara, la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité, sa fraction minérale est constituée dans sa quasi totalité de sable. La fraction organique est très faible inférieure à 1% et ne permet pas une bonne agrégation, ces sols squelettiques sont très peu fertiles et leur rétention en eau est très faible, environ 8 % en volume d'eau disponible (DAOUD et HALITIM, 1994).

II.1.1 Classification des sols sahariens

D'après BERKAL (2006), la couverture pédologique des sols sahariens, selon la classification française (C.P.C.S., 1967), présente une grande hétérogénéité et se compose de principales classes suivantes :

A. Les sols minéraux bruts

La plupart des formations superficielles du Sahara sont constituées d'eux. Les sols minéraux bruts d'érosion ou d'ablation sur roche dure, les sols minéraux bruts d'érosion ou d'ablation sur roche meuble et les sols minéraux bruts xériques organisés d'apport (sols de dépression) sont

principalement présents sur des marnes et des argiles salées et/ou gypseuses, à des horizons de surfaces compactes ou pulvérulentes.

B. Les sols peu évolués :

Ces sols présentent une réponse beaucoup plus faible que tous les précédents et sont localisés sur les terrasses alluviales des vallées et le fond des dépressions respectives. Ce n'est pas une salinisation excessive qui les affecte. Dans les vallées ou les zones de drainage des cours d'eau quaternaires, ils se distinguent par une plus grande abondance en éléments fins, argiles et limons, ainsi que en matière organique. Dans les dayas et les dépressions peu marquées des plateaux calcaires, on peut également trouver des sols peu évolués. En somme, ce sont des sols composés d'une alternance de dépôts grossiers apportés par le ruissellement et de dépôts fins déposés lentement par la décantation, pendant la période d'infiltration.

C. Les sols halomorphes

Ils sont principalement présents dans les terrains sédimentaires salins et gypseux, notamment ceux du Trias et du Crétacé. Ils se rencontrent également dans les régions basses et endoréiques (Sebkha et Chott) où l'évaporation rapide entraîne la formation d'encroûtements gypso-salins, gypseux ou gypso-calcaires.

II.1.2 Description et classification des sols du périmètre

Le territoire se trouve dans une région saharienne, confrontée à la problématique de l'érosion éolienne. Un cordon dunaire est observé au nord du périmètre délimité. En profondeur, les sols présentent une texture sablo-limoneuse. Il faudra effectuer des travaux d'amélioration foncière et de mise en valeur des sols du périmètre défini.

II.1.3 Caractéristiques physiques du sol

Le profil pédologique capture l'état actuel ainsi que l'évolution d'un sol à travers des observations analytiques, prenant en considération son environnement. Notre préférence va donc vers la collecte d'un échantillon représentatif du profil pédologique, offrant une compréhension approfondie des caractéristiques physico-chimiques du sol dans la zone d'étude.

II.1.4 La texture

La texture du sol se réfère à la taille et à la disposition des éléments qui le composent. Elle est évaluée en analysant des échantillons de terre fine obtenus après le tamisage pour éliminer les graviers ou les cailloux de plus de 2 mm de diamètre. Cette analyse granulométrique est réalisée en laboratoire.

II.1.5 La structure

La structure d'un sol résulte de la manière dont ses composants se disposent les uns par rapport aux autres. Même si deux sols ont une texture similaire, leur structure peut varier, avec des niveaux de stabilité différents et des effets variables sur la perméabilité à l'eau, à l'air et sur la croissance des racines.

La porosité, exprimée en pourcentage, régule l'état structural en fonction du volume des espaces vides dans le sol par rapport à son volume total. Elle est influencée par la texture du sol et calculée selon la formule suivante :

$$P = \frac{D - D_a}{D} \times 100$$

Où

- D : densité réelle.
- Da: densité apparente.

II.1.6 La perméabilité

La perméabilité du sol est définie par la vitesse à laquelle l'eau s'infiltré à travers lui, mesurée par la vitesse apparente de l'eau qui s'écoule à travers un sol saturé sous une pente motrice égale à l'unité, représentée par le coefficient K de la loi de Darcy. Selon les différentes valeurs de K, les sols peuvent être classés comme suit :

- ✓ Sols imperméables $K < 10^{-6}$ m/s
- ✓ Sols peu perméables $10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-6}$ m/s
- ✓ Sols perméables $5 \cdot 10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-5}$ m/s
- ✓ Sols très perméables $K > 5 \cdot 10^{-5}$ m/s

La perméabilité est évaluée en laboratoire en mesurant le débit d'eau qui traverse le sol pendant une période donnée, en maintenant une charge constante.

Tableau II.1 : Perméabilité de sol

Le point	Sol	Perméabilité K en cm/h	La masse volumique kg/L
Larmah	Sable de dune	7,20-12,80	1,56-1,60
	Sable grossier	78	1,6

Source DSA Ouargla

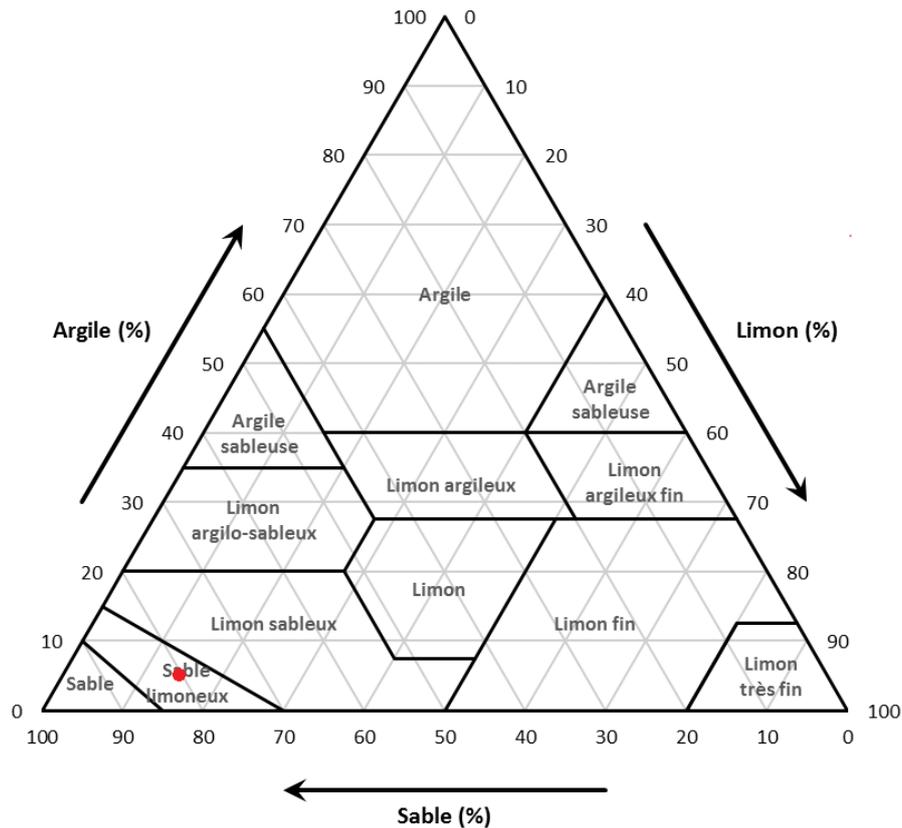


Figure II.1 : Classification des sols

Source DSA Ouargla

II.2 Ressource en eau

II.2.1 Introduction

La sélection d'une source d'eau pour l'irrigation doit être influencée par la nature et la concentration des substances qu'elle contient, ainsi que par les propriétés physiques et chimiques du sol.

II.2.2 Aperçu hydrogéologique générale du Sahara

Les eaux souterraines constituent la seule source d'eau de la wilaya. Elles sont stockées dans les aquifères du complexe Terminal et du continental intercalaire.

1) Complexe Terminal :

- La nappe miopliocène, couramment désignée sous le nom de nappe des sables, s'étend sur environ 150 mètres d'épaisseur et est principalement constituée d'alternances de sables et d'argiles.

- La nappe du sénonien carbonaté est formée de calcaires sénoniens poreux et fissurés, avec une épaisseur moyenne d'environ 360 mètres.
- La nappe du Turonien, d'une épaisseur d'environ 60 mètres, est principalement composée de calcaires fissurés.

2) Continental Intercalaire :

Le continental intercalaire, plus couramment désigné sous le nom de nappe de l'Albien, représente le principal réservoir géologique du Sahara. Il est principalement composé de sable, de grès et d'argiles sableuses datant de l'Albien et du Barrémien. Dans la wilaya de Ouargla, la profondeur moyenne de cette nappe varie entre 1200 et 1700 mètres, avec un débit moyen d'exploitation de 120 litres par seconde. Les eaux de cette nappe sont chaudes, atteignant parfois les 60 °C dans certaines zones, et présentent un résidu sec oscillant entre 1,5 et 1,7 g/l.



Figure II.2 : Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT).

II.2.3 L'analyse de l'eau d'irrigation

Le futur périmètre sera irrigué à partir du forage Albien Larmah a été réalisé par l'entreprise Tassili

Tableau II.2: le forage albien

Communes	Lieu	Nom des Forages Albien	Profondeur (m)	Coordonnées UTM		Réalisation du forage
				X	Y	
Ouargla	Larmah	Larmah	1430	706454	3538854	Réalisé



Figure I.3: Forage Albien Larmah

II.2.4 Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe continental intercalaire

l'ANRH permis d'identifier les caractéristiques suivantes du forage F:

Tableau II.3: Qualité de l'eau de l'irrigation

Eléments	mg/l	méq/l
Ca ²⁺	93	4.65
Mg ²⁺	227	18.92
N a ⁺	480	20.87
K +	29	0.74
Cl -	895	25.21
SO ₄ ²⁻	725	15.1
HCO ₃	102	1.68
CO ₃	0	0
NO ₃	14	0.23

Tableau II.4 : Analyse des données

Analyse des données	
Somme des cations	45.02 méq/l
Somme des anions	41.22 méq/l

Somme des ions	2561 mg/l
Résidu sec à 110c	2961 mg/l
Minéralisation	3231 mg/l
Conductivité électrique	2.19 ms/cm
PH	7.84
Turbidité	2
SAR	6.08

Source ANRH Ouargla

- Classification mondiale (F.A.O) :

La classification donnée en fonction de la concentration des sels.

*1 g/l bonne irrigation.

*1-3 g/l faiblement salée.

*3-5 g/l moyennement salée

*5-10 g/l fortement salée.

*>10g/l extrêmement salée.

- Classification américaine :

Conductivité électrique :

La conductivité électrique, liée à la mobilité des ions, est évaluée à 25 °C et exprimée en millimhos par centimètre. Il existe quatre catégories de risque de salinité de l'eau, classées en fonction de sa conductivité électrique.

Tableau II.5 : Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique CE (mmhos/cm) à 25°C	Qualité deseaux
C1	CE ≤ 0,25	Risque faible
C2	0,25 < CE ≤ 0,75	Risque moyen
C3	0,75 < CE ≤ 2,25	Risque élevée
C4	CE > 2,25	Risque très élevée

Remarque :

- C1 : convient pour toutes les cultures .
- C2 : convient pour les plantes moyennement tolérantes .

- C3 : ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes .
- C4 : eau difficilement utilisable sur sol bien drainé.

D'après l'ANRH, l'eau prévue pour l'irrigation du périmètre étudié a une conductivité électrique moyenne : **CE = 2.19mmhos/cm**

SAR (Sodium Absorption Ration) :

Si l'eau contient une quantité significative de sodium, celui-ci peut se fixer sur le complexe argilo-humique du sol, entraînant une déstabilisation de sa structure. Pour évaluer le risque d'alcalinisation, on compare donc les concentrations d'ions Na⁺ avec celles d'ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺. Trois niveaux de danger d'alcalinisation ont été établis en relation avec le risque salin.

S.A.R est calculé par la formule suivante :

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

Avec : Na⁺, Ca⁺⁺, et Mg⁺⁺ en meq/l.

Tableau II.6 : Classification des eaux en fonction du S.A.R

Classe	S.A.R	Danger d'alcalinisation
S1	SAR ≤ 10	Risque faible
S2	10 < SAR ≤ 18	Risque moyen
S3	18 < SAR ≤ 26	Risque élevé
S4	SAR > 26	Risque très élevé

✓ **Commentaire des analyses :**

D'après ces résultats, il apparaît que :

- La conductivité électrique est de **CE = 2.19mmhos/cm**

- Le SAR est de 5,98, indiquant un faible risque de salinité et aucun risque d'alcalinisation. L'eau est donc classée C3-S2

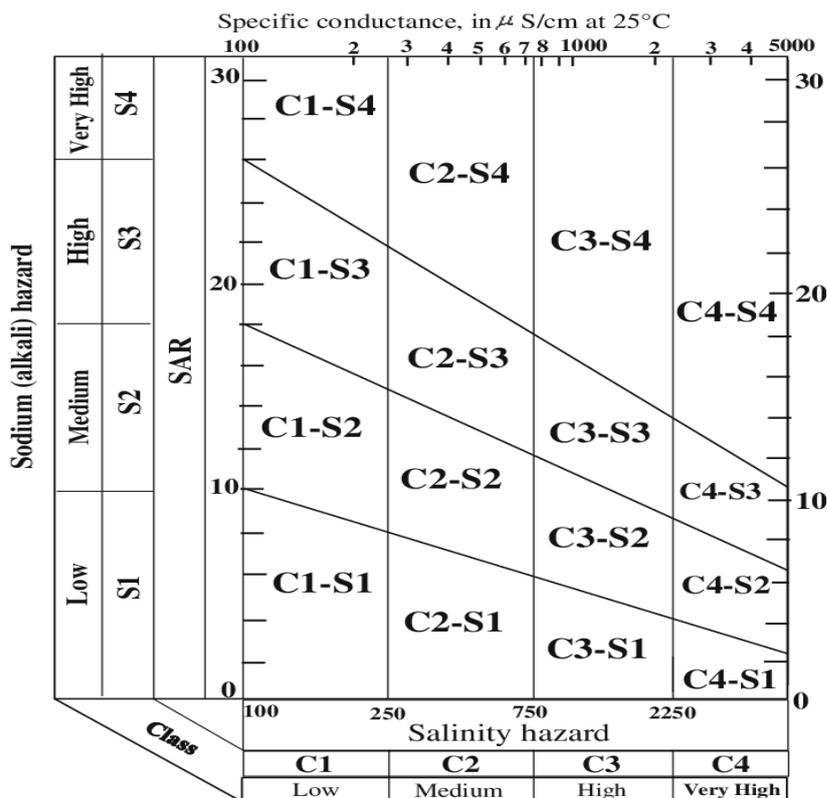


Figure II.4 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation

L'eau de classe **C3-S2** présente des défis significatifs pour l'irrigation agricole en raison de sa salinité élevée (C3) et de son risque modéré d'alcalinité (S2). Bien que cette eau puisse être utilisée pour l'irrigation, elle nécessite une gestion rigoureuse pour prévenir les problèmes de salinisation du sol et la dégradation de sa structure. Cela implique des pratiques telles que l'amélioration du drainage, le lessivage des sels accumulés, et l'utilisation de cultures tolérantes à la salinité. En résumé, bien que cette eau soit utilisable, elle demande une attention particulière pour éviter des impacts négatifs sur la productivité agricole à long terme.

II.3 Calcul de la pluie de projet

L'évaluation de la pluviométrie anticipée revêt une importance cruciale, car elle est utilisée pour déterminer les besoins en eau des cultures envisagées dans la zone étudiée.

II.3.1 Choix de la station

En prenant en considération l'emplacement de notre périmètre, le choix de la station météorologique est déterminé en vérifiant les critères suivants :

- Proximité géographique avec le périmètre ;
- Actualité des relevés effectués par la station, couvrant une période d'observation considérée comme satisfaisante.

Tableau II.7. Caractéristiques de la station Hydro climatique d'Ouargla

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation	Durée d'observation
Ouargla	5°40E	31°92N	130	1990-2022	33ans

Source : ONM Ouargla

Tableau II. 8: Pluies moyennes mensuelles

ann	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aut	sep	oct	nov	dec	annu ell
1990	44,3	0	0	25,6	15,7	0	0	0	0	0	10	6,1	102,7
1991	0	0	1,4	0	1,9	0	0	0	0	1,2	2,5	1,9	8,9
1992	3,6	0	15,6	6,6	0,5	0	0,1	0	0,4	0	11,7	22,4	60,9
1993	0	5,7	0,8	0	0	0	0	0	0,3	2,1	3,7	3	15,6
1994	2,8	0,2	147,4	1,5	0	2,5	0	0	15,2	10,1	0	2,2	51,9
1995	0,5	0	16,4	0	1,8	0	0	0	11,3	4,3	2,1	4,3	40,7
1996	23,5	6,3	14,8	1,5	0,9	0	0,7	0	8,7	0	0	1,2	57,6
1997	2	4	0	4,8	0	0	0	0,3	8	7,9	0,9	1,6	29,5
1998	0	0	2,1	2,7	0	1	0	0	0	3,6	1	0,2	10,6
1999	19	0,7	0	0,6	0	0	0,6	0	0,8	0	22,9	4,1	48,7
2000	0	0	0	1	50,9	0	0	0	0	36,4	0	0	88,3
2001	0	0	0	0,4	0	0	0	0	1	0,6	0,3	0,3	5,9
2002	0	0	0	0	5	0	0	2,4	2,5	2,6	2,4	0	14,9
2003	15,5	6,4	6,1	0	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0,2	28,8
2004	6,5	0	21,7	5,4	0	0,2	0	13,1	0	19,6	43,3	8	7,8
2005	0,2	0	1	0	0	0	0	0	3,2	2	17,2	0,1	23,7
2006	9,4	0	0	1,2	0	0	0	0	3	5,9	0	0,8	20,3
2007	0	0	0	3,5	0,3	0	0	2,9	0	0,3	0	6,1	13,1
2008	5,7	0	1,2	0	0	0,4	0	0	14,2	24,1	0,2	0,6	46,4
2009	54,1	1,5	10,6	0,8	0	2,5	0	0	6,3	0,1	0	0	75,9
2010	4,4	0	0	0,7	1,7	3	2,2	0	7,7	3,9	0	0	23,6
2011	0	0	11,1	1,7	0	0	0	0	0,1	5	0	0	17,9
2012	16,2	5,5	1	3,5	0	0	1,3	0,3	4,6	0	0	0	32,4
2013	16	0	0,2	6,3	0	0	0	2,4	0	0	4,6	24,5	41,6
2014	0	0	0,4	0	14,1	2	0	0	0	3,1	6,8	5,8	32,2
2015	0,8	24,5	4,7	0	0	0	0	0	1,3	0	0	0	31,3
2016	0	0	2	1	0	0	0	0	4,6	4,3	0,7	4,5	17,1

2017	0,25	0	21,08	0,76	0	0,25	0	0	12,95	23,12	14,48	2,28	75,17
2018	0	5,33	0	0	5,08	0	0	1,02	10,92	0	0,76	0	23,11
2019	0	0	4,07	13,97	3,81	0	0	0	1,53	2,03	0	0	25,41
2020	0	0	2,03	5,08	3,05	0	0	0	3,05	0	0	0	13,21
2021	0	0	0	0	2,79	0	0	0	1,02	0	29,97	0	33,78
2022	0	0	0,51	0,25	0,5	0	0	0	0	0	0	1,01	2,27

Cette série des pluies annuelles présente des caractéristiques statistiques suivantes :

Tableau II. 9: Caractéristiques de la série pluviométrique.

