

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⵓⵔⵉⵏⵉ ⵎⵓⵔⵉⵏⵉ ⵙⵉⵏⵉⵔⵉⵏⵉ ⵙⵉⵏⵉⵔⵉⵏⵉ

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 Khezzara
à partir d'une station de pompage sur oued syebouse
(Wilaya de Guelma)

Présenté par :

TAYEB HAMANI Imane

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M.MEDDI Mohamed	Professeur	Président
M.YAHIAOUI Samir	MAA	Examineur
Mme. SAIL Nadhira	MAA	Examineur
M. BENKACI Ali Tarek	MCB	Promoteur

Session Septembre 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect à :

Mes parents ma maman chérie et mon papa adoré que je ne pourrai jamais remercier pour ce que je suis devenue grâce à leur éducation et sacrifices.

Mes sœurs : Rania, Rym, Maroua et Lily, ma nièce alia, ma grande mère mani, à mes grands parents j'aurais tant aimé que vous soyez présents que dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde et à tout ma famille

Mes ami (es) qui m'ont soutenu : Roumaïssa, Mima et Ilyes.

À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer.

IMANE FAYEB HAMANI

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.

Au terme de cette modeste étude, je voudrais exprimer mes gratitude et mes sincères remerciement à mon encadreur M^R BENKACI pour sa patience sa disponibilité ses conseils et surtout ses commentaires constructifs, qui ont contribué à alimenté ma réflexion.

Un grand merci à M^{me} ouissem HEDDAD et M^{me} BOUNDJINE pour leurs générosités, leurs conseils et leur soutien pour la contribution de ce travail.

Je remercie évidemment le président et les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'E.N.S.H, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Enfin ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

J.SAYEBHAMANI

ملخص

أعدت هذه المذكرة لدراسة التنمية الزراعية لمنطقة خزارة بولاية قالمة التي تسقى بمياه وادي سيبوس والتي تقدر مساحتها بـ 270 هكتار. هذا المشروع يهدف إلى استغلال الموارد المائية و الترابية الموجودة في الجزائر للاستفادة من المساحات المهجورة ، بناءً على التحليلات المناخية والترابية وكذلك جودة المياه المستخدمة في الري .

الهدف من هذه الدراسة هو استغلال المساحات الواقعة في الشرق الجزائري وتحسين محصولها الزراعي من خلال إدخال تقنيات ري حديثة من أجل الاستغلال الامثل للموارد المائية.

Résumé

Le but de ce mémoire est l'étude d'aménagement hydro-agricole du périmètre d'irrigation de Khezzara, dans la wilaya de Guelma qui s'étend sur une superficie de 270 Ha. Ce projet entre dans le cadre de l'exploitation et de la gestion des ressources en eaux et du sol existantes, afin de créer de nouveaux périmètres d'irrigation dans l'Est Algérien, en prenant en considération les analyses climatiques, pédologiques ainsi que celles des eaux de l'oued Seybouse.

Cette étude a pour but d'améliorer les rendements des cultures par l'introduction de techniques d'irrigation modernes et d'optimiser la ressource en eau d'irrigation.

Abstract

The objective of this research is to study the hydro-agricultural development of the area of Khezzara-Guelma- that stretches on surface of 270Ha. This project enters in the fiels of the exploitation and management of the existing water resources and soil in order to create new areas of irrigation in the east of Algeria taking into consideration the weather pedological analysis and thus of Eloued sybouse waters. This study aims to ameliorate the productivity of the area by introducing modern irrigation techniques and optimize the existing water resources for irrigation.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : ANALYSE DES CONDITIONS NATURELLES 2

I.1. INTRODUCTION :	2
I.2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA WILAYA DE GUELMA :	2
I.2.1 Situation géographique :	2
I.3. PRÉSENTATION DU PERIMETRE D'ÉTUDE : LE PERIMETRE DE KHEZZARA :	3
I.4. ÉTUDE GEOLOGIQUE :	3
I.5. GEOMORPHOLOGIE ET RELIEF :	5
I.6. ÉTUDE CLIMATOLOGIQUE :	5
I.6.1. Choix de la station de référence :	5
I.6.2. Pluies mensuelles :	5
I.6.3. Les températures :	6
I.6.4. L'évaporation :	7
I.6.5. L'humidité relative :	8
I.6.6. Le vent :	8
I.6.8. La grêle :	9
I.6.9. Calcul des indices Agro-météorologiques :	9
I.6.9.1. Quotient Ombrothermique d'Emberger :	9
I.6.9.2. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gausson :	10
I.7. ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE :	11
I.8. CONCLUSION :	12

CHAPITRE II : RESSOURCES EN SOL ET RESSOURCES EN EAU 13

II.1. INTRODUCTION :	13
II.2. RESSOURCES EN SOL :	13
II.2.1. But de l'étude pédologique :	13
II.2.2. Description et classification des sols du périmètre :	13
II.2.3. Le profil pédologique :	14
II.2.3.1. Description morphologique des profils :	14
II.2.4. Caractéristiques hydrodynamiques des sols :	18
II.2.5. Détermination des aptitudes culturales des sols :	19
II.3. RESSOURCES EN EAU :	19
II.3.1. Alimentation en eau du périmètre :	19
II.3.2. Étude de la qualité de l'eau d'irrigation :	20
II.3.3. Classification des eaux pour l'irrigation :	21
II.3.3.1. Le SAR (Sodium Absorption ration) :	21
II.4. CALCUL DE LA PLUIE DE PROJET :	23
II.4.1. Choix de la station :	23
II.4.2. Répartition de la pluie moyenne annuelle :	23
II.4.3. Étude de l'homogénéité de la série pluviométrique :	25
II.4.4. Ajustement statistique des pluies :	26
II.4.4.1. Ajustement à la loi Normale :	26
II.4.4.3. Test de validité d'un ajustement :	27
II.4.5. Détermination de l'année de calcul :	27
II.5. CONCLUSION :	28

CHAPITRE III : BESOINS EN EAU DU PERIMETRE 29

III.1. INTRODUCTION :	29
III.2. BESOIN EN EAU DES CULTURES :	29
III.2.1. Calcul des besoins en eau :	29
III.2.2. L'évapotranspiration référence (ET ₀) :	29
III.2.3. Besoins en eau des cultures : Evapotranspiration maximale (ETM).....	30
III.2.4. Calcul de L'évapotranspiration de référence.....	30
III.2.4.1. Les méthodes directes :	30
III.2.4.2. Les méthodes indirectes :	30
III.2.5. Calcul de la pluie efficace	31
III.2.6. Calcul de la réserve en eau du sol :	32
III.3. CHOIX DES CULTURES:	32
III.3.1.les cultures proposées.....	32
III.3.2. Assolementsdes cultures :	33
III.3.3. Avantages de la rotation des cultures :.....	34
III.4. CALCUL DES BESOINS EN EAU DES CULTURES :	36
III.4.1. Calcul du débit spécifique :	48
III.4.2. Evaluation du débit caractéristique :	48
III.4.3. Estimation des volumesd'eau d'irrigation :	49
III.5. CONCLUSION.....	51

CHAPITRE IV : ETUDE DU SYSTEME D'ADDUCTION-DISTRIBUTION 52

IV.1. INTRODUCTION :	52
IV.2. ALIMENTATION EN EAU DU PERIMETRE :	52
IV.3. ORGANISATION ET STRUCTURE DU PERIMETRE :	52
IV.3.1. Ilots et bornes d'irrigation :	52
IV.3.2. Fonction des bornes d'irrigation :	52
IV.3.3. Calcul hydraulique aux bornes :	53
IV.3.4. Choix du diamètre et du type des bornes :	53
IV.4. VARIANTES D'AMENAGEMENT DU PERIMETRE KHEZZARA :	56
IV.5. ETUDE DU SYSTEME DE POMPAGE :	57
IV.5.1. Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation (HMT) :	58
IV.5.1.1. Calcul de la hauteur géométrique Hg :	58
IV.5.2. Calcul des pertes de charge totales :	58
IV.5.2.1. Détermination de diamètre économique de la conduite de refoulement:	59
IV.5.2.1.1. Calcul des frais d'amortissement :	59
IV.5.2.1.2. Calcul des Frais d'exploitation :	59
IV.5.2.1.3. Bilan total des frais :	61
IV.6. CHOIX DES POMPES ET NOMBRE DES POMPES :	62
IV.7. PROTECTION CONTRE DE LA CAVITATION :	64
IV.8. PROTECTIONS CONTRE LE COUP DE BELIER :	65
IV.8.1. Définition :	65
IV.8.2. Les Causes du coup de bélier :	65
IV.8.3. Les risques dus aux coups de bélier :	65
IV.8.4. Moyen de protection contre le coup de bélier :	66
IV.8.5. Calcul du volume du réservoir d'air anti-bélier:	66
IV.9. RESEAU DE DISTRIBUTION GRAVITAIRE :	67
IV.10. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION :	67
IV.10.1. Caractéristiques des conduites du réseau de distribution gravitaire :	67
IV.10.2. Choix du matériau des conduites :	67
IV.10.3. Calcul des diamètres :	68
IV.10.4. Estimation des pertes de charge :	68
IV.11. DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR DE STOCKAGE (BASSIN) :	73
IV.12. CONCLUSION :	73

CHAPITRE V : LES TECHNIQUES D'IRRIGATION 74

V.1.INTRODUCTION :	74
V.2.LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'ARROSAGES :	74
V.2.1. L'irrigation gravitaire (de surface):	75
V.2.2. L'irrigation par aspersion :	76
V.2.3. L'irrigation localisée :	77
V.3.CONCLUSION.....	78

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT A LA PARCELLE 79

VI.1. INTRODUCTION	79
VI.2. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU GOUTTE A GOUTTE :	79
VI.2.1. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :	79
VI.2.1.1. Influence du taux de couverture du sol :	79
VI.2.1.2. Calcul de la dose Dose nette pratique :	80
VI.2.1.3. Fréquence et intervalle des arrosages (Fr):	80
VI.2.1.4. Calcul de la dose (brute) :	81
VI.2.1.5. Durée d'arrosage (h) :	81
VI.2.1.6. Nombre de poste :	81
VI.2.1.7. Surface du poste :	81
VI.2.2. Calculs hydrauliques :	82
VI.2.3. Dimensionnement des canalisations du réseau :	82
VI.2.3.1. Pour les rampes : L=36 m.....	83
VI.2.3.2. Pour la porte rampe :	84
VI.2.3.3. Calcul des diamètres de la conduite tertiaire :	85
VI.3. DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'IRRIGATION PAR ASPERSION :	85
VI.3.1. Calcul de la dose pratique : RFU :	86
VI.3.2. Choix du diamètre de l'ajutage :	86
VI.3.3. Calcul de la portée du jet (L) :	86
VI.3.4. Ecartements entre les rampes et arroseurs :	86
VI.3.5. Vérification de la pluviométrie (P<K) :	87
VI.3.5.1. Débit de l'asperseur :	87
VI.3.5.2. Vérification de la pluviométrie de l'asperseur :	87
VI.3.6. Paramètres d'arrosage :	87
VI.3.6.1. Calcul du tour d'eau :	87
VI.3.6.2. Nombre d'irrigation par mois :	87
VI.3.6.3. Calcul de la dose réelle :	88
VI.3.6.4. Calcul de la dose brute :	88
VI.3.6.5. Temps d'arrosage :	88
VI.3.6.6. Calcul de l'unité d'arrosage :	88
VI.3.6.7. Calcul du débit d'équipement :	88
VI.3.6.8. Nombre d'asperseurs (à acheter) Nombre d'asperseurs maximal :	88
VI.4. CALCULS HYDRAULIQUES :	89
VI.4.1. Dimensionnement hydraulique des rampes :	89
VI.4.1.1. La longueur de la rampe :	89
VI.4.1.2. Nombre d'asperseurs/rampe :	89
VI.4.1.3. Nombre de rampes :	89
VI.4.2. Dimensionnement de la rampe :	89
VI.4.2.1. Le débit de la rampe :	89
VI.4.2.2. Calcul du Diamètre de la rampe :	89
VI.4.3. Calcul des pertes de charge :	90
VI.4.4. Dimensionnement de la porte rampe :	90
VI.4.4.1. Longueur de la porte Rampe :	90
VI.4.4.2. Débit de porte rampe :	90
VI.4.4.3. Calcul du Diamètre de la porte rampe :	90
VI.4.5. Calcul de la pression en tête du réseau :	91
IV.5. CONCLUSION.....	91

CHAPITRE VII : CALCUL TECHNICO-ECONOMIQUE 92

VII.1. INTRODUCTION :	92
VII.2. LE SYSTEME DE POMPAGE :	92
VII.3. LE RESERVOIR DE STOCKAGE :	93
VII.4. TRAVAUX A ENTREPRENDRE POUR LE SYSTEME D'ADDUCTION :	93
VII.4.1. Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution :	93
VII.5. FRAIS DES TRAVAUX SUR RESEAU D'IRRIGATION :	96
VII.5.1. Calcul des volumes de remblai et de déblai :	96
VII.5.2. Estimation du cout des travaux du réseau d'adduction :	98
VII.5.3: Estimation du cout des bornes d'irrigation :	98
VII.6. LE DEVIS DES TRAVAUX :	99
VII.7. CONCLUSION :	99
CONCLUSION GENERALE	100
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	101
ANNEXE	102
ANNEXE 1	102
ANNEXE 2	103
ANNEXE 3	104
ANNEXE 4	105
ANNEXE 5	105

Liste des Tableaux

<i>TABLEAU I.1</i> : CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES LA STATION ETUDIEE.	5
<i>TABLEAU I.2</i> : PLUIES MOYENNES MENSUELLES A LA STATION DE BELKHEIR (1993-2017).....	6
<i>TABLEAU I.3</i> : REPARTITION DES TEMPERATURES MOYENNES INTERANNUELLES (STATION DE GUELMA) (2002-2017).....	7
<i>TABLEAU I.4</i> : L'EVAPORATION MOYENNE MENSUELLE A LA STATION DE BELKHIER.....	8
<i>TABLEAU I.5</i> : HUMIDITE RELATIVE A LA STATION DE BELKHEIR (ONM) (2002-2017).	8
<i>TABLEAU I.6</i> : LA MOYENNE MENSUELLE DE LA VITESSE DU VENT (2002-2017) « STATION :BELKHIR (ONM).	8
<i>TABLEAU I.7</i> : NOMBRE DE JOURS MOYENS DE SIROCCO A LA STATION DE BELKHIER.	9
<i>TABLEAU II.1</i> : RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DE SOL DU PROFIL 1.	15
<i>TABLEAU II.2</i> : RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DE SOL DU PROFIL 2.	17
<i>TABLEAU II.3</i> :PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES SOLS.....	18
<i>TABLEAU II.4</i> : CARACTERISTIQUE CHIMIQUE DE L'EAU D'IRRIGATION.	20

TABLEAU II.5: CLASSIFICATION DES EAUX EN FONCTION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE.	21
TABLEAU II.6 : CLASSIFICATION DES EAUX EN FONCTION DE SAR.	22
TABLEAU II.7: CARACTERISTIQUE PRINCIPALE DE LA STATION PLUVIOMETRIQUE (ANRH ALGER).	23
TABLEAU II.8: REPARTITION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS (MM).....	24
TABLEAU II.9: CARACTERISTIQUES DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE.....	24
TABLEAU II.11: TEST DE VALIDITE DES DEUX AJUSTEMENTS.....	27
TABLEAU II.12: CALCUL DES QUANTILES	27
TABLEAU II.13: CALCUL DES PLUIES MENSUELLES POUR L'ANNEE SECHE (FREQ= 80%).	28
TABLEAU III.1: CALCUL DES PLUIES EFFICACES.	32
TABLEAU III -2: SCENARIOS D'OCCUPATION DU SOL PAR L'ENSEMBLE DE L'EXPLOITATION DU PERIMETRE.....	33
TABLEAU III -3 : SYSTEME DE CULTURES PROPOSEES.....	33
TABLEAU III -4: ASSOLEMENT PROPOSE POUR LE PERIMETRE DU KHEZZARA.	34
TABLEAU III -5: CYCLE VEGETATIF DES CULTURES ENVISAGEES	35
TABLEAU III.6: CALCUL DES BESOINS EN EAU DU BLE.	36
TABLEAU III.7 : CALCUL DES BESOINS EN EAU DE L'ORGE GRAIN.....	36
TABLEAU III.8: CALCUL DES BESOINS EN EAU D'AVOINE.	37
TABLEAU III.9: CALCUL DES BESOINS EN EAU LUZERNE.	37
TABLEAU III.10: CALCUL DES BESOINS EN EAU ORGE EN VERT	38
TABLEAU III.11: CALCUL DES BESOINS EN EAU OLIVIER.....	38
TABLEAU III.12: CALCUL DES BESOINS EN EAU TOMATE.	39
TABLEAU III.13: CALCUL DES BESOINS EN EAU POMME DE TERRE SAI.	39
TABLEAU III.14: CALCUL DES BESOINS EN EAU PIMENT/POIVRON.....	40
TABLEAU III.15: CALCUL DES BESOINS EN EAU POMME DE TERRE AS.....	40
TABLEAU III.16: CALCUL DES BESOINS EN EAU OIGNON.....	41
TABLEAU III.17: CALCUL DES BESOINS EN EAU CAROTTE.	41
TABLEAU III.18: CALCUL DES BESOINS EN EAU HARICOT.....	42
TABLEAU III.19: CALCUL DES BESOINS EN EAU PETITS POIDS.....	42
TABLEAU III.20: CALCUL DES BESOINS EN EAU CHOU.	43
TABLEAU III.21: CALCUL DES BESOINS EN EAU AIL.....	43
TABLEAU III.22: CALCUL DES BESOINS EN EAU FEVE.....	44
TABLEAU III.23: CALCUL DES BESOINS EN EAU MELON/PASTEQUE.....	44
TABLEAU III.24: CALCUL DES BESOINS EN EAU POIRIER.	45
TABLEAU III.25: CALCUL DES BESOINS EN EAU POMMIER.....	45

TABLEAU III.26: RECAPITULATIF DES BESOINS POUR L'ASSOLEMENT 1.	46
TABLEAU III.27: RECAPITULATIF DES BESOINS POUR L'ASSOLEMENT 2.	48
TABLEAU III.28: OCCUPATION DE SOL EN FONCTION DES CULTURES.	49
TABLEAU III.29: VOLUME D'EAU D'IRRIGATION.	50
TABLEAU IV.1 : TYPE DE BORNES EN FONCTION DE SUPERFICIES DES ILOTS.	53
TABLEAU IV.2 : CALCUL ET CHOIX DU TYPE DE BORNES.	54
TABLEAU IV.3: CALCUL DE LA HMT.	60
TABLEAU IV.4 : CALCUL DES PRIX D'AMORTISSEMENT.	60
TABLEAU IV.5: CALCUL DES PRIX D'EXPLOITATION.	61
TABLEAU IV.6 : CALCUL DU BILAN TOTAL DES FRAIS.	61
TABLEAU IV.7 : CHOIX DE NOMBRE DE POMPES.	62
TABLEAU IV.8: ENGLOBE LE TYPE, LE NOMBRE ET LES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE POMPE.	63
TABLEAU IV.9 : PRESSION ATMOSPHERIQUE EN FONCTION DE LA COTE.	64
TABLEAU IV.10 : PARAMETRES DE PERTES DE CHARGE DE LA LOI DE LECHAPT- CALMON.	69
TABLEAU IV.11 : CALCULS HYDRAULIQUES DU RESEAU DE DISTRIBUTION.	70
TABLEAU VI.1: CALCUL RECAPITULATIF RESEAU GOUTE A GOUTE.	85
TABLEAU VI.2: CALCUL RECAPITULATIF RESEAU ASPERSION.	91
TABLEAU VII.1: PRIX DU SYSTEME DE POMPAGE.	92
TABLEAU VII.2: PRIX DU RESERVOIR DE STOCKAGE.	93
TABLEAU VII.3: CALCUL DES DIFFERENTS VOLUMES.	97
TABLEAU VII.4 : ESTIMATION COUT DU RESEAU DE DISTRIBUTION	98
TABLEAU VII.5 : ESTIMATION COUT DES BORNES AINSI EQUIPEMENTS DE PROTECTION DU RESEAU :	98
TABLEAU VII.6. COUT DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT.	99
TABLEAU VII.7 : DEVIS ESTIMATIF TOTAL.	99

Liste des Figures

FIGURE I.1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE GUELMA.....	2
FIGURE I.2 : CARTE DE SITUATION DU PERIMETRE DE KHEZZARA.....	3
FIGURE I.3 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE (SOURCE : UNIV. GUELMA 2020)	4
FIGURE I.4 : REPARTITION DES PLUIES MOYENNES MENSUELLES (STATION DE BELKHEIR).....	6
FIGURE I.5 : REPARTITION DES TEMPERATURES MOYENNES (STATION DE GUELMA).	7
FIGURE I.6 : DIAGRAMME BIOCLIMATIQUE D'EMBERGER.....	10
FIGURE I.7 : DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN	11
FIGURE II.1 : TRIANGLE TEXTURAL (USDA)	18
FIGURE II.2 : DIAGRAMME DE CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION.....	22
FIGURE II.3 : AJUSTEMENT DES PLUIES ANNUELLES AUX LOIS NORMALES ET LOG-NORMALE.	26
FIGURE III.1 : EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE (ET0) CALCULEE.....	31
FIGURE IV.1 : SCHEMA DE LA VARIANTE D'IRRIGATION SOUS PRESSION	57
FIGURE IV.2 :RESULTATS DE L'ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE REFAIS LE GRAPHE.....	62
FIGURE IV.3 : COURBE CARACTERISTIQUE DE LA POMPE. (CAPRARI).....	63
FIGURE V.1 : SCHEMA RECAPITULATIF SUR LES SYSTEMES D'IRRIGATION.....	74
FIGURE V.2 : L'IRRIGATION DE SURFACE.	75
FIGURE V.3 : L'IRRIGATION PAR ASPERSION.....	76
FIGURE V.4 : L'IRRIGATION LOCALISEE.....	77
FIGURE VII.1 : LE CREUSEMENT D'UNE TRANCHEE.	94
FIGURE VII.2 : POSE DU LIT DE SABLE.....	94
FIGURE VII.3 : POSE DES CONDUITES.	95
FIGURE VII.4 : DISPOSITION DE LA CONDUITE DANS UNE TRANCHEE.	96

Lise des planches

- Planche N°1 : plan de situation.
- Planche N°2 : Plan de réseau d'adduction et distribution du périmètre.
- Planche N°3 : profil en long de la conduite principale.
- Planche N°4 : Profil en long de la conduite de refoulement.
- Planche N°5 : réseau goutte a goutte.

Introduction générale

L'Algérie est un pays méditerranéen conforté de plus en plus au problème de l'insuffisance des ressources en eau. En effet, l'eau est l'un des besoins les plus fondamentaux et indispensables pour presque toutes les activités économiques, y compris l'agriculture qui est le grand utilisateur de cette ressource consommant 70% des réserves mondiales.

Cependant les ressources en eau en Algérie sont potentiellement limitées, ce qui nécessite une étude approfondie pour la gestion de cette ressource en particulier dans le domaine de l'irrigation. Dans ce cas, pour maintenir les activités agricoles les plus importantes et garantir en même temps le stockage de l'eau, la demande d'usage de nouvelles techniques d'arrosage est nécessaire, pour permettre de rationaliser les quantités d'eau utilisées.