Ecart-type	24,76
Médiane	28,80
La moyenne	33,98mm
Pmax	102,70mm
Pmin	2,27mm
Cv	0,73

II.4 Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique

II.4.1 Test de Wilcoxon :

Pour vérifier l'homogénéité d'une série pluviométrique, on utilise le test de Wilcoxon. Cette méthode repose sur le procédé suivant :

1. La série complète est divisée en deux sous-séries : X et Y, avec $N1$ et $N2$ représentant respectivement les tailles de ces sous-séries, en général $N1 > N2$.
2. Ensuite, on reconstitue la série XUY en classant les valeurs de la série pluviométrique d'origine par ordre croissant. Chaque valeur de la série classée est attribuée à son rang, tout en précisant à quelle sous-série elle appartient.
3. Wilcoxon a démontré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Toaibia, 2004), si la relation suivante est vérifiée : $W_{min} < W_x < W_{max}$.

Avec :

$W_x = \text{Rang } x$

W_x : Somme des rangs de sous séries

$$W_{min} = \left(\frac{(N1+N2+1)N1-1}{2} \right) - 1,96 \left(\frac{N1N2(N1+N2+1)}{12} \right)^{1/2}$$

$$W_{max} = ((N1+N2+1).N1 - W_{min})$$

X	Y	XUY	série d'origine	Rang
102.7	46.4	2.27	Y	1
8.9	75.9	5.9	X	2
60.9	23.6	7.8	X	3

15.6	17.9	8.9	X	4
51.9	32.4	10.6	X	5
40.7	41.6	13.1	X	6
57.6	32.2	13.21	Y	7
29.5	31.1	14.9	X	8
10.6	17.1	15.6	X	9
48.7	75.17	17.1	Y	10
88.3	23.11	17.9	Y	11
5.9	25.41	20.3	X	12
14.9	13.21	23.11	Y	13
28.8	33.78	23.6	Y	14
7.8	2.27	23.7	X	15
23.7		25.4	Y	16
20.3		28.8	X	17
13.1		29.5	X	18
		31.3	X	19
		32.2	Y	20
		32.4	Y	21
		33.78	Y	22
		40.7	X	23
		41.6	Y	24
		46.4	Y	25
		48.7	X	26
		51.9	X	27
		57.6	X	28
		60.9	X	29
		75.17	Y	30
		75.9	Y	31
		88.3	X	32
		102.7	X	33

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

$n=18$

$m=15$

$W_{min}=251,79$

$W_{max}=360,21$

$W_x=316$

Donc : $251,79 < W_x < 360,21$

La condition de Wilcoxon est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelles de la station Ouargla est homogène

II.4.2 Ajustement de la série pluviométrique

Les séries pluviométriques peuvent être ajustées à l'aide de nombreuses lois statistiques. Pour notre projet, nous utilisons celles qui offrent le meilleur ajustement possible. Les lois d'ajustement les plus couramment employées sont les suivantes :

- Loi de Gauss ou loi normale
- Loi de Gibrat-Galton ou loi log-normale

Ces deux lois de probabilité continues dépendent de deux paramètres : l'espérance μ et l'écart type σ . Dans le cas de la loi log-normale, ces paramètres sont remplacés par $\log(\mu)$ et $\log(\sigma)$.

Pour nos calculs, nous avons utilisé le logiciel HYFRAN.

II.4.2.1 Ajustement à la loi normale :

La fonction de répartition est :

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

Avec :

$$U = \frac{x - \bar{X}}{\sigma}$$

\bar{X} : Moyenne

σ : L'écart type

Les résultats de l'Ajustement de la série des pluies moyenne annuelles de la station d'Ouargla obtenu par le logiciel HYFRAN sont résumés ci-après.

Pour les calculs, nous avons utilisé le logiciel HYFRAN. Les résultats de calcul sont détaillés dans le tableau suivant

Tableau II.10 : Résultat de l'ajustement à la loi Normale (Hyfran)

P. retour T (ans)	Freq. Non Dépassement	L'écart type	Quantile (mm)	Intervalle de confiance
5.0	0.8000	5.03	54.2	44.4 - 64.1
3.0	0.6667	4.51	44.1	35.2 - 52.9
2.0	0.5000	4.31	33.4	25.0 - 41.9
1.25	0.2000	5.03	12.6	2.73 - 22.5

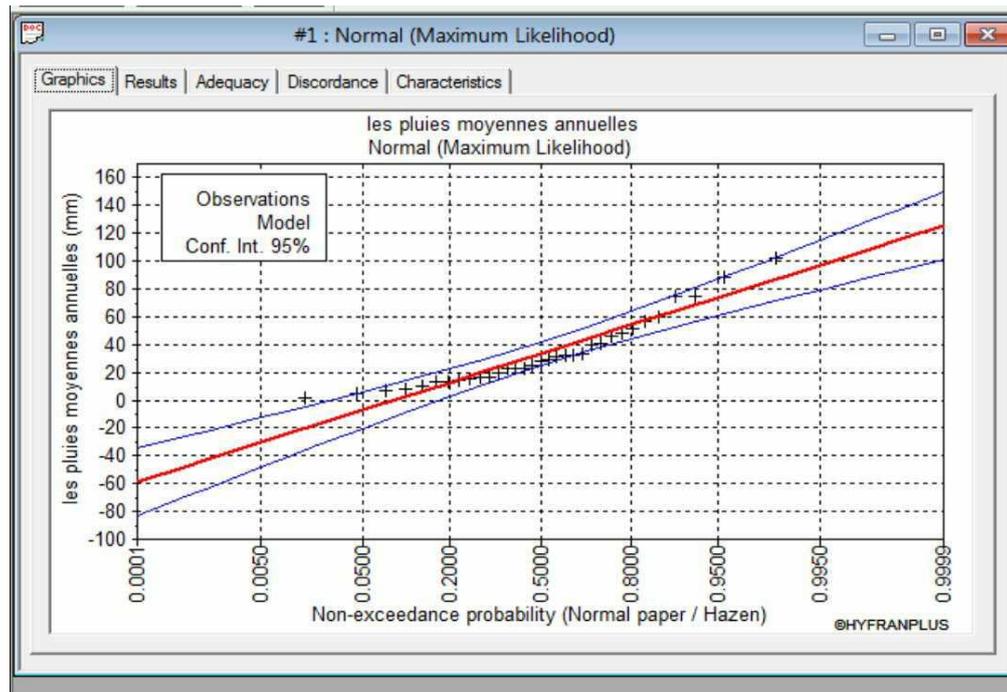


Figure II.5: courbe d'ajustement des pluies à la loi normal

L'estimation des paramètres de la loi normal, on trouve

Mu=moyenne=33.98

Sigma=24.39

II.4.2.2 Ajustement à la loi log-normale :

Cette méthode est comme suit : les données statistiques des pluies sont rapportées à une autre échelle à savoir l'échelle du log-normal. Nous avons l'équation de la droite qui s'écrit comme suit :

$$\mathbf{Ln (Xp\%)} = \overline{\ln (X)} + \mathbf{sdlog} \times \mathbf{Up\%} \dots\dots\dots \mathbf{II.4}$$

Ln : symbole de l'opérateur mathématique correspondant au logarithme népérien.

Xp% : précipitation probable à p%.

$\overline{\ln (X)}$: Moyenne arithmétique du log des précipitations observées.

sdlog : l'écart-type, calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique, sa formule s'écrit comme suit :

$$\mathbf{sdlog} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln (X_i) - \overline{\ln (X)})^2}, \text{ si } n < 30$$

et

$$\mathbf{sdlog} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln (X_i) - \overline{\ln (X)})^2}, \text{ si } n \geq 30$$

●Up% : variable réduite de Gauss.

Tableau II.11 Résultat de l'ajustement à la loi log-normale (Hyfran).

P. retour T (ans)	Freq. Non Dépassement	L'écart type	Quantile (mm)	Intervalle de confiance
5.0	0.8000	8.76	51.6	34.4 - 68.7
3.0	0.6667	5.56	36.6	25.7 - 47.5
2.0	0.5000	3.71	25.5	18.3 - 32.8

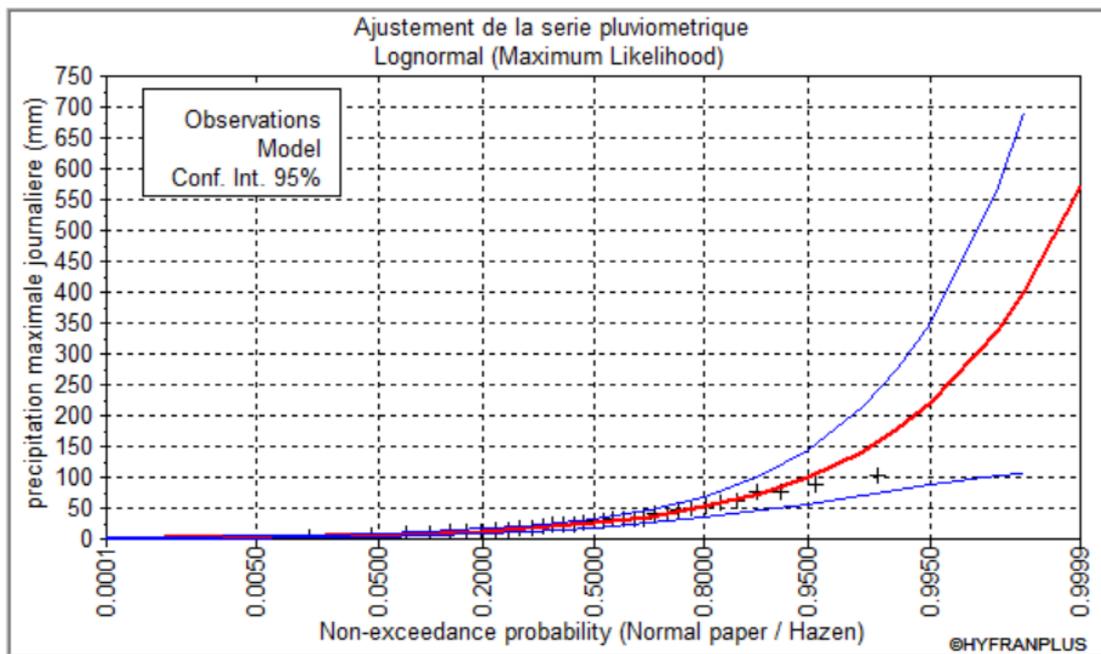


Figure II.6: courbe d'ajustement des pluies à la loi log normal

Les paramètres estimés pour la loi log normale

Meanlog=3.240124

sdlog = 0.822274

II.4.3 Test de validité d'un ajustement

Après avoir effectué un ajustement, il est important de comparer l'adéquation des différentes lois pour adopter celle qui offre le meilleur ajustement.

II.4.4 Validation des résultats d'ajustement

Par l'utilisation des tests statistiques pour trouver la loi la plus adéquate pour notre vecteur des données, en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov, test de Cramer-von Mises et test de Anderson-Darling, les résultats présentés dans le tableau suivant

	Loi Normale	Loi log normal
Kolmogorov-Smirnov statistic	0.1698939	0.08803416
Cramer-von Mises statistic	0.1779995	0.02879600
Anderson-Darling statistic	1.0818108	0.22064490

Les résultats des tests statistiques montrent que la loi log-normale avec les paramètres **Meanlog=3.240124** et **sdlog = 0.822274** est la meilleure pour l'ajustement de notre série des précipitations annuelles.

II.4.5 Détermination de l'année de calcul :

L'objectif principal de la détermination de l'année de calcul est d'évaluer la quantité de pluie utilisable par la plante, qui correspond à une fraction de la pluie efficace

(précipitations avec une probabilité de 80%). Pour obtenir la pluviométrie mensuelle moyenne avec une probabilité de 80%, on utilise la loi suivante :

$$P_{80\%sec} = P_{moy.i} \times \frac{P_{80\%}}{P_{50\%}}$$

Avec :

- $P_{80\%sec}$: la précipitation mensuelle de l'année de calcul
- $P_{moy.i}$: La précipitation moyenne mensuelle
- $P_{80\%}$: La précipitation théorique annuelle de fréquence 80%
- $P_{50\%}$: La précipitation théorique annuelle de fréquence 50%

Puisque la loi log normale est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région

$P_{théorique (80\%) annuelle} = 25,5$

$P_{théorique (50\%) annuelle} = 51,6$

Les pluies de fréquence 80% suivant la loi Log-Normale, sont données comme suit :

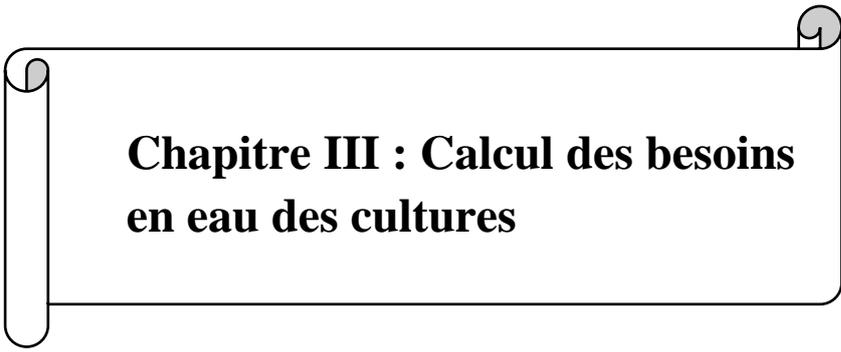
Tableau II.12 : La pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80%

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aut	sep	oct	nov	dec
Pmoy mm/mois	3,72	4,93	5,32	3,17	6,43	1,82	4,73	2,72	3,27	0,36	0,15	0,68
P80% Mm/mois	2,3	3,05	3,29	1,96	3,98	1,13	2,93	1,68	2,02	0,22	0,093	0,42

Conclusion :

Ce chapitre a été dédié à l'étude des ressources en sol et en eau, essentielles à la réalisation d'un projet d'irrigation dans la région analysée.

L'analyse agro-pédologique de la zone ainsi que les analyses physico-chimiques des sols ont révélé des propriétés adéquates pour la valorisation de ce périmètre.



**Chapitre III : Calcul des besoins
en eau des cultures**

III. Chapitre III : Calcul des besoins en eau des cultures

Introduction

L'irrigation consiste à apporter de l'eau au sol, créant un environnement propice à la croissance et au développement des cultures, et comblant les carences des approvisionnements naturels, généralement causées par les précipitations.

Les besoins en eau dépendent principalement du type de culture et des conditions climatiques telles que les précipitations, le vent, la température, la lumière et l'humidité.

Les besoins en eau des cultures sont définis comme la quantité totale d'eau utilisée par une culture tout au long de son cycle de croissance, y compris les apports naturels tels que les précipitations et les réserves du sol.

III.1 Besoin en eau du périmètre

La compréhension précise des besoins en eau des cultures constitue le fondement essentiel de tout projet d'irrigation. Leur évaluation requiert une connaissance approfondie de plusieurs paramètres, comprenant à la fois les caractéristiques propres à la plante ainsi que les données climatiques et pédologiques spécifiques à la région déterminée au préalable.

III.1.1 Calcul des besoins en eau

Les besoins hydriques des cultures sont définis comme la quantité d'eau fournie à la plante aux moments opportuns, dans le but de créer les conditions d'humidité optimales nécessaires pour obtenir un rendement maximal. La détermination des quantités d'eau à apporter par irrigation est réalisée en effectuant périodiquement, pour chaque stade végétatif, une évaluation précise de la balance hydrique.

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

Où :

- **ETM**: est la valeur de l'évapotranspiration maximale en mm, elle est égale à : $ET_0 * K_c$
- **K_c** : le coefficient culturel de la culture considérée.
- **P_{eff}** : est la pluie efficace.
- **RS_{i-1}** : La réserve utile du sol du mois précédent
- **RFU** = $Y (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Da \cdot Z$.
- **Y** : degré de tarissement.
- **Da** : densité apparente. On prend 1.4 car la texture du sol est sablo-limoneuse.

- **Z** : profondeur d'enracinement mm.
- **Hcc** : humidité à la capacité au champ.
- **Hpf** : humidité au point de flétrissement.
- **Peff** : pluie efficace.

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

L'évapotranspiration englobe à la fois l'évaporation de l'eau depuis le sol et la transpiration des plantes. L'évapotranspiration de référence se réfère à la valeur maximale de cette mesure pour une surface uniformément couverte par un gazon court, bien irrigué, en pleine croissance active, et étendue sur une parcelle suffisamment vaste.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'évapotranspiration de référence, qui se répartissent en deux catégories principales :

1. Méthodes directes et indirectes :

2. Méthodes directes :

- Cuve lysimétrique
- Bac évaporant

Méthodes indirectes : Ces méthodes calculent l'évapotranspiration de référence (ET₀) à partir de formules basées sur des paramètres climatiques, appelées formules empiriques.

Les principales formules incluent :

- Priestley-Taylor
- Turc
- Blaney-Criddle
- Thornthwaite
- Penman

Dans notre cas, nous avons évalué l'ET₀ en utilisant la méthode la plus couramment employée, celle de Penman-Monteith modifiée.

Formule Modifiée de Penman_ Monteith :

La formule de Penman-Monteith modifiée est la formule la plus utilisée depuis 1948 et elle est recommandée par le FAO, elle est détaillée comme suit :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{Cste}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)}$$

Avec :

ET₀ : évapotranspiration de référence [mm jour⁻¹],

R_n : rayonnement net à la surface de la culture [MJ m⁻² jour⁻¹],

G : Densité du flux thermique dans le sol [MJ m⁻² jour⁻¹],

T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]

u₂ : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s⁻¹]

e_s : pression de vapeur saturante [kPa]

e_a : pression de vapeur réelle [kPa]

L'évapotranspiration de référence a été déterminée sur la base de la formule modifiée de Penman-Monteith e à l'aide du logiciel CROPWAT.

Les données mensuelles suivantes enregistrées à la station Ouargla ont été utilisées pour les calculs.

Température : Températures mensuelles minimales et maximales.

– Humidité : Humidité relative exprimée en pourcentage.

– Rayonnement solaire : est exprimé en heures de rayonnement solaire.

- Vitesse du vent : La vitesse du vent peut être saisie en km/jour.

Le tableau suivant représente l'évapotranspiration de référence ET₀ calculée à l'aide du logiciel CROPWAT.

Tableau III.1 : Résultat de calcul de L'Evapotranspiration de référence (E To)

Mois	T Min	T Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray	ET ₀
	C°	C°	%	(km/j)	(h)	(MJ/m ² /j)	(mm/j)
Janvier	5,3	19,7	58	291	7,6	12,6	2,35
Février	7,4	21,4	50	319	7,9	15,2	2,78
Mars	10,9	25,6	41	359	8,6	18,9	3,98
Avril	16	31,1	33	413	9,4	22,5	5,02
Mai	20,4	35,6	28	420	9,3	23,6	6,46
Juin	24,6	41,2	21	368	10,2	25,3	7,13
Juillet	28,2	44	18	338	11	26,2	7,68
Août	27,6	42,8	21	336	10,5	24,4	8,23

Septembre	23,9	38	30	338	8,5	19,5	6,24
Octobre	17	31,8	37	271	8,2	16,3	5,32
Novembre	11,9	24,8	49	244	7,9	13,3	3,44
Décembre	6,2	19,7	62	228	6,9	11,2	2,74
Moy	16,62	31,31	37,33	327,08	8,83	19,08	5,11

III.1.2.1 L'évapotranspiration maximale (ETM)

Evapotranspiration Maximale (ETM) Représente le besoin en eau des plantes selon leur stade de végétation et est déterminé par la formule suivante : $ETM = Kc \times ETO$

Avec :

- Kc : coefficient cultural
- Et0 : évapotranspiration de référence

III.1.3 Calcul de la pluie efficace

Il s'agit de la proportion des précipitations totales réellement utilisée par les cultures, elle dépend de la nature de la pluie et du type de sol. Dans les régions sahariennes, en raison des sols sableux et des précipitations mensuelles très variables faibles, la pluie utile est généralement négligeable. Pour estimer la pluie efficace, nous avons utilisé une méthode qui se base sur un pourcentage de la pluie totale. Cette méthode est détaillée comme suit :

$$Pe_{ff} = 0,8 \times P_{sec80\%}$$

Avec :

- Pe_{ff} : pluie annuelle efficace en (mm/mois).
- P_{sec80%} : Pluie sec de probabilité de dépassement de 80%, en (mm)

Les calculs sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : pluies moyennes et pluies efficaces.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80% mm/mois	2,3	3,05	3,29	1,96	3,98	1,13	2,93	1,68	2,02	0,22	0,093	0,42
Pe_{ff} Mm/mois	1,84	2,44	2,63	1,57	3,18	0,9	2,34	1,34	1,61	0,18	0,074	0,34

III.1.4 Calcul de la réserve en eau du sol

La réserve en eau du sol représente la capacité d'absorption et de restitution d'eau du sol à la plante. On la désigne par le terme de "réserve facilement utilisable" (RFU), équivalant à un tiers ou deux tiers de la réserve utile (RU).

Dans notre analyse, la réserve en eau du sol pour le mois $i-a$ est déterminée comme suit :

$$R_s = K * RFU (i-1) \dots \dots \dots III.3$$

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

Dans notre cas, La réserve en eau du sol $i-1$ est considérée comme nulle vu que la région est aride caractérisée par une texture de sol majoritairement sableuse à sablo-limoneuse.

III.2 Choix des cultures

Plusieurs facteurs sont pris en compte lors de la sélection des cultures à cultiver, parmi lesquels :

- Les caractéristiques climatiques de la région.
- Le type de sol et les contraintes pédologiques.
- La disponibilité des ressources en eau.
- La vocation de la région et les contraintes socio-économiques qui y sont associées.

III.2.1 Occupation des sols

La culture des céréales représente un secteur économique important et constitue l'aliment de base d'une grande partie de la population mondiale.. En Algérie, la céréaliculture constitue l'activité agricole prédominante, particulièrement dans les zones arides et semi-arides.

Les cultures, notamment céréalières et maraîchères, sont relativement adaptées aux conditions climatiques locales.

Nous proposons d'élaborer un modèle d'occupation des sols qui s'appuie principalement sur les céréales, l'arboriculture rustique et les cultures maraîchères, présenté comme suit :

Tableau III.3 : Occupation du sol.

Les cultures	Surface (ha)
Blé	48
Tomate	10
Avoine	8

Olivier	32
Palmier dattier	60
Pomme de terre	20

Le cycle végétatif des cultures envisagées est détaillé dans le tableau III-6

Tableau III.4 : Cycle végétatif des cultures envisagées

Mois	sept	oct	nov	Dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	Juil	Aout
Blé			←									
Avoine			←									
Tomate							←					
Pomme de terre		←										
Palmier dattier	←											→
Olivier	←											→

III.2.2 Estimation des coefficients culturaux (Kc)

Les coefficients culturaux (Kc) pour chaque culture ont été déterminés conformément aux valeurs établies par Doorenbos (FAO, 2003), en prenant en compte le stade végétatif de la plante ainsi que le climat spécifique considéré. Ces coefficients sont présentés dans le tableau III.5.

Tableau III.5 : Coefficients culturaux des cultures.

Les cultures	Blé/Avoine	Pomme de terre	Tomate sous serre	Palmier	Olive
Mois	Kc	Kc	Kc	Kc	Kc
Septembre				0,80	0,85
Octobre		0,5		0,80	0,85
Novembre	0,4	0,7		0,80	0,75
Décembre	0,7	1		0,80	0,65
Janvier	0,85	0,75		0,80	0,65
Février	0,95			0,80	0,65
Mars	1,05			0,80	0,65
Avril	1,03		0,5	0,80	0,65
Mai	0,45		0,85	0,80	0,65
Juin			1,15	0,80	0,8
Juillet			0,95	0,80	0,85
Aout				0,80	0,85

(Source : Référence bulletin FAO d'irrigation et drainage)

III.3 Calcul des besoins en eau des cultures

- Besoin en eau de L'olivier :

Tableau III.6 : dose d'irrigation de l'olivier

Mois	Pmoy	peff (mm/mois)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM(mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	3,72	1,84	187,2	0,85	159,12	1,5	126	0	157,28
oct	4,93	2,44	164,92	0,6	98,952	1,5	126	0	96,51
nov	5,32	2,63	103,2	0,6	61,92	1,5	126	0	59,29
dec	3,17	1,57	84,94	0,6	50,964	1,5	126	0	49,39
janv	6,43	3,18	72,85	0,6	43,71	1,5	126	0	40,53
fev	1,82	0,90	77,84	0,6	46,704	1,5	126	0	45,80
mars	4,73	2,34	123,38	0,6	74,028	1,5	126	0	71,69
avril	2,72	1,34	150,6	0,7	105,42	1,5	126	0	104,08
mai	3,27	1,61	200,26	0,7	140,182	1,5	126	0	138,57
juin	0,36	0,18	213,9	0,7	149,73	1,5	126	0	149,55
juil	0,15	0,07	238,08	0,85	202,368	1,5	126	0	202,29
aout	0,68	0,34	255,13	0,85	216,8605	1,5	126	0	216,52

- Besoin en eau de palmier dattier:

Tableau III.7: dose d'irrigation de palmier dattier

Mois	Pmoy	Peff (mm/mois)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM(mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	3,72	1,84	187,2	0,8	149,76	2	168	0	147,92
oct	4,93	2,44	164,92	0,8	131,936	2	168	0	129,50
nov	5,32	2,63	103,2	0,8	82,56	2	168	0	79,93
dec	3,17	1,57	84,94	0,8	67,952	2	168	0	66,38
janv	6,43	3,18	72,85	0,8	58,28	2	168	0	55,10
fev	1,82	0,90	77,84	0,8	62,272	2	168	0	61,37
mars	4,73	2,34	123,38	0,8	98,704	2	168	0	96,36
avril	2,72	1,34	150,6	0,8	120,48	2	168	0	119,14
mai	3,27	1,61	200,26	0,8	160,208	2	168	0	158,60
juin	0,36	0,18	213,9	0,8	171,12	2	168	0	170,94
juil	0,15	0,07	238,08	0,8	190,464	2	168	0	190,39
aout	0,68	0,34	255,13	0,8	204,104	2	168	0	203,76

• **Besoin en eau de pomme de terre :**

Tableau III.8 : dose d'irrigation de pomme de terre

Mois	Pmoy	peff (mm/mois)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM(mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	3,72	1,84	187,2					0	
oct	4,93	2,44	164,92					0	
nov	5,32	2,63	103,2					0	
dec	3,17	1,57	84,94					0	
janv	6,43	3,18	72,85					0	
fev	1,82	0,90	77,84					0	
mars	4,73	2,34	123,38					0	
avril	2,72	1,34	150,6	0,5	75,3	0,4	33,6	0	73,96
mai	3,27	1,61	200,26	0,7	140,182	0,5	42	0	138,57
juin	0,36	0,18	213,9	0,8	171,12	0,5	42	0	170,94
juil	0,15	0,07	238,08	0,75	178,56	0,5	42	0	178,49
aout	0,68	0,34	255,13					0	

• **Besoin en eau de Blé :**

Tableau III.9: dose d'irrigation de Blé

Mois	Pmoy	peff (mm/mois)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM(mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	3,72	1,84	187,2		0		0	0	
oct	4,93	2,44	164,92		0		0	0	
nov	5,32	2,63	103,2	0,4	41,28	0,3	25,2	0	38,65
dec	3,17	1,57	84,94	0,7	59,458	0,4	33,6	0	57,89
janv	6,43	3,18	72,85	0,85	61,9225	0,5	42	0	58,74
fev	1,82	0,90	77,84	0,95	73,948	0,6	50,4	0	73,05
mars	4,73	2,34	123,38	1,05	129,549	0,6	50,4	0	127,21
avril	2,72	1,34	150,6	1,03	155,118	0,7	58,8	0	153,78
mai	3,27	1,61	200,26	0,45	90,117	0,3	25,2	0	88,51
juin	0,36	0,18	213,9		0		0	0	
juil	0,15	0,07	238,08		0		0	0	
aout	0,68	0,34	255,13		0		0	0	

•Besoin en eau d'avoine :

Tableau III.10: dose d'irrigation d'avoine

Mois	Pmoy	peff (mm/mois)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	3,72	1,84	187,2		0		0	0	
oct	4,93	2,44	164,92		0		0	0	
nov	5,32	2,63	103,2	0,6	61,92	0,4	42	0	59,29
dec	3,17	1,57	84,94	0,65	55,211	0,7	73,5	0	53,64
janv	6,43	3,18	72,85	0,9	65,565	0,85	89,25	0	62,39
fev	1,82	0,90	77,84	0,9	70,056	0,95	99,75	0	69,16
mars	4,73	2,34	123,38	0,7	86,366	1,05	110,25	0	84,03
avril	2,72	1,34	150,6	0,4	60,24	1,03	108,15	0	58,90
mai	3,27	1,61	200,26	0,4	80,104	0,45	47,25	0	78,49
juin	0,36	0,18	213,9		0		0	0	
juil	0,15	0,07	238,08		0		0	0	
aout	0,68	0,34	255,13		0		0	0	

•Besoin en eau de tomate de serre :

Tableau III.11: dose de Tomate de serre

Mois	Pmoy	peff (mm/mois)	ET0 (mm/mois)	kc	ETM (mm/mois)	Z(m)	RFU théo	RFU reell	Bnet (mm)
sept	3,72	1,84	187,2					0	
oct	4,93	2,44	164,92					0	
nov	5,32	2,63	103,2					0	
dec	3,17	1,57	84,94					0	
janv	6,43	3,18	72,85					0	
fev	1,82	0,90	77,84					0	
mars	4,73	2,34	123,38	0,5	61,69	0,5	42	0	59,35
avril	2,72	1,34	150,6	0,5	75,3	0,8	67,2	0	73,96
mai	3,27	1,61	200,26	0,85	170,221	1	84	0	168,61
juin	0,36	0,18	213,9	1	213,9	1,2	100,8	0	213,72
juil	0,15	0,07	238,08				0	0	
aout	0,68	0,34	255,13				0	0	

III.3.1 Besoins totaux nets en eau d'irrigation

Les résultats de calcul des besoins en eau nets sont récapitulés le tableau suivant :

Tableau III.12 : Récapitulatif des besoins en eau pour les cultures choisies.

Mois	blé	tomate	avoine	olivier	Palmier dattier	Pomme de terre	Max	Tot
Septembre				157,28	147,92		157,28	305,2
Octobre				96,51	129,5		129,5	226,01
Novembre	38,65		59,29	59,29	79,93		79,93	237,16
Décembre	57,89		53,64	49,39	66,38		66,38	227,3
Janvier	58,74		62,39	40,53	55,1		62,39	216,76
Février	73,05		69,16	45,8	61,37		73,05	249,38
Mars	127,21	59,35	84,03	71,69	96,36		127,21	438,64
Avril	153,78	73,96	58,9	104,08	119,14	75,3	153,78	585,16
Mai	88,51	168,61	78,49	138,57	158,6	140,182	168,61	772,962
Juin		213,72		149,55	170,94	171,12	213,72	705,33
Juillet				202,29	190,39	178,56	202,29	571,24
Aout				216,52	203,76		216,52	420,28

III.4 Besoin en eau pour lessivage

Dans les sols salés, la gestion de l'irrigation va au-delà de simplement répondre aux besoins d'évapotranspiration de la culture et d'humectation du sol. Il est nécessaire d'ajouter une quantité d'eau supplémentaire pour dissoudre les sels solubles présents dans le sol, une pratique connue sous le nom de "lessivage". Cette eau additionnelle permettra d'éliminer les sels excédentaires de la zone racinaire, les évacuant hors du système racinaire via un réseau de drainage.

La dose de lessivage, calculée à environ 20% des besoins bruts d'irrigation, vise à limiter l'expansion des terres salées, à restaurer la qualité des sols et à améliorer les rendements des cultures. Le lessivage est recommandé dans deux cas : lorsque l'eau d'irrigation est fortement salée (avec une conductivité électrique de l'eau, notée C_{ew} , supérieure à 1,5 dS/m) et lorsque le sol présente une tendance saline (avec une conductivité électrique du sol, notée C_{es} , dépassant 4 dS/m).

Il existe deux approches de lessivage : le lessivage capital, qui implique l'apport d'une grande quantité d'eau pour nettoyer le sol en profondeur, et le lessivage continu, préféré dans notre projet. Dans cette méthode continue, des doses supplémentaires d'eau sont apportées en même

temps que l'irrigation habituelle, assurant ainsi un lessivage régulier pour maintenir la salinité du sol sous contrôle et favoriser des conditions optimales pour la croissance des cultures.

• **Calcul des doses de lessivage :**

En utilisant la formule de RHOADS (Leaching Requirement) :

$$I_w = \frac{B_{net}}{1-LR}$$

I_w : besoin végétation +lessivage

B_{net} : besoin en cultures avant lessivage

$$LR = \frac{C_{eiw}}{5C_{eis} - C_{eiw}}$$

Avec :

- LR : Leaching Requirement ou fraction lessivante

- C_{eiw} : conductivité électrique de l'eau d'irrigation = 2.19 ds/cm.

- C_{eis} : conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol

$C_{eis} = 2,85\text{ds/ cm}$

$$LR = \frac{2,19}{5 \cdot 2,85 - 2,19} = 0,18$$

⇒ LR=0,18

Tableau III.13 : Besoin cultures +lessivage (mm)

Mois	blé	tomate	avoine	olivier	Palmier dattier	Pomme de terre	Max	Tot
Septembre	0,00	0,00	0,00	191,80	180,39	0,00	191,80	564,00
Octobre	0,00	0,00	0,00	117,70	157,93	111,02	157,93	544,57
Novembre	48,31	0,00	73,20	72,30	97,48	94,37	97,48	483,13
Décembre	72,36	0,00	66,22	60,23	80,95	89,95	89,95	459,67

Janvier	73,43	0,00	77,02	49,43	67,20	78,06	78,06	423,19
Février	91,31	0,00	85,38	55,85	74,84	0,00	91,31	398,70
Mars	159,01	73,27	103,74	87,43	117,51	0,00	159,01	699,98
Avril	192,23	91,31	72,72	126,93	145,29	0,00	192,23	820,69
Mai	110,64	208,16	96,90	168,99	193,41	0,00	208,16	986,26
Juin	0,00	263,85	0,00	182,38	208,46	0,00	263,85	918,55
Juillet	0,00	0,00	0,00	246,70	232,18	0,00	246,70	725,57
Aout	0,00	0,00	0,00	264,05	248,49	0,00	264,05	776,59

III.5 Calcul du débit spécifique

L'objectif est de définir le débit requis que le système d'irrigation doit faciliter pour répondre aux besoins en eau de la culture. Le débit spécifique est défini en fonction du besoin en eau de chaque culture, qui est prédéterminé en fonction de la répartition des plantes. Ce débit spécifique est défini par la formule et permet de déterminer les débits à la parcelle et à l'entête de l'entité d'étude :

$$qs = \frac{B_{net} * 10 * 1000}{N_j * N_h * 3600 * K} \quad l/s/ha$$

Avec :

• B net : besoin net du mois de pointe 986,26 mm/mois ;

K : Coefficient d'efficacité globale du système d'irrigation (k = 0,75).