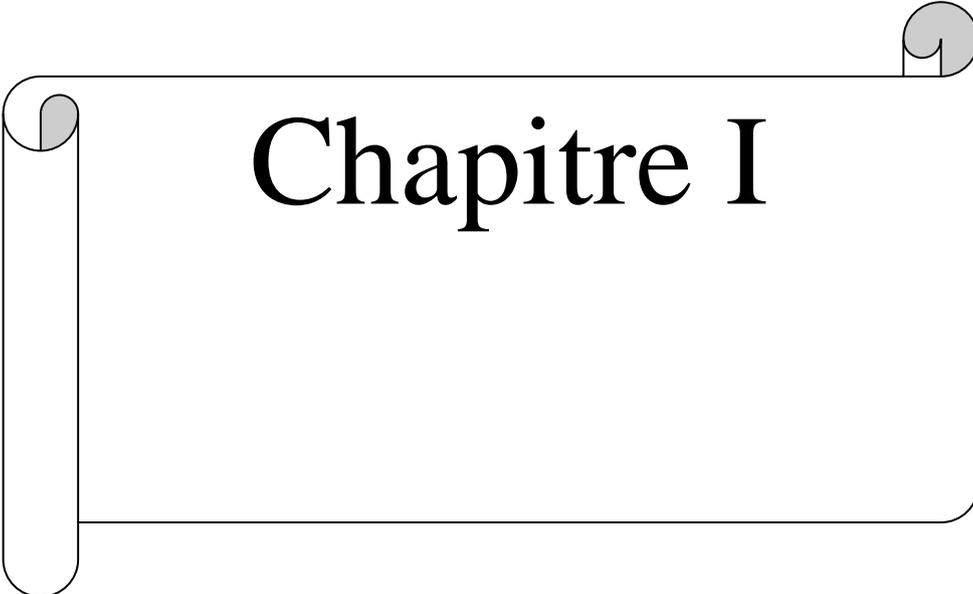
Dans ce contexte, en vue d'assurer l'alimentation en eau des périmètres situés dans l'est Algérien, nous avons effectué une étude du périmètre de Khezzara localisé dans la wilaya de Guelma avec une superficie de 270 Ha, qui sera irrigué à partir des eaux de l'oued Seybouse.

Notre étude a été établie pour l'aménagement hydro-agricole du périmètre de Khezzara. Pour cela nous avons réparti l'étude en deux parties : en première lieu, nous avons présenté le périmètre d'étude, en analysant les composantes climatiques et pédologiques, pour mieux spécifier les potentialités du sol à travers la détermination de ses caractéristiques physico-chimiques et ses aptitudes culturales, et permettre de quantifier les besoins en eau des cultures choisies.

Dans la deuxième partie, nous avons dimensionné le réseau d'adduction et de distribution, ainsi que le système de pompage, et procédé au dimensionnement du système d'irrigation selon les cultures choisies : l'irrigation par aspersion et la technique du système goutte à goutte.

A la fin de ce travail, une étude technico-économique a été élaborée pour l'estimation du cout total du projet d'irrigation.

Le but cette étude est l'exploitation rationnelle du périmètre Khezzara, ainsi que l'augmentation du rendement agricole, et la croissance économique liée à l'agriculture dans la wilaya de Guelma.



Chapitre I

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

I.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude, en détaillant la situation géographique, les caractéristiques climatiques et socio-économiques, afin de permettre de caractériser la zone, et de mieux valoriser les potentialités agricoles du périmètre étudié.

La zone d'étude concerne le périmètre de Khezzara situé au niveau de la wilaya de Guelma.

I.2.Présentation générale de la wilaya de Guelma :

I.2.1 Situation géographique :

La wilaya de Guelma, est une wilaya de l'Est algérien située entre les régions d'Annaba et de Constantine, localisée entre :

$X=7^{\circ}25'33''$, $7^{\circ}35'25''$ et $Y=36^{\circ}27'43''$, $36^{\circ}32'35''$

d'une superficie de 4101 km² elle est délimitée par :

- Au nord, par la wilaya d'Annaba ;
- Au Nord-est, par la wilaya d'El Taref;
- À l'Est, par la wilaya de Souk-Ahras ;
- Au Sud, par la wilaya d'Oum el Bouaghi ;
- À l'ouest et au nord-ouest, par les wilayas de Constantine et de Skikda.

Administrativement la wilaya de Guelma est composée de 10 daïra et 34 communes.

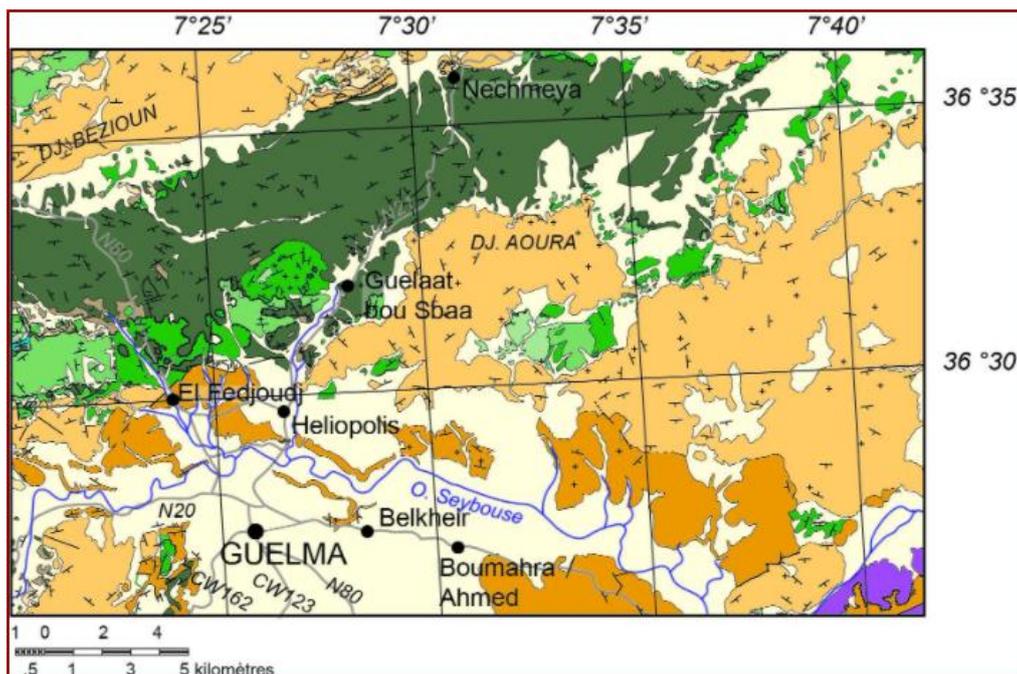


Figure I.1 : Situation géographique de la wilaya de Guelma.

I.3. Présentation du périmètre d'étude : le périmètre de Khezzara :

Le périmètre d'étude est le périmètre de Khezzara, situé dans la région Est du pays et se rattache administrativement à la wilaya de Guelma. Il fait partie du Tell Algérien, cet ensemble s'étend sur la région de Constantine à la frontière Algéro-tunisienne sur une superficie de 200 km². Plus précisément le périmètre est situé dans la commune de Khezzara localisée entre :

X=7°31'45" et 7°36'40"

Y= 36°18'15" et 36°22'10"

qui est limitée par :

- Au nord par la commune de Boumahra ahmed ;
- Au Sud par Bouhachana ;
- A L'Est par Hammam N'bail ;
- A l'Ouest par la commune de Ben djerrah.

Le périmètre présente une surface de 1700ha.

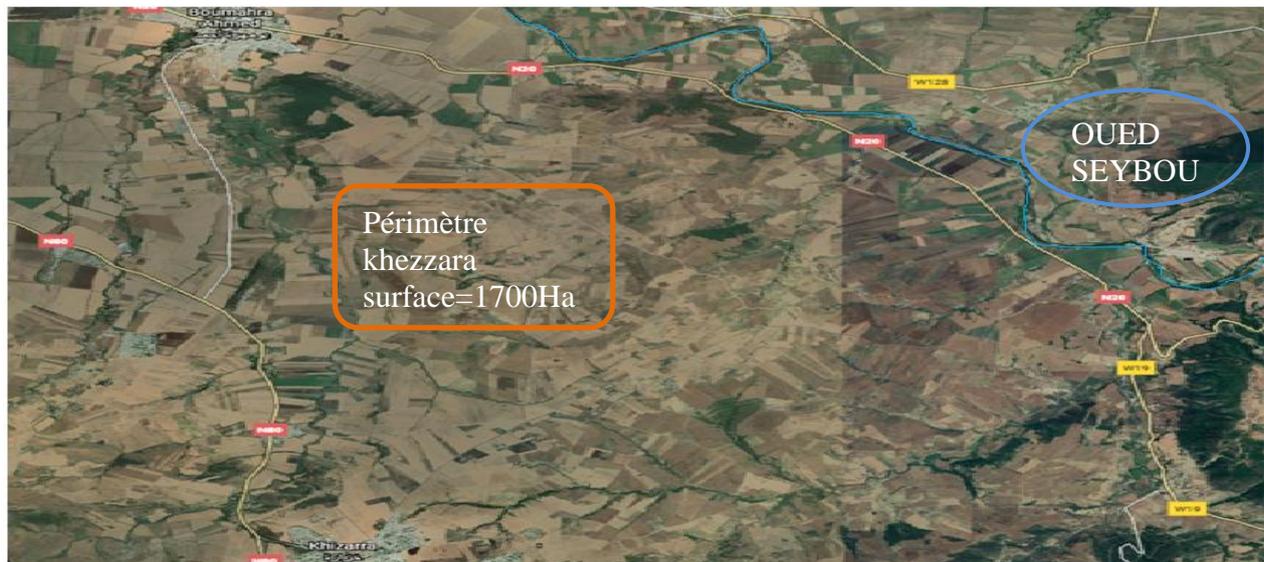


Figure I.2: Carte de situation du périmètre de Khezzara.

I.4. Etude géologique :

La zone d'étude fait partie de l'ensemble géologique de Tell d'Algérie, sa structure est très complexe et essentiellement due à des mouvements Tertiaires, surtout Miocène.

La région se caractérise par la présence de terrains uniquement sédimentaires, d'un âge compris entre le Trias et l'actuel. Ces terrains sédimentaires sont en grande partie allochtones, la zone est donc particulièrement perturbée du point de vue tectonique. On rencontre ainsi sur de vastes terrains des nappes de flyschs (flyschs numidiens) qui viennent recouvrir les formations sous-jacentes.

Pour la zone de Khezzara, le Jurassique est représenté par du calcaire liasique, compact et fossilifère (brachiopodes, ammonites).

Le Crétacé supérieur commence par des marnes et marno-calcaires au Cénomano-Turonien, non fossilifères (affleurement dans la partie centrale de la feuille), puis par des marnes et marno-calcaires au Sénonien. On y trouve par endroit des échinodermes et des inocérames.

Les terrains du Cénozoïque dominant à l'affleurement. Ils débutent par des niveaux attribués à l'Eocène : argiles noires, calcaires et marno-calcaires à silex, calcaires (à Nummulites) intercalés de bancs phosphatés (à Nautiloïdes, cnidaires, dents de requin, bivalves), marnes à *Ostrea*, puis argiles et grès. Les grès numidiens (Oligo-Miocène) sont présents à la limite nord de la feuille. Le Miocène enfin est représenté par des marnes, du grès, des argiles à gypse, de la molasse et des argiles rouges.

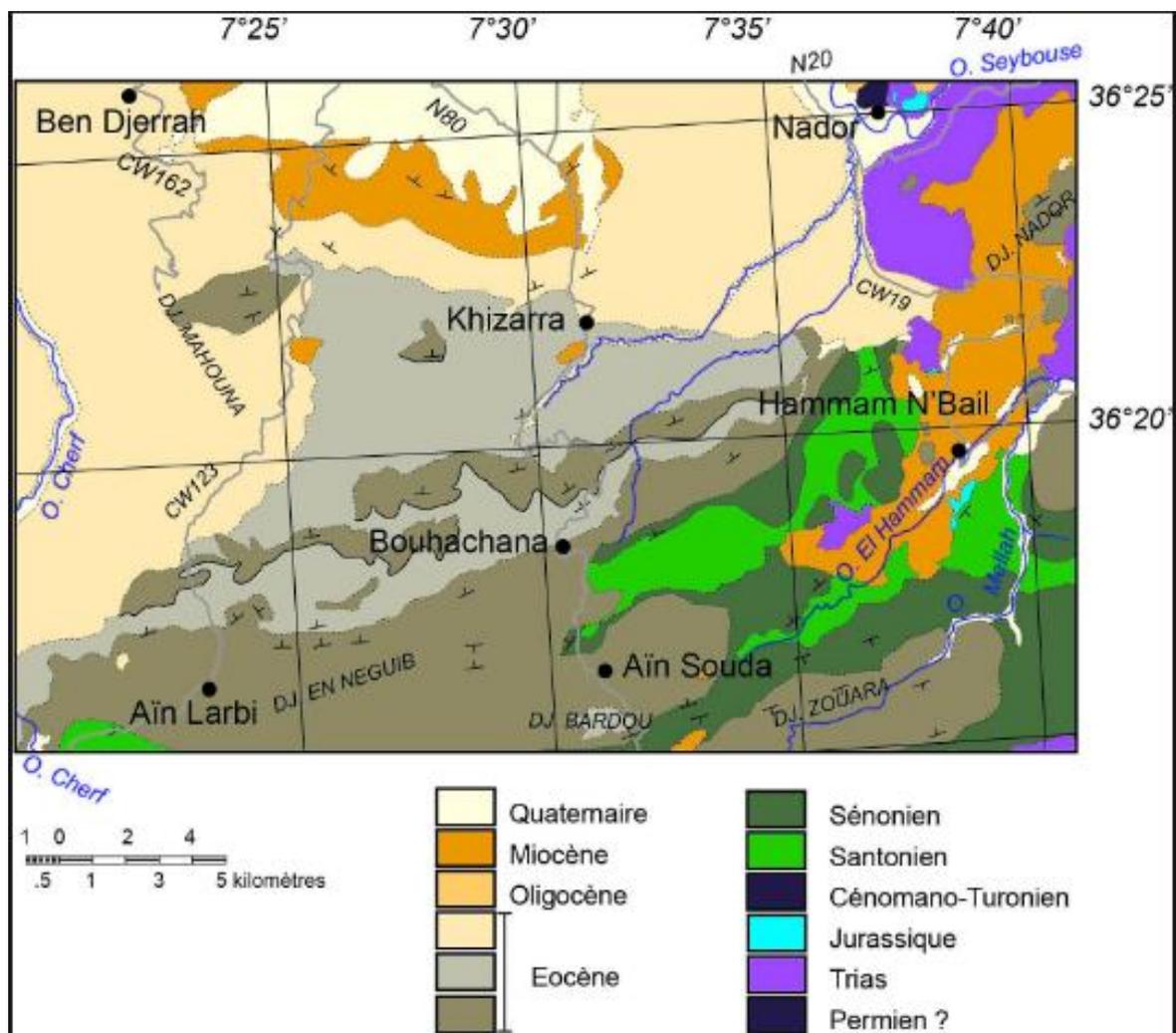


Figure I.3 : Carte géologique de la zone d'étude (source : Univ. Guelma 2020)

Le Plio-Quaternaire est représenté essentiellement dans la partie nord de la feuille (plaine de Guelma, vallée des différents oueds) : alluvions, éboulis, travertins (vallée de l'oued El Hammam, lit de la Seybouse).

Le site d'étude présente une lithologie très variée qui comprend essentiellement : les argiles de Numidie qui sont la formation principale et dominante dans la région les alluvions (sables, gravier, cailloutis), les grés, les marnes et les calcaires.

I.5. Géomorphologie et Relief :

La wilaya de Guelma est caractérisée par un relief diversifié (montagnes, colline, plaine) les pentes moyennes se situent entre 5 % et plus de 40% dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. Les principales formes de relief rencontrées dans les hauts plateaux sont des reliefs montagneux et collinaires constituant l'extrémité orientale de la chaîne des monts de Constantine et des contreforts occidentaux de la chaîne de la Medjerda.

Pour ce qui du périmètre de Khezzara, le relief est en général favorable à l'utilisation agricole et en irrigué avec une topographie relativement plane, et une pente ne dépassant pas 1-2 %.

I.6. Etude climatologique :

Les facteurs climatiques ont une importance capitale dans un projet d'irrigation puisqu'ils interviennent dans l'estimation des besoins en eau des cultures et dans leur croissance.

Les facteurs les plus déterminants sont les températures, l'humidité relative, l'intensité de gelée et de sirocco ; ils constituent un ensemble d'éléments décisifs.

I.6.1. Choix de la station de référence :

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les stations climatologiques les plus proches du périmètre, pour avoir une bonne précision des paramètres climatiques afin de bien caractériser le climat de notre zone d'étude. Pour cela, nous avons exploité les données de la station météorologique de Belkheir.

Pour la pluviométrie, nous avons exploré une série d'observations de pluies de 25 ans à partir de la station de Belkheir.

Tableau I.1 : Caractéristiques géographiques la station étudiée.

Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude	Période d'observations	Nbre d'années
		X(m)	Y(m)			
Belkheir	-	07°28 E	36°28 N	227 m	1993-2017	25

(Source : ANRH d'Alger).

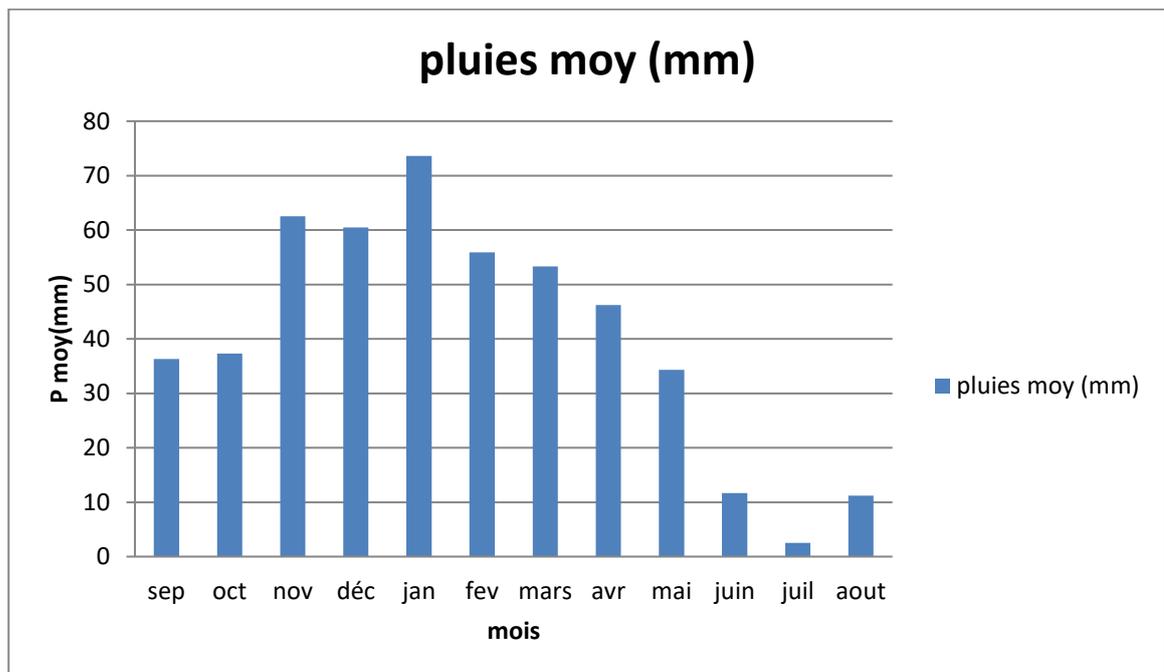
I.6.2. Pluies mensuelles :

Pour l'estimation de la pluie moyenne mensuelle sur la zone d'étude qui influe sur le périmètre d'irrigation de khezzara, nous avons utilisé les données de la station de Belkheir.

Tableau I.2: Pluies moyennes mensuelles à la station de Belkheir (1993-2017).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P_{moy} (mm)	36.3	37.3	62.5	60.5	73.6	55.9	53.3	46.2	34.3	11.7	2.5	11.2	485.3
P(%)	7.47	7.68	12.87	12.46	15.16	11.51	10.98	9.51	7.06	2.41	0.515	2.3	100%

(Source : ANRH d'Alger).

**Figure I.4:** Répartition des pluies moyennes mensuelles (station de belkheir).

D'après le tableau I.2 et le graphe I.3, Les pluies moyennes mensuelles traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. On remarque l'existence d'une saison sèche qui débute du mois de juin jusqu'au aout avec des pluies moyennes mensuelles inférieures à 3%, les autres mois sont relativement humides.

I.6.3. Les températures :

La température de l'air permet la détermination du climat, elle influe sur la croissance des plantes et elle conditionne l'évaporation et le cycle végétatif des cultures ainsi que la photosynthèse.

Nous avons pris en considération les relevés mensuels moyens des températures sur une période de 15 ans de (2002 à 2017) et sont donnés par le tableau I.3:

Tableau I.3: Répartition des températures moyennes interannuelles (station de Belkhire)
(2002-2017)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne des minima	4.7	4.7	6.3	8.8	11.4	15.6	18.5	19.2	17.1	13.9	9.4	6
Moyenne des maxima	16.1	16.6	19.6	23.1	27.6	33.0	36.7	36.6	31.6	28.5	21.2	17.0
Moyenne Mensuelle	10.4	10.6	12.9	15.9	19.5	24.3	27.6	27.9	24.3	21.2	15.3	11.5

(Source : ONM Alger)

Le graphe de variations des températures est présenté comme suit :

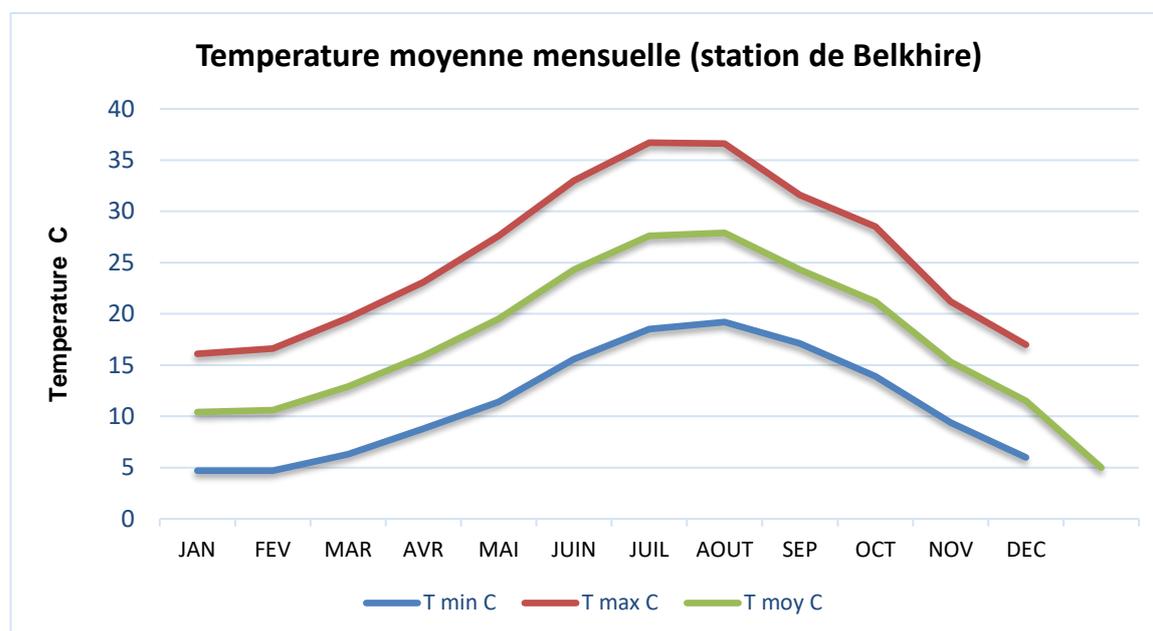


Figure I.5: Répartition des températures moyennes (Station de Belkhire).

D'après le tableau I.3, on remarque que les périodes les plus chaudes sont celles du mois d'Aout, tandis que les périodes froides sont observées durant le mois de janvier.

I.6.4. L'évaporation :

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux, son effet est de réduire la température de l'environnement.