N_h : nombre d'heures d'irrigation = 24 h.

N_j : nombre de jours par mois = 30 jours.

Application numérique :

$$qs = \frac{1557,27 * 10 * 1000}{30 * 22 * 3600 * 0,75}$$

$$qs = 5,53 \text{ l/s/ha} > 1.5 \text{ l/s/ha}$$

Il existe trois façons d'estimer un flux spécifique :

- ✓ Obtenir le débit spécifique moyen de toutes les cultures
- ✓ Prendre en considération la moyenne des débits spécifiques des cultures les plus exigeantes;

on prend donc le débit spécifique de la culture la plus exigeante pour le mois de pointe.

Dans notre cas, on prend donc le débit spécifique de la culture la plus exigeante (Olivier
264,05mm, mois de Aout) pour le mois de Pointe

$$qs = 1,35/s/ha$$

III.6 Calcul des besoins en eau pour des cultures

Tableau III.14 : Récapitulatif des besoins nets (mm) et bruts (m3/ha)

Besoins en eau Nets en (mm) et (m3 /ha)

Mois	blé	tomate	avoine	olivier	Palmier dattier	Pomme de terre	Max	Tot	Total Besoins en eau Net (m3/ha)	Total Besoins en eau brut (m3/ha)	Qs
Septembre	0	0	0	191,8	180,39	0	191,8	372,19	3721,90	4962,53	2,09
Octobre	0	0	0	117,7	157,93	111,02	157,93	544,57	5445,70	7260,93	3,06
Novembre	48,31	0	73,2	72,3	97,48	94,37	97,48	483,13	4831,30	6441,73	2,71
Décembre	72,36	0	66,22	60,23	80,95	89,95	89,95	459,67	4596,70	6128,93	2,58
Janvier	73,43	0	77,02	49,43	67,2	78,06	78,06	423,19	4231,90	5642,53	2,37
Février	91,31	0	85,38	55,85	74,84	0	91,31	398,7	3987,00	5316,00	2,24
Mars	159,01	73,27	103,74	87,43	117,51	0	159,01	699,98	6999,80	9333,07	3,93
Avril	192,23	91,31	72,72	126,93	145,29	0	192,23	820,69	8206,90	10942,53	4,61
Mai	110,64	208,16	96,9	168,99	193,41	0	208,16	986,26	9862,60	13150,13	5,53
Juin	0	263,85	0	182,38	208,46	0	263,85	918,55	9185,50	12247,33	5,15
Juillet	0	0	0	246,7	232,18	0	246,7	725,57	7255,70	9674,27	4,07
Aout	0	0	0	264,05	248,49	0	264,05	776,59	7765,90	10354,53	4,36

III.7 Évaluation du Débit Caractéristique

L'évaluation du débit caractéristique consiste à déterminer le débit maximal requis par le système d'irrigation pour chaque parcelle. Ce débit est obtenu en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile. La relation mathématique s'exprime ainsi :

$$Q_{car} = q_s \times S$$

$$Q_{car} = 1.35 \times 180 = 243 \text{ l/s}$$

III.8 Estimation des Volumes d'Eau d'Irrigation

L'estimation des volumes d'eau nécessaires pour l'irrigation permet d'anticiper les quantités d'eau à stocker dans la retenue et de planifier l'arrosage de manière plus efficace.

Pour estimer le volume des besoins en eau, on multiplie les besoins bruts de la culture (en m³) par la surface cultivée du périmètre. Les résultats de ces estimations sont présentés dans le tableau des volumes d'eau requis pour notre périmètre.

Le volume des besoins en eau = le besoin de la culture (m³/ha) * la surface de la culture.

Tableau III.15: volume d'eau d'irrigation.

Type de culture	Surface (ha)	Besoin en Eau net (mm)	Besoin en eau net (m ³ /ha)	Besoin en eau brute (m ³ /ha)	Besoin en eau totaux (m ³)
Céréaliculture	48 ha				
Blé	48	747,29	7472,9	9963,87	478265,6
Les fourragères	8 ha				
Avoine	8	575,18	5751,8	7669,07	61352,53
Maraichage	32 ha				
Pomme de terre	22	373,4	3734	4978,67	109530,6667
Tomate	10	636,59	6365,9	8487,87	84878,66667
Arboriculture	92 ha				
Olivier	32	1623,79	16237,9	21650,53	692817,0667
Palmier dattier	60	1804,13	18041,3	24055,07	1443304
				Besoin total	2870148,53

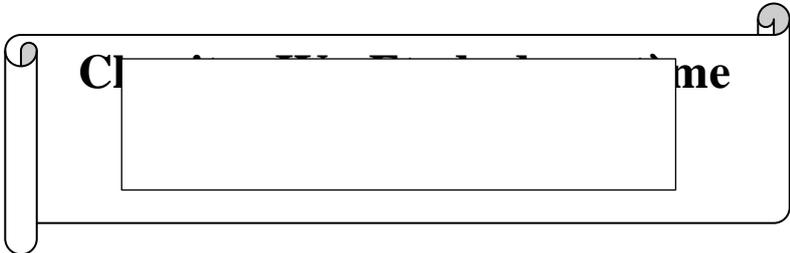
D'après le tableau précédent, on voit que le volume total nécessaire à notre périmètre est de 2870148,53m³

Conclusion :

Pendant ce chapitre, une étape essentielle dans la planification d'un projet d'irrigation a été réalisée, à savoir l'évaluation des besoins en eau. Cette initiative est cruciale. Cela revêt une importance capitale car il permet de mesurer de manière optimale la capacité du réseau d'approvisionnement en eau. Nous avons structuré notre approche en plusieurs étapes essentielles.

Pour commencer, nous avons estimé l'évapotranspiration de référence, qui est le principe fondamental de l'évaluation des besoins en eau, puis nous avons calculé les besoins en eau pour chaque culture.

Par la suite, selon un scénario d'occupation du sol adapté à la zone d'étude, nous avons choisi avec soin les cultures appropriées. Grâce à cette approche stratégique, il a été possible de garantir une compatibilité optimale entre les cultures et les particularités.



IV. Chapitre IV : Etude du système d'adduction

Introduction

En premier lieu, la conception d'un périmètre nécessite une gestion rationnelle et efficace d'un système d'irrigation ainsi qu'une organisation adéquate de celui-ci. L'ingénieur doit se concentrer d'abord sur le système d'adduction, car tous les systèmes d'irrigation sont influencés par le tracé et la conception des conduites du réseau d'adduction.

Il est important de prendre en considération plusieurs contraintes (Géographique, installation hydraulique et des facteurs technico-économiques) lors de la conception d'un réseau de distribution dans un périmètre d'irrigation

IV.1 Alimentation en eau du périmètre

Le périmètre dont la superficie est de 180 Ha, sera irrigué à partir d'un forage albien qui va alimenter la totalité du périmètre d'irrigation, les eaux seront acheminées du forage vers un réservoir de stockage à travers un système de pompage et puis il va distribuer vers les ilots

IV.1.1 Caractéristiques du forage albien

Tableau IV.1 : Caractéristiques du forage albien

Communes	Lieu	Nom de Forage Albien	Débit (l/s)	Profondeur (m)	Coordonnées UTM		Réalisation du forage
					x	y	
Ouargla	Larmah	Larmah	185	1430	706454	3538854	Réalisé

IV.1.2 Organisation et structure du périmètre

Il est possible d'améliorer l'organisation du réseau d'adduction et de distribution de l'irrigation au niveau des parcelles en structurant et en divisant un périmètre en parcelles. La superficie totale du territoire Larmah est de 180 ha, avec 12 ilots dont la superficie s'étend de 12 ha à 16 ha

IV.1.2.1 Ilots et bornes d'irrigation

1. **Ilots d'Irrigation** : Les ilots d'irrigation sont des parcelles de terrain délimitées et organisées pour l'irrigation. Chaque ilot est conçu pour recevoir une quantité d'eau précise selon les besoins des cultures qu'il supporte.

- **Fonction principale** : Optimiser la distribution de l'eau pour maximiser l'efficacité de l'irrigation, réduire les pertes d'eau par infiltration ou évaporation, et permettre une gestion plus facile des ressources en eau.

2. Bornes d'Irrigation :

- Les bornes d'irrigation sont des points de distribution d'eau situés stratégiquement dans les ilots d'irrigation. Elles permettent aux agriculteurs d'accéder à l'eau de manière contrôlée et mesurée.
- **Fonction principale** : Réguler le débit d'eau fourni à chaque ilot, faciliter la gestion de la distribution de l'eau, et fournir un point de contrôle pour surveiller et ajuster l'irrigation selon les besoins.

IV.1.3 Calcul hydraulique des bornes

Les caractéristiques hydrauliques des bornes dépendent de son débit à délivrer en tête des parcelles.

Le débit de chaque borne pouvant desservir un ilot est formulé comme suit :

$$Q_b = q_s \cdot S \dots \dots \dots \text{IV.1}$$

Q_b = Débit de chaque ilot (l/s)

q_s = Débit spécifique (l/s/ha)

S = Superficie de l'ilot (ha)

Selon les calculs des débits de chaque borne d'irrigation, on peut observer les diamètres des bornes en fonction des débits de la manière suivante.

IV.1.4 Choix du diamètre et du type des bornes

Le type de borne choisi dépend généralement de la surface :

- ◆ La borne à quatre prise (Borne de type A4) est utilisée pour les ilots avec un nombre de parcelles compris entre [4 -8] et dont la superficie est inférieure à 15 ha.
- ◆ La borne à deux prises (borne de type A2) est utilisée pour les ilots avec deux parcelles et une superficie inférieure à 15 ha. La borne à deux prises (Borne de type B) est utilisée pour les ilots avec deux parcelles et une superficie supérieure à 15 ha.
- ◆ Les bornes de type C sont prévues pour les grands ilots ($S > 50ha$).

Tableau IV.2 : Choix du diamètre de la borne

Type	Débit fournit	Diamètre de la borne
------	---------------	----------------------

Type A2	$Q < (11.11) \text{ l/s}$	D=65mm
Type A4	$(11.11) \text{ l/s} < Q < (22.22) \text{ l/s}$	D=100mm
Type B	$(22.22) \text{ l/s} < Q < (33.33) \text{ l/s}$	D=150mm
Type C	$Q > (33.33) \text{ l/s}$	D=200mm

Les résultats du calcul du débit de du chaque ilot d'irrigation sont présentés dans le tableau V.5.

Tableau IV.3: Calcul des débits des ilots et choix du diamètre de la borne.

N° de l'ilot	Surface de l'ilot (ha)	N° de parcelle	Surface de parcelle (ha)	Q des prises (l/s)	Q ilot (l/s)	N° borne	Diamètre de la borne (mm)	Type de Borne
1	16	P1	4	5,4	21,6	1	65	B
		P2	4	5,4		2	65	
		P3	4	5,4		3	65	
		P4	4	5,4		4	65	
2	16	P5	4	5,4	21,6	5	65	B
		P6	4	5,4		6	65	
		P7	4	5,4		7	65	
		P8	4	5,4		8	65	
3	16	P9	4	5,4	21,6	9	65	B
		P10	4	5,4		10	65	
		P11	4	5,4		11	65	
		P12	4	5,4		12	65	
4	12	P13	6	8,1	16,2	13	65	A4
		P14	6	8,1		14	65	
		P15	6	8,1		15	65	
		P16	6	8,1		16	65	
5	16	P17	4	5,4	21,6	17	65	B
		P18	4	5,4		18	65	
		P19	4	5,4		19	65	
		P20	4	5,4		20	65	
6	16	P21	4	5,4	21,6	21	65	B
		P22	4	5,4		22	65	
		P23	4	5,4		23	65	

		P24	4	5,4		24	65	
7	16	P25	4	5,4	21,6	25	65	B
		P26	4	5,4		26	65	
		P27	4	5,4		27	65	
		P28	4	5,4		28	65	
8	12	P29	6	8,1	16,2	29	65	A4
		P30	6	8,1		30	65	
		P31	6	8,1		31	65	
		P32	6	8,1		32	65	
9	16	P33	4	5,4	21,6	33	65	B
		P34	4	5,4		34	65	
		P35	4	5,4		35	65	
		P36	4	5,4		36	65	
10	16	P37	4	5,4	21,6	37	65	B
		P38	4	5,4		38	65	
		P39	4	5,4		39	65	
		P40	4	5,4		40	65	
11	16	P41	4	5,4	21,6	41	65	B
		P42	4	5,4		42	65	
		P43	4	5,4		43	65	
		P44	4	5,4		44	65	
12	12	P45	6	8,1	16,2	45	65	A4
		P46	6	8,1		46	65	
		P47	6	8,1		47	65	
		P48	6	8,1		48	65	

Conclusion : pour l'organisation du réseau du périmètre de Larmah, il nécessite l'installation de 12 bornes pour permettre l'alimentation de l'ensemble des parcelles sur une surface de 180ha.

L'aménagement du périmètre :

Lors de la planification d'un périmètre d'irrigation, il est essentiel d'analyser les différentes options d'aménagement qui influencent le schéma hydraulique, à savoir les systèmes d'adduction et de distribution. Cela dépend de la disponibilité de la source d'eau et est sélectionné. la solution appropriée pour élargir notre champ d'action.

Dans notre situation, nous procédons à l'alimentation du périmètre à partir d'un système de pompage qui alimente un réservoir de stockage afin d'assurer les pressions appropriées (généralement de 2 bars) aux bornes.

IV.1.5 Matériaux de construction des canalisations

Les critères de choix du matériau incluent la pression à supporter, l'agressivité du sol, les aspects économiques (coût et disponibilité sur le marché local ainsi que leur fabrication en Algérie) ainsi que la compatibilité avec les équipements auxiliaires (joints, coudes, vannes, etc.).

Les matériaux utilisés incluent la fonte, le PEHD, le PVC et l'acier.

A) Conduite en PEHD :

Les tuyaux en PEHD présentent les bénéfices suivants :

- Ils ont la particularité d'être légers et sont simples à découper.
- Ils ont de bonnes caractéristiques hydrauliques.
- On les trouve sur le marché.
- Ils sont simplement installables.
- Ils sont plutôt abordables.

Néanmoins, il est important de prendre en considération le risque de rupture en cas de soudure incorrecte.

B) Conduite en Fonte :

Ces matériaux présentent de nombreux bénéfices :

- Ils offrent une excellente résistance aux forces internes.
- Ils ont une résistance remarquable à la corrosion.
- Ils sont extrêmement solides et rigides.

Toutefois, leur désavantage réside dans leur prix assez élevé.

C) Conduite en Acier :

Ces tuyaux présentent les bénéfices suivants :

- Les tuyaux en acier sont plus légers que les tuyaux en fonte, ce qui permet des économies sur le transport et l'installation.

- Ils sont très résistants aux contraintes, comme les chocs et l'écrasement.

Toutefois, il convient de prendre en considération le risque de corrosion.

D) Conduite en PVC :

Les avantages de ces matériaux sont nombreux :

- Ils ont une résistance à la corrosion.

- Ils sont accessibles au consommateur.

- Ils sont simples à poser en tant que conduites.

Toutefois, un désavantage à considérer est le risque de rupture.

IV.1.6 Matériel hydromécanique :

Pour garantir le bon déroulement et la protection du réseau de distribution, nous avons prévu l'installation d'équipements hydromécaniques tels que :

- Les ventouses ou les soupapes d'échappement : Elles sont placées sur les hauts points des conduites, ce qui facilite l'élimination de l'air.
- Les puits de vidange sont placés dans les endroits les plus bas où une dépression naturelle se forme, ce qui facilite l'évacuation des dépôts en cas de nécessité.
- Les vannes de sectionnement servent à contrôler les flux d'irrigation dans les différentes parties du réseau de distribution. De plus, elles sont mises en place à la station de pompage ainsi qu'à divers points sensibles du réseau d'alimentation.

IV.2 Etude de système de pompage :

Le système d'irrigation par pompage est un ensemble de moyens et d'équipements destinés à extraire l'eau d'une source, comme un puits, une rivière ou un réservoir, et à la transporter vers les zones agricoles ou les systèmes d'irrigation.

Le but de ce système est de fournir l'eau dont il a besoin aux cultures et assurer une répartition adéquate dans les zones cultivées.

En général, le système de pompage en irrigation est composé des éléments suivants :

- **La pompe** : Composant central du système, la pompe assure l'extraction et le déplacement de l'eau.

- **Source d'eau** : Il peut s'agir d'un puits, d'une rivière, d'un lac ou de tout autre réservoir d'eau situé près de la zone à irriguer.

- **Les canalisations** : servent à transporter l'eau de la source vers les champs ou les systèmes d'irrigation.

Un réservoir de stockage : est parfois employé afin de conserver l'eau pompée avant de la faire circuler dans les champs.

- **Système de contrôle** : Il est possible d'intégrer un système de gestion afin de contrôler le fonctionnement de la pompe et de surveiller les paramètres tels que la pression de l'eau, le débit et la température.

Types des pompes utilisé :

On peut décrire les diverses catégories de pompes, telles que les pompes axiales à écoulement radial, les pompes semi-axiales et les pompes à écoulement radial, de la manière suivante :

- Les pompes axiales :

Les pompes axiales sont des appareils de forme hélice sur lesquels les pales sont disposées en forme de surfaces inclinées. Elles conviennent particulièrement pour le pompage de volumes considérables avec des élévations minimales.

- Les pompes semi-axiales :

Elles ont été développées pour fournir des débits élevés à des hauteurs basses tout en maintenant les vitesses d'entrée à un niveau bas. Le diamètre de sortie est relativement petit, car la hauteur de refoulement est faible, ce qui demande la construction d'une

- Les pompes à écoulement radial :

Il s'agit de pompes centrifuges traditionnelles. Elles offrent la possibilité de pomper à des débits faibles sur des hauteurs élevées. Le diamètre externe de la roue entraîne une augmentation de la hauteur de refoulement. Dans ce cas, la circulation est radiale et les pales sont des surfaces planes.

Nombre de pompes principales :

Il faut prévoir une, ou deux pompes de secours, pour les utiliser en cas de panne.

Le nombre de pompes doit être plus restreint possible, voir les recommandations ci-dessous :

$Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$ (1 - 2) pompes.

$Q = 1 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$ (3 - 5) pompes.

$Q > 5 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 - 6) pompes.

Dans notre cas le débit ($Q = 0.185 \text{ m}^3/\text{s}$) est inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Donc on a une (1) pompe principale.

IV.2.1 Calculs hydrauliques du système d'adduction

Pour notre forage, on va prévoir une pompe immergée avec accessoires. Le choix de cette dernière est déterminé par deux paramètres essentiels

-la hauteur manométrique totale HMT exprimée en m ;

-le débit de la pompe Q pompe.

$$\mathbf{HMT = ht + Hg}$$

Avec :

HMT : Hauteur Manométrique Totale en (m).

ht : perte de charge totale en m

Hg : Hauteur géométrique en (m).

Donc la hauteur géométrique entre le réservoir et la pompe sera :

Cote Réservoir – Cote pompe

$$H_g = 182,31 - 84$$

$$H_g = 98,31$$

➤ Calcul des pertes de charges :

$$ht = h_s + h_l$$

$$h_s = 10\% h_l.$$

$$ht = 1.1 h_l.$$

$$H_l = \frac{0.001052 * L * Q^2}{D^{4.772}}$$

Avec :

L : longueur de la conduite de refoulement.

D : diamètre de la conduite,

Q : le débit dans la conduite.

Hl=0.508m

HT=0.535 m

Tableau V.4: Résultats du calcul

Forage	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	hl(m)	hs(m)	ht(m)	Hg(m)	HMT(m)
Larmah	500	517	0.185	0.509	0,051	0.560	108,12	108,68

Calcul du débit à refouler:

$$Q_c = Q_s \times S_{\text{tot}} = 1,35 \times 180 = 243 \text{ l/s} = 0.243 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ref}} = Q_c \times 1.05 = 0.243 \times 1.05 = 0.255 \text{ m}^3/\text{s}$$

($\alpha = 5\%$: coefficient de correction qui prend en compte les pertes dans le réseau)

IV.2.2 Détermination de diamètre économique de la conduite de refoulement

Pour dimensionner la conduite de refoulement, on applique la formule de Bonin :

$$D = (Q)^{1/2} = (0.255)^{1/2} = 0.505 \text{ m} = 505 \text{ mm (on prend } D=500 \text{ mm)}$$

Cependant, le choix du diamètre de la conduite de refoulement se fait sur la base d'une analyse technico-économique entre : S= coût d'investissement + coût de l'exploitation.

IV.2.2.1 Calcul des frais d'amortissement

❖ Amortissement annuel

Les frais d'amortissement se calculent par la relation suivante

$$F_{\text{am}} = P_{\text{rc}} \times A$$

Avec :

P_{rc}: Prix de la conduite en (DA) ;

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

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i$$

A : Frais d'amortissement (DA) ;

i : Taux d'annuité ; i = 8 % ;

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

IV.2.2.2 Calcul des Frais d'exploitation

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

$$F_{\text{exp}} = E \times e$$

Avec :

F_{exp} : Coûts de fonctionnement (DA) ;

E : Consommation totale d'énergie de la pompe (kWh).

e : prix unitaire de 1 kW facturé par Sonalgaz ($e = 4,67$ DA).

Puissance de la pompe :

La puissance consommée par la pompe est calculée à l'aide de la formule suivante. **Puissance des pompes**

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

$$P = \frac{(P^g Q HMT)}{\eta}$$

Avec :

η : rendement de la pompe en (%)

Q : débit refoulé par la pompe en (m^3 /s).

g : pesanteur ($9.81 m/s^2$)

P^g : Masse volumique de l'eau (kg/ m^3)

❖ Energie consommée par la pompe

La consommation énergétique de la pompe est calculée comme suit :

$$E = P * t * 365 \text{ [kW/an]}$$

t : est la durée de la pompe (heures) par jour.

Dans notre cas, $t = 22h$. Les calculs sont détaillés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.5:Calcul de la HMT.

D (mm)	V (m/s)	L(m)	RE	Landa	P,Ch s	p,ch l	p,ch tot	Hg	HMT
400	2,03	517	811690,21	0,01054117	0,286	2,862	3,148	108,12	111,268
500	1,3	517	649352,16	0,01114593	0,099	0,993	1,092	108,12	109,212
600	0,902	517	541126,81	0,01166572	0,042	0,417	0,459	108,12	108,579
700	0,662	517	463822,97	0,01212407	0,020	0,200	0,220	108,12	108,340

TableauIV.6 : Calcul des prix d'amortissement

Diamètre (mm)	Prix de pose (DA)	Prix du ML (DA)	L(m)	Prix total (Da)	A	Prix d'amortissement
400	600	15500	517	8323700	0,088	732485,6
500	800	19500	517	10495100	0,088	923 568,80
600	1100	22100	517	11994400	0,088	1 055 507,20
700	1700	25240	517	13927980	0,088	1 225 662,24

TableauIV.7:Calcul des prix d'exploitation.

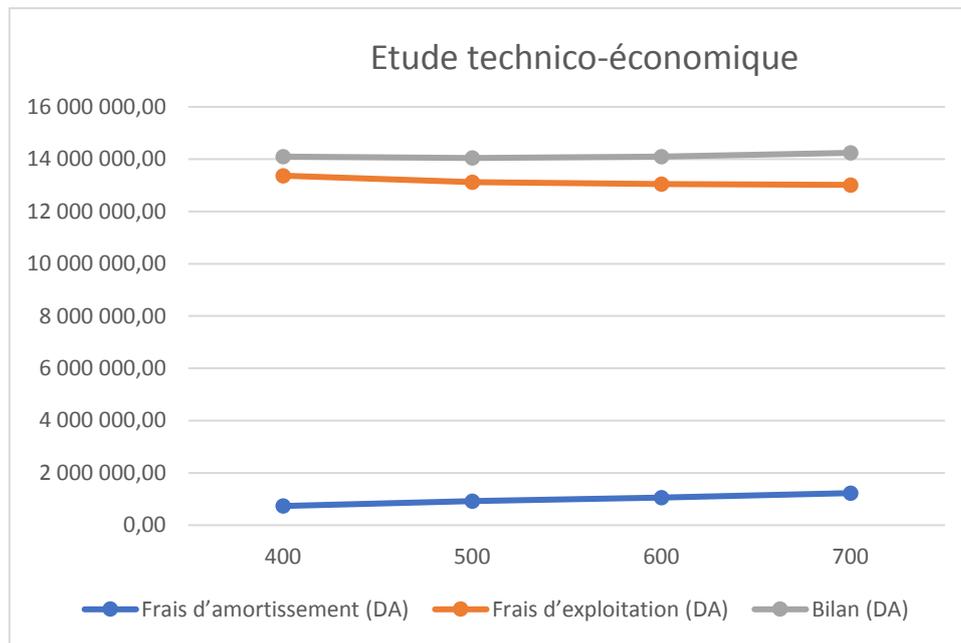
Diamètre (mm)	HMT	P (K Watt)	P (KWh/an)	F. exploi (DA)
400	111,268	361,48	2862921,6	13 369 843,9
500	109,212	354,8	2810016	13 122 774,7
600	108,579	352,75	2793780	13 046 952,6
700	108,34	351,97	2787602,4	13 018 103,2

IV.2.3 Bilan total des frais

Il est possible de calculer le diamètre économique de la conduite de refoulement en analysant les frais d'exploitation et d'amortissement.

Tableau IV.8 : Calcul du bilan total des frais.

Diamètre (mm)	Frais d'amortissement (DA)	Frais d'exploitation (DA)	Bilan (DA)
400	732485,6	13369843,9	14 102 329,50
500	923 568,80	13122774,7	14 046 343,50
600	1 055 507,20	13046952,6	14 102 459,80
700	1 225 662,24	13018103,2	14 243 765,44

**Figure IV.1** : Résultats de l'étude technico-économique

Conclusion : D'après le bilan, on peut dire que le diamètre économique est de 500 mm qui correspond à une HMT de l'ordre de **110m**

IV.1. Choix des pompes et nombre des pompes :

Les critères pour choisir le nombre de pompes sont les suivants :

- Nombre minimal de pompes.
- Puissance absorbée minimale.
- (NPSH) r minimal.
- Meilleur rendement.

- Vitesse de rotation élevée.

Le tableau ci-après représente le choix de nombres de pompes.

Tableau IV.9 : Choix de Nombre de pompes

Nombre de pompes principales	Nombre de pompes de secours
$NP \leq 4$	1 pompe de secours
$4 \leq NP \leq 6$	2 pompes de secours
$NP \geq 6$	3 pompes de secours

Selon les informations recueillies précédemment et la sélection du diamètre économique, nous constatons :

- Le débit d'équipement s'élève à 255 l/s.
- La hauteur manométrique totale requise pour l'adduction est de 110m
- La ligne de refoulement a une longueur linéaire de 517m.

IV.2.4 Description Du système de pompage

Nous avons effectué le choix des pompes à l'aide du logiciel CAPRARI pour un système de pompes immergées (cas des forages) qui nous a donné plusieurs types de pompes, en fonction du débit et de la hauteur manométrique.

✓ Le choix des pompes est porté sur :

1. Nombre de pompes minimal=1
2. Meilleure Rendement=80,4%.
3. NPSHr est de 7.77 m.
4. Puissance=178Kw

Courbe caractéristique de la pompe :

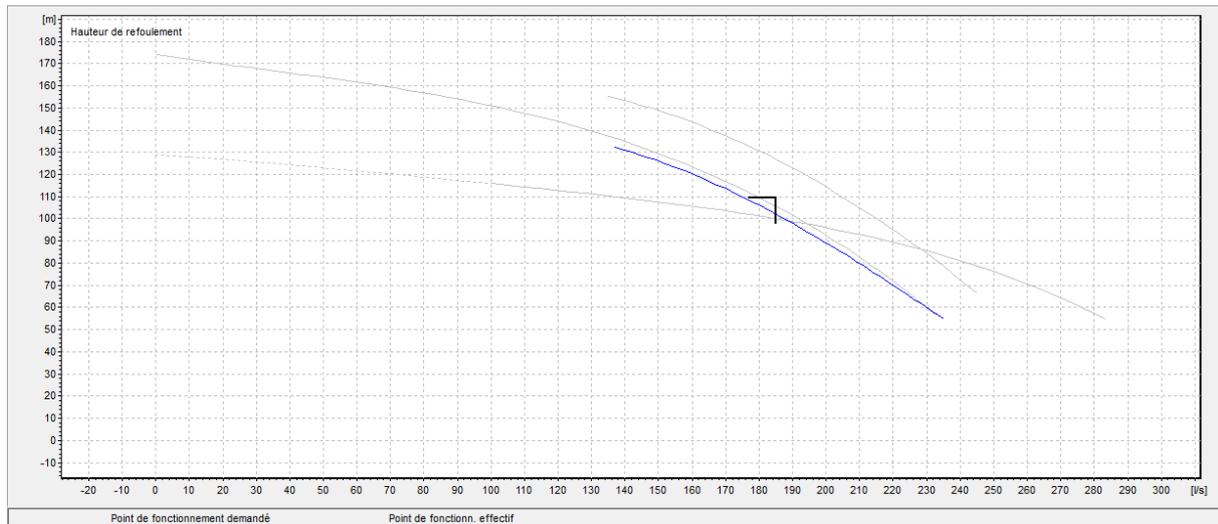


Figure IV.2 : Courbe caractéristique de la pompe.

IV.2.5 Protection contre de la cavitation

La cavitation se produit lorsque le courant liquide est perturbé à l'entrée de la pompe en fonctionnement, à une température constante, avec une pression absolue inférieure ou égale à la tension de la vapeur d'eau.

Il convient de vérifier la condition suivante :

$$(NPSH)_r < (NPSH)_d ;$$

(NPSH) r : Charge nette d'aspiration requise, fournie par le constructeur

(NPSH) d : Charge nette d'aspiration disponible, fournie par l'installateur.

La relation qui permet de calculer le $NPSH_d$ est :

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - Z_e - \Delta H_{asp} - \frac{v^2}{2g}$$

$\frac{P_a}{\rho g}$: en mce, la hauteur de pression atmosphérique locale, en fonction de la cote de

l'emplacement de la station de pompage = 10,33

P_v : la pression de vapeur saturant, Pour une température d'eau comprise entre 15°C et 20°C, $P_v/\rho g = 0.23\text{m}$

Z_E : la différence de dénivelé entre le niveau de pompage et la bride d'entrée de la pompe.

ΔH_a : perte de charge à l'aspiration.

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

$$J = \left(\frac{3,592}{CHW} \right)^{1,852} \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \cdot Q^{1,852}$$

Longueur asp = 2m.

Pour calculer V :

$$\text{on a } D=500\text{mm on trouve } V = \frac{4 \times 0.255}{\pi \cdot 0.5^2} = 1,29 \text{ m/s}$$

$$V = 1,29 \text{ m/s}$$

$$\text{D'où } V^2/2g = 0.086.$$

$$\text{NPSH}_d = 10.33 - 0.23 - 2 - 0.02 - 0.086 = \mathbf{7,994} > \mathbf{7.77m}$$

Conclusion : notre système de pompage est protégé contre la cavitation.

IV.2.6 Protections contre le coup de bélier

Définition :

C'est un phénomène qui se produit dans les systèmes de tuyauterie lorsque l'écoulement d'un fluide, est brusquement arrêté. Cela entraîne une onde de pression qui se propage dans le tuyau, provoquant des chocs violents et des bruits caractéristiques, souvent comparés à un coup de marteau.

Ce phénomène peut endommager les systèmes de tuyauterie et les équipements s'ils ne sont pas conçus pour y résister. Les coups de bélier peuvent être causés par la fermeture rapide de vannes, l'arrêt soudain de pompes ou des changements rapides dans la direction du flux. Pour éviter ces effets, on peut installer des dispositifs tels que des amortisseurs de coup de bélier ou des vannes à fermeture lente.

Moyen de protection contre le coup de bélier :

Il n'est pas réalisable de supprimer complètement l'effet du coup de bélier, mais il est possible de le réduire à une valeur qui correspond à la résistance des installations.

- **Réservoirs d'air** : La veine liquide peut être alimentée de manière continue après la disjonction du groupe en utilisant une réserve d'eau accumulée sous pression, qui renferme de l'eau et de l'air.

IV.2.6.1 Calcul du volume du réservoir d'air anti-bélier

Pour la détermination du volume d'air anti-bélier, nous avons pris en compte la méthode grapho-analytique de Vibert :

1- En fonctionnement normal, les caractéristiques de l'air dans le réservoir d'air sont données par Z_0 et U_0 .

Avec :

- Z_0 : La pression absolue en m.c.e. = $h_g + 10 = 118,12\text{m}$

U_0 : volume d'air dans la cloche en régime permanent (m^3). 2-Le volume d'air est calculé par la formule suivante :

- $U_0=L.S$

Avec :

L : Longueur de la canalisation =517m.

Diamètre : D = 600 mm

S : La section de la conduite $S=\frac{\pi*D^2}{4}=\frac{\pi*0.5^2}{4}$

$S=0,196m^2$

V_0 : la vitesse initiale d'écoulement (m/s), $V=\frac{Qr}{S}$

- $V=1,29m/s$.
- La charge maximale absolue : $Z_{max}= 100m$.
- $\frac{Z_{max}}{Z_0}=\frac{100}{118,12}=0,84$
- $H_0=\frac{V_0^2}{2g}=\frac{1,29^2}{2*9,81}=0,085$
- $H_0/Z_0=\frac{0,085}{118,12}=0,0007$

Après l'utilisation de l'Abaque de **Vibert (Annexe 2)** on trouve:

$$\frac{U_0}{LS}=5*10^{-2} \rightarrow U_0=0,05*L*S \rightarrow U_0=5,06m^3$$

$$\frac{Z_{min}}{Z_0}=0,84 \rightarrow Z_{min}=Z_0*0,84 \rightarrow Z_{min}=99,22m^3$$

$$U_0Z_0=U_{max}Z_{min} \rightarrow U_{max}=\frac{U_0Z_0}{Z_{min}}$$

$$U_{max}=6,03m^3$$

On va majorer le volume de U_{max} de 20% donc le volume finale $V=7,23m^3$

$$\mathbf{V=7,3m^3}$$

IV.3 Dimensionnement de la bête de stockage

Il est important de prendre en considération les critères suivants pour déterminer l'emplacement d'une bête de stockage d'eau :

1. Au-delà du périmètre du réseau de distribution : Il est nécessaire de placer la bête de stockage à une altitude supérieure à celle du réseau de distribution afin de faciliter l'approvisionnement par gravité.

2. Installation à l'extrémité ou à proximité du centre du réseau : Si plusieurs bêtes de stockage sont nécessaires, il est conseillé de les positionner soit à l'extrémité du réseau, soit près du centre de la zone à alimenter.

3. La position du radier est supérieure à la cote piézométrique la plus élevée requise dans le réseau : Il est nécessaire de placer le fond de la bête de stockage (radier) à une altitude supérieure à la cote piézométrique.

4. Choix stratégique de l'endroit afin de garantir une pression appropriée :

Il est important de choisir avec soin l'emplacement de la bête de stockage afin d'assurer une pression adéquate dans le réseau.

La capacité de la bête de stockage doit être en adéquation avec le volume d'eau requis pour répondre aux exigences de la tranche de culture la plus exigeante.

$$V=Q \times T \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec :

- V : volume de la bête.
- Q : Débit caractéristique.
- T : Temps de remplissage du réservoir : 2 H

$$Q_{\text{caractéristique}} = Q_{\text{sp}} \times \text{surface} \dots (IV.3)$$

Surface totale= 180 ha

Q caractéristique = 243 l/s

Donc : $V = 243 \times 10^{-3} \times 2 \times 3600 = 1749.6 \text{ m}^3$

On peut prendre $V = 2000 \text{ m}^3$

On va construire deux bassins de 1000m^3

$$V=S*H$$

H : La hauteur de réservoir : 5m

S : section de réservoir :

$$S = 2000/5 = 200 \text{ m}^2$$

On prend :

$$L=20\text{m}$$

$$B=10\text{m.}$$

IV.4 Dimensionnement du réseau de distribution

Caractéristiques des conduites du réseau de distribution :

Une fois que nous avons calculé les débits de chaque ilot et établi les critères hydrauliques de la conduite de refoulement, ainsi que le choix de la pompe, nous passons à la deuxième étape de calcul, celle du réseau de distribution, c'est-à-dire du bassin d'accumulation vers les bornes.