Le tableau suivant résume les moyennes de l'évaporation au niveau de la station Guelma, (ANBT : 2005-2017)

Tableau I.4: L'évaporation moyenne mensuelle à la station de Belkhir

Mois	Jan	fév	Mar	Avril	Mai	Juin	juil.	Aou	Sep	oct	nov	Déc
Evaporation (mm)	60.0	49.5	73.2	119.6	180.2	240.5	309.3	302.8	190.0	145.8	106.8	106.8
Evaporation (%)	3.2	2.6	3.9	6.4	9.6	12.8	16.4	16.1	10.1	7.8	5.7	5.7

(Source : ONM Alger)

I.6.5. L'humidité relative :

C'est un élément important du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à celle que pourrait contenir s'il était saturé à la même température.

Tableau I.5: Humidité relative à la station de Belkheir (ONM) (2002-2017).

Mois	Jan	fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juil.	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc
Humidité (%)	77.8	75.2	74.7	72.9	68.2	60.4	55.6	57.3	67.4	70.9	73.7	77.7

(Source : ONM Alger)

L'analyse du tableau I.5 fait ressortir la valeur moyenne annuelle d'humidité est de 60% pour les mois les plus secs. Les mois de Décembre et Janvier sont les plus humides, avec une moyenne de 78 %.

I.6.6. Le vent :

C'est un facteur déterminant pour le choix du système d'irrigation. Les valeurs présentées dans le tableau I.6 représentent la vitesse moyenne du vent.

Tableau I.6: la moyenne mensuelle de la vitesse du vent(2002-2017) « Station :Belkhir (ONM).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
V (m/s)	1.75	1.99	1.98	1.96	1.84	1.86	1.81	1.72	1.62	1.35	1.65	1.7

(Source : ONM Alger)

Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année.

I.6.7. Le Sirocco

C'est un vent saharien, très sec et très chaud qui souffle sur l'Afrique du Nord, il a un effet négatif sur les cultures car il influe sur l'évapotranspiration des plantes. Le nombre de jours moyen de sirocco (1994– 2008), est indiqué dans le tableau I.7

Tableau I.7 : Nombre de jours moyens de sirocco à la station de Belkhier.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Sirocco	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0

(Source : ONM Alger)

I.6.8. La grêle :

La grêle est un phénomène très localisé, qui se produit fréquemment du mois d'Avril au mois de Mai et du mois de septembre au mois d'octobre. On observe en moyenne quatre averses de grêle dans l'année.

I.6.9. Calcul des indices Agro-météorologiques :

Pour déterminer le type du climat et l'interférence des différentes variables de ce climat et leur action sur les plantes, nous avons deux facteurs essentiels : la pluviométrie et la température.

I.6.9.1. Quotient Ombrothermique d'Emberger :

Cet indice a pour but de déterminer l'étage bioclimatique, il est calculé comme suit :

$$Q = \frac{1000.P}{(M+m)(M-m)/2} = \frac{2.1000.P}{M^2 - m^2} ;$$

Avec :

Q : coefficient Ombrothermique d'Emberger.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des températures maximales (Kelvin).

m : moyenne des températures minimales (Kelvin).

Pour : P=485.3mm ; M=36.7°C et m=4.7°C

$$Q = \frac{2.1000.P}{M^2 - m^2} = \frac{2.1000.485.3}{(36.7+273)^2 - (4.7+273)^2} = 51.61$$

D'où Q=51.6

En portant la valeur de Q dans le diagramme bioclimatique d'Emberger, et en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid (4.7°C), on peut confirmer que notre région se situe dans :

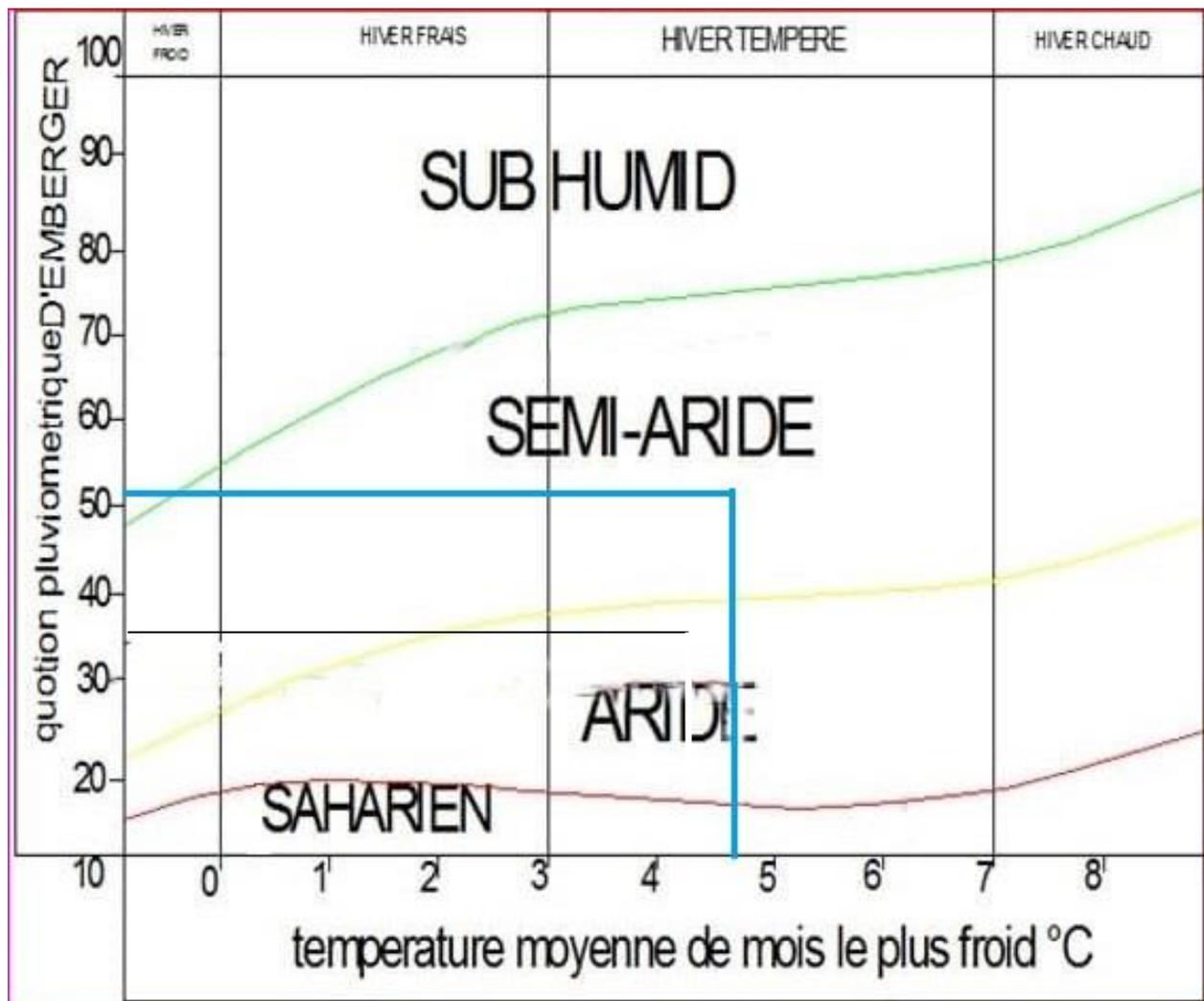


Figure I.6 : Diagramme bioclimatique d'Emberger.

Interprétations : L'étage bioclimatique : aride

I.6.9.2. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme Ombrothermique de F.Bagnouls et H.Gaussen permet de faire ressortir la période sèche au cours de l'année. Dans ce diagramme, on considère un mois sec quand le total des précipitations exprimées en (mm) est égal ou inférieur au double de la température exprimée en °C ($P \leq 2T$), c'est-à-dire quand la courbe des précipitations passe en dessous de celle des températures. La période s'étalant entre les abscisses des points de l'intersection des deux courbes correspond à la durée de la saison sèche.

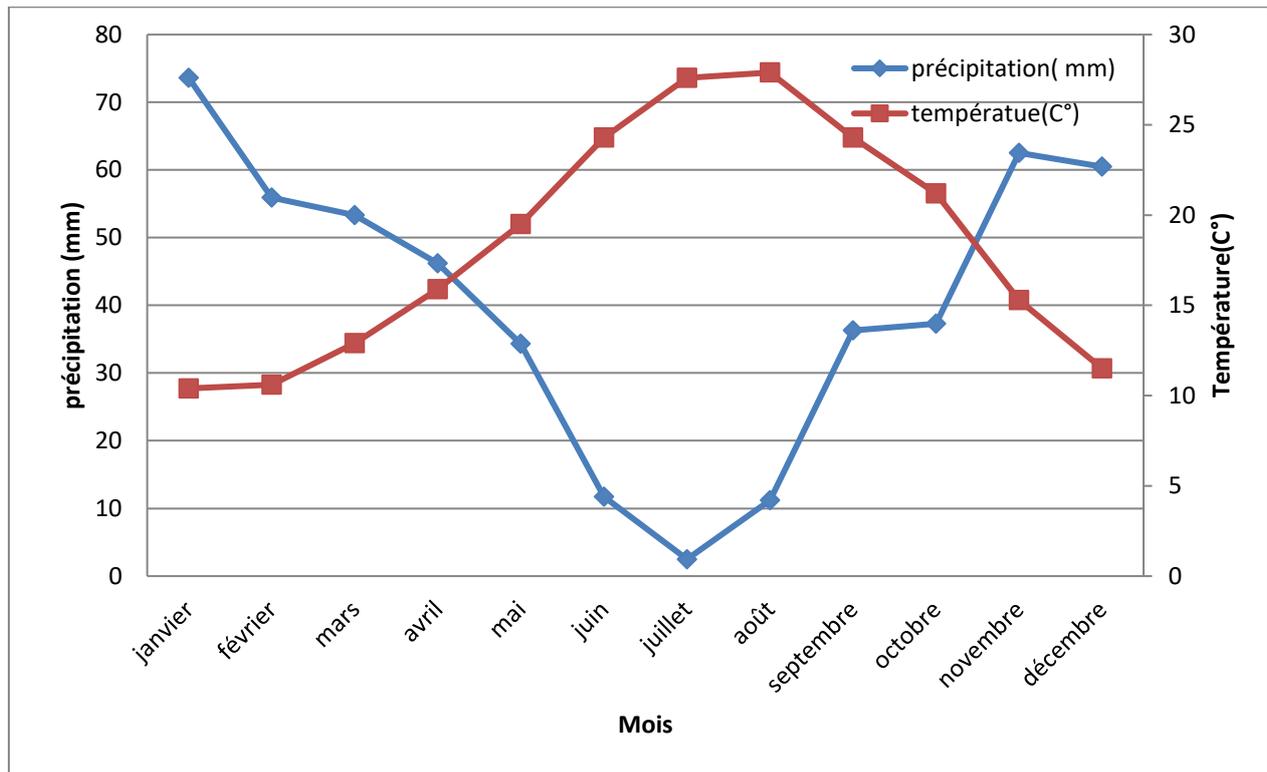


Figure I.7: Diagramme ombrothermique de Gaussen

Description du graphe :

Les deux courbes se croisent et la surface délimitée mesure l'intensité entre les deux saisons sèche et humide, la différence des abscisses nous donne la durée de la saison ; donc :

- La saison sèche s'étale sur six (6) mois, allant du mois de mai jusqu'à la fin du mois d'octobre.
- La saison humide est de (6) mois allant du mois de novembre jusqu'à mai dans laquelle on observe l'intensité maximale des précipitations.

I.7. Analyse socio-économique :

La Wilaya de Guelma, étant à vocation agricole, son secteur primaire ne suffit plus à absorber les demandeurs d'emploi. Quant aux unités industrielles, elles sont non seulement saturées mais en situation soit de difficultés, soit de non expansion économique.

Situation en 2011:

- Population active: 258.823 soit un taux d'activité de 51,15 %.
- Population occupée: 177.113 personnes occupées, soit 68,43 % de la population active.
- Population au chômage : près de 26.892 chômeurs.
- Taux de chômage: près de 10,39 %.

Secteur de l'Agriculture :

Les cultures à développer qui nécessitent des investissements sont :

1. Cultures fruitières
2. Cultures maraîchères
3. Céréaliculture
4. Cultures industrielles.

Superficies : S.A.T : 264.618 ha, soit 71,77 % de la superficie totale de Wilaya.

S.A.U : 187.338 ha, soit 50,81 % de la superficie totale de Wilaya.

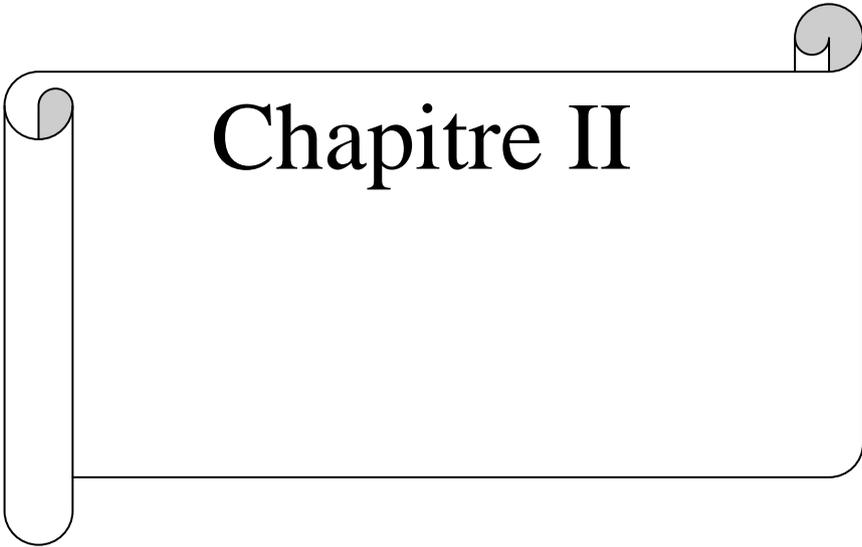
Superficie Irriguée : 11.841 ha, soit 6.32 % de la S.A.U.

D'après des estimations, il est attendu que cette superficie évoluera à la hausse grâce à la mise en service totale du périmètre d'irrigation et aux autres projets de mise en valeur en irrigué, pour atteindre, à long terme, 26000 ha, soit 13,88 % de la S.A.U.

I.8.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les conditions naturelles de la zone d'étude, en se basant sur l'étude climatique, nous avons estimé que le périmètre de Khezzara est caractérisé par un climat relativement chaud en été et froid en hiver, et par une pluviométrie annuelle de l'ordre de 500 mm/an qui a lieu essentiellement durant la période Novembre –Mars.

L'agriculture constitue la principale activité de la zone, avec des rendements relativement faibles faute d'un système d'irrigation efficient. Dans ce cas, vu les potentialités de la zone d'étude, l'introduction de systèmes d'irrigation performants s'avère utile pour un développement des cultures et une intensification de l'agriculture dans cette zone aride.



Chapitre II

Chapitre II : Ressources en sol et ressources en eau

II.1. Introduction :

Le sol représente la couche superficielle de la croûte terrestre résultant de l'altération de la roche mère qui a été décomposé avec le temps due aux facteurs climatiques.

Sa composition doit permettre un bon approvisionnement en éléments nutritifs (N, P, K), en eau et en oligo-éléments.

Dans ce chapitre, nous allons aborder les ressources en sol et en eau du périmètre Khezzara qui sont indispensables dans tout développement agricole.

II.2. Ressources en sol :

Le sol est la couche de terre qui recouvre les roches et au sein de laquelle les plantes plongent leurs racines pour se nourrir, il constitue pour la plante un support et joue un rôle d'un réservoir d'alimentation d'eau et d'éléments nutritifs.

Il est donc indispensable de bien connaître ces caractéristiques, pour obtenir un rendement maximal des cultures.

II.2.1. But de l'étude pédologique :

L'étude pédologique a pour but de :

➤ Estimer la capacité des sols de la zone étudiée pour garantir une bonne croissance des cultures considérer et à valoriser économiquement l'investissement. Les aptitudes culturales sont appréciées en confrontant les exigences des productions possibles ;

➤ Evaluer le taux de contribution des sols du périmètre à l'alimentation hydrique des plantes à irriguer;

➤ Opter pour des techniques d'arrosage les plus adaptées aux conditions du sol: par aspersion, par goutte à goutte ou par submersion.

II.2.2. Description et classification des sols du périmètre :

La pédologie concerne la couche superficielle du croûte terrestre qui grâce à sa structure meuble et à sa composition physico-chimique est susceptible d'assurer un développement normal des végétaux cultivés. Vu cette importance de la pédologie, on se propose de développer notre étude on touche la classification du sol de la zone d'étude.

A partir de l'analyse des échantillons au laboratoire nous nous sommes arrivés à classer le sol de la région en deux classes qui sont :

- La classe des sols Calc magnésiques,
- La classe des vertisols.

II.2.3. Le profil pédologique :

Le profil pédologique permet de caractériser en temps réel de l'état d'un sol, à partir d'une observation visuelle, complétée par quelques déterminations analytiques en tenant compte de l'environnement.

L'examen du profil pédologique permet de découvrir la succession des couches ou l'horizon expliquant la formation et évolution du sol, sa pédogenèse permet de classer le sol d'après son type pédologique. Les profils décrits et analysés ont été réalisés par l'ANRH (2005).

II.2.3.1. Description morphologique des profils :

- **Profil n°1:**

- Lieu: Belkheir (w.Guelma);
- Coordonnées: X= 930.480km, Y= 356.700km;
- Pente: 2% vers l'oued;
- Topographie: Ondulée;
- Géomorphologie: Glacis;
- Aspect de surface: nombreux cailloux en surface.

a) Classification : (selon le CPCS 1967)

- Classe: sol calcimagnésique;
- Sous classe: saturé;
- Groupe: bruns calcique;
- Sous-groupe: vertique.

Ce sont des sols dont les caractères morphologiques sont déterminés par la présence d'ions alcalino-terreux. Leur genèse est surtout liée à la richesse en calcium de la roche mère, sans forme de carbonates (roches calcaires, marnes).

Les sols appartenant à cette classe ont été observés à l'Est, au Sud-est de Guelma, à l'Est et au Nord Est de Belkheir et à l'Est de boumarhra et le Nord de Khezara sur les fines pentes.

b) Description macro morphologique :

H1: 0 - 14 cm: sec, brun foncé, argilo-sableuse, structure grumeleuse à finement polyédrique, bonne activité biologique, poreux, aucune effervescence par l'HCL, limite graduelle régulière.

H2: 14 - 40 cm: Analogue au précédent, structure polyédrique moyenne bien développée en haut de l'horizon. Cette structure s'élargit en profondeur pour devenir à la base polyédrique grossière avec faces lissées, limite nette régulière.

H3: 40 - 140 cm : niveau de cailloux non calcaire, matrice argile, sableuse, limite nette régulière, aucune effervescence à L'HCL, niveau argileux de couleur jaunâtre humide et non calcaire.

Tableau II.3: Résultats des analyses des échantillons de sol du profil 1.

Profondeur (cm)		0 - 14	14- 40	40 - 140
GRANU LO-METRIE	Argile %	37	41	68
	Limons fin %	12	7	2
	Limons grossier %	4	7	10
	Sables fins %	22	22	10
	Sables grossiers %	23	20	11
MATIERS ORGANIQUES	C%	11.6	8.6	4.4
	MO%	2	1.5	0.7
	N%	1.22	0.95	0.55
	C/N	10	9	8
Calcaire total %		0.4	0.3	0.3
Calcaire actif %		0.4	0.3	0.3
pH		7.7	7.7	7.6
ce dS/m		0.4	0.4	0.5
P2o5 assimilable (ppm)		116	70	26
Bases échangeables	Ca	26	17	14
	Mg	14	7	10
	K	1.46	0.84	0.75
	Na	0.6	0.4	0.4
	S	23.2	26	40
	T	23.2	26	40
		100	100	100

- **Profil n°2:**

- Lieu: Belkheir ;
- Coordonnées: X= 930.280 km, Y= 356.925 km;
- Pente: 1 %;
- Topographie: plane;
- Géomorphologie: glacis de colline;
- Drainage externe: possible;

- a) Classification : (selon le CPCS 1967)**

- Classe: vertisol;
- Sous classe: à drainage externe possible;
- Groupe: à structure anguleuse sur les 15cm supérieur;
- Sous-groupe: modal.

Les vertisols présentes dans la région étudiée sont localisés en large bandes au Nord-Est de la wilaya de Guelma, entre les villages de Belkhier et Boumahra, en petites bandes sur les terrasses alluviales en rive gauche de la seybouse et le long des pentes qui dominent cette rive.

- b) Description macro morphologique :**

- H1: 0 - 12 cm:** Frais, brun foncé, structure polyédrique fine, poreux, bonne activité biologique, racines et radicelles, aucune effervescence à l'HCL, limite distincte régulière.

- H2: 12 – 32 cm:** Frais à sec, brun foncé, argileux, structure polyédrique grossière, consistance dure, compact, peu poreux, quelques galeries de vers, aucune effervescence à l'HCL, limite distance régulière.

- H3: 32 - 61 cm :** Sec, brun ocre, argileux, structure polyédrique à prismatique grossière à faces lissées et gauchies, compact, aucune effervescence à l'HCL, limite nette régulière.

- H4: 61 -100 cm :** Niveau très argileux de couleur jaunâtre, structure massive, aucune effervescence à l'HCL, humide.

Tableau II.2: Résultats des analyses des échantillons de sol du profil 2.

Profondeur (cm)		0 - 12	12- 32	32 - 61	61-100
GRANULO- METRIE	Argile %	32	60	67	74
	Limons fin %	18	10	9	7
	Limons grossier	3	8	7	4
	Sables fins %	25	12	9	6
	Sables grossiers %	18	9	7	6
MATIERS ORGANIQUES	C%	17.0	9.6	7.2	7.3
	MO%	1	1.6	1.2	1.2
	N%	2	1	0.92	0.75
	C/N	9	10	8	10
Calcaire total %		0.3	0.2	0.3	0.4
Calcaire actif %					
pH		7.6	7.6	7.5	7.6
ce dS/m		0.4	0.2	0.3	0.8
P2o5 assimilable (ppm)		56	30	31	45
BASES ECHANGEABLES	Ca	20	10	19	22
	Mg	6	8	13	11
	K	0.64	0.48	0.64	0.74
	Na	0.6	0.4	0.4	1
	T	24.4	36	42.6	40.8

Interprétation :

D'après les profils étudiés, le sol est de texture argileux à limono-argileuse, et faible en matières organiques, avec une salinité relativement faible, le taux de calcaire est aussi très faible, le pH est légèrement basique.

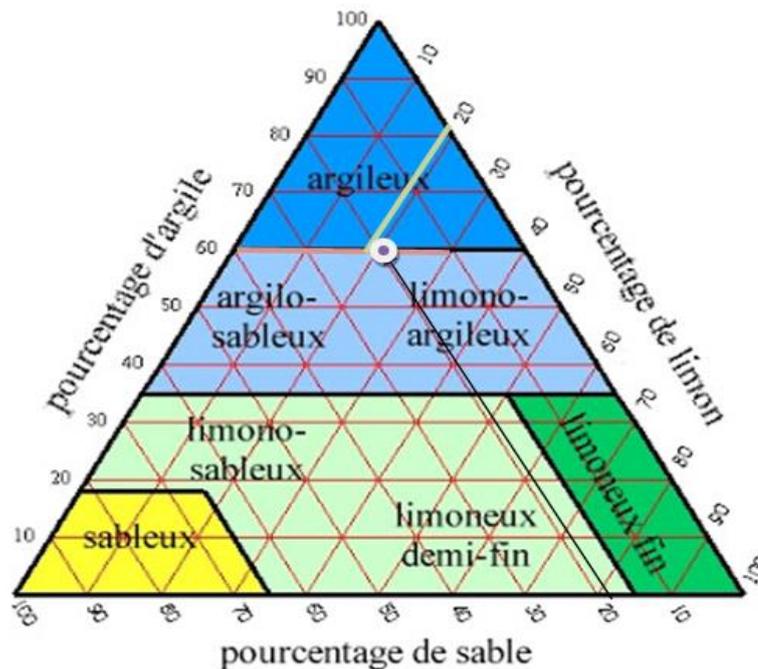


Figure II.1 : Triangle textural (USDA)

II.2.4. Caractéristiques hydrodynamiques des sols :

Un sol se caractérise par un certain nombre de paramètres physiques mesurables. Les valeurs de ces paramètres sont généralement fonctions à la fois de la structure et de la texture du sol.