Vitesses admissibles :

En établissant un seuil de vitesse acceptable dans les conduites, on peut également faire un compromis technique en introduisant un seuil raisonnable de diamètre maximum.

De réduire le coût des canalisations ; De prévenir les dangers liés aux vitesses élevées (risque d'érosion) et aux vitesses basses (risque de dépôts solides).

On sélectionne une vitesse admissible entre 0,5 m/s, qui est la vitesse minimale, et 2 m/s, qui est la vitesse maximale.

IV.4.1 Calcul des diamètres

Les diamètres sont calculés en fonction des débits transportés par le tronçon de conduite et des vitesses.

La formule "LABYE" nous offre une méthode pour évaluer le diamètre économique, qui est normalisée.

$$D = \sqrt{\frac{4*Q*0.001}{\pi*v}} * 1000$$

Avec :

Q : débit, exprimé en m³/s ;

D: diamètre exprimé en mm.

V : vitesse qui donne le diamètre économique est de 1.2 m/s

IV.4.2 Calcul des pertes de charge

La détermination des pertes de charge unitaires a été effectuée à l'aide de la formule de LECHAPT et CALMON, qui est représentée par la formule suivante :

$$H_{pu} = \frac{L \cdot Q^M}{D^N} \times C$$

Avec :

h_{pu} : Pertes de charge unitaire en mm/ml

Q: Débit en m³/s.

D : Diamètre de la conduite considérée

L, M et N : fonction de la rugosité absolue (Ks) des canalisations

C : coefficient compris une majoration de 10 % pour les pertes de charge singulière :

$$C = 1,1 \times J = 1,1 \times \frac{L \cdot Q^M}{D^N}$$

Tableau VI.11 : Valeurs des coefficients L,M et N en fonction de la rugosité

K(mm)	L	M	N
0,1	1,15	1,89	5,01
0,5	1,4	1,96	5,19
1	1,6	1,975	5,25

Dans notre situation, les conduites seront en fonte si leur diamètre dépasse ou dépasse 315mm, tandis que dans le cas contraire, elles seront en PEHD. Dans le cas d'une conduite en fonte/PEHD. On estime que les pertes de charge singulières représentent 10% des pertes de charge linéaires.

Calcul de la pression :

$$P = CTP_{\text{amont}} + \Delta H_{\text{trançon}} - CTN_{\text{aval}}$$

Calcul de la cote piézométrique :

$$CTP_{\text{amont}} = CTN_{\text{aval}} + \Delta H_{\text{trançon}}$$

Les résultats du calcul dans le tableau dans la page ci-après :

Tableau VI.11 : Calculs hydrauliques des pression

N° du tronçon	L(m)	L(km)	s(HA)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	D(m)	D(mm)	Vréel (m/s)	P,ch (m)-	P,cht Δ Ht (m)	Cote terrain (m)	cote piezo (m)	Pression au point P(m)
R-ST	89,41	0,08941	180	243	0,243	507,90	600	0,86	0,0917	0,10087	182,31	222,41	40,10
ST-N13	36,78	0,03678	180	243	0,243	507,90	600	0,86	0,0377	0,04147	179,96	222,37	42,41
N13-N14	75	0,075	96	129,6	0,1296	370,92	400	1,03	0,178	0,1958	179,53	222,17	42,64
N14-N15	78,11	0,07811	96	129,6	0,1296	370,92	400	1,03	0,186	0,2046	179	221,97	42,97
N15-N16	58,66	0,05866	96	129,6	0,1296	370,92	400	1,03	0,1398	0,15378	178,6	221,81	43,21
N16-N17	60	0,06	96	129,6	0,1296	370,92	400	1,03	0,143	0,1573	178,12	221,66	43,54
N17-N19	60	0,06	96	129,6	0,1296	370,92	400	1,03	0,143	0,1573	177,5	221,50	44,00
N19-N21	88,31	0,08831	96	129,6	0,1296	370,92	400	1,03	0,2104	0,23144	175,94	221,27	45,33
N21-B1	174,33	0,17433	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,385	1,5235	175,22	219,74	44,52
N21-B4	174,51	0,17451	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,386	1,5246	177,57	218,22	40,65
N21-N22	91,69	0,09169	64	86,4	0,0864	302,85	315	1,11	0,3361	0,36971	175,21	217,85	42,64
N22-N23	60	0,06	64	86,4	0,0864	302,85	315	1,11	0,2199	0,24189	174,2	217,61	43,41
N23-N24	60	0,06	64	86,4	0,0864	302,85	315	1,11	0,2199	0,24189	173,55	217,37	43,82
N24-N25	60	0,06	64	86,4	0,0864	302,85	315	1,11	0,2199	0,24189	172,91	217,12	44,21
N25-N26	60	0,06	64	86,4	0,0864	302,85	315	1,11	0,2199	0,24189	172,27	216,88	44,61
N26-N28	88,61	0,08861	64	86,4	0,0864	302,85	315	1,11	0,3248	0,35728	170,99	216,53	45,54
N28-B2	176,66	0,17666	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,4038	1,54418	172,13	214,98	27,43
N28-B5	173,57	0,17357	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,37927	1,517197	171,22	213,46	26,86
N28-N29	91,38	0,09138	32	43,2	0,0432	214,15	250	0,88	0,2876	0,31636	170,38	213,15	42,77
N29-N30	60	0,06	32	43,2	0,0432	214,15	250	0,88	0,1889	0,20779	169,86	212,94	43,08
N30-N31	60	0,06	32	43,2	0,0432	214,15	250	0,88	0,1889	0,20779	169,37	212,73	43,36
N31-N32	60	0,06	32	43,2	0,0432	214,15	250	0,88	0,1889	0,20779	168,87	212,52	43,65
N32-N35	148,07	0,14807	32	43,2	0,0432	214,15	250	0,88	0,4662	0,51282	167,44	212,01	44,57
N35-B3	166,86	0,16686	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,3259	1,45849	168,93	210,55	41,62

N35-B6	169,8	0,1698	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,3493	1,48423	179,96	209,07	29,11
N13-N42	75	0,075	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1388	0,15268	180,03	208,92	28,89
N42-N43	75	0,075	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1388	0,15268	179,97	208,76	28,79
N43-N44	75	0,075	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1388	0,15268	179,81	208,61	28,80
N44-N46	80	0,08	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1481	0,16291	179,84	208,45	28,61
N46-N47	75	0,075	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1388	0,15268	179,63	208,30	28,67
N47-N49	80	0,08	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1481	0,16291	179,25	208,13	28,88
N49-N50	75	0,075	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1388	0,15268	179,44	207,98	28,54
N50-N52	91,86	0,09186	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1701	0,18711	179,66	207,79	28,13
N52-N53	60	0,06	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1111	0,12221	179,67	207,67	28,00
N53-N54	60	0,06	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1111	0,12221	179,65	207,55	27,90
N54-N56	88	0,088	84	113,4	0,1134	346,96	400	0,90	0,1629	0,17919	179,73	207,37	27,64
N56-B7	150	0,15	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,192	1,3112	179,59	206,06	26,47
N56-B10	40	0,04	12	16,2	0,0162	131,14	160	0,81	0,1845	0,20295	179,89	205,85	25,96
N56-N57	92	0,092	56	75,6	0,0756	283,29	315	0,97	0,262	0,2882	179,84	205,57	25,73
N57-N58	60	0,06	56	75,6	0,0756	283,29	315	0,97	0,171	0,1881	179,53	205,38	25,85
N58-N59	60	0,06	56	75,6	0,0756	283,29	315	0,97	0,171	0,1881	178,73	205,19	26,46
N59-N60	60	0,06	56	75,6	0,0756	283,29	315	0,97	0,171	0,1881	178	205,00	27,00
N60-N61	60	0,06	56	75,6	0,0756	283,29	315	0,97	0,171	0,1881	177,15	204,81	27,66
N61-N62	87,88	0,08788	56	75,6	0,0756	283,29	315	0,97	0,2502	0,27522	175,53	204,54	29,01
N62-B8	170,53	0,17053	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,3551	1,49061	174,63	203,05	28,42
N62-B11	40	0,04	12	16,2	0,0162	131,14	160	0,81	0,1845	0,20295	174,23	202,85	28,62
N62-N64	32	0,032	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,0783	0,08613	173,89	202,76	28,87
N64-N65	59,69	0,05969	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,1466	0,16126	171,79	202,60	30,81
N65-N67	59,69	0,05969	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,1466	0,16126	170,05	202,44	32,39
N67-N69	60	0,06	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,1467	0,16137	168,49	202,28	33,79

N69-N72	60	0,06	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,1467	0,16137	167,08	202,11	35,03
N72-N74	60	0,06	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,1467	0,16137	165,72	201,95	36,23
N74-N76	60	0,06	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,1467	0,16137	164,35	201,79	37,44
N76-N79	27,8	0,0278	28	37,8	0,0378	200,32	250	0,77	0,068	0,0748	163,29	201,72	38,43
N79-B9	170,6	0,1706	16	21,6	0,0216	151,43	160	1,07	1,3556	1,49116	162,82	200,23	37,41
N79-B12	40	0,04	12	16,2	0,0162	131,14	160	0,81	0,1845	0,20295	163,54	200,02	36,48

Interprétations :

D'après le tableau précédent, nous avons remarqué que les diamètres calculés sont de 160mm à 600 mm, et les pressions calculées sont adéquates allant de 2,5 à 4,5 bars.

Conclusion

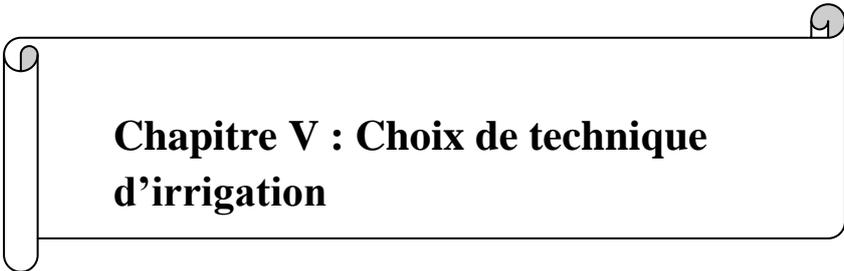
Le système d'approvisionnement en eau du périmètre de Larmah a été examiné dans ce chapitre. Il y a 12 ilots dans ce périmètre, chacun avec des bornes de distribution d'eau.

Un système de pompage est implanté pour transporter l'eau à partir de forage vers un réservoir de stockage par une conduite principale en fonte

Les différentes étapes de calcul lors de cette étape ont conduit à :

- La mise en place d'un réseau de distribution qui achemine l'eau du réservoir vers les points de distribution dans les parcelles grâce à un système de conduites en PEHD.

Il est crucial de vérifier les pressions, les vitesses et les pertes de charge au niveau des points de distribution, car cela est indispensable pour mettre en place un réseau d'irrigation.

A decorative scroll box with a black border and rounded corners. The left side is a vertical scroll, and the top right corner is curled up. The text is centered inside.

**Chapitre V : Choix de technique
d'irrigation**

V. Chapitre V : Choix de technique d'irrigation

Introduction

Il est crucial de sélectionner le système d'irrigation pour assurer une distribution optimale des ressources en eau, afin de répondre de manière rationnelle aux besoins en eau des cultures. Pour décider de la technique d'irrigation à utiliser, il est indispensable d'avoir une connaissance théorique des méthodes d'arrosage

Nous chercherons à sélectionner la méthode d'irrigation qui convient le mieux aux caractéristiques particulières de notre domaine d'étude.

V.1 Définition de l'irrigation

Sur le plan technique, l'irrigation consiste à humidifier artificiellement le sol. En cas d'insuffisance de l'humidité naturelle du sol pour assurer un rendement optimal des cultures agricoles. Effectivement, l'irrigation garantit aux plantes les meilleures conditions hydriques, nutritives, aériennes, thermiques, salines et micro biologiques.

V.2 Classification des techniques d'irrigation

En fonction du type d'arrosage, les méthodes d'arrosage sont classées en trois catégories :

- L'irrigation de surface (gravitaire)
- L'irrigation par aspersion
- L'irrigation localisée (goutte à goutte)

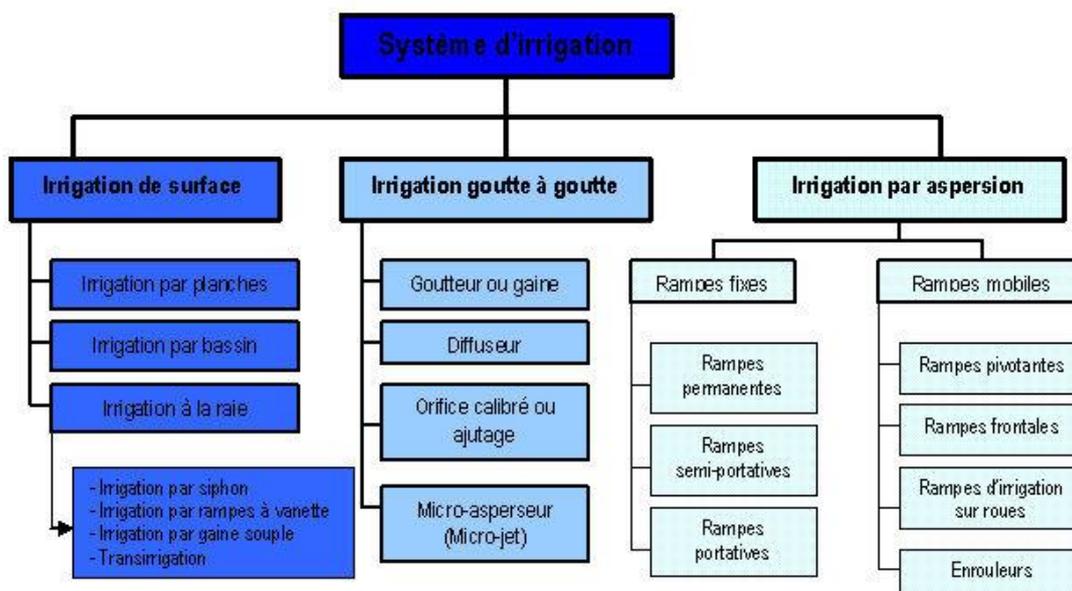


Figure V.1 : Schéma récapitulatif sur les systèmes d'irrigation

V.2.1 L'irrigation de surface (gravitaire)

L'irrigation de surface est une technique d'arrosage qui consiste à répartir l'eau à la parcelle en s'écoulant à la surface du sol, en suivant une pente. On effectue cette distribution de l'eau en se basant sur la configuration du terrain et les caractéristiques hydriques du sol (ruissellement, infiltration et capillarité). Ainsi, aucune force extérieure n'est requise pour apporter l'eau aux endroits souhaités.

Il existe trois types d'irrigation gravitaire :

- L'irrigation par planche
- L'irrigation par bassin
- L'irrigation à la raie qui est divisée en quatre types : par siphon.



Figure V.2 : l'irrigation de surface

V.2.2 L'irrigation par ruissellement

La technique de l'irrigation par planches ou par calants est une subdivision de l'irrigation par ruissellement. Le concept implique de faire couler une fine lame d'eau sur le sol, qui s'infiltrera verticalement jusqu'à ce que la partie du sol souhaitée soit humidifiée.

V.2.3 L'arrosage par infiltration (à la raie)

L'irrigation ainsi effectuée nécessite l'emploi de rigoles ou de raies pour permettre la distribution de l'eau avec un débit relativement faible par rapport à d'autres méthodes. Il n'y a donc qu'une partie du sol qui est directement arrosée, tandis que le reste est humidifié par infiltration, ce qui permet une humidification globale du sol.

V.2.4 L'arrosage par submersion

Le concept implique d'appliquer une couche d'eau d'une épaisseur minimale au sol, puis de laisser s'ajourner pendant le temps nécessaire pour qu'elle pénètre par infiltration à la profondeur nécessaire, permettant ainsi au sol de stocker l'eau nécessaire au développement des cultures.

➤ Avantages de l'irrigation par gravité :

- Un coût inférieur par rapport aux autres méthodes.
- Aucun dispositif de surpression de l'eau n'est disponible.
- Matériel d'irrigation extrêmement limité.

➤ Inconvénients :

- une main-d'œuvre considérable.
- En général, l'irrigation des parcelles est peu efficace.
- Les parcelles requièrent un nivèlement préalable.
- Des pertes importantes causées par l'infiltration.

V.2.5 L'irrigation par aspersion

En utilisant des appareils de projection alimentés sous pression, l'irrigation par aspersion reproduit la distribution naturelle de la pluie en fournissant de l'eau aux cultures. Ces dispositifs sont minutieusement choisis et disposés pour garantir une distribution uniforme de la pluviométrie.

Avantages de l'irrigation par aspersion :

- Il n'est pas nécessaire de préparer la surface à irriguer.
- Amélioration du taux d'occupation des sols.
- Permet une grande économie d'eau.
- Offre aux agriculteurs des conditions d'arrosage extrêmement simples.
- Il requiert moins de travailleurs.
- Il est possible d'automatiser le système.
- Assure une oxygénation intense de l'eau..

Inconvénients de l'irrigation par aspersion :

Coût très élevé des investissements.

- Faites preuve d'évapotranspiration pendant la saison sèche.
- Les vents supérieurs à 4 à 5 m/s altèrent l'uniformité de l'arrosage.

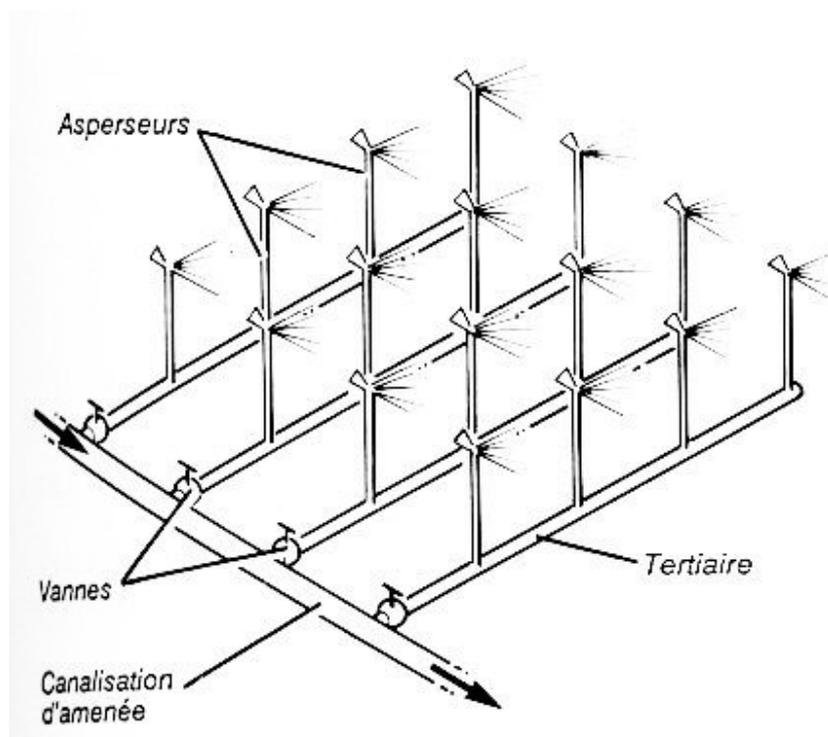


Figure V.3 : L'irrigation par aspersion

V.2.6 Irrigation par pivot

L'irrigation aérienne par pivots est une méthode d'irrigation qui simule une pluie artificielle pour des zones étendues (jusqu'à 100 hectares). Le système est constitué de différentes sections de tuyaux mesurant entre 30 et 60 mètres de long, connues sous le nom de travées. Les rampes d'irrigation sont de deux types : les rampes pivotantes et les rampes frontales.

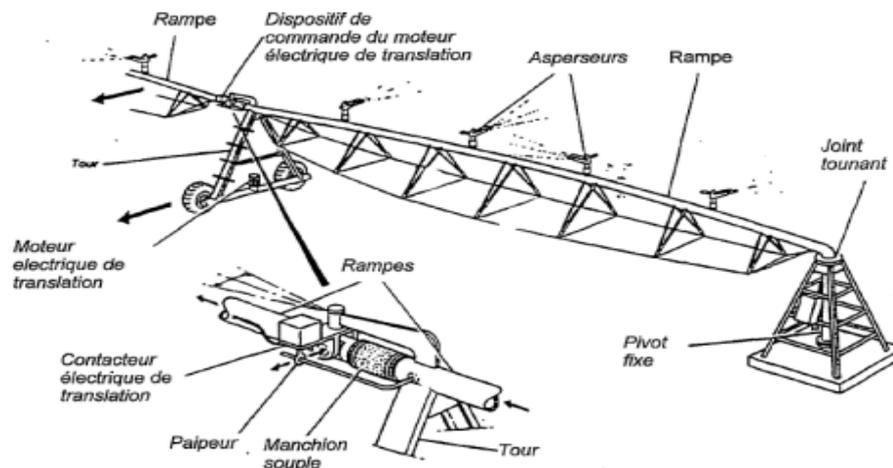


Figure V.4 : Système d'aspersion mécanisé : le pivot.

V.2.7 L'irrigation localisée (goutte à goutte)

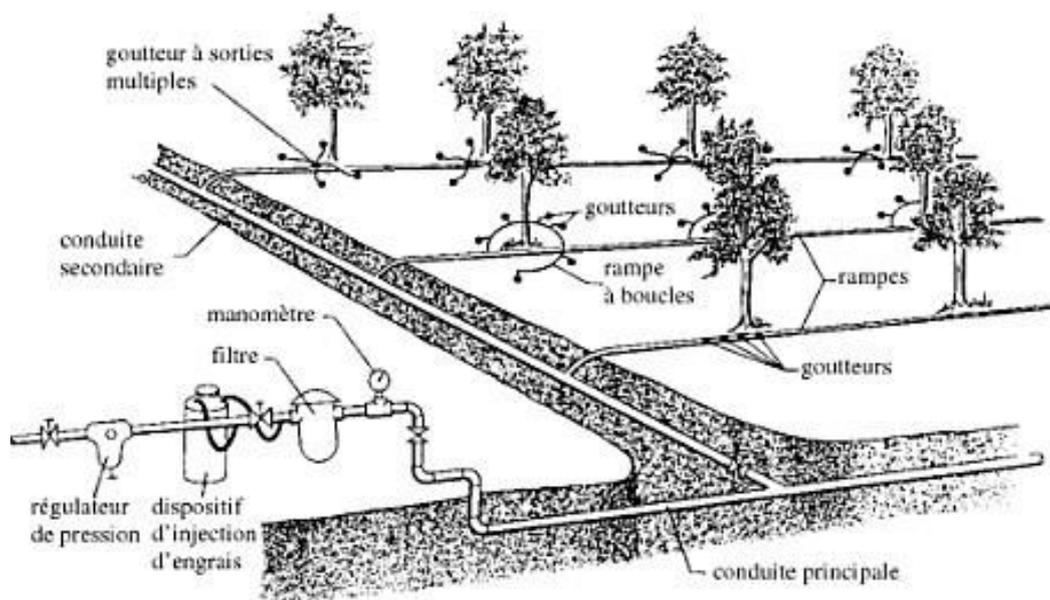
La micro-irrigation, aussi appelée irrigation localisée, délivre l'eau directement aux racines des plantes en petites quantités, optimisant ainsi l'efficacité de l'eau et réduisant les pertes par évaporation et ruissellement.

➤ Avantages de l'irrigation localisée :

- Une économie d'eau considérable.
- Une réduction de la main-d'œuvre (système stable).
- La méconnaissance des vents forts.
- Elle offre une régularité dans le dosage des engrais.
- L'humidité à proximité des racines reste élevée.

Inconvénients de l'irrigation localisée :

- La première installation demande un investissement relativement élevé.
- Il est nécessaire de faire une maintenance minutieuse afin d'éviter les risques d'obstruction des goutteurs.
- L'eau d'irrigation nécessite une filtration.



FigureV.5: Irrigation goutte a goutte

Tableau V.1 : Choix de la technique d'arrosage pour la zone d'étude :

Contraintes	Irrigation gravitaire	Irrigation par Aspersion	Irrigation Localisée
Evaporation	+	++	+++
Vent	+++	+	+++
Texture	++	++	+++
Permeabilite	++	+++	+++
Pente	+	++	+++
Qualited'eau	++	++	+
Cultures: • Maraichage	+++	+++	+++

• Céréales	X	+++	X
• Arbres	+++	X	+++
Contraintes économiques: • économied'eau	X	++	+++

+++ : Très Adapté. ++ : Adapté. + : Adapté avec réserve X : inadéquat ou déconseillé

V.2.8 Technique recommandé

La sélection d'une méthode d'irrigation dépend de différentes contraintes météorologiques (évaporation, vents, etc.), de la nature du sol (texture et structure), des conditions naturelles (pente) et des types de culture.

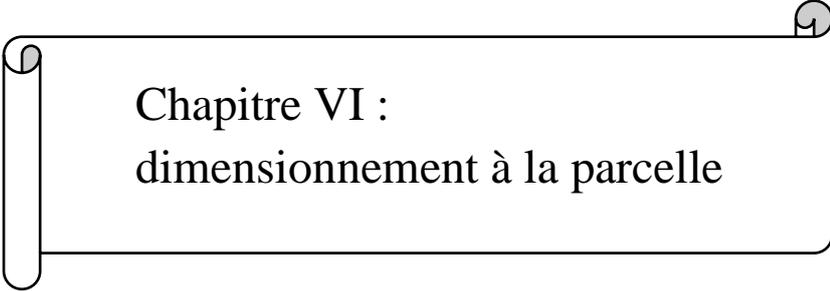
La région de Larmah, située dans la wilaya de Ouargla, se distingue par sa rareté en eau et sa texture plutôt sablo-limoneuse. Dans ce cas, on choisit :

- La méthode d'irrigation par goutte à goutte est utilisée pour tous les cultures arboricoles et maraîchères. Et les céréales

V.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié de manière approfondie les divers systèmes d'irrigation, en analysant leurs caractéristiques, leurs bénéfices et leurs désavantages.

Lors de la sélection d'un système d'irrigation rationnel, pratique et économique, il est essentiel de considérer des éléments socio-économiques et technologiques. Pour les cultures maraîchères et arboricoles, nous avons opté pour l'utilisation d'un réseau sous pression, comme le système d'irrigation localisé.



Chapitre VI :
dimensionnement à la parcelle

VI. Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Introduction

Dans ce chapitre on se concentre principalement sur le processus de dimensionnement d'un réseau d'irrigation à la parcelle plus précisément le système goutte à goutte.

L'objectif principal de ce dimensionnement est de trouver les paramètres optimaux permettant d'assurer une irrigation efficace et économique des cultures. Pour parvenir à cela, il est nécessaire de disposer de certaines informations de base pour concevoir le système de manière adéquate.

Ces informations incluent la superficie de la parcelle à irriguer, les besoins en eau des cultures et la durée maximale de fonctionnement journalier du système d'irrigation.

VI.1 Dimensionnement du réseau d'irrigation goutte à goutte

L'ilot choisi pour l'arrosage par goutte à goutte est l'ilot N°1 d'une superficie de 16 ha, sur une parcelle de forme rectangulaire qui présente des dimensions de 200x200, il est alimenté par la Borne N°1 qui dispose d'une pression de 4,1 bars.

il est recommandé d'installer un régulateur de pression. Ce dispositif abaissera la pression à un niveau optimal (entre 1 et 3 bars) pour éviter d'endommager les émetteurs et assurer une distribution d'eau uniforme

Données générales :

Culture : Olivier

Besoin de pointe : 264,05 mm (Aout)

Organisation du réseau : Avec un écartement entre arbre de 4*4m, et un espacement entre lignes de 4 m,

- Surface brute de la parcelle: **4 ha**;
- Longueur: **200 m**;
- Largeur: **200 m**.

VI.1.1 Caractéristique du goutteur :

- Pression nominal : 10 m.c.e
- Espacement du goutteur : 1 m
- Le nombre de goutteurs par arbre : 2
- Le débit du goutteur est de 4 l/h

VI.1.2 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée

a) Influence du taux de couverture du sol :

Dans le système d'irrigation goutte-à-goutte, la quantité d'eau fournie est très restreinte, ce qui diminue considérablement la perte causée par l'évaporation directe directement depuis le sol.

Afin de tenir compte de cette diminution, un coefficient de diminution K_r est appliqué à l'évapotranspiration réelle (ETM), qui varie en fonction du taux de couverture du sol par les plantes adultes ($C_s = 60\%$) et peut être calculé selon la formule suivante :

$$K_r = C_s \cdot 0.85$$

• La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s)$$

• La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60% (pour les arbres adultes) donc : $K_r = 0.80$ selon Freeman et Garzoli

$K_r = 0.70$ selon Decroix (CTGREF)

On prendra un coefficient $K_r = 0.80$

$$B_{jc} = B_j \cdot K_r \quad \text{I.2}$$

$$B_{jc} = ETM_c = B_{\text{pointe}} / 30 = 8,80 \text{ mm/j}$$

$$B_{jc} = 7,04 \text{ mm/j}$$

VI.1.1 Dose nette pratique

Après avoir calculé les besoins quotidiens en eau, il est essentiel de calculer une fraction ou un pourcentage d'humidification dans la zone racinaire. La quantité d'eau nécessaire pour maintenir le sol à une humidité optimale pour la croissance des cultures est connue sous le nom de hauteur d'eau P , qui correspond à la dose d'humidification (RFU).

$$D_p = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Y \cdot Z \cdot d_a \cdot P\% = RFU \cdot P\% \quad \dots\dots\dots VI.1$$

- H_{cc} : humidité à la capacité au champ (16%)
- H_{pf} : humidité au point de flétrissement (9%)
- Y : degré d'extraction de l'eau du sol (2/3)
- Z : profondeur d'enracinement en (1500 mm)
- d_a : la densité apparente : égalé à 1.4.
- P : Pourcentage du sol humidifié

$$P = \frac{N \cdot S_{ps} \cdot S_h}{S_a \cdot S_r} \quad \dots\dots\dots VI.2$$

- N : Nombre de point (de goutteurs) de distribution par arbre = 2

- Spd : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre (1.5m)
- Sh : Largeur de la bande humidifiée d'après la table, on a Sh = 1m.
- Sr : Ecartement entre rangs d'arbre = 4m.
- Sa : espacement des arbres sur les rangs = 4m

$$P = \frac{2 * 1,5 * 1}{4 * 4}$$

$$P = 0,1875$$

$$P = 20\%$$

D'après la texture du sol, on a : un sol sableux-limoneux. On a les caractéristiques hydriques pour une telle texture sont: HCC – HPF = 0.08 (Annexe n°3)

$$Dp = \frac{(14-6)}{100} * 2/3 * 1500 * 1.4 * 0.2 = 22,4 \text{ mm}$$

VI.1.1.1 Fréquence et intervalle des arrosages (Fr):

$$Tr = \frac{\text{Dose nette}}{Bj} = \frac{22,4}{7,04}$$

$$Tr = 3,18$$

On prend Tr=3jours

Calcul de la dose réelle :

On recalcule la nouvelle dose réelle :

$$Dr = Bj_m * Tr \dots\dots\dots I.6$$

$$Dr = 7,04 * 3 = 21,12 \text{ mm}$$

La dose brute réelle :

$$Db = \frac{Dr}{Eff * Cu}$$

Avec :

✓ Eff : efficacité du réseau d'irrigation Eff=90% ;

✓ Cu : coefficient d'uniformité Cu=90%.

$$Db = \frac{21,12}{0,9 * 0,9}$$

$$Db = 26,07 \text{ mm}$$

Durée de fonctionnement par d'arrosage (h) :

$$\theta = \frac{Dbr * Sd * Sr}{n * Qg}$$

Avec :

- Sa : L'espacement des distributeurs sur le même arbre ;
- Sr : L'écartement entre les rampes.

- qg: Débit du distributeur en l/h.
- n : nbre de goutteurs sur même arbre.

$$\theta = \frac{26,07 \cdot 1 \cdot 4}{2 \cdot 4}$$

$$\theta = 13,03 \text{ heures/arrosage}$$

Nombre d'arbre par hectare :

$$\text{Nbr d'arbre} = \frac{1ha}{S} = \frac{1ha}{Ea \cdot Er}$$

$$\text{Nbr d'arbre} = \frac{10000}{4 \cdot 4} = 625 \text{ arbres}$$

Nombre d'arbre par rampe :

$$\text{Na rampe} = \frac{Lr}{Ea}$$

$$\text{Na rampe} = \frac{200}{4} = 50 \text{ arbres}$$

Nombre des goutteurs par rampe :

$$\text{Ng} = \frac{Lr}{Ea} \cdot 2$$

$$\text{Ng} = \frac{400}{4} \cdot 2 = 100 \text{ goutteurs}$$

Débit d'une rampe :

$$\text{Qr} = \text{Ng} \times \text{qg} \dots \dots \dots \text{I.11}$$

$$\text{Qr} = 100 \times 4 = 400 \text{ l/h}$$

Nombre de rampes :

$$\text{Nrampes} = \frac{Lr}{Er} = \frac{200}{4}$$

$$\text{Nrampes} = 50 \text{ rampes}$$

Débit de la porte rampe :

$$\text{Qpr} = \text{Qrampe} \times \text{Nrampe} \dots \dots \dots \text{I.13}$$

$$\text{Qpr} = 400 \cdot 50 = 20000 \text{ l/h}$$

VI.1.2 Calcul hydraulique

La variation maximale du débit entre goutteur doit être inférieure 10% selon la règle de Christiansen :

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

La variation maximale de la pression : $q = K \cdot H^x$ avec $x=0.5$ (caractéristique du goutteur)

Telle que : $q(g)$: débit nominal du goutteur, et $H(n)$ la pression

nominale $\Delta H(\max) = 1/0.5 = 2$ mce.

1. La variation maximale de la pression :

$$q = K \cdot H^x \quad \text{avec } x=0.5 \text{ (caractéristique du goutteur)}$$

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = \frac{\Delta H}{H(n)}$$

Avec :

$q(g)$: débit nominal du goutteur

$H(n)$: pression nominal

$\Delta H(\max) = 1/0.5 = 2$ mce.

La répartition de la perte de charge est :

Perte de charge singulière :

On a $\Delta H = p.c.s + p.c.l$

Avec

$p.c.s = 10\% \cdot \Delta H = 0.2$ m

Perte de charge linéaire : $p.c.l = \Delta H - p.c.s = 1.8$ m

1/3 sur les porte-rampes $P.d.c (pr) = 0,6$ m c e ;

2/3 sur les rampes $P.d.c (r) = 1,2$ m c e.

VI.1.3 Dimensionnement des canalisations du réseau

Pour l'objectif déterminer les dimensions des rampe et porte rampe, il est suggéré que les rampes soient fabriquées en PEBD ou PEHD.

➤ Les rampes

La plupart des installations utilisent toujours du PEBD (polyéthylène basse densité), à l'exception de quelques installations où l'on a employé du PVC rigide de petit diamètre.

►Porte rampes :

Il s'agit de la canalisation qui alimente les rampes d'un côté ou des deux. Ils peuvent être fabriqués à partir de polyéthylène moyenne densité (PE) ou de chlorure de polyvinyle épais (PVC).

Le diamètre des rampes et des portes rampes est déterminé en utilisant les formules suivantes:

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

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

Avec:

- Pdc(r) : la perte de charge dans la rampe
- Q(r) : le débit de la rampe en l/h
- L(r) : la longueur de la rampe en m
- $\varnothing r$ (cal) : le diamètre de rampes
- $\varnothing pr$ (cal) : le diamètre de porte rampe

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{1,2*2,75}{0,478*400^{1,75}*200} \right]^{\frac{-1}{4,75}}$$

$$\varnothing r(cal) = 18,47\text{mm}$$

On prend un diamètre normalisé : **DN = 25 mm.**

a. Diamètre de porte rampe :

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

$$\varnothing pr(cal) = \left[\frac{0,6*2,75}{0,478*20000^{1,75}*200} \right]^{\frac{-1}{4,75}}$$

$$\varnothing pr(cal) = 90,31\text{mm}$$

On prend un diamètre normalisé : **DN = 125 mm.**

VI.1.4 Vérification des pertes de charges

➤ Pour la rampe :

Après avoir choisi le diamètre de la canalisation, les pertes de charges des différents tronçons de la canalisation sont recalculées pour un diamètre de 25 mm.