Les paramètres hydrodynamiques, qui interviennent entre autres dans le calcul de la dose d'irrigation sont résumés dans le tableau II.3 :

Tableau II.4: Propriétés hydrodynamiques des sols.

Texture	argileux à limono-argileuse
Capacité au champ (%)	29
Point de flétrissement (%)	17
Vitesse de perméabilité (mm/h)	8-10
Densité apparente	1.42

II.2.5. Détermination des aptitudes culturales des sols :

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

Dans le cas de notre périmètre d'étude, nous avons:

Arboriculture :

L'aptitude des sols à ce type de spéculations est moyenne, deux types d'aptitudes ont été déterminées la 1^{ère} catégorie regroupe les oliviers, figuiers, abricotiers cerisiers ;

La 2^{ème} catégorie concerne les pêchers, pruniers, pommiers.

Cultures industrielles :

Les cultures industrielles peuvent être introduites dans le périmètre étudié, en particulier les tomates, le tournesol et la betterave sucrière, dont les sols présentent de bonnes aptitudes

Cultures céréalières et fourragères :

Les sols présentent de bonnes aptitudes pour les cultures suivantes : la luzerne, le sorgo, maïs, blé dur, orge et le blé tendre.

Cultures maraichères :

Les sols présentent de bonnes aptitudes à moyennes pour les cultures maraichères telles que l'oignon, la tomate, les pommes de terre et la pastèque.

II.3. Ressources en eau :

Parmi les éléments nécessaires pour le développement de la végétation est L'eau, il constitue pour la plante un appui, une réserve et d'élément nutritifs. L'analyse des ressources en eau sera axée sur la mobilisation des ressources en eau suffisantes et la qualité de l'eau d'irrigation ainsi la détermination de l'année de calcul ou la pluie de projet.

II.3.1. Alimentation en eau du périmètre :

La ressource en eau de surface provient de l'oued Seybouse. La Seybouse est un fleuve du Nord-Est de l'Algérie, formée près de Guelma par l'oued Cheref et l'oued Zenati, elle rejoint la Méditerranée près d'Annaba se dernier est alimenté principalement par les eaux.

Les apports de l'oued Seybouse et ses affluents constituent la principale ressource en eau dans la zone, ils sont de l'ordre de 203.15 hm³ /an. A ces apports s'ajoute l'eau stockée dans le

barrage de Bouhamdane avec une capacité de stockage égale à 220 hm³ /an et les retenues collinaires avec une capacité globale de 0.21 hm³ /an.

Les réserves eau souterraines sont estimées à 120 hm³ qui proviennent de deux nappes (la plaine alluviale de Geulma et Hammam baradaa).

II.3.2. Etude de la qualité de l'eau d'irrigation :

Il est indispensable d'étudier la qualité d'eau destinée à l'irrigation avant tout projet d'aménagement agricole. Pour cela il faut vérifier des facteurs importants qui sont :

- Le pH;
- Risque de Salinité;
- Risque de Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR);
- Carbonate et bicarbonates Ca, Mg;
- Anions toxiques.

Les données concernant **la qualité de l'eau d'irrigation** sont indiquées dans le tableau II.4 sont déterminées par l'ANRH à partir des prélèvements.

Tableau II.4: Caractéristique chimique de l'eau d'irrigation.

PH	7.8
Conductivité (ms)	0.73
Salinité (g/l)	1.4
Sels Dissous totaux (g/l)	1.6
SAR	7.51
%Na	59.26
Ca ⁺⁺	140
Mg ⁺⁺	80
Na ⁺	450
K ⁺	7
Cl ⁻	550
SO ₄ ^{- -}	190
HCO ₃ ⁻	230
CO ₃ ^{- -}	1

II.3.3. Classification des eaux pour l'irrigation :

Dans notre étude, nous nous sommes basées sur la classification américaine des eaux d'irrigation, cette dernière est reposée sur deux paramètres : la Conductivité électrique CE, et le rapport d'absorption du Sodium SAR.

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

Classe	Conductivité électrique CE(mmhos/cm)	Qualité des eaux	Cultures
<i>C1</i>	$CE \leq 0,25$	Eau de risque faible	Pour toutes les cultures
<i>C2</i>	$0,25 < CE \leq 0,75$	Eau de risque moyen	Pour les plantes Moyennement tolérantes.
<i>C3</i>	$0,75 < CE \leq 2,25$	Eau de risque élevé	Ne convient qu'à des sols Bien drainés et des plantes tolérantes.
<i>C4</i>	$CE > 2,25$	Eau de risque très élevé	Eau difficilement utilisable

La conductivité électrique : C'est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25 C et exprimée en mmhos/cm.

II.3.3.1. Le SAR (Sodium Absorption ration) :

La qualité des eaux pour l'irrigation est déterminée par la méthode de Sodium Absorption Ratio (S.A.R.). Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux, qui est calculé par la formule suivante :

Avec : Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} en méq/l.

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

Na : Sodium en mg équiv/l ;

Ca : Calcium en mg équiv/l ;

Mg : Magnésium en mg équiv/l .

Dans notre cas : **SAR = 7.51meq/l**

On distingue quatre classes de danger d'alcalinisation qui sont montrées dans le tableau II.6:

Tableau II.6 : Classification des eaux en fonction de SAR.

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

Pour déterminer la classe des eaux d'irrigation de notre oued on se base sur le diagramme de Riverside, d'après l'US Salinity Laboratory Staff (1954).

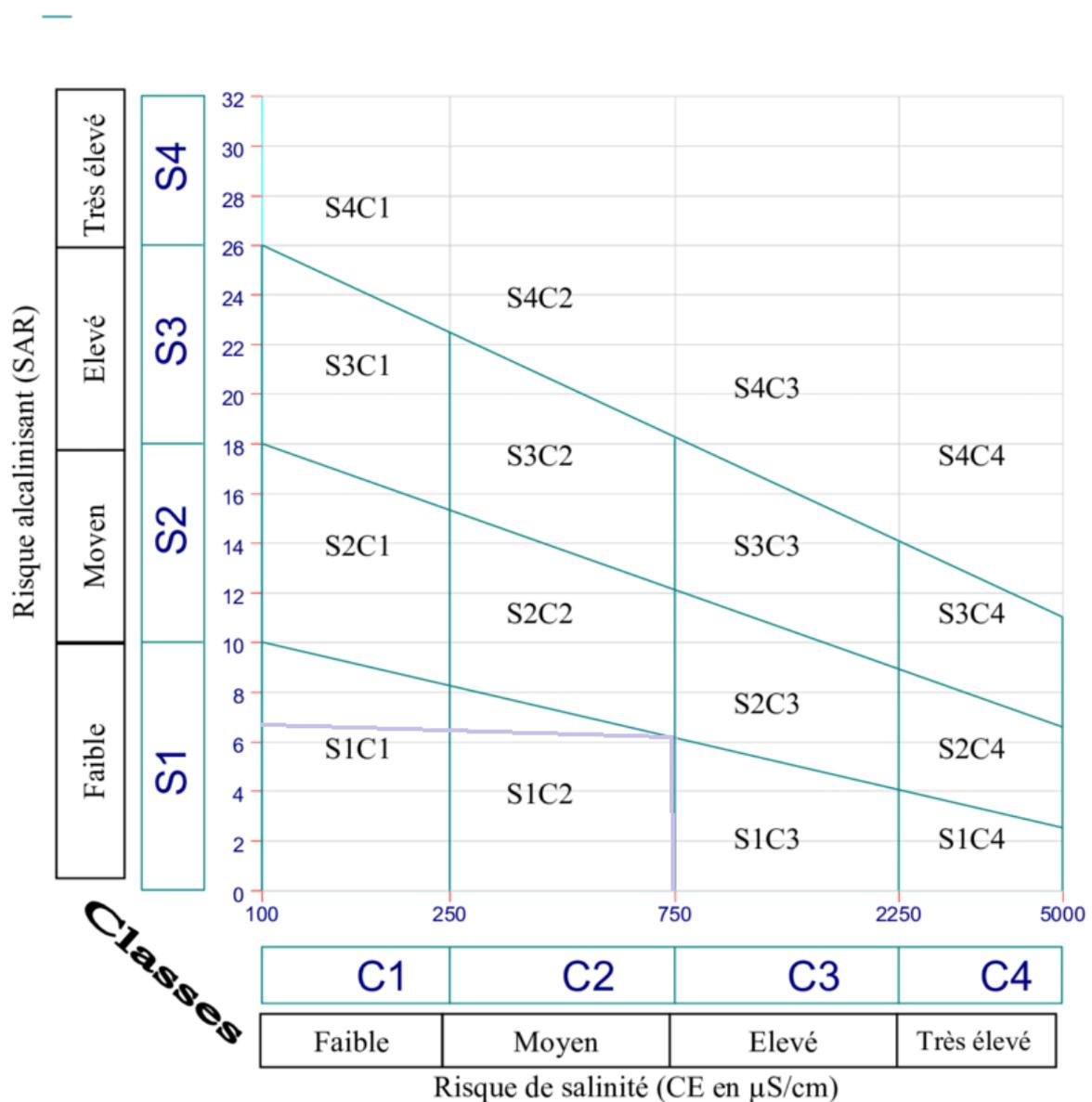


Figure II.2: Diagramme de classification des eaux d'irrigation.

Interprétation :

Etant donné l'eau de l'oued a un SAR de 7.51 meq/l, et une CE=0.73mmhos/cm, et on se référant, sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation, on peut dire que notre eau se classe dans C2S1.

C2 Eau utilisable avec un léger lessivage, les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent poser dans la plupart des cas, sans pratique spéciale de contrôle de la salinité.

S1 Danger de sodisation appréciable dans les sols a texture fine, surtout dans les conditions de faible lessivage, a moins que le gypse ne soit présent dans le sol. Cette eau est utilisable sur les sols ayant une forte perméabilité (sols à texture grossières ou sols organiques).

II.4. Calcul de la pluie de projet

Le calcul de la pluie de projet est indispensable, puisqu'elle intervient dans le calcul des besoins en eau des cultures projetées dans le périmètre.

II.4.1. Choix de la station

En tenant compte de la position de notre périmètre le choix de la station se fait en vérifiant les conditions suivantes :

- Localisation géographique proche au périmètre ;
- Les relevés de la station sont récents et s'étalent sur une période d'observation acceptable ;

Tableau II.7: caractéristique principale de la station pluviométrique (ANRH Alger).

Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude	Période d'observation	Années d'observations
		X(m)	Y(m)			
Belkheir	-	07°28 Est	36°28 Nord	227 m	1993-2017	25

II.4.2. Répartition de la pluie moyenne annuelle :

La série des précipitations moyennes mensuelles de la station pluviométrique Belkheir (1993-2017) est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau II.8: Répartition mensuelle des précipitations (mm).

Année	Sep	Oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Annuel (mm)
1993	0.0	28.0	169.0	138.0	39.5	38.6	59.2	22.5	67.0	9.5	1.0	3.0	575.3
1994	51.4	45.5	34.6	58.6	71.1	89.1	2.6	74.1	10.8	3.2	1.8	11	453.8
1995	76.3	35	50.7	34.9	196.5	7.9	97.1	41.3	5.3	27.6	0.1	6.8	579.5
1996	14.7	18.1	23.7	36.3	126.8	212.1	61.3	137.9	76.1	9	12.3	6.5	734.8
1997	79.7	117.1	112.6	103.1	66.5	22.3	33.5	53.3	6.4	16.4	0.1	9.4	620.4
1998	98.2	35.8	190.1	43.4	48	62	31.1	56.1	77.9	2.4	0.3	46.3	691.6
1999	45.4	8	98.3	108	73.5	58.9	109.7	39.8	40.8	10.1	2.6	1	596.1
2000	16.5	47	16.4	37.8	42.4	21.1	15.5	34.6	139.3	15.2	0	19.5	405.3
2001	55.7	10.4	39	23.4	144.6	58.4	26.4	59.4	57.4	2.2	0	6.2	483.1
2002	27.1	30.2	120.2	108.6	31.6	66.4	15.3	32.3	12.4	3.6	10.2	45.9	503.8
2003	72	48.6	25.1	200.3	238.3	104.6	19.9	187.6	41.9	0	0	0.2	938.5
2004	41.6	20.3	177.1	129.9	86.8	9.7	71.1	82.6	88.2	93.3	0.1	4.1	804.8
2005	11	17.4	17.1	145.2	69.8	97.5	64.3	85.7	5.3	19.4	3	5.3	541
2006	12.3	12.8	28.6	89.5	140.1	76.7	42.7	14.2	43	1.3	4.5	12.6	478.3
2007	63.9	84.2	64.7	72.7	33.5	43.7	215.9	94.4	17.4	28.3	3.5	0.8	723
2008	29.5	25.4	70.5	35.7	16.6	11.5	91.8	22.3	53.5	14.8	5.9	4.3	381.8
2009	140.3	58.7	22.6	62.6	160.4	67.1	98	134.2	88.9	0.3	7.9	49.3	890.3
2010	23.4	69.8	147.9	48.4	102.6	27.1	60.7	46.4	53.5	23.5	0.8	10	614.1
2011	18.6	178.3	40.5	80.1	30.3	148.5	78.6	42.1	62	29.5	1.2	1.3	711
2012	65.3	38.7	34.9	34.4	82.8	141.4	89	51.6	4.7	1.8	1.3	25.1	571
2013	54.1	34.2	122.6	37.5	90.7	107.9	64.9	42	14.5	1.2	6.2	54.8	630.6
2014	7.1	29.3	14.9	159.7	56.5	48.4	139.5	4.4	37	12.7	0.5	1.7	511.7
2015	41.3	75.1	115.9	0.8	131.1	152	94.9	3.7	28.4	2.2	4.7	18.5	668.6
2016	70.5	41.5	50.4	27.7	88.8	16.5	71.7	49.3	29.8	8.3	6.2	3.9	464.6
2017	11.3	50	154.5	64.6	117.7	48.3	0.8	23.2	5.3	27.6	4	1.3	508.6

Cette série des pluies annuelles présente des caractéristiques statistiques suivantes :

Tableau II.9: Caractéristiques de la série pluviométrique.

moyenne	603mm
Ecart type	139
cv	0.23
p_{\min}	382
p_{\max}	939

II.4.3. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique :

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de mood:

Soit un échantillon de n valeurs x_i (série chronologique par exemple) de médiane \bar{x} (une variante consiste à utiliser la moyenne \bar{x}).

Chaque observation x_i est affectée d'un signe + si elle est supérieure à la médiane, d'un signe - dans le cas contraire. Tout groupe de valeurs « + » est une séquence positive (ou suite positive), et tout groupe de valeurs « - » est une séquence négative (ou suite négative).

Il s'agit de déterminer N_s le nombre total des séquences positives ou négatives ainsi que T_s la taille la plus longue de ces suites qui suit une loi binomiale.

Nous avons la relation suivante :

$$N_s = N \left(\frac{n+1}{2}, \frac{n-1}{4} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Pour un seuil de signification compris entre 91% et 95%, les conditions de vérification du test sont les suivantes :

$$\frac{1}{2} (n + 1 - 1,96\sqrt{(n - 1)}) < N_s < \frac{1}{2} (n + 1 + 1,96\sqrt{(n - 1)}) \dots\dots (2)$$

Et $T_s < 3.3(\log_{10}n+1) \dots\dots\dots (3)$

Si les conditions (1) et (2) sont vérifiées, l'hypothèse d'homogénéité de la série ne peut pas être rejetée.

Applications :

Nous voulons vérifier l'homogénéité de la série la période totale d'observation :

Pluie	575.3	453.8	579.0	734.8	620.4	691.6	596.1
Signe	-	-	-	+	+	+
Pluie	405.3	483.1	503.80			
signe	-	-	-			

Les résultats : Nous obtenons $N_s=22$ et $T_s=9$. Comme $N_s < \frac{1}{2} (n + 1 + 1,96\sqrt{(n - 1)}) =$

29.5, nous devons donc rejeter l'hypothèse nulle.

On a : $N_s= 13$

$$\frac{1}{2} (N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) = 8.6 < 13 \text{ et } \frac{1}{2} (N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1}) = 18.4$$

$8.6 < N_s=13 < 18.4 \dots\dots\dots$ (la première condition est vérifiée)

Et d'autre part :

$$3.3(\log_{10}N + 1) = 4.72$$

$$T_s = 4$$

Donc : $4 < 4.72$

Donc les données des pluies annuelles sont homogènes.

II.4.4. Ajustement statistique des pluies :

Les données de pluies annuelles sont souvent ajustables à des lois statistiques nombreuses, ceci est dû à la faible variabilité interannuelle pour certaines stations. Dans notre cas, on utilise pour celle qui garantit le meilleur ajustement possible. Les lois d'ajustement les plus communément employées dans le cas de pluies annuelles sont les suivantes :

- Loi de Gauss ou loi normale ;
- Loi de Galton ou loi log–normale.

II.4.4.1. Ajustement à la loi Normale

L'ajustement des séries par la loi normale appelée souvent loi de Gauss s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles. En effet sa fonction de répartition est de la forme

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \text{Exp}\left(\frac{-1}{2xu^2}\right) du$$

u: Est la variable réduite de Gauss .Elle est donnée par $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$

Le procédé d'ajustement consiste à :

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant, (Fréquence au non dépassement) ;
- Affecter un numéro d'ordre (rang) aux valeurs classées ;
- Calculer la fréquence expérimentale ;
- calculer la Variable réduite de gauss u;
- Calculer les caractéristiques empiriques ;
- Tracer la droite de théorique sur papier de probabilité gaussien;

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de Belkheir sont les suivantes :

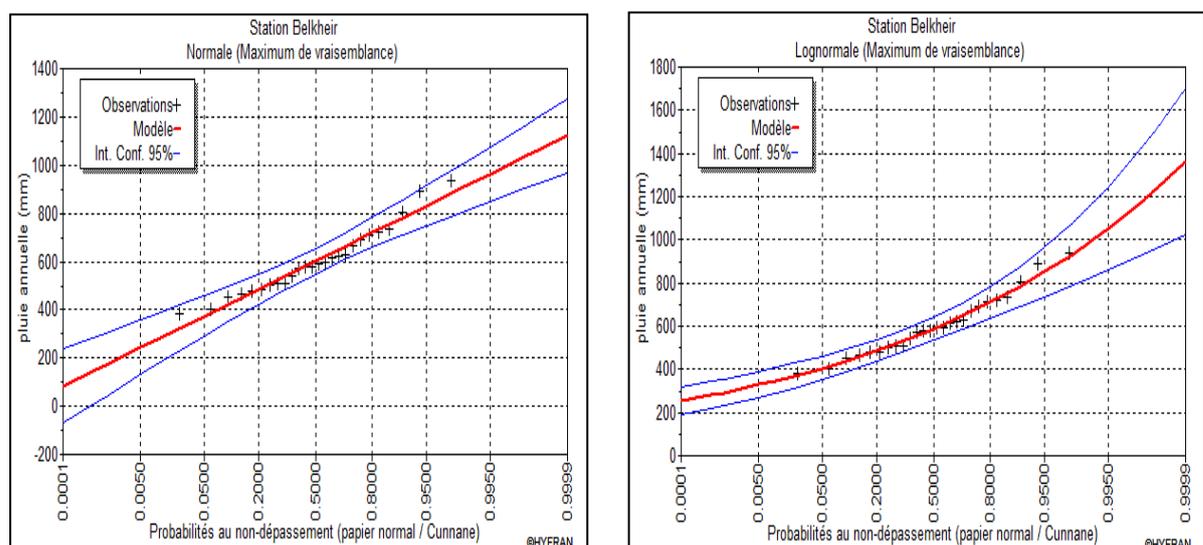


Figure II.3: Ajustement des pluies annuelles aux lois normales et log-normale.

II.4.4.3. Test de validité d'un ajustement

Après ajustement des données par la loi, Il convient de comparer l'adéquation de cette loi afin d'adopter le meilleur ajustement. Dans notre cas, nous avons a utilisé le teste de Khi carré(χ^2).

La loi est adéquate pour une erreur $\alpha = 0.05$ si et seulement si :

$$\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}} \text{ (voir annexe 1)}$$

Pour les calculs nous avons utilisé le logiciel **HYFRAN**.

Tableau II.11: Test de validité des deux ajustements.

Loi normale	Loi log-normale
$\chi^2_{\text{calculé}}=3.08$	$\chi^2_{\text{calculé}}=4.7$
p=0.54	p=0.32
Degrés de liberté =4	
$\chi^2_{\text{théorique}}=9.49$	

Conclusion : la loi normale c'est la plus adéquate.

II.4.5. Détermination de l'année de calcul :

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

Tableau II.12: Calcul des quantiles

T	q	Xt	Intervalle de confiance
10	0.9	781	708-854
2	0.5	603	549-656
5/4	0.8	485	423-548

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

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} * \frac{P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}}$$

$$P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}=485$$

$$P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}=603$$

$$P_{\text{moy 80\%}} = \frac{485}{603} \times P_{\text{moy de chaque mois}} = 0.8 \times P_{\text{moy de chaque mois}}$$

Les pluies mensuelles de projet, sont calculées comme suit :

Tableau II.13: Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche ($f_{req} = 80\%$).

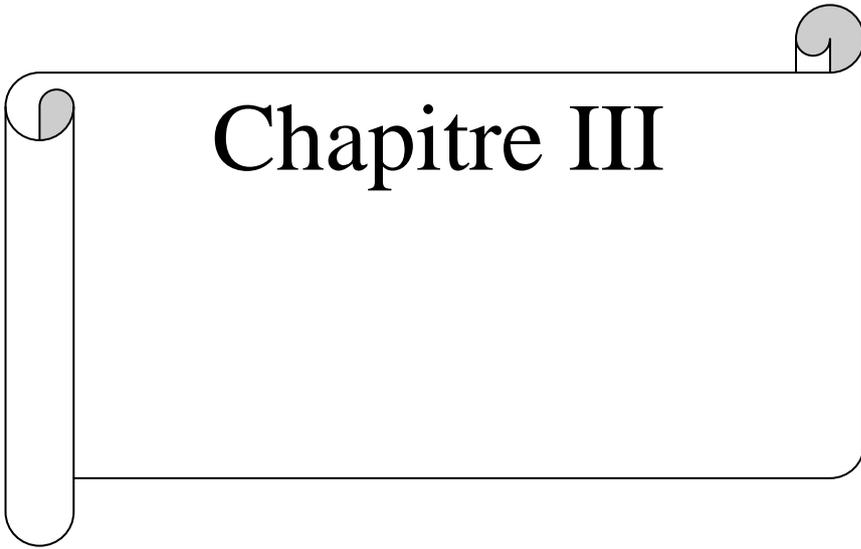
Mois	sept	oct	nov	Dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	Juil	Aout
P_{moy} (mm/mois)	36.3	37.3	62.5	60.5	73.6	55.9	53.3	46.2	34.3	11.7	2.5	11.2
$P_{moy80\%}$ (mm/mois)	29.0	29.8	50.0	48.4	58.9	44.7	42.6	37.0	27.4	9.4	2.0	9.0

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les principales caractéristiques pédologiques et hydriques.

D'une manière générale la zone étudiée est composé principalement d'un sol plutôt argileux-Limoneux avec un taux faible de calcaire, sa conductivité électrique varie entre 0.3- 0.8 ds/m.

Concernant l'analyse des ressources en eau, le périmètre de Khezzara sera irrigué à partir des eaux de l'oued Seybouse à une distance de 4500m, nous avons déduit que notre eau appartient à la classe C2-S1 avec une alcalinité faible et une salinité moyenne.



Chapitre III

Chapitre III : besoins en eau du périmètre

III.1. Introduction :

Pour assurer la satisfaction des besoins en eau des cultures, il est indispensable de les mettre dans des conditions hydriques optimales afin d'arriver à l'objectif « rendement maximal ». Ces conditions peuvent être déterminées grâce à une bonne connaissance des besoins en eau de la culture, des stocks d'eau dans le sol et des apports d'eau extérieurs (pluie, irrigation) tout au long de la période de la croissance de ces cultures.

III.2. Besoin en eau des cultures :

Selon Doorenbos et Pruitt (1976) : « Le besoin en eau d'une culture est la quantité d'eau nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, établi dans un champ de grande superficie, dans des conditions de sol non limitant du point de vue de la disponibilité de l'eau et de la fertilité, et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données ».

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite une bonne connaissance des plantes, et des données climatiques et pédologiques de la région pour pouvoir estimer la réserve en eau utile du sol 'RU' et la réserve facilement utilisable par la plante 'RFU'.

III.2.1. Calcul des besoins en eau :

Le calcul des besoins en eau des cultures à apporter pour chaque mois est réalisé en effectuant pour chaque stade végétatif le bilan hydrique suivant :

$$B_i = ETM - (P_{\text{eff}} + RFU_{i-1}).$$

Où :

- ETM: représente les besoins en eau des cultures, $ETM = K_c \cdot E_t$
- E_t représente l'évapotranspiration de référence (gazon)
- K_c : le coefficient culturel de la culture considérée.
- P_{eff} : est la pluie efficace.
- $RS-1$: La réserve en eau du sol du mois précédent.

❖ L'irrigation est faite lorsque B_i (bilan hydrique) > 0

III.2.2. L'évapotranspiration référence (ET_0) :

L'évapotranspiration est un phénomène complexe intégrant à la fois l'évaporation de l'eau du sol (phénomène physique) et la transpiration de la couverture végétale (phénomène physiologique), et dépend de plusieurs facteurs et paramètres climatiques.

III.2.3. Besoins en eau des cultures : Evapotranspiration maximale (ETM)

C'est la valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture donnée, à un stade végétatif donné et dans des conditions climatiques données. Elle est donnée par l'expression :

$$ETM = ET_0 * K_c$$

- ET_0 c'est l'évapotranspiration de référence.
- K_c est le coefficient cultural qui dépend : de la culture et du stade végétatif.

III.2.4. Calcul de L'évapotranspiration de référence

Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_0), il existe plusieurs méthodes, réparties en deux classes :

III.2.4.1. Les méthodes directes :

- L'évapotranspiration ou cuve lysimétrique
- Le bac évaporant

III.2.4.2. Les méthodes indirectes :

Ces méthodes permettent de calculer l' ET_0 à partir de formules plus ou moins complexes basées sur des paramètres climatiques.

Dans notre cas, nous nous sommes basés sur la formule de Penman-Monteith qui est la plus utilisée et recommandée par la FAO sous tous les climats.

-Formule Modifiée de Penman_Monteith

La formule de Penman-Monteith modifiée, est détaillée comme suit :

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

Avec:

ET_0 : évapotranspiration de référence [mm jour⁻¹],

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

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

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

u_2 : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s⁻¹],

e_s : pression de vapeur saturante [kPa],

e_a : pression de vapeur réelle [kPa],

$e_s - e_a$: déficit de pression de vapeur saturante [kPa],

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

g : constante psychrométrique [kPa °C⁻¹].

Pour l'exécution des calculs, nous avons appliqué le logiciel CROPWAT, où nous avons introduit les données mensuelles de la station météorologique de Belkheir:

- Température : La température moyenne C⁰.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation H.
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en m/s.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ET₀ calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 selon la formule de Penman-Monteith, modifiée sont récapitulés dans la figure ci-après :

Figure III.5: Evapotranspiration de référence (ET₀) calculée.

Pays		algerie		Station		belkheir	
Altitude		227	m.	Latitude		36.30	°N
				Longitude		7.30	°E
Mois	Temp Moy	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET ₀	
	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/mois	
Janvier	10.4	77	1.7	7.0	10.6	37.07	
Février	10.6	75	2.0	7.2	13.2	46.13	
Mars	12.9	74	2.0	7.5	16.5	72.10	
Avril	15.9	73	1.9	7.9	19.7	93.52	
Mai	20.0	68	1.8	8.8	22.6	127.72	
Juin	24.3	60	1.8	10.0	24.8	156.89	
Juillet	27.6	56	1.8	9.5	23.8	175.64	
Août	27.9	57	1.7	9.2	22.0	166.00	
Septembre	24.3	67	1.6	8.8	19.0	121.07	
Octobre	21.2	70	1.3	7.8	14.6	85.26	
Novembre	15.3	74	1.6	7.0	11.1	51.53	
Décembre	11.5	78	1.7	6.5	9.4	35.49	
Moyenne	18.5	69	1.7	8.1	17.3	1168.43	

III.2.5. Calcul de la pluie efficace

La pluie efficace est la part de la pluie totale après déduction des pertes par évapotranspiration, infiltration et ruissellement, elle contribue directement à l'alimentation des plantes par absorption racinaire.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la pluie efficace, dans notre cas, on s'est basé sur la méthode du pourcentage fixe (80%) :

Avec :

$$\text{Pluies efficaces (en mm/mois)} = 80\% \times \text{Pluies moyennes mensuelles (80\%)} \text{ (mm/mois)}$$

Le calcul de la pluie efficace est donné dans le tableau III.1 :

Tableau III.1: Calcul des pluies efficaces.

mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	Juil	aout
Pmoy80%(mm/mois)	29.04	29.84	50	48.4	58.88	44.72	42.64	36.96	27.44	9.36	2	8.96
Peff(mm/mois)	23.23	23.87	40	38.72	47.04	35.776	34.11	29.57	21.95	7.5	1.6	7.2

III.2.6. Calcul de la réserve en eau du sol :

C'est la quantité d'eau contenue dans la tranche du sol explorée par les racines, entre le point de ressuyage et le point de flétrissement, mais les plantes ayant d'autant plus de mal à extraire l'eau que l'humidité du sol s'approche du point de flétrissement.

Dans notre cas, la réserve RS_{i-1} est calculée comme suit :

$$RS_{i-1} = K \times RFU,$$

Avec :

$$RFU = (hcc - hpf) / 100 * y * Z * da$$

hcc : humidité à la capacité au champ (29)

hpf : humidité au point de flétrissement (17)

Z : profondeur racinaire

Y : coefficient qui dépend de la nature du sol (2/3).

Da : densité apparente du sol (1.4)

Dans le cas de mois humides on prend $K = (1/3)$ à $(2/3)$, dans le cas de mois secs $K = 0$ (Réserve en eau est nulle)

III.3. Choix des cultures:

Le choix des cultures à mettre en place dans un périmètre est primordial, il doit concilier entre les critères suivants :

- Les conditions climatiques de la région étudiée.
- L'aptitude culturale des sols basée sur l'étude pédologique.
- De la vocation agricole de la région
- De la disponibilité des ressources en eau.
- La qualité de l'eau d'irrigation.

III.3.1. les cultures proposées

Avant d'évaluer les besoins en eau des cultures de la zone d'étude, il faut d'abord définir l'occupation et la répartition culturale dans le périmètre, en tenant compte des différentes contraintes d'ordre climatique, social, Agropédologique.

Les scénarios d'occupation des sols retenus pour le projet sont donnés par le tableau suivant :

Tableau III -2: Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre

Scénario	Céréales %	Fourrages %	Maraichage%	Arboriculture %	Total %
1	70	10	15	5	100
2	60	10	20	10	100
3	50	10	25	15	100
4	40	10	35	15	100

Tableau III -3 : Système de cultures proposées

Cultures	
Céréaliculture	Blé dur
	Orge grain
Cultures fourragères	Orge en vert
	Luzerne
	Avoine
Légumes secs	Fève
Maraîchage	Pomme de terre saison
	Pomme de terre as
	Tomate
	Oignon sec
	Oignon vert
	Ail
	Melon/Pastèque
	Carotte
	Piment/ poivron
	Petit pois
	Chou
Cultures arboricoles à noyaux	Olivier (pleine production)
	Poirier
Cultures arboricoles à pépins	Pommier

III.3.2. Assolements des cultures :

L'assolement est la division des terres d'une exploitation agricole en parties distinctes, appelées soles consacrées chacune à une culture donnée pendant une saison culturale. Dans chaque sole, les cultures peuvent varier d'une année à l'autre.

La rotation est la succession culturale ou rotation, qui est une notion différente. Donc L'assolement est la diversité géographique des cultures à un moment donné.

III.3.3. Avantages de la rotation des cultures :

La rotation culturale a un effet important sur la vie du sol et la nutrition des plantes :

➤ Réserves minérales: la rotation permet aux plantes selon leur exigence et la zone de développement des racines d'exploiter au mieux les ressources minérales.

➤ Propriétés des sols: certaines plantes tendent à détériorer la structure du sol, d'autres plantes sécrètent des toxines racinaires, mais il existe par contre des cultures améliorantes.

➤ La rotation constitue un moyen de lutte contre les mauvaises herbes, les maladies et les parasites.

Tableau III -4: Assolement proposé pour le périmètre du khezzara.

Assolement 1	Assolement 2
Blé dur	Orge en vert
Avoine	Orge grain
Luzerne	Haricot
Ail	Tomate
Piment /Poivrent	Pomme de terre as
Fève	Melon/Pastèque
Pomme de terre (s)	Fève
Tomate	Oignon
Chou	Petits pois
Carotte	Olivier
Olivier	Olivier
Poirier	Poirier
Pommier	Pommier

Le cycle végétatif des cultures envisagées est détaillé dans le tableau III -5 :

Tableau III -5: Cycle végétatif des cultures envisagées

Cultures	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juill	aout
Blé dur												
Orge grain												
Orge vert												
Luzerne												
Avoine												
Fève												
Pomme de terre s												
P de terre as												
Tomate												
Haricot												
Oignon vert												
Ail												
Melon/pastèque												
Carotte												
Piment/poivrent												
Petit pois												
Chou												
Olivier												
Poirier												
Pommier												

III.4. Calcul des besoins en eau des cultures :

Les besoins en eau sont détailler dans

Tableau III.6: Calcul des besoins en eau du Blé.

Mois	P80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	R _{si-1}	KC	ETM	B _{net} (mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26	0.10	11.36	0.00	0.30	25.58	1.71
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.30	34.08	0.00	0.40	20.61	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.50	56.80	34.08	0.60	21.29	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	0.60	68.16	56.80	0.85	31.51	0
Février	44.72	35.78	46.13	0.60	68.16	68.16	0.95	43.82	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.60	68.16	68.16	1.00	72.10	0
Avril	36.96	29.57	93.52	0.60	68.16	34.08	0.90	84.17	20.52
Mai	27.44	21.95	127.72	0.60	68.16	0.00	0.70	89.40	67.45
Juin	9.36	7.49	156.89	0.60	68.16	0.00	0.40	62.76	55.27
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.7 : calcul des besoins en eau de l'orge grain.

Mois	P80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	R _{si-1}	KC	ETM	B _{net} (mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.30	4.08	0.00	0.40	20.61	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.50	56.80	0.00	0.65	23.07	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	0.60	68.16	34.08	0.90	33.36	0
Février	44.72	35.78	46.13	0.60	68.16	56.80	0.90	41.52	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.60	68.16	68.16	0.90	64.89	0
Avril	36.96	29.57	93.52	0.60	68.16	34.08	0.85	79.49	15.84
Mai	27.44	21.95	127.72	0.60	68.16	0.00	0.60	76.63	54.68
Juin	9.36	7.49	156.89	0.60	68.16	0.00	0.35	54.91	47.42
Juillet	2.00	1.60	175.64						

Aout	8.96	7.17	166						
-------------	------	------	-----	--	--	--	--	--	--

Tableau III.8: calcul des besoins en eau d'avoine.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.20	22.72	0.00	0.3	15.46	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.30	34.08	17.04	0.5	17.75	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	0.40	45.44	17.04	0.5	18.54	0
Février	44.72	35.78	46.13	0.60	68.16	22.72	0.75	34.60	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.60	68.16	34.08	1.1	79.31	11.12
Avril	36.96	29.57	93.52	0.60	68.16	0.00	1.1	102.87	73.30
Mai	27.44	21.95	127.72	0.60	68.16	0.00	1.13	144.32	122.37
Juin	9.36	7.49	156.89	0.60	68.16	0.00	1.05	164.73	157.25
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.9: calcul des besoins en eau luzerne.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	0.40	45.44	0.00	0.65	78.70	55.46
Octobre	29.84	23.87	85.26	0.40	45.44	0.00	0.65	55.42	31.55
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.70	79.52	22.72	0.7	36.07	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.90	102.24	39.76	0.8	28.39	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	1.00	113.60	51.12	0.9	33.36	0
Février	44.72	35.78	46.13	1.20	136.32	56.80	0.95	43.82	0
Mars	42.64	34.11	72.1	1.20	136.32	44.99	1.05	75.71	0
Avril	36.96	29.57	93.52	1.20	136.32	0.00	1.05	98.20	68.63
Mai	27.44	21.95	127.72	1.20	136.32	0.00	1.15	146.88	124.93
Juin	9.36	7.49	156.89	1.20	136.32	0.00	1.2	188.27	180.78
Juillet	2.00	1.60	175.64	1.20	136.32	0.00	0.8	140.51	138.91
Aout	8.96	7.17	166	1.20	136.32	0.00	0.8	132.80	125.63

Tableau III.10: calcul des besoins en eau orge en vert.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.30	34.08	17.04	0.30	10.65	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	0.50	56.80	28.40	0.67	24.84	0
Février	44.72	35.78	46.13	0.50	56.80	28.40	1.05	48.44	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.60	68.16	34.08	1.00	72.10	3.91
Avril	36.96	29.57	93.52	0.60	68.16	34.08	0.46	43.02	0.
Mai	27.44	21.95	127.72						
Juin	9.36	7.49	156.89						
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.11: calcul des besoins en eau olivier.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	1.50	170.40	0.00	0.85	102.91	79.68
Octobre	29.84	23.87	85.26	1.50	170.40	13.11	0.85	72.47	35.49
Novembre	50.00	40.00	51.53	1.50	170.40	12.17	0.75	38.65	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	1.50	170.40	12.17	0.65	23.07	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	1.50	170.40	11.36	0.65	24.10	0
Février	44.72	35.78	46.13	1.50	170.40	17.04	0.65	29.98	0
Mars	42.64	34.11	72.1	1.50	170.40	11.36	0.65	46.87	1.39
Avril	36.96	29.57	93.52	1.50	170.40	11.80	0.65	60.79	19.42
Mai	27.44	21.95	127.72	1.50	170.40	12.17	0.65	83.02	48.89
Juin	9.36	7.49	156.89	1.50	170.40	0.00	0.85	133.36	125.87
Juillet	2.00	1.60	175.64	1.50	170.40	0.00	0.85	149.29	147.69
Aout	8.96	7.17	166	1.50	170.40	0.00	0.85	141.10	133.93

Tableau III.12: calcul des besoins en eau tomate.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1	0.70	79.52	19.88	0.50	36.05	0
Avril	36.96	29.57	93.52	0.90	102.24	25.56	0.85	79.49	24.36
Mai	27.44	21.95	127.72	1.20	136.32	34.08	1.15	146.88	90.85
Juin	9.36	7.49	156.89	1.20	136.32	0.00	0.85	133.36	125.87
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.13: calcul des besoins en eau pomme de terre sai.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1	0.40	45.44	2.72	0.50	36.05	0.00
Avril	36.96	29.57	93.52	0.60	68.16	34.08	0.65	60.79	0.00
Mai	27.44	21.95	127.72	0.60	68.16	34.08	1.04	132.83	76.80
Juin	9.36	7.49	156.89	0.60	68.16	34.08	0.89	139.63	98.06
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.14: calcul des besoins en eau piment/poivron.

Mois	P80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	R _{si-1}	KC	ETM	B _{net} (mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13	0.40	45.44	45.44	0.30	13.84	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.50	56.80	28.40	0.60	43.26	0
Avril	36.96	29.57	93.52	0.50	56.80	28.40	0.95	88.84	30.88
Mai	27.44	21.95	127.72	0.60	68.16	0.0	0.85	108.56	108.56
Juin	9.36	7.49	156.89	0.60	68.16	0.0	0.80	125.51	125.51
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.15: calcul des besoins en eau pomme de terre as.

Mois	P80%	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	R _{si-1}	KC	ETM	B _{net} (mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	0.60	68.16	0.00	0.68	82.33	59.10
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52						
Mai	27.44	21.95	127.72	0.40	45.44	0	0.51	65.14	65.14
Juin	9.36	7.49	156.89	0.40	45.44	0	0.88	138.06	138.06
Juillet	2.00	1.60	175.64	0.60	68.16	0	1.05	184.42	184.42
Aout	8.96	7.17	166	0.60	68.16	0	0.93	154.38	154.38

Tableau III.16: calcul des besoins en eau oignon.

mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26	0.50	56.80	28.40	0.60	51.16	0
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.50	56.80	28.40	0.75	38.65	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.50	56.80	28.40	0.95	33.72	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	0.50	56.80	28.40	0.95	35.22	0
Février	44.72	35.78	46.13	0.50	56.80	28.40	0.70	32.29	0
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52						
Mai	27.44	21.95	127.72						
Juin	9.36	7.49	156.89						
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.17: calcul des besoins en eau carotte.

mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	0.20	22.72	0.00	0.50	60.54	37.30
Octobre	29.84	23.87	85.26	0.40	45.44	5.68	0.80	68.21	38.66
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.50	56.80	0.00	1.05	54.11	14.11
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.60	68.16	0.00	0.75	26.62	0
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52						
Mai	27.44	21.95	127.72						
Juin	9.36	7.49	156.89						
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.18: calcul des besoins en eau haricot.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
------	------	----------	---------------	-------	--------	-------	----	-----	----------

Septembre	29.04	23.23	121.07	0.70	79.52	0.00	0.90	108.96	85.73
Octobre	29.84	23.87	85.26	0.70	79.52	0.00	0.85	72.47	48.60
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52						
Mai	27.44	21.95	127.72						
Juin	9.36	7.49	156.89	0.50	56.80	0.00	0.50	78.45	78.45
Juillet	2.00	1.60	175.64	0.50	56.80	0	0.65	114.17	114.17
Aout	8.96	7.17	166	0.70	79.52	0	0.95	157.70	157.70

Tableau III.19: calcul des besoins en eau petits poids.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.40	45.44	7.57	0.45	15.97	0
Janvier	58.88	47.10	37.07	0.70	79.52	15.15	0.80	29.66	0
Février	44.72	35.78	46.13	0.70	79.52	39.76	1.00	46.13	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.70	79.52	39.76	0.95	68.50	0
Avril	36.96	29.57	93.52	0.70	79.52	0.00	0.50	46.76	17.19
Mai	27.44	21.95	127.72						
Juin	9.36	7.49	156.89						
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.20: calcul des besoins en eau chou.

mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	0.30	34.08	0.00	0.50	60.54	37.30

Octobre	29.84	23.87	85.26	0.40	45.44	17.04	0.70	59.68	18.77
Novembre	50.00	40.00	51.53	0.50	56.80	22.72	0.95	48.95	0
Décembre	48.40	38.72	35.49	0.60	68.16	68.16	0.80	28.39	0
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52						
Mai	27.44	21.95	127.72						
Juin	9.36	7.49	156.89						
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.21: calcul des besoins en eau ail.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52						
Mai	27.44	21.95	127.72	0.40	45.44	0.00	1.00	127.72	127.72
Juin	9.36	7.49	156.89	0.40	45.44	0.00	1.05	164.73	164.73
Juillet	2.00	1.60	175.64	0.40	45.44	0.00	1.05	184.42	184.42
Aout	8.96	7.17	166	0.40	45.44	0.00	1.05	174.30	174.30

Tableau III.22: calcul des besoins en eau fève.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						

Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13	0.20	22.72	22.72	0.40	18.45	0
Mars	42.64	34.11	72.1	0.30	34.08	34.08	0.64	46.14	0
Avril	36.96	29.57	93.52	0.30	34.08	34.08	1.06	99.13	35.48
Mai	27.44	21.95	127.72	0.40	45.44	0.00	0.90	114.95	114.95
Juin	9.36	7.49	156.89	0.40	45.44	0.00	0.39	61.19	61.19
Juillet	2.00	1.60	175.64						
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.23: calcul des besoins en eau melon/pasteque.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07						
Octobre	29.84	23.87	85.26						
Novembre	50.00	40.00	51.53						
Décembre	48.40	38.72	35.49						
Janvier	58.88	47.10	37.07						
Février	44.72	35.78	46.13						
Mars	42.64	34.11	72.1						
Avril	36.96	29.57	93.52	0.30	34.08	34.08	0.40	37.41	0
Mai	27.44	21.95	127.72	0.40	45.44	0.00	0.70	89.40	89.40
Juin	9.36	7.49	156.89	0.40	45.44	0.00	0.95	149.05	149.05
Juillet	2.00	1.60	175.64	0.40	45.44	0.00	0.80	140.51	140.51
Aout	8.96	7.17	166						

Tableau III.24: calcul des besoins en eau poirier.

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	1.50	170.40	0.00	0.45	54.48	31.25

Octobre	29.84	23.87	85.26	1.50	170.40	0.00	0.45	38.37	14.50
Novembre	50.00	40.00	51.53	1.50	170.40	56.80	0.45	23.19	0.0
Décembre	48.40	38.72	35.49	1.50	170.40	85.20	0.45	15.97	0.0
Janvier	58.88	47.10	37.07	1.50	170.40	85.20	0.45	16.68	0.0
Février	44.72	35.78	46.13	1.50	170.40	85.20	0.45	20.76	0.0
Mars	42.64	34.11	72.1	1.50	170.40	85.20	0.55	39.66	0.0
Avril	36.96	29.57	93.52	1.50	170.40	56.80	0.55	51.44	0.0
Mai	27.44	21.95	127.72	1.50	170.40	0.00	0.65	83.02	61.07
Juin	9.36	7.49	156.89	1.50	170.40	0.00	0.65	101.98	94.49
Juillet	2.00	1.60	175.64	1.50	170.40	0.00	0.60	105.38	103.78
Aout	8.96	7.17	166	1.50	170.40	0.00	0.50	83.00	75.83

Tableau III.25: calcul des besoins en eau pommier (la pomme golden delicious).

Mois	P80%	Peff(mm)	ET0 (mm/mois)	Z (m)	RFU_TH	Rsi-1	KC	ETM	Bnet(mm)
Septembre	29.04	23.23	121.07	1.50	170.40	0.00	0.45	54.48	31.25
Octobre	29.84	23.87	85.26	1.50	170.40	0.00	0.45	38.37	14.50
Novembre	50.00	40.00	51.53	1.50	170.40	56.80	0.45	23.19	0.0
Décembre	48.40	38.72	35.49	1.50	170.40	85.20	0.45	15.97	0.0
Janvier	58.88	47.10	37.07	1.50	170.40	85.20	0.45	16.68	0.0
Février	44.72	35.78	46.13	1.50	170.40	85.20	0.55	25.37	0.0
Mars	42.64	34.11	72.1	1.50	170.40	85.20	0.55	39.66	0.0
Avril	36.96	29.57	93.52	1.50	170.40	85.20	0.55	51.44	0.0
Mai	27.44	21.95	127.72	1.50	170.40	0.00	0.65	83.02	61.07
Juin	9.36	7.49	156.89	1.50	170.40	0.00	0.65	101.98	94.49
Juillet	2.00	1.60	175.64	1.50	170.40	0.00	0.60	105.38	103.78
Aout	8.96	7.17	166	1.50	170.40	0.00	0.50	83.00	75.83

L'Estimation des besoins en eau pour chaque culture pour chaque assolement est donnée dans les tableaux, tableau III.26 et tableau III.27:

Tableau III.26: Récapitulatif des besoins pour l'assolement 1.

Mois	blé	Luzerne	Ail	p.t (s)	tomate	chou	carotte	avoine	olivier	Piment/poiv	poirier	pommier	Max	Tot
Septembre		55.46				37.30	37.30		79.68		31.25	31.25	79.68	272.24
Octobre	1.71	31.55				18.77	38.66		35.49		14.50	14.50	38.66	155.18
Novembre	19.39	0				13.77	14.11	0	0		0.0	0.0	19.39	47.27
Décembre	0	0				0	0	0	0		0.0	0.0	0	0
Janvier	0	0						0	0		0.0	0.0	0	0
Février	0	0						0	0	0	0.0	0.0	0	0
Mars	0	0		0.00	0			11.12	1.39	0	0.0	0.0	11.12	12.51
Avril	20.52	68.63		0.00	24.36			73.30	19.42	30.88	0.0	0.0	73.3	237.11
Mai	67.45	124.93	127.72	76.80	90.85			122.37	48.89	108.56	61.07	61.07	127.72	934.71
Juin	55.27	188.7	164.73	98.06	125.87			157.25	125.87	125.51	94.49	94.49	188.7	1230.24
Juillet		138.91	184.42						147.69		103.78	103.78	184.42	678.58
Aout		125.63	174.30						133.93		75.83	75.83	174.3	585.52

Tableau III.27: Récapitulatif des besoins pour l'assolement 2.

Mois	Orge v	Orge g	P.t (as)	Haricot	Tomate	P.poid	fève	Oignon	Olivier	Melon/paste	Poirier	Pommier	Max	Tot
Septembre			59.10	85.73					79.68		31.25	31.25	85.73	287.01
Octobre				48.60				0	35.49		14.50	14.50	48.6	113.09
Novembre		0						0	0		0.0	0.0	0	0
Décembre	0	0				0		0	0		0.0	0.0	0	0
Janvier	0	0				0		0	0		0.0	0.0	0	0
Février	0	0				0	0	0	0		0.0	0.0	0	0
Mars	3.91	0			0	0	0		1.39		0.0	0.0	3.91	5.3
Avril	0	15.84			24.36	17.19	35.48		19.42	0	0.0	0.0	35.48	112.29
Mai		54.68	65.14		90.85		70.28		48.89	44.73	61.07	61.07	90.85	496.71
Juin		47.42	138.06	78.45	125.87		30.98		125.87	118.84	94.49	94.49	125.87	854.47
Juillet			184.42	114.17					147.69	116.19	103.78	103.78	184.42	770.03
Aout			154.38	157.70					133.93		75.83	75.83	157.7	597.67

III.4.1. Calcul du débit spécifique :

Les débits spécifiques sont définis d'après les besoins en eau de chaque culture évaluée précédemment à partir de la répartition culturale. La dose d'arrosage de la consommation de pointe est donnée sous forme de débit permanent fourni 24 heures sur 24 afin d'assurer les besoins de la consommation mensuelle.

$$qs = (B_{net} \times 10 \times 1000) / (N_j \times N_i \times 3600 \times E_i) \text{ l/s/ha}$$

Avec:

✓ B_{net} : besoin net du mois de pointe en mm/mois ;

✓ N_i : nombre des heures d'irrigation = 24h

✓ N_j : nombre de jours du mois de pointe = 30 jours ;

✓ E_i : Efficience d'irrigation = 75%.

On calcule les besoins en eau pour l'assolement le plus exigeant (Assolement I)

D'où les besoins de pointe correspondent au mois de Juin,

- **$B_{net} = 1230.24 \text{ mm/mois}$.**
- **$qs = 6.32 \text{ l/s/ha} > 1.5 \text{ l/s/ha}$**

Le débit spécifique calculer est supérieur à 1.5. Il y'a un risque de surdimensionnement

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

✓ Prendre la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures ;

✓ Prendre en considération la moyenne des débits spécifiques des cultures les plus exigeantes;

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

Pour notre cas on prend le débit spécifique de la culture la plus exigeante

(Luzerne 188.7 mm).

-Donc le débit spécifique pris en considération pour notre périmètre est de:

$qs = 0.97 \text{ l/s/ha}$;

Dans notre cas on prend **$Q_s = 1 \text{ l/s/ha}$** , ce débit est largement inférieur à 1.5 l/s/ha donc le choix de ce débit reste valable.

III.4.2. Evaluation du débit caractéristique :

Le calcul du débit caractéristique permet de définir le débit maximum que le système de desserte aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, voir la formule suivante :

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

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

S : la superficie nette à irriguer = 270 ha

$$Q_{car} = q_s \cdot S = 1 \cdot 270 = 270 \text{ l/s.}$$

III.4.3. Estimation des volumes d'eau d'irrigation :

L'estimation des volumes d'eau d'irrigation permet de prévoir les volumes d'eau stockés dans la retenue et d'effectuer un meilleur calendrier d'arrosage.

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

Dans notre mémoire on propose le scénario 4 qui est un scénario équilibré. La gamme des cultures proposée relatives aux cultures envisageables dans notre scénario est indiquée dans le tableau III.28.

Tableau III.28: Occupation de sol en fonction des cultures.

Les cultures	Surface (%)	Surface (Ha)
La céréaliculture : ▪ Blé dur	40	108
Les cultures fourragères : ▪ Avoine ▪ Luzerne -Fève	10	27
Le maraîchage : ▪ Pomme de terre (S) ▪ Ail ▪ Tomate ▪ piment/poivron ▪ Chou ▪ Carotte	35	94.5
L'arboriculture : ▪ Olivier ▪ Pommiers ▪ Poirier	15	40.5
Total	100	270

Tableau III.29: 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	108 ha				
Blé	108	164.34	1643.4	2191.2	236649.6
Les fourragères	27 ha				
Avoine	14	364.04	3640.4	4853.86	67954.04
Luzerne	13	725.89	7258.9	9678.53	125820.89
Maraichage	95 ha				
Ail	19	651.15	6511.5	8682	164958
Pomme de terre (s)	19	174.86	1748.6	2331.466	44297.86
Tomate	15	241.08	2410.8	3214.4	48216
Chou	13	69.84	698.4	931.2	12105.6
Carotte	15	90.07	900.7	1200.93333	18013.95
Piment/poivron	13.5	264.95	2649.5	3532.66	47690.91
Arboriculture	40 ha				
Olivier	14	592.36	5923.6	7898.13	110573.866
Poirier	14	197.73	1977.3	2636.4	36909
Pommier	12.5	78.53	785.3	1047.06	83.33
				Besoin total	913273.046

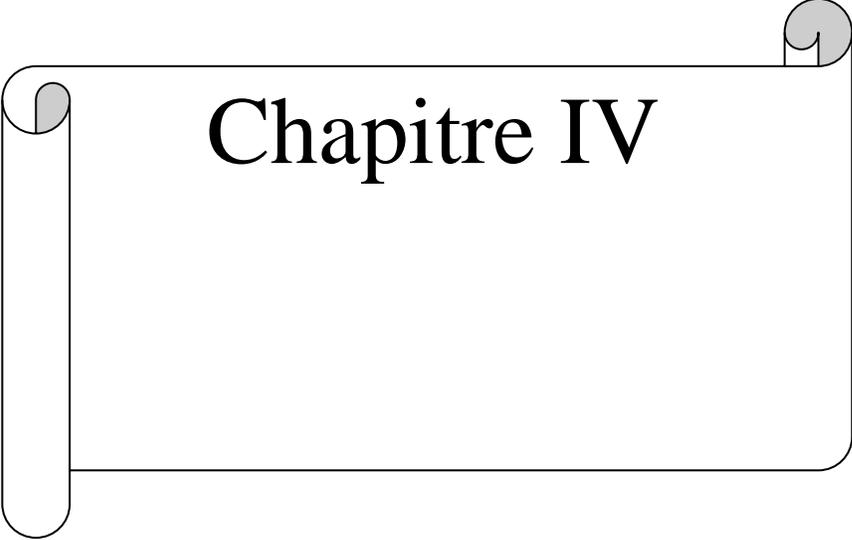
On remarque que le volume nécessaire pour les besoins des cultures pour le périmètre de khezzara durant toute leur période végétative est 1Hm³.

III.5. Conclusion

Cette étude a pour but principal de déterminer les besoins en eau des cultures ainsi que le volume nécessaire pour le mois de pointe et pour l'ensemble de l'année.

Etant donné la vocation agricole de la région d'étude, nous avons choisi deux assolements qui prennent en considération les cultures céréalières.

Le calendrier cultural choisi, permettent de diversifier les cultures, leur irrigation permettra d'intensifier leurs rendements, ce qui permettra un développement économique important pour la région de Khezzara.



Chapitre IV

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

IV.1. Introduction :

La conception d'un périmètre exige en premier lieu une gestion efficace de tout le système d'irrigation et une organisation du réseau d'adduction. Le système d'adduction est l'ensemble d'organes nécessaires à la gestion de l'eau dans un périmètre, il doit être conçu de façon optimale.

IV.2. Alimentation en eau du périmètre :

Le périmètre de Khezzara est situé au niveau de la wilaya de Guelma, nous avons choisi d'étudier le secteur Nord (Secteur 1) avec une superficie totale de 270 hectares, ce dernier sera alimenté à partir de la station de pompage des eaux de l'oued Seybouse.

IV.3. Organisation et structure du périmètre :

Le périmètre de Khezzara englobe une superficie totale d'environ 270ha, il est divisé en 26 Ilots qui varient de 5 ha à 20 ha et englobe 80 parcelles.

IV.3.1. Ilots et bornes d'irrigation :

Dans le cas d'un réseau sous pression, l'aménagement du périmètre nécessite la division de ce périmètre en plusieurs unités qui seront alimentées par une borne d'irrigation, cette borne est l'appareil de distribution le plus important du réseau d'irrigation et intervient dans la gestion de l'eau.

La superficie des îlots d'irrigation varie selon les possibilités pratiques de découpage des ilots en fonction de la situation foncière existante.

IV.3.2. Fonction des bornes d'irrigation :

Chaque borne est implantée au milieu d'un îlot d'irrigation, et doit assurer toutes les fonctions de régulation de l'eau à savoir :

- Régler et limiter le débit de l'îlot;
- Régler la pression et encaisser les suppressions accidentelles ;
- Compter les volumes distribués par la prise pour chaque irrigant.

IV.3.3. Calcul hydraulique aux bornes :

Le choix du type de bornes, est conditionné en premier lieu par son débit à délivrer, qui est calculé comme suit :

$$Q_b = q_s \cdot S_i ;$$

Avec :

✓ Q_b : Débit de chaque ilot (l/s) ;

✓ q_s : Débit spécifique (l/s/ha) ;

✓ S_i : Superficie de l'ilot (ha).

IV.3.4. Choix du diamètre et du type des bornes :

Pour le choix du type des bornes et du nombre de prises, ils dépendent de la surface de l'ilot et du nombre de parcelles.

Généralement on admet :

- Pour les ilots qui ont un nombre de parcelles entre [4 -8], et dont la superficie est inférieure à 15 ha, on prend la borne à quatre prises (Borne de type A4) ;
- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie est inférieure à 15 ha, on prend la borne à deux prises (borne de type A2) ;
- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie dépasse 15 ha, on prend la borne à deux prises (Borne de type B) ;
- Pour les grands ilots ($S > 50$ ha) on prévoit des bornes de type C.

Tableau IV.6 : Type de bornes en fonction de superficies des ilots.

Type	Débit fourni	Entrée	Sortie (prise)
Type A2	$Q < 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11) l/s	1 Entrée $\Phi 80-100$	2 Entrée $\Phi 65$
Type A4	$Q < 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11) l/s	2 Entrée $\Phi 80-100$	4 Entrée $\Phi 65$
Type B2	$40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11) l/s $< Q < 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (22.22 l/s)	2 Entrée $\Phi 80-100-125$	2 Entrée $\Phi 100$
Type C	$Q > 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (33.33 l/s)	2 Entrée $\Phi 80-100-125$	1 Entrée $\Phi 150$

Les diamètres des bornes en fonction des débits sont détaillés comme suit :

Tableau IV.7 : Calcul et choix du type de bornes.

Ilots	Superficies (ha)	Parcelles	Superficies	Q (l/s/ha)	Q _b (l/s)	Matériau	Corp de régulation(mm)	Borne type
I1	13.7	P1	5.1	5.1	13.7	Fonte	100	Type A4
		P2	3.1	3.1				
		P3	3.4	3.4				
		P4	2.1	2.1				
I2	15.6	P1	4.4	4.40	15.6	Fonte	100	Type A4
		P2	3.5	3.50				
		P3	4.3	4.26				
		P4	3.4	3.40				
I3	5.8	P1	1.8	1.8	5.8	Fonte	100	Type A4
		P2	1.2	1.2				
		P3	1.3	1.3				
		P4	1.5	1.5				
I4	7	P1	2.9	2.9	7	Fonte	80	Type A2
		P2	4.1	4.1				
I5	6.7	P1	3	3	6.7	Fonte	100	Type A4
		P2	1.6	1.6				
		P3	0.9	0.9				
		P4	1.2	1.2				
I6	5.9	P1	3.2	3.2	5.9	Fonte	80	Type A2
		P2	2.8	2.8				
I7	17.5	P1	4.1	4.1	17.5	Fonte	100	Type A4
		P2	5.1	5.1				
		P3	4.4	4.4				
		P4	4	4				
I8	11.7	P1	5.6	5.6	11.7	Fonte	80	Type A2
		P2	6.1	6.1				

I9	10.2	P1	2	2	10.2	Fonte	100	Type A4
		P2	2.2	2.2				
		P3	3.6	3.6				
		P4	2.4	2.4				
I10	20	P1	5	5	20	Fonte	100	Type A4
		P2	6.6	6.6				
		P3	5.2	5.2				
		P4	3.2	3.2				
I11	11.6	P3	2.4	2.4	11.6	Fonte	100	Type A4
		P4	3.6	3.6				
		P1	3.2	3.2				
		P2	2.4	2.4				
I12	19	P1	3.6	3.6	19	Fonte	100	Type A4
		P2	6.2	6.2				
		P3	4.6	4.6				
		P4	4.6	4.6				
I13	9.5	P1	2.1	2.1	9.5	Fonte	100	Type A4
		P2	2.1	2.1				
		P3	2.3	2.3				
		P4	3	3				
I14	9.7	P1	2.3	2.3	9.7	Fonte	100	Type A4
		P2	2	2				
		P3	3.5	3.5				
		P4	1.9	1.9				
I15	8.6	P1	3.7	3.7	8.6	Fonte	80	Type A2
		P2	4.9	4.9				
I16	15.1	P1	3.2	3.2	15.1	Fonte	100	Type A4
		P2	3.1	3.1				
		P3	4.8	4.8				
		P4	4	4				

I17	8.6	P1	1.9	1.9	8.6	Fonte	100	Type A4
		P2	1.8	1.8				
		P3	2.5	2.5				
		P4	2.4	2.4				
I18	7.4	P1	3	3	7.4	Fonte	80	Type A2
		P2	4.4	4.4				
I19	7.1	P3	2.7	2.7	7.1	Fonte	100	Type A2
		P4	4.4	4.4				
I20	10.5	P1	6.7	6.7	10.5	Fonte	80	Type A2
		P2	3.8	3.8				
I21	7.1	P1	3.8	3.8	7.1	Fonte	80	Type A2
		P2	3.3	3.3				
I22	8.8	P1	4.9	4.9	8.8	Fonte	80	Type A2
		P2	3.9	3.9				
I23	9.5	P1	5.8	5.8	9.5	Fonte	80	Type A2
		P2	3.7	3.7				
I24	12	P1	2.4	2.4	12	Fonte	100	Type A4
		P2	3.6	3.6				
		P3	3.7	3.7				
		P4	2.3	2.3				
I25	5.1	P1	1.9	1.9	5.1	Fonte	80	Type A2
		P2	3.2	3.2				
I26	6.3	P1	3	3	6.3	Fonte	80	Type A2
		P2	3.3	3.3				

Conclusion : pour l'organisation du réseau du périmètre de Khezzarza, il nécessite l'installation de 26 bornes pour permettre l'alimentation de l'ensemble des parcelles sur une surface de 270ha.

IV.4. Variantes d'aménagement du périmètre Khezzara :

Vu que le périmètre de Khezzara se localise en amont de l'oued Seybouse, et que la variante de desserte gravitaire est impossible à réaliser, on opte pour une desserte par pompage à partir des eaux de l'oued Seybouse via une conduite de refoulement d'un linéaire total de 5475m vers un réservoir

de mise en charge choisi en fonction de la topographie du site, en dernier lieu une conduite gravitaire permettra d'alimenter en eau les parcelles situées en aval du réservoir de stockage.

La variante d'aménagement retenue est détaillée comme suit :

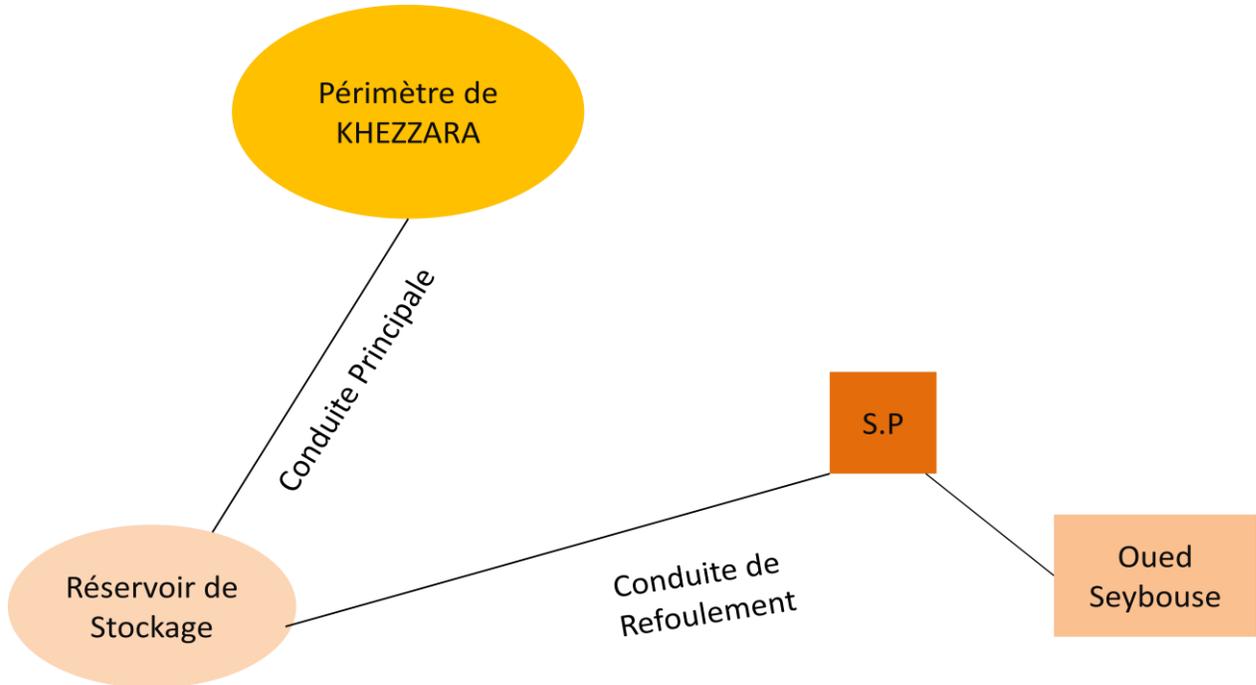


Figure IV.2 : Schéma de la variante d'irrigation sous pression

IV.5. Etude du système de pompage :

Une pompe est un appareil qui relève ou transfère un fluide. Les pompes peuvent prendre de nombreuses formes, mais sont généralement classées selon deux principes de fonctionnement principaux : les pompes volumétriques et les pompes centrifuges.

- Les pompes centrifuges :

Une pompe centrifuge est un type de pompe hydraulique qui sert à transformer l'énergie mécanique de la turbine, en énergie cinétique ou de pression d'un fluide incompressible. Donc, la pompe centrifuge convertit cette énergie avec laquelle elle est activée, dans ce cas mécanique, en énergie hydraulique.

- Les pompes volumétriques :

Celles dont le déplacement du liquide est obtenu en faisant varier, par un moyen mécanique, le volume est créé par le déplacement d'un ensemble mobile selon un mouvement de :

- ✓ Translation rectiligne pour les pompes alternatives.
- ✓ Rotation pour les pompes rotatives.

IV.5.1. Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation (HMT) :

La hauteur manométrique est donnée par la formule

$$\mathbf{HMT = Hg + J + Pr}$$

Avec : HMT : Hauteur Manométrique Totale en (m).

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

J : perte de charge totale dans les tuyaux et dans les accessoires (vannes, coudes).

Pr : Pression résiduelle (mCE) pression à la sortie du tube de refoulement (0.5-1m)

IV.5.1.1. Calcul de la hauteur géométrique Hg :

Hb : Cote station de pompage : 158m

Hr : Cote du réservoir = **375** m

Donc :

la hauteur géométrique **Hg = 375-158=217m**

IV.5.2. Calcul des pertes de charge totales :

Pour déterminer les pertes des charges linéaires on utilise la formule de Darcy Weisbach détaillée comme suit :

$$J = \lambda \frac{LV^2}{D \cdot 2g}$$

Avec :

J : Pertes de charge linéaires en m.

L : longueur du tronçon de refoulement (L=5475m).

V : vitesse moyenne d'écoulement en (m/s).

D : Diamètre intérieur de la conduite en m.

λ : coefficient de perte de charge linéaire, il dépend du régime d'écoulement.

Le coefficient λ est obtenu par la formule de Swamee (2000)

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re} \right) \right]^2}$$

Coefficient $\varepsilon = 0.05$ mm, D en mm

Re : nombre de Reynolds, $Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$

Calcul des pertes de charge singulière :

Elles représentent 10% des pertes de charges linéaires

$$\Delta H_s = 0.1 \Delta H_L$$

Calcul des pertes de charge totale :

$$\Delta H_t = \Delta H_L + \Delta H_s$$

Calcul du débit à refouler:

$$Q_c = Q_s \times S_{\text{tot}} = 1 \times 270 = 270 \text{ l/s} = 0.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ref}} = Q_c \times 1.05 = 0.27 \times 1.05 = 0.284 \text{ m}^3/\text{s}$$

IV.5.2.1. Détermination de diamètre économique de la conduite de refoulement:

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

$$D = (Q)^{1/2} = (0.284)^{1/2} = 0.532 \text{ m} = 532 \text{ mm} \text{ (on prend } D=500 \text{ ou } 600 \text{ mm)}$$

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

IV.5.2.1.1. 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.5.2.1.2. Calcul des Frais d'exploitation :

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

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

Avec :

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

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

e: Prix unitaire d'un **Kw** imposé par la Sonalgaz (e = 4,67DA).

❖ Puissance des pompes

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

$$P = (\rho g Q \text{HMT}) / \eta$$

Avec :

η : rendement de la pompe en (%)

Q : débit refoulé par la pompe en (m³ /s).

g : pesanteur (9.81 m/s²)

ρ : Masse volumique de l'eau (kg/ m³)

❖ Energie consommée par la pompe

L'énergie consommée par la pompe se calcule comme suit :

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

t : c'est le temps de pompage par jour en (heure); dans notre cas t =22h.

P : puissance de la pompe en (kW).

Les calculs sont détaillés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.8: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	2.256	5475	902408.5	0.01397	49.6	4.96	54.56	217	271.6
500	1.44	5475	721926.8	0.01391	16.19	1.619	17.81	217	234.8
600	1	5475	601605.6	0.01396	6.53	0.653	7.18	217	224.2
700	0.74	5475	515662	0.01406	3.04	0.304	3.35	217	220.3

TableauIV.4 :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	510.0	13500.0	5475	76 704 750.0	0.088	6 813 486.1
500	800.0	19500.0	5475	111 142 500.0	0.088	9 872 503.0
600	1100.0	22100.0	5475	127 020 000.0	0.088	11 282 860.6

700	1700.0	25240.0	5475	147 496 500.0	0.088	13 101 735.5
-----	--------	---------	------	---------------	-------	--------------

Tableau IV.5: Calcul des prix d'exploitation.

Diamètre (mm)	HMT	P (K Watt)	E (KWh/an)	F. exploi (DA)
400	271.6	980.85	7 876 249.0	36 782 083.0
500	234.8	848.08	6 810 121.4	31 803 267.1
600	224.2	809.71	6 501 946.4	30 364 089.7
700	220.3	795.86	6 390 770.7	29 844 899.0

IV.5.2.1.3. Bilan total des frais :

Le bilan des frais d'exploitation et d'amortissement permet de déterminer le diamètre économique de la conduite de refoulement.

Le calcul du bilan total des frais est représenté dans le tableau. IV.4 et illustré dans la figure Figure IV.3 :

Tableau IV.6 : Calcul du bilan total des frais.

Diamètre (mm)	Frais d'amortissement (DA)	Frais d'exploitation (DA)	Bilan (DA)
400	6813486.1	36782083.0	43595569.1
500	9872503.0	31803267.1	41675770.2
600	11282860.6	30364089.7	41646950.3
700	13101735.5	29844899.0	42946634.5

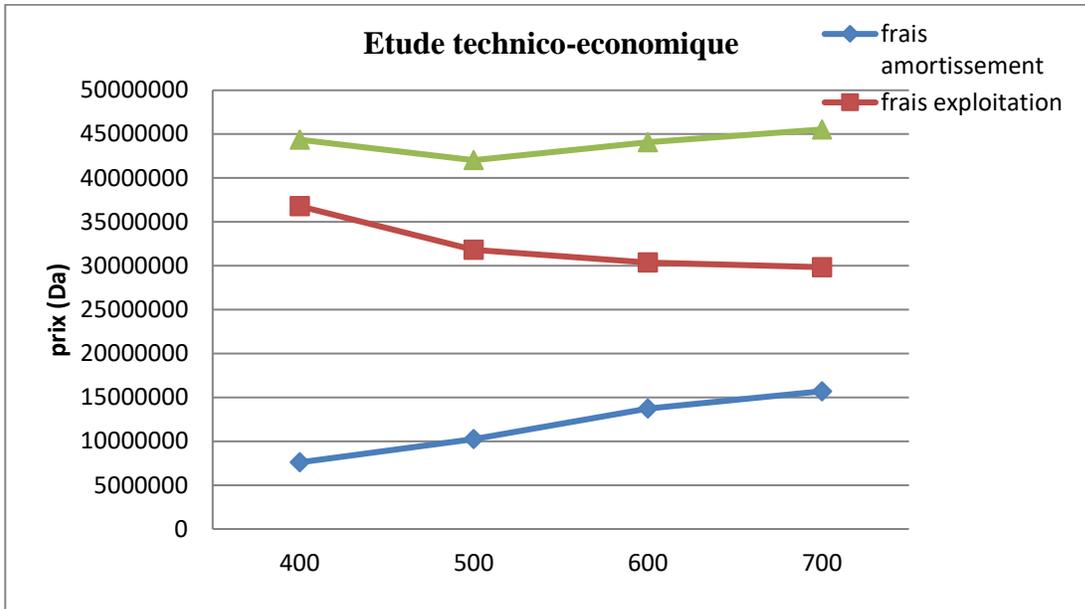


Figure IV.4 :Résultats de l'étude technico-économique refais le graphe

Conclusion : D'après le graphe du bilan, on remarque que le diamètre économique est de 600 mm qui correspond à une HMT de l'ordre de **225m**.

IV.6. 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-dessus représente les intervalles des nombres de pompes.

Tableau IV.7 : 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

D'après les données collectées auparavant et le choix du diamètre économique, nous avons :

- Le débit d'équipement qui est de 284 l/s.
- La hauteur manométrique totale nécessaire à l'adduction elle est de 225m
- La conduite de refoulement a un linéaire de 5475 m.

Nous avons utilisé le logiciel CAPRARI pour le choix du type et du nombre des pompes.

Tableau IV8. Englobe le type, le nombre et les caractéristiques de chaque pompe

Nombre de pompe	Q(l/s)	HMT(m)	Type de pompe	η %	N tr/mn)	P _{ab} (kw)	NPSH _r (m)	Ømm
1	-	-	-	-	-	-	-	-
3	94.7	225	PM 125/ 3 B	73.2	2900	283	12	125
4	72.7	225	PM 125/3 C	76.3	2950	250	7.17	125
5	56.8	225	PM 125/4 F	74.6	2900	198	4.51	150

Après la comparaison entre les caractéristiques des différentes variantes, et pour des raisons technico-économiques, nous avons a choisi la variante de 4 pompes identiques (+1 pompe de secours) qui présentent les caractéristiques suivantes.

1. Rendement 76.3 %
2. Puissance absorbée 250 Kw
3. NPSH_r de 7.1

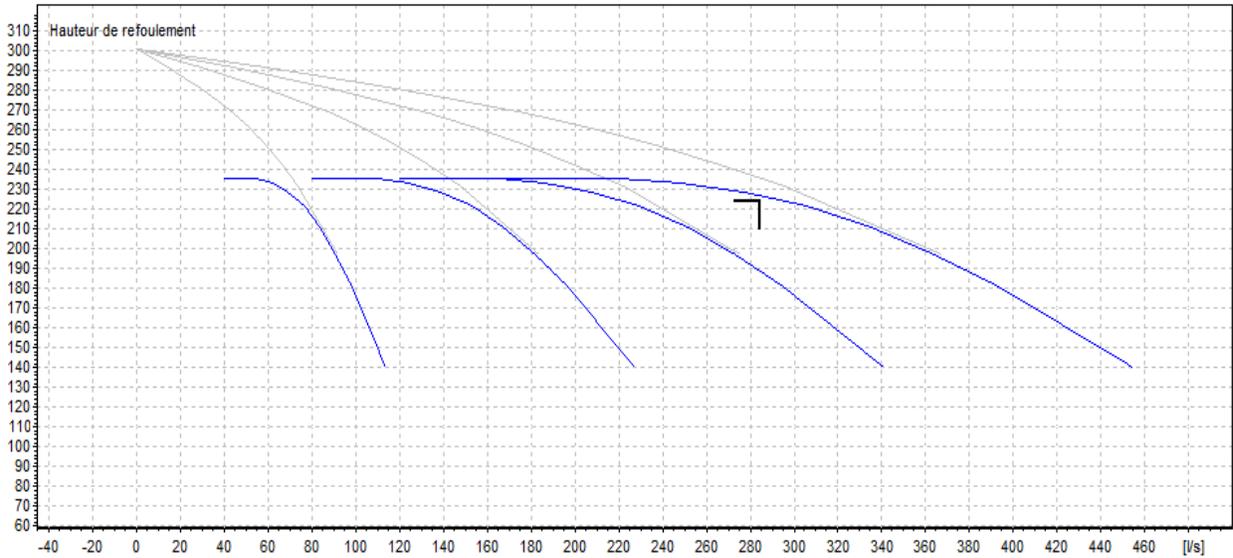


Figure IV.3 : Courbe caractéristique de la pompe. (CAPRARI)

IV.7. Protection contre la cavitation :

La cavitation est la perturbation du courant liquide juste à l'entrée de la pompe en fonctionnement, cela se produit pour à une température constante, la pression absolue est inférieure ou égale à la tension de vapeur d'eau.

La condition suivante doit être vérifiée :

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

$\sqrt{(NPSH)_r}$: Charge nette d'aspiration requise, elle est fournie par le constructeur ;

$\sqrt{(NPSH)_d}$: Charge nette d'aspiration disponible, elle est fournie par l'installateur.

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

$$(NPSH)_d = \frac{p_a}{\rho g} - Z_E - \Delta H_a - \frac{p_v}{\rho g}$$

$\sqrt{\frac{p_a}{\rho g}}$: en mce, la hauteur de pression atmosphérique locale, en fonction de la cote de l'emplacement de la station de pompage.

Tableau IV.9 : pression atmosphérique en fonction de la cote.

H(m)	-50	0	100	300	500	1500	200
$p_a/\rho g$	10.86	10.33	10.2	10.06	9.7	8.6	8.4

On prend :

$$\frac{p_a}{\rho g} = 10.33 .$$

P_v : en mce , pour la plupart des installations, est en fonction de la température ambiante.
Pour une température d'eau comprise entre 15°C et 20°C, $P_v/\rho g=0.22\text{m}$

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.

Pour la conduite d'aspiration on prend les pertes de charges linéaires : 4m/1000m

Longueur asp = 4m.

donc $\Delta H_{asp} = 0.016$.

Pour calculer V :

on a $D=600\text{mm}$ on trouve $V = 4 \times 0.284 / (\pi \cdot 0.6^2) = 1 \text{ m/s}$

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

D'où $V^2/2g = 0.05$.

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

$$\Delta H\left(\frac{m}{100m}\right) = 1,23 \cdot 10^{12} \cdot \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}}$$

$$(NPSH)_d = 10.33 - 0.22 - 2 - 0.016 - 0.05 = \mathbf{8.02} > \mathbf{7.1m}$$

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

IV.8. Protections contre le coup de bélier :

IV.8.1. Définition :

Le coup de bélier est un phénomène transitoire, oscillatoire qui se manifeste dans les conduites en charge à écoulement gravitaire ou en refoulement. On peut le définir également comme une étape du régime transitoire où les paramètres prépondérants (Pression et vitesse) sont rapidement variables.

IV.8.2. Les Causes du coup de bélier :

- Arrêt brutal d'un ou plusieurs groupes electro-pompes.
- Démarrage d'un ou plusieurs groupes electro-pompes.
- Fermeture instantanée ou rapide d'une vanne de sectionnement.

IV.8.3. Les risques dus aux coups de bélier :

1-Fortespressions : dans le cas de surpressions, il y a risque de fissuration de cette dernière et dislocation des joints.

2-Pression négative : peut apparaître soit à la suite d'une forte surpression, soit à la suite d'un arrêt brusque de la pompe. Si cette pression devient inférieure à -10 m.c.e il se produit par la suite :

- l'implosion de la conduite et 'aspiration des joints.

IV.8.4.Moyen de protection contre le coup de bélier :

En pratique il n'est pas possible de supprimer totalement l'effet du coup de bélier mais on peut arriver à le limiter à une valeur compatible à la résistance des installations.

Réservoirs d'air : L'alimentation continue de la veine liquide après disjonction du groupe peut être effectuée à l'aide d'une réserve d'eau accumulée sous pression, cette capacité contient de l'eau et de l'air.

IV.8.5.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. = $hg+10= 227m$

U_0 : volume d'air dans la cloche en régime permanent (m^3).

2-Le volume d'air est calculé par la formule suivante :

$$U_0=L.S.\frac{h_0}{Z_0} \frac{1}{f(\frac{Z}{Z_0})} \quad (m^3)$$

Avec :

L : Longueur de la canalisation =5475m.

Diamètre : $D = 600 \text{ mm}$

S : La section de la conduite, $S = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow S = 0,283 \text{ m}^2$

V_0 : la vitesse initiale d'écoulement (m/s), $V_0 = \frac{Q_r}{S} = 1.0 \text{ m/s}$

➤ La charge maximale absolue : $Z_{\max} = 100 \text{ m}$.

On a :

$$\frac{Z_{\max}}{Z_0} = 0.45$$

$$h_0 = \frac{V_0^2}{2g} = 0,051$$

$$\frac{h_0}{Z_0} = \frac{0.051}{227} = 0.002$$

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

$$\diamond \frac{U_0}{LS} = 1 * 10^{-3} \Rightarrow U_0 = 0.001 * L * S = 1.55 \text{ m}^3$$

$$\diamond \frac{Z_{\min}}{Z_0} = 0,44 \Rightarrow Z_{\min} = 0,44 * 227 = 100 \text{ m}^3$$

$$\diamond U_0 Z_0 = U_{\max} Z_{\min} \Rightarrow U_{\max} = \frac{U_0 * Z_0}{Z_{\min}} = \frac{1.55 * 227}{150} = 3.6 \text{ m}^3$$

En tenant compte de la sécurité : $U_{\max} = 4 \text{ m}^3 = 4000 \text{ litres}$

IV.9. Réseau de distribution gravitaire :

Le réseau de distribution projeté est de type ramifié sera dimensionné en fonction du débit caractéristique de pointe calculé en fonction des besoins en eau de l'assolement proposé.

Le tracé des réseaux suivra les routes et pistes existantes ainsi que les limites des parcelles des exploitations en respectant toujours les règles hydrauliques et économiques de gestion.

IV.10. Dimensionnement du réseau de distribution :

IV.10.1. Caractéristiques des conduites du réseau de distribution gravitaire :

Après avoir calculé les débits de chaque ilot, et déterminé les critères hydrauliques de la conduite gravitaire, on passera au calcul du réseau de distribution, c'est-à-dire celui des conduites principale et secondaire.

IV.10.2. Choix du matériau des conduites :

Pour choisir le matériau de canalisation, il faut prendre en considération l'agressivité du sol ainsi la satisfaction des conditions hydriques (débit, pression...) et la surtout la disponibilité sur le marché. Parmi les matériaux utilisés on peut citer : l'acier, la fonte, le PVC etc.

a) -Conduites en fonte :

Présentent plusieurs avantages :

- ✓ Bonne résistance aux forces internes;
- ✓ Bonne résistance à la corrosion;
- ✓ Rigides et solides;

Leur inconvénient est :

- ✓ Coût relativement important.

b)- Conduite en PEHD :

Ils sont les plus utilisés car ils présentent des avantages importants :

- ✓ Sont les plus légers et faciles à couper;
- ✓ Présentent de bonnes propriétés hydrauliques;
- ✓ Disponible sur le marché;
- ✓ Une pose de canalisation facile;

Leur inconvénient est :

- ✓ Le risque de ruptures dans le cas d'une mauvaise soudure.

c)- Conduite en PRV :

Les conduites en Polyester Renforcé de fibres de Verre (PRV) sont une combinaison de résine de polyester, de fibres de verre et de matériaux de renforcement.

Dans notre cas, les conduites seront projetées en PEHD si le diamètre est inférieur ou égal à 315 mm, et en fonte dans le cas contraire (> 400mm).

IV.10.3. Calcul des diamètres :

Le calcul des diamètres se fait par l'application de la formule hydraulique ($Q=V.S$) qui nous donne une approche du diamètre qu'on normalise.

$$D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V_{adm}}} . 1000 ;$$

- ✓ Q : débit exprimé en m³/s,
- ✓ D : diamètre exprimé en mm.
- ✓ On fixe un seuil de vitesse admissible pour éviter les risques entraînés par les vitesses importantes (risque d'érosion) et les vitesses faibles (risque de dépôts solides).
- ✓ La vitesse admissible comprise entre 0.5 m/s, comme vitesse minimale, et 2.5 m/s comme vitesse maximale, dans notre cas $V_{ad} = 1.5$ m/s.

IV.10.4. Estimation des pertes de charge :

Les pertes de charge unitaires, ont été définies par la formule de Lechapt-Calmon, qui est donnée par la formule suivante :

$$J = \frac{L.Q^M}{D^N}$$

Avec :

- ✓ J: Pertes de charge unitaire en m/m ;
- ✓ L, M et N: Paramètres en fonction de la rugosité absolue (Ks) des canalisations;

Tableau IV.10 : Paramètres de pertes de charge de la loi de Lechapt-Calmon.

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 cas, Dans notre cas, les conduites seront en majorité en PEHD et en fonte, la rugosité équivalente : $K=0.1$ mm, donc : $L=1.15$ $M=1.89$ $N=5.01$. Les pertes de charge singulières sont estimées à 10% des pertes de charge linéaires.

L'estimation des pressions est basée sur le principe de Bernoulli entre le point A et le point B :

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

Avec :

h_1 et h_2 sont les hauteurs de pressions

V_1 et V_2 sont les vitesses d'écoulement entre les points A et B

Z_1 et Z_2 sont les côtes du terrain naturel.

ΔH : sont les pertes de charge entre les points A et B.

Les calculs sont détaillés dans le tableau IV.11.

Tableau IV.11 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution.

N° du tronçon	L(m)	L(km)	s(HA)	déb it Q(l/s)	débit Q(M3/S)	D(m)	D(mm)	Vrél (m/s)	P.ch (m)-	P.cht Δ Ht (m)	Cote terrain (m)	cote piezo (m)	Pression au point P(m)
R-ST	1014	1.014	270	270	0.27	478.7	500	1.38	3.16	3.48	337.20	371.52	34.32
ST-N1	148	0.148	270	270	0.27	478.7	500	1.38	0.46	0.51	336.80	371.01	34.21
N1-B1	96	0.096	13.7	13.7	0.0137	107.8	125	1.12	1.11	1.22	323.80	369.79	45.99
N1-N2	171	0.171	256.3	256.3	0.2563	466.4	500	1.31	0.48	0.53	324.50	370.48	45.98
N2-N2'	291	0.291	15.6	15.6	0.0156	115.1	125	1.27	4.31	4.74	306.20	365.74	59.54
N2'-B2	146.76	0.14676	15.6	15.6	0.0156	115.1	125	1.27	2.17	2.39	320.00	363.35	43.35
N2-N5	170.28	0.17028	240.7	240.7	0.2407	452.0	500	1.23	0.43	0.47	335.00	370.01	35.01
N5-N6	98.22	0.09822	240.7	240.7	0.2407	452.0	500	1.23	0.25	0.27	339.04	369.74	30.69
N6-N6'	630	0.63	23.4	23.4	0.0234	140.9	160	1.16	5.82	6.41	320.00	363.33	43.33
N6'-B6	49.14	0.04914	5.9	5.9	0.0059	70.8	75	1.34	1.50	1.65	296.30	361.69	65.39
N6'-N7	115.94	0.11594	17.5	17.5	0.0175	121.9	125	1.43	2.13	2.35	290.00	360.99	70.99
N7-B7	82.83	0.08283	17.5	17.5	0.0175	121.9	125	1.43	1.52	1.68	283.00	359.31	76.31
N6-N8	107.73	0.10773	217.3	217.3	0.2173	429.5	500	1.11	0.22	0.25	339.00	369.49	30.49
N8-B8	137.31	0.13731	11.7	11.7	0.0117	99.7	110	1.23	2.24	2.46	332.14	367.03	34.89
N8-N9	111.42	0.11142	205.6	205.6	0.2056	417.8	500	1.05	0.21	0.23	336.50	366.80	30.30
N9-N10	123.69	0.12369	205.6	205.6	0.2056	417.8	500	1.05	0.23	0.25	333.10	366.55	33.45
N10-N11	41.12	0.04112	205.6	205.6	0.2056	417.8	500	1.05	0.08	0.08	334.71	366.47	31.75
N11-B11	124.06	0.12406	11.6	11.6	0.0116	99.2	110	1.22	1.99	2.19	331.51	364.28	32.77
N11-N12	220.29	0.22029	194	194	0.194	405.8	500	0.99	0.37	0.40	337.50	366.06	28.56
N12-N13	119	0.119	194	194	0.194	405.8	500	0.99	0.20	0.22	337.60	365.84	28.24
N13-N13'	239.38	0.23938	27.8	27.8	0.0278	153.6	160	1.38	3.06	3.37	319.50	362.47	42.97

N13'-B13	61.96	0.06196	9.5	9.5	0.0095	89.8	90	1.49	1.86	2.05	307.50	360.42	52.92
N13'-N14	362.15	0.36215	18.3	18.3	0.0183	124.6	125	1.49	7.25	7.97	301.01	354.50	53.49
N14-B14	89.86	0.08986	9.7	9.7	0.0097	90.7	110	1.02	1.03	1.13	293.83	353.37	59.54
N14-N15	56.49	0.05649	8.6	8.6	0.0086	85.4	90	1.35	1.41	1.55	297.65	352.95	55.30
N15-N15'	320.7	0.3207	8.6	8.6	0.0086	85.4	90	1.35	7.98	8.78	294.50	344.17	49.67
N15'-B15	36.86	0.03686	8.6	8.6	0.0086	85.4	90	1.35	0.92	1.01	290.43	343.16	52.73
N13-N16	88.44	0.08844	166.2	166.2	0.1662	375.6	400	1.32	0.34	0.37	334.00	365.47	31.47
N16-N17	112.17	0.11217	166.2	166.2	0.1662	375.6	400	1.32	0.43	0.47	318.37	365.00	46.63
N17-N17'	138.36	0.13836	33.6	33.6	0.0336	168.9	200	1.07	0.83	0.91	321.30	364.09	42.79
N17'-B17	89.67	0.08967	8.6	8.6	0.0086	85.4	90	1.35	2.23	2.46	319.01	361.63	42.62
N17'-N18	202.16	0.20216	25	25	0.025	145.7	160	1.24	2.12	2.33	316.31	361.76	45.45
N18-B18	174.47	0.17447	7.4	7.4	0.0074	79.3	90	1.16	3.27	3.60	304.39	358.16	53.77
N18-N19	45.73	0.04573	17.6	17.6	0.0176	122.2	125	1.43	0.85	0.93	305.81	360.82	55.01
N19-B19	71.53	0.07153	7.1	7.1	0.0071	77.6	90	1.12	1.24	1.36	304.50	359.46	54.96
N19-N20	273.12	0.27312	10.5	10.5	0.0105	94.4	110	1.11	3.63	3.99	296.28	355.47	59.19
N20-B20	61.68	0.06168	10.5	10.5	0.0105	94.4	110	1.11	0.82	0.90	286.67	354.57	67.90
N17-N21	37.54	0.03754	132.6	132.6	0.1326	335.5	400	1.06	0.09	0.10	330.20	361.53	31.33
N21-B21	77.95	0.07795	7.1	7.1	0.0071	77.6	90	1.12	1.35	1.49	308.15	360.04	51.90
N21-N22	88.88	0.08888	125.5	125.5	0.1255	326.4	400	1.00	0.20	0.22	326.30	361.31	35.01
N22-N23	200.21	0.20021	125.5	125.5	0.1255	326.4	400	1.00	0.45	0.49	313.00	360.82	47.82
N23-N24	11.32	0.01132	125.5	125.5	0.1255	326.4	400	1.00	0.03	0.03	311.60	360.79	49.19
N24-B24	165.24	0.16524	12	12	0.012	100.9	110	1.26	2.83	3.11	310.50	357.68	47.18
N24-N25	159.02	0.15902	113.5	113.5	0.1135	310.4	400	0.90	0.29	0.32	308.92	360.46	51.54
N25-B25	56.74	0.05674	5.1	5.1	0.0051	65.8	75	1.15	1.31	1.44	306.37	359.02	52.65
N2-N3	217.55	0.21755	12.8	12.8	0.0128	104.2	110	1.35	4.20	4.62	331.10	365.86	34.76

N3-B3	55.02	0.05502	5.8	5.8	0.0058	70.2	75	1.31	1.62	1.78	340.47	364.07	23.60
N3-N4	142.64	0.14264	7	7	0.007	77.1	90	1.10	2.41	2.65	346.28	361.43	15.15
N4-N4'	191.3	0.1913	7	7	0.007	77.1	110	0.74	1.18	1.30	350.60	360.13	9.53
N4'-B4	44.32	0.04432	7	7	0.007	77.1	110	0.74	0.27	0.30	351.50	359.83	8.33
N5-B5	124	0.124	6.7	6.7	0.0067	75.4	90	1.05	1.93	2.12	344.00	367.89	23.89
N9-N9'	255.43	0.25543	10.2	10.2	0.0102	93.0	125	0.83	1.69	1.86	350.10	366.03	15.93
N9'-B9	28.41	0.02841	10.2	10.2	0.0102	93.0	110	1.07	0.36	0.39	356.00	365.64	9.64
N10-B10	318.62	0.31862	20	20	0.02	130.3	160	1.00	2.19	2.41	340.73	364.14	23.41
N12-B12	312.42	0.31242	19	19	0.019	127.0	160	0.95	1.95	2.14	339.45	363.92	24.47
N16-B16	170.03	0.17003	15.1	15.1	0.0151	113.2	160	0.75	0.69	0.76	317.41	364.72	47.30
N22-B22	197.25	0.19725	8.8	8.8	0.0088	86.4	110	0.93	1.88	2.06	307.03	359.25	52.22
N23-B23	61.17	0.06117	9.5	9.5	0.0095	89.8	110	1.00	0.67	0.74	306.50	360.05	53.55
N25-N26	0.7	0.0007	6.3	6.3	0.0063	73.1	75	1.43	0.02	0.03	301.77	359.00	57.22
N26-B26	63.52	0.06352	6.3	6.3	0.0063	73.1	75	1.43	2.19	2.41	302.97	356.59	53.61

IV.11. Dimensionnement du Réservoir de stockage (Bassin) :

Pour un réservoir circulaire le volume du réservoir est estimé comme suit :

$$V = Q_c \times T_{nf}$$

Avec:

- ✓ V: Volume d'eau d'irrigation (m³).
- ✓ Q_C : débit caractéristique (m³/h), Q_C=0.27m³/s=972m³/h
- ✓ T_{nf} : temps de non fonctionnement pris égal à 1 heure.

On trouve V =972 m³,

on prend V=800m³ et Hauteur : 4.5 m le calcul de diamètre se fait par l'application de la formule hydraulique (Q=V.S)

donc :

$$\text{Diamètre}=15\text{m}$$

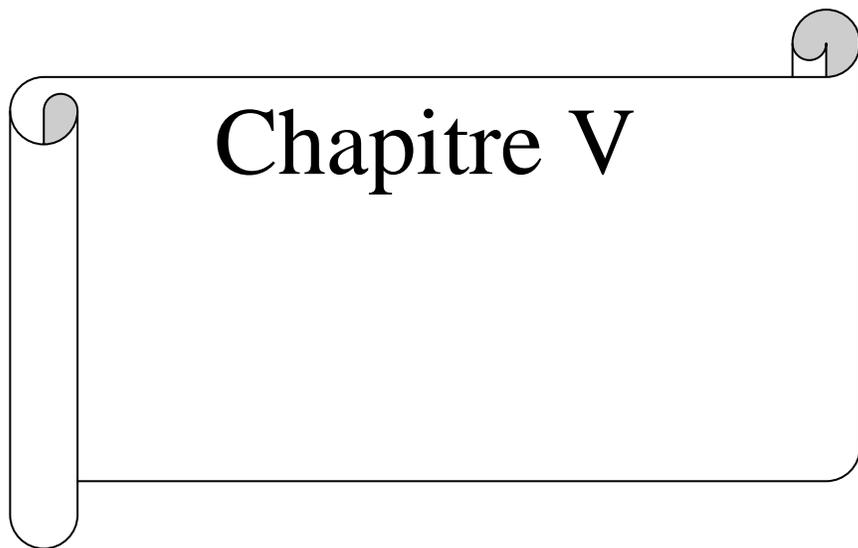
IV.12. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons détaillé le système d'adduction qui est la principale composante d'un projet d'aménagement hydro-agricole.

Après avoir analysé plusieurs variantes du tracé, nous avons choisi la variante d'aménagement avec un système de pompage à partir de l'oued Seybouse, nous avons calculé les paramètres hydrauliques des diverses conduites de tous les tronçons du réseau de distribution.

Nous avons choisi des conduites en PEHD pour des diamètres allant de 75 mm jusqu'au 315 mm et en fonte pour des diamètres supérieurs.

Les pressions obtenues sont généralement satisfaisantes généralement supérieures à 2.5 bars, sauf dans certains cas rares sur des points culminants, où les pressions sont inférieures à 1 bar.



Chapitre V

Chapitre V : Les techniques d'irrigation

V.1.Introduction :

L'irrigation c'est une opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau, cette eau peut être récupérée par gravitation ou par pompage dans l'intention de capter la quantité d'eau nécessaire pour la plante.

Dans ce chapitre on va étudier les différentes techniques d'irrigation puis on va choisir la quelle qui correspond le mieux avec les caractéristiques de notre périmètre.

V.2.Les différentes techniques d'arrosages :

Les techniques d'arrosage ont été classées en trois classes :

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

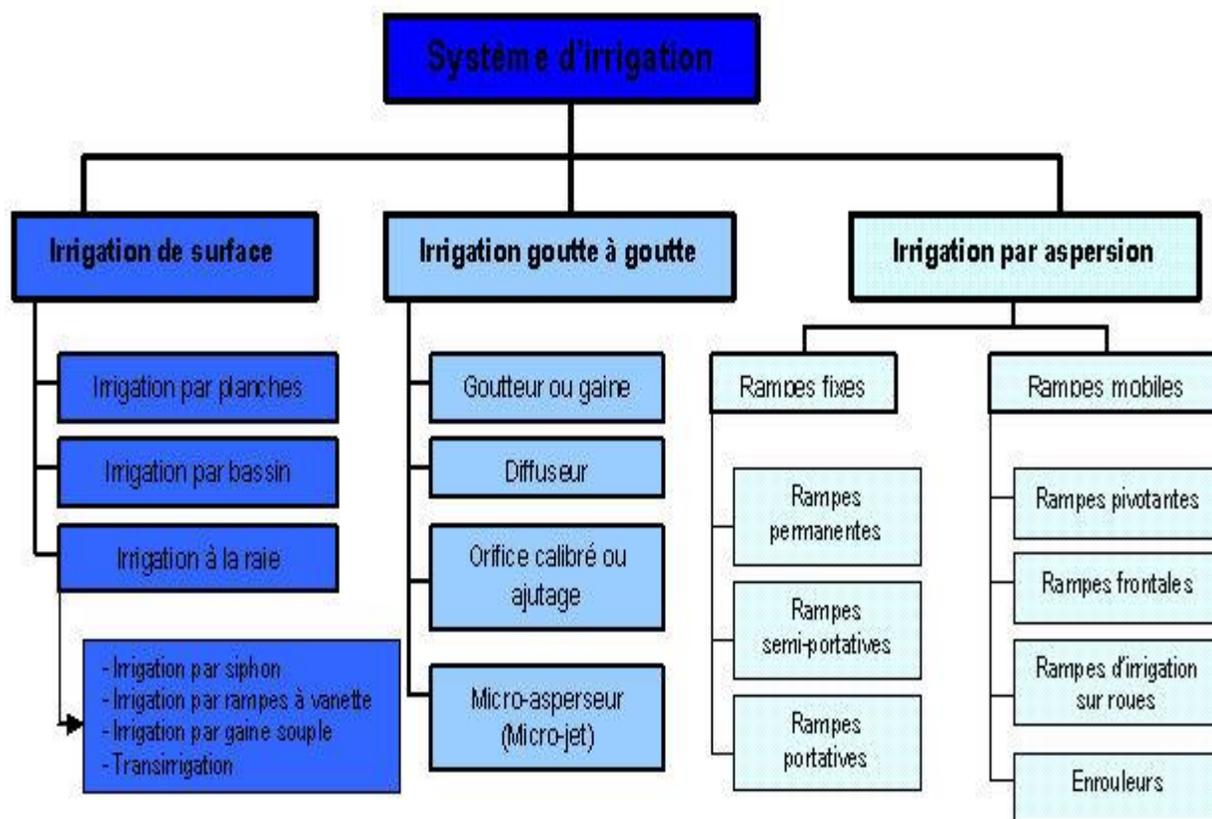


Figure V.1 : schéma récapitulatif sur les systèmes d'irrigation

V.2.1. L'irrigation gravitaire (de surface):

L'irrigation gravitaire est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour augmenter la production et permettre leurs développent normal.

La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain, et aux propriétés hydriques du sol (ruissellement, infiltration, et capillarité), donc aucune force extérieure n'est utilisée pour amener l'eau aux endroits désirés, il ya trois types d'irrigation gravitaires :

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

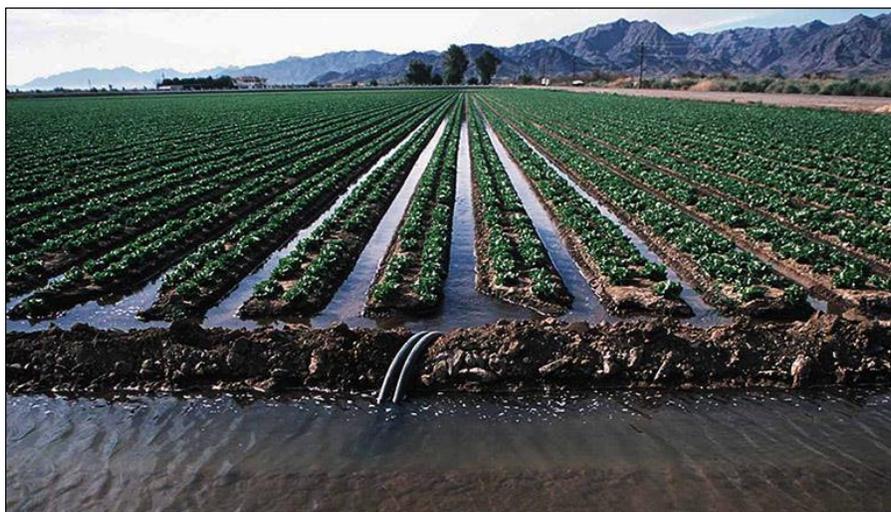


Figure V.2 : l'irrigation de surface.

L'irrigation de surface présente plus d'inconvénients que des avantages :

a) Avantage :

- ✓ Coût d'investissement relativement faible car elle n'exige pas un matériel.
- ✓ Besoins en énergie nuls.
- ✓ Les végétaux ne sont pas mouillés ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire.
- ✓ Permet d'irriguer la plupart des cultures.

b) Inconvénients :

- ✓ Pertes importantes d'eau.
- ✓ Temps d'irrigation important.
- ✓ Nécessite un aménagement du terrain.
- ✓ Main d'œuvre importante.
- ✓ Elle favorise le développement des mauvaises herbes.

- ✓ Elle ne s'adapte pas aux cultures céréalières.

V.2.2. L'irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie artificielle sur le sol, grâce à l'utilisation d'appareils (dit asperseurs) alimentés en eau sous pression. L'eau s'y infiltre compte tenu seulement de la perméabilité du sol, cette technique nécessite des conditions de pression moyenne à forte (de 3 à 6 bars à la buse).

a) Avantages :

- ✓ Elle ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface d'irrigation ;
- ✓ Elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie ;
- ✓ Elle réalise une importante économie d'eau par comparaison avec les autres systèmes d'irrigation ;
- ✓ Elle permet un dosage précis et une répartition régulière de la quantité d'eau distribuée ;
- ✓ Elle met à la disposition des exploitants des conditions d'arrosage très souples ;
- ✓ Possibilité d'automatisation ;
- ✓ Bonne adaptation à tous les types de sol.

b) Inconvénients :

- ✓ Elle nécessite au départ, une dépense importante de première installation ;
- ✓ Elle favorise l'évaporation et le développement des mauvaises herbes ;
- ✓ L'eau donnée en pluie passe le sol provoque la formation d'une croûte superficielle.



Figure V.3 : L'irrigation par aspersion.

V.2.3. L'irrigation localisée :

L'irrigation localisée ou micro-irrigation consiste à apporter l'eau sur une partie du sol seulement par petites doses fréquentes.

A la limite la compensation de l'évapotranspiration se fait quotidiennement et l'eau est apportée par des distributeurs, ce qui crée dans le sol des zones humides appelées bulbes d'arrosage ou d'humidification.

Plusieurs techniques ont été développées :

- L'irrigation localisée par goutteurs : goutte à goutte.
- L'irrigation localisée par rampes perforées fixes.
- L'irrigation localisée par diffusion (micro jet, microdiffuseur).

a) Avantages :

- ✓ Rendement de cultures importantes ;
- ✓ Excellente efficacité d'arrosage à la parcelle ;
- ✓ Très faible besoin de main d'œuvre ;
- ✓ Insensibilité au vent ;
- ✓ Economie d'engrais ;

b) Inconvénients :

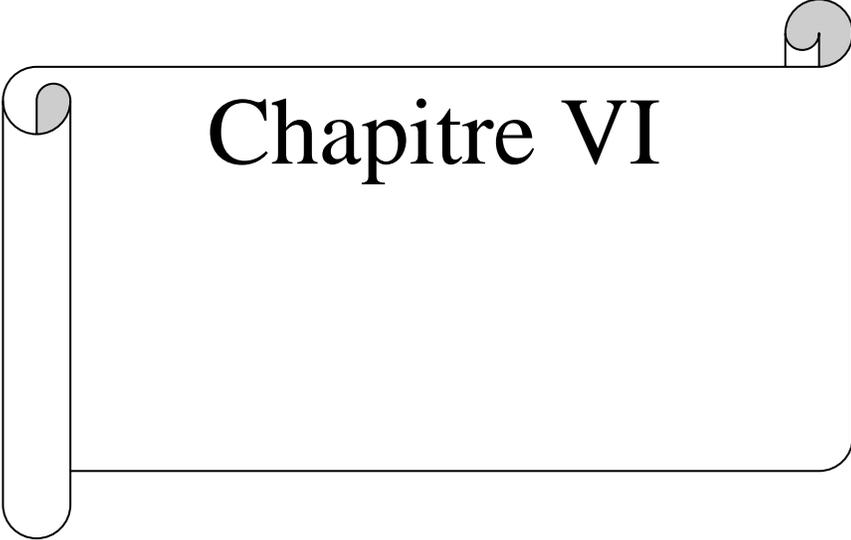
- ✓ Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation ;
- ✓ Coût très relativement élevé du matériel ;
- ✓ Risque d'obstruction des goutteurs ;
- ✓ Incompatible avec les cultures en plein champ.



Figure V.4 : l'irrigation localisée.

V.3.Conclusion

En se basant sur les conditions climatiques et pédologiques de la zone d'étude (Vents, texture, etc), les aptitudes culturales et les quantités d'eau disponibles, nous avons opté pour des techniques d'irrigation par goutte à goutte et par aspersion.



Chapitre VI

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI.1. Introduction

Dans ce chapitre on va se localiser sur le dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte, dans le but d'économiser l'eau et d'atteindre un rendement optimal.

Les deux techniques exigent un réseau sous-pression, et un matériel d'irrigation adéquat, ainsi qu'une méthodologie de dimensionnement spécifique pour chaque culture.

VI.2. Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte :

L'ilot choisi pour l'arrosage par goutte à goutte est l'ilot N°5 d'une superficie de 6.7 ha, sur une parcelle de forme rectangulaire qui présente des dimensions de 115x35, il est alimenté par la Borne N°5 qui dispose d'une pression de 2.4 bars.

Données générales :

Culture : le pommier

Besoin de pointe : 105 mm (Juillet)

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

•Surface brute de la parcelle: **1.2 ha**;

•Longueur: **115 m**;

•Largeur: **36 m**.

Caractéristique du goutteur :

•Débit nominal: 4l/h avec une pression nominale: 10 m.c.e

•Le nombre de goutteurs est 2 goutteurs par arbre, avec un espacement des goutteurs de 1 m;

VI.2.1. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :

VI.2.1.1. Influence du taux de couverture du sol :

En micro-irrigation, les apports d'eau sont apportés sur très faible surface du sol située au voisinage des plantes, donc à l'ombre du feuillage, la part d'évaporation directe à partir du sol est réduite, on applique alors à L'ETM un coefficient de réduction : K_r

K_r dépend du taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) par les plantes adultes et peut être calculé par diverses formules, dans notre cas on se base sur la formule Freeman et Gazoli:

- La formule de Freeman et Garzoli :

$$Kr = Cs + 0.5(1 - Cs)$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60% (pour les arbres adultes), on trouve :

On prendra un coefficient $Kr = 0.80$

$$B_{jl} = B_j * K_r$$

$$B_{jl} = (105/30) * 0.8 = \mathbf{2.80 \text{ mm/j}}$$

VI.2.1.2. Calcul de la dose Dose nette pratique :

La dose (RFU) étant définie par la hauteur d'eau 'P':

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

Avec :

✓ H_{cc} : humidité à la capacité au champ (29%),

✓ H_{pf} : humidité au point de flétrissement (17%),

✓ da : densité apparente du sol, 1.4 et Y : (2/3) ;

✓ Z : Profondeur racinaire (on prend $Z=1500$ mm),

✓ P : Pourcentage du sol humidifié il est calculé comme suit :

$$P\% = \frac{n \cdot S_{pd} \cdot S_h}{S_a \cdot S_r}$$

Avec :

✓ P : Volume du sol humidifié;

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

✓ S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre = (1m);

✓ S_h : Largeur de la bande humidifiée (tirée de la table) = 1m (arbres);

✓ S_r : Ecartement entre rangs d'arbre (4m);

✓ S_a : espacement des arbres sur les rangs (4m).

$$P\% = \frac{2 * 1 * 1}{4 * 4} = 12.5\%,$$

$$D_p = \frac{(29-17)}{100} \times 1500 \times \frac{2}{3} \times 1.4 \times 0.13$$

On trouve

$$D_p = \mathbf{21 \text{ mm.}}$$

VI.2.1.3. Fréquence et intervalle des arrosages (Fr):

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

$$Fr = \frac{\text{Dose pratique}}{B_{jl}} = \frac{21}{2.80} = 7 \text{ jours}$$

Donc on prend une fréquence de **7 jours, chaque semaine.**

VI.2.1.4. Calcul de la dose (brute) :

On recalcule la nouvelle dose pratique :

$$Dp' = Fr. Bjl = 7 \times 2.8 = 19.6 \text{ mm}$$

$$D_{brute} = \frac{19.6}{Ef * Cu},$$

Avec :

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

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

$$D_{brute} = \frac{Dr}{eff * Cu} = \frac{19.6}{0.9 * 0.9} = 25 \text{ mm}$$

VI.2.1.5. Durée d'arrosage (h) :

$$\theta = Tf = \frac{D_{br} * Sd * Sr}{n * Qg};$$

Avec :

✓ Sr et Sd espacement entre rang et distributeur,

✓ n et Qg nombre et débit du goutteur.

$$\theta = \frac{25 * 1 * 4}{2 * 4} = 12 \text{ h /arrosage}$$

VI.2.1.6. Nombre de poste :

Le nombre de poste par jour est défini comme suit :

$$N = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = \frac{20}{12} = 1 \text{ poste}$$

VI.2.1.7. Surface du poste :

$$Sp = \frac{\text{Surface irriguée}}{\text{Nombre de poste}} = \frac{1.2}{1} = 1.2 \text{ ha}$$

$$N_{bre \text{ de goutteurs}} = \frac{\text{Surface irriguée}}{Spd * Sr} = \frac{1.2 * 10000}{4 * 4} = 750 \text{ goutteurs}$$

VI.2.2. Calculs hydrauliques :

✓ S=3 ha,

✓ La longueur de la rampe: 36 m

✓ La longueur de La Porte rampe: 115m

✓ La longueur de la conduite secondaire: 55m,

✓ S irriguée = 1.15ha.

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

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

2. La variation maximale de la pression :

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

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

Avec :

$q(g)$: débit nominal du goutteur

$H(n)$: pression nominal

$$0.1 = 0.5 \frac{\Delta H(\text{max.})}{10}$$

$$\Delta H(\text{max.}) = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ mce.}$$

La répartition de la perte de charge est :

Perte de charge singulière :

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

Avec

$$p.c.s = 10\% * \Delta H = 0.2 \text{ m}$$

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

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

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

VI.2.3. Dimensionnement des canalisations du réseau :

Pour le calcul des dimensions des canalisations (rampe et porte rampe), on propose que les rampes soient en PEBD OU PEHD.

➤ Les rampes

Ils sont toujours en PEBD (polyéthylène basse densité), à l'exception de quelques installations ou l'on a utilisé du PVC rigide de petit diamètre.

➤ Porte-lampes

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

Le diamètre de rampes ainsi que des portes rampes est calculé d'après 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
- Ør (cal) : le diamètre de rampes
- Øpr (cal) : le diamètre de porte rampe

VI.2.3.1. Pour les rampes : L=36 m

1) Le nombre d'arbres par rampe:

$$N_{\text{arbres}} = \frac{Lr}{Ea} = \frac{36}{4} = 9 \text{ arbres.}$$

2) Nombre des goutteurs par rampe:

$$N_g = N_{\text{arbres}} * n = 9 * 2 = 18 \text{ goutteurs.}$$

3) Débit de la rampe :

$$Q_r = N_g \times Q_g$$

$$Q_r = 18 \times 4 = 72 \text{ l/h}$$

4) Diamètre de la rampe :

$$Q_r = 72 \text{ l/h ; } P_{dc} = 1.2 \text{ m ;}$$

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P. d. c(r) * 2.75}{0.478 * Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

D_rampe = 6.84 mm, on prend **DN = 16 mm**.

5) Vérification des pertes de charges :

Pour la détermination des pertes de charges des différents tronçons de la canalisation après choix du diamètre, On recalcule les pertes de charges pour un $D = 16 \text{ mm}$
 Perte de charge selon Hazen-Williams.

$$DH = \left(\frac{3.592}{C_w} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852}$$

Avec :

L : la longueur de la conduite ;

Q : débit (m³/s)

D : diamètre intérieur de la canalisation (m) ;

On a :

$C_w = 130$ (PE), $L = 36 \text{ m}$, $D = 0.016 \text{ m}$, $Q = 0.00002 \text{ m}^3/\text{s}$

$\Delta H_{\text{rampe}} = 0.05 \text{ m} < 1.2 \text{ m}$ (vérifiée).

VI.2.3.2. Pour la porte rampe :**1) Le nombre des rampes :**

$$N_r = \frac{L_{pr}}{E_r} = \frac{115}{4} = 28.75 \text{ rampes.}$$

2) Débit de la porte rampe :

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r = 72 \times 28 = 2016 \text{ l/h ;}$$

3) Diamètre de la porte rampe :

$$Q_{pr} = 2016 \text{ l/h ;}$$

$$P_{dc} = 0.6 \text{ m ;}$$

$$\phi_{pr(cal)} = \left[\frac{P.d.c(pr) * 2.75}{0.478 * Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

Donc : $D_{pr} = 34.96$ on prend un diamètre normalisé de 50 mm.

4) Vérification des pertes de charges :

$$DH = \left(\frac{3.592}{C_w} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852}$$

$C_w = 130$ (PEBD), $L = 115 \text{ m}$, $D = 0.05 \text{ m}$, $Q = 0.00058 \text{ m}^3/\text{s}$

$\Delta H_{\text{porte rampe}} = 0.33 \text{ m} < 0.6 \text{ m}$ (vérifiée)

Donc les pertes de charges sur rampes et porte-rampe sont :

$$\Delta H_{\text{rampe+Porte rampe}} = 0.38\text{m} < 1.8\text{m} \text{ (Règle de Christiansen Vérifiée).}$$

VI.2.3.3. Calcul des diamètres de la conduite tertiaire :

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1.05 m/s tel que :

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

Avec :

✓Q : débit de la conduite considérée (m³/s);

✓V : vitesse d'écoulement (m/s).

On prend D= 50mm

Calcul Récapitulatif et vérification des pressions à la borne de distribution :

Tableau VI.1: Calcul Récapitulatif réseau goutte a goutte.

Conduites	La rampe	Porte rampe	C. tertiaire
Longueur(m)	36	115	55
Diamètre(m)	16	50	50
Débit (m ³ /s)	0.00002	0.00058	0.00058
Pertes de charge(m)	0.05	0.33	0.16

A partir du tableau on peut déterminer la perte de charge totale entre la borne d'irrigation jusqu'à le goutteur le plus défavorable :

$$P(m) = 10 + 0.05 + 0.33 + 0.16 = \mathbf{10.54m = 1.1bar}$$

Donc la pression requise est nettement inférieure à celle de la borne.

VI.3. Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion :

L'ilot choisi pour l'arrosage par aspersion est l'ilot N°21 d'une superficie de 7.1 ha, sur la P1 parcelle de forme rectangulaire qui présente des dimensions de 196x170m, il est alimenté par la Borne N°21 qui dispose d'une pression de 5.2 bars.

Données générales :

✓Choix de la culture : Pomme de terre

✓Choix du mode de couverture : couverture totale.

✓Temps de travail : 22 heures par jour, 26 jours par mois