Perte de poids d'après Hazen-Williams.

$$DH = \left(\frac{3,592}{C_w}\right)^{1,852} * \frac{L}{D^{4,87}} * Q^{1,852}$$

Avec :

L: Longueur de la rampe

Q : débit (m³/s)

D : diamètre intérieur de la canalisation

(m) ;

On a :

C_w= 130 (PE), L=200m, D= 0.020m, Q= 0,000111111m³/s

$$DH = \left(\frac{3,592}{130}\right)^{1,852} * \frac{L}{0,025^{4,87}} * 0,000111^{1,852}$$

$$DH=0,76m$$

$\Delta H_{rampe} = 0,76 \text{ m} < 1.2 \text{ m}$ (vérifiée).

➤ Pour la porte rampe :

$$\text{➤ } DH = \left(\frac{3,592}{130}\right)^{1,852} * \frac{L}{0,125^{4,87}} * 0,0056^{1,852}$$

DH=0,438m

$\Delta H_{porte rampe} = 0.438 \text{ m} < 0.6 \text{ m}$ (vérifiée)

Par conséquent, les pertes de charges sur les rampes et les porte-rampes sont :

$\Delta H_{rampe+Porte rampe} = 1,20m < 1.8m$ (Règle de Christiansen Vérifiée).

VI.1.5 Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution

Tableau VII 1: Récapitulatif des calculs hydraulique

Conduites	La rampe	Porte rampe
Longueur(m)	200	200
Diamètre(m)	25	125
Débit (l/s)	0,111	5,6
Pertes de charge(m)	0,76 m	0,438m

On peut calculer la perte de charge totale entre la borne d'irrigation et le goutteur le plus défavorable en se basant sur le tableau :

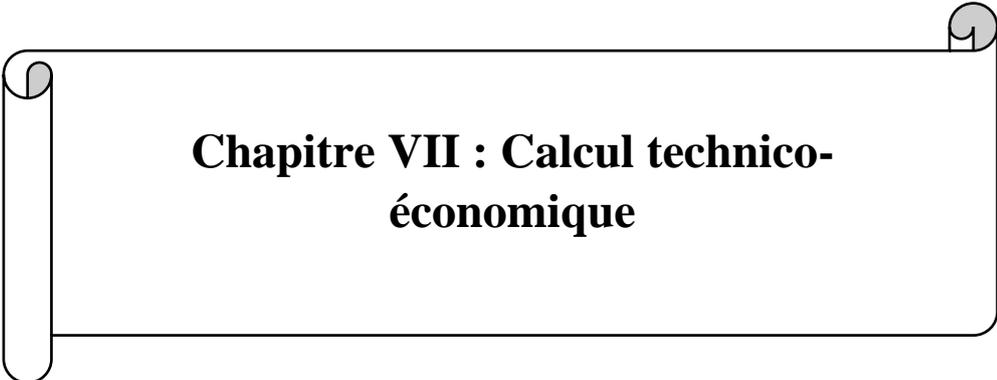
$$P(m) = 0.76 + 0.438 + 10 = 11,198m \Rightarrow P = 1.12 \text{ bar.}$$

Il est évident que la pression calculée requise est de 1,1 bar, ce qui est adéquat pour lancer ce système d'irrigation goutte à goutte au niveau de la borne sélectionnée

Conclusion

Nous avons examiné dans ce chapitre le dimensionnement de l'irrigation à la parcelle, réalisée à l'aide du système goutte à goutte, qui est spécialement conçu pour l'olivier et qui est le plus efficace. En utilisant une irrigation localisée, notre eau d'irrigation est non seulement efficace, mais nous obtenons également des rendements élevés des cultures.

Le calcul des dimensions tient compte des éléments agronomiques et hydrauliques.



**Chapitre VII : Calcul technico-
économique**

Chapitre VII : Calcul technico-économique

Introduction

Pour mener à bien un projet hydraulique, il est impératif de procéder à une évaluation financière précise, garantissant ainsi une exécution efficace et une gestion technico-économique optimale. La détermination des coûts du projet est effectuée bien en amont de son démarrage et est intimement liée à l'estimation des délais. Ce chapitre se concentrera sur l'évaluation exhaustive des travaux à réaliser, incluant :

- La construction du réservoir de stockage.
- L'installation du système d'adduction, incluant ses composants spécialisés.

Travaux à entreprendre pour Le système d'adduction :

Lors de la conception et de la mise en place de canalisations, il est primordial de procéder à trois étapes essentielles afin de créer un système d'adduction approprié.

- Les trois opérations sont les suivantes :

Le système d'adduction est composé de :

- ✓ Canalisation gravitaire (conduite principale)
- ✓ Canalisation secondaires et accessoires
- ✓ Les Bornes d'irrigation

VI.2 Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution

1. Exécution des tranchées :

Cette opération de terrassement dépend des caractéristiques spécifiques du terrain et sera réalisée mécaniquement à l'aide d'une pelle hydraulique. La profondeur minimale de la tranchée doit être de 1 mètre. La largeur de la tranchée doit permettre à un opérateur de travailler aisément et doit augmenter proportionnellement au diamètre des conduites à installer. L'excavation des tranchées est effectuée par tronçons successifs.

b) Pose du lit de sable :

Le lit de sable assure une répartition uniforme des charges, évitant les appuis linéaires ou ponctuels. Avant la pose des conduites, il est essentiel de :

- Éliminer les grosses pierres.

- Respecter les côtes du profil en long.
- Nivelier soigneusement le fond de la tranchée.
- Déposer un lit de sable de 20 cm d'épaisseur.

c) Pose des conduites :

Avant de placer les conduites dans la tranchée, une sélection rigoureuse est effectuée pour éliminer celles endommagées par des chocs. Ensuite, les conduites sont délicatement abaissées dans la tranchée à l'aide d'un équipement de levage.

d) Remblayage des tranchées :

Le remblayage consiste à recouvrir les conduites avec les matériaux excavés, en compactant soigneusement chaque couche pour prévenir tout affaissement futur.

f) Nivellement et compactage :

Le nivellement est une opération de terrassement visant à aplanir et uniformiser la surface du sol. Cette étape est essentielle pour préparer une surface stable et plane, notamment pour des projets de construction ou d'infrastructure. Elle consiste à éliminer les irrégularités du terrain, en déplaçant la terre des zones plus élevées vers les zones plus basses. Le nivellement est crucial pour assurer la stabilité des structures, faciliter le drainage.

VI.2.1 Estimation du cout des travaux du réseau d'adduction

Calcul du volume de terrassement :

✓ **Largeur du fond de la tranchée :**

La largeur de la tranchée dépend du diamètre de la conduite et est calculée en ajoutant un espacement de 30 cm de chaque côté de la conduite. La largeur d'ouverture de la tranchée peut être déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$B = d + 0.6 \text{ (m)}$$

Avec :

B : largeur de la tranchée (m)

d : diamètre de la conduite (m)

✓ Profondeur de la tranchée :

Il est nécessaire d'ajuster la profondeur de la conduite afin de garantir la réalisation adéquate des raccordements spécifiques et d'éviter toute interférence avec les autres conduites.

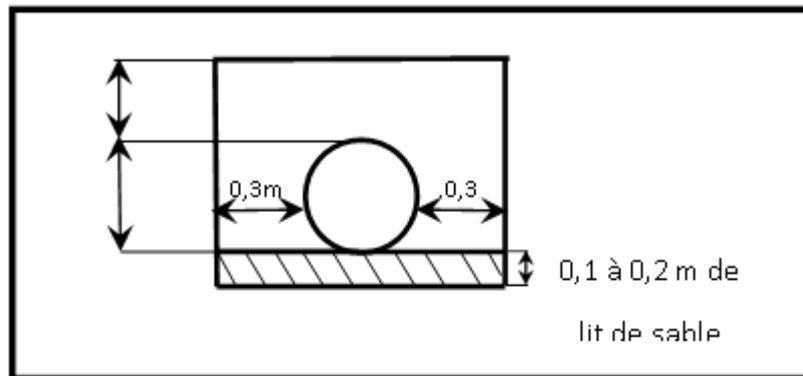


Figure VII.1: Schéma d'une tranchée.

✓ **La profondeur de la tranchée :**

$$H_{tr} = e + d + h \quad (\text{m}) \quad \text{I.1}$$

Avec :

h : Profondeur de la tranchée (m)

e : hauteur du lit de pose (m)

d : diamètre de la conduite (m)

✓ **Les sections des tranchées :**

$$S_{tr} = B \times H_{tr} \quad \text{I.2}$$

H_{tr} : Profondeur total de la tranchée (m)

B : Largeur du fond de la tranchée (m)

✓ **Volume à excaver (déblai) :**

Le volume d'excavation est :

$$V_d = S_{tr} \times L = (B \times H_{tr}) \times L \dots \dots \dots \text{VII.3}$$

V_d : Volume du déblai (m³)

S_{tr} : La section de la tranchée (m²).

L : Longueur de la tranchée (m).

B : Largeur de la tranchée (m).

H_{tr} : La hauteur de la tranchée (m).

✓ **Volume occupé par les conduites :**

$$V_{\text{cond}} = \frac{(\pi \times D^2)}{4} * L \dots\dots\dots \text{I.4}$$

V : Volume du déblai (m³)

D : Diamètre extérieur de la conduite(m).

L : Longueur de la tranchée (m).

✓ **Volume du lite de sable :**

Il est calculé comme suivant :

$$V_{\text{sable}} = h_{\text{sable}} \times L \times b \dots\dots\dots \text{I.5}$$

hsable : Profondeur de la couche végétale (on prend Hcv=0.1m) (m).

L : Longueur de la tranchée (m).

B : Largeur de la tranchée (m).

✓ **Volume de remblais :**

Le volume de remblais sera égale à :

$$V_{\text{remb}} = V_{\text{deb}} - \frac{(\pi \times D^2)}{4} * L \dots\dots\dots \text{I.4}$$

✓ **Volume du remblai d'excédentaire :**

$$V_{\text{exc}} = V_{\text{f}} - V_{\text{remb}} \dots\dots\dots \text{I.7}$$

Avec :

Vexc : Volume du sol excédentaire (m³).

Vf : Volume du sol foisonné (m³).

V : Volume du remblai (m³) Avec :

$$V_{\text{f}} = V_{\text{debl}} * k_{\text{f}} \text{ I.8}$$

k_f : Coefficient de foisonnement dépend de la nature de sole (k_f=1.1). (Annexe 4).

Tableau VII.1: Calcul des différents volumes

D(mm)	B(m)	H(m)	L(m)	Vdebl	V cond	Vsable	V remb	Vf	Vexc
600	1,2	1,45	129,19	224,7906	36,509094	18,60336	169,678146	247,26966	77,591514
500	1,1	1,35	554,53	823,47705	108,826513	73,19796	641,4525775	905,824755	264,372178
400	1	1,25	1254,94	1568,675	157,620464	150,5928	1260,461736	1725,5425	465,080764
315	0,915	1,165	840,18	895,610876	65,4429855	92,251764	737,916126	985,171963	247,255837
250	0,85	1,1	838,63	784,11905	41,1452844	85,54026	657,4335056	862,530955	205,097449
160	0,76	1,01	1310,2	1005,70952	26,3297792	119,49024	859,8895008	1106,28047	246,390971
Somme			4927,67	5302,3821	435,87412	539,676384	4326,83159	5832,62031	1505,78871

VI.2.2 Estimation du cout des travaux du réseau d'adduction :

Tableau VII.2 Estimation Cout du réseau de distribution :

Conduites	Type de conduite	Unités de mesure	Quantité (m)	Prix unitaire (DA/m)	Montant (DA)
Ø160	PEHD	ml	1310,2	1260	1650852
Ø250	PEHD	ml	838,63	3050	2557821,5
Ø315	PEHD	ml	840,18	4850	4074873
Ø400	PEHD	ml	1254,94	7500	9412050
Ø500	FONTE	ml	554,53	11900	6598907
Ø600	FONTE	ml	129,19	14560	1881006,4
Total (HT)					26175509,9
Total (TTC)					31148856,8

Le cout de la pose des canalisations est de : Trente et un millions cent quarante-huit mille huit cent cinquante-six virgule huit DA en TTC.

Tableau VII.3: Estimation du cout des travaux de terrassement.

Type des travaux	unité	prix unitaire da	Quantité	prix des Traveaux
déblai	M3	300	5302,38	1590714
P. sable	M3	3000	539,67	1619010
remblais	M3	310	4326,83	1341317,3
excédentaire	M3	230	1505,78	346329,4
Total HT				4897370,7
TVA 19%				930500,433
TOTAL TTC				5827871,13

Le coût total des travaux de terrassement est évalué à : cinq millions huit cent vingt-sept mille huit cent soixante et onze virgule treize dinars en TTC.

VI.2.3 Estimation cout des bornes d'irrigation :

Tableau VII.3: Estimation du cout des bornes d'irrigation

Les bornes	Prix unitaire da	Quantité	prix des Trav
A4	85000	9	765 000.00
A2	52000	2	104000.00
Coudes	7000	4	28000.00
Vannes	14500	5	72500.00
Te	9800	7	68600.00
Bouchons	85000	12	102000.00
Totat HT			1 140100
TVA 19%			216619
TOTAL TTC3			1 356 719

Le cout total des bornes d'irrigation est : **1 140 100 DA.**

Avec (19%) de T.V.A le prix total T.T.C : **1 356 719 DA**

VI.2.4 Devis des travaux :**Tableau 0.4 :** Devis estimatif total.

Travaux	Montant (DA)
Canalisation du réseau.	31 148 856,8
Conduites du réseau.	5 827 871,13
Bornes d'irrigation.	1 356 719
Irrigation localisé	110 000 000
Système de pompage	6 616 400
Bassin de stockage	15 680 000
Montant TTC	154 965 526.93

Le montant du projet est cent cinquante-quatre millions neuf cent soixante-cinq mille cinq cent vingt-six dinars et quatre-vingt-treize centimes (**154 965 526.93 DA**)

VI.3 Conclusion

Il est primordial d'organiser le chantier afin de mettre en œuvre un réseau d'irrigation afin d'optimiser les dépenses, l'efficacité énergétique et le temps, tout en améliorant la productivité. Pendant cette section, nous avons réalisé une évaluation exhaustive des dépenses associées à la réalisation du projet, ce qui nous a également donné l'opportunité de réaliser un devis estimatif de tous les travaux et des coûts des équipements.

La valeur totale du projet d'aménagement du périmètre de Larmah est de **154 965 526.93DA**.

Conclusion générale

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet d'aménagement hydro-agricole du périmètre de Larmah, situé dans la wilaya de Ouargla, vers le Sahara.

Nous avons travaillé sur la conception du réseau de distribution pour le périmètre de Larmah, alimenté par le forage de Larmah, après avoir effectué une analyse approfondie des conditions climatiques, pédologiques et des ressources en eau disponibles dans le parcours.

Avant tout, nous avons commencé par une présentation de la zone d'étude. Une analyse du climat et de l'eau nous a permis de constater que la région est située dans la zone bioclimatique Saharienne, ce qui implique une irrigation continue.

Nous avons ensuite traité de l'étude agro-pédologique. L'étude des différents types de sols dans la région a mis en évidence une majorité de sols à texture sablo limoneuse. Ainsi, nous avons opté pour des cultures qui conviennent à ces types de sols.

Pour augmenter les résultats agricoles et encourager le développement de l'agriculture dans la wilaya, il est essentiel de mettre en œuvre des cultures robustes et adaptées aux conditions climatiques du Sahara.

Une fois les cultures sélectionnées, nous avons examiné le système d'adduction. Un système de pompage à partir du forage de Larmah vers les parcelles du périmètre a été choisi comme variante. Ce système est constitué de conduites en fonte et en PEHD enterrées, munies de bornes d'irrigation. Les pressions obtenues varient en moyenne de 2 à 4 bars, ce qui permet aux agriculteurs d'adopter des techniques d'irrigation modernes telles que le goutte-à-goutte.

Enfin, Ce mémoire propose une analyse approfondie de l'aménagement hydro-agricole du périmètre, visant à concevoir de nouvelles zones d'irrigation dans le sud de l'Algérie tout en optimisant la gestion des ressources en eau

ANNEXE 01 :Humidité a la capacité au champ et flétrissement :

Texture	Humidités pondérales en % du poids sec			Réserve utile volumétrique en mm
	A la rétention H _{cc}	Du flétrissement H _{pf}	Disponible (H _{cc} - H _{pf})	
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)

(Source : Référence bulletin FAO d'irrigation et drainage)

ANNEXE 02 :Valeurs minimales et maximale de Z

Cultures	z (m)
Tomates	1 - 1,2
Cultures maraichères	0,3 - 0,6
Agrumes	1 - 1,2
Arbres fruitiers à feuilles caduques	1 - 2
Vigne	1 - 3

Annexe 04 :le coeficient de foisonnement

Type de sol	K _f
Sables, matériaux fins	1.08-1.17
Limons argileux	1.14-1.28
Argile	1.25-1.30

(Source : Métré de terrassement-cours génie civil)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUAMAR B. 2010, Le développement agricole dans les régions sahariennes.
- FAO 1975. Les besoins en eau des cultures. Bull FAO n° 24.
- Ollier ch.et Poirée m. (1983). Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles. paris.455p.
- Zahoui, Samah. (2023). " Étude d'aménagement hydro-agricole du périmètre de Seklafa (238ha) à partir du barrage de Seklafa (W.Laghouat)."
- TAYEB HAMANI, Imane. (2020). " Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre Khezzara à partir d'une station de pompage sur oued syebouse (Wilaya de Guelma)"
- Touibia, B, (2004). Manuel pratique d'hydrologie. Presse Madani Frères. Blida. Algérie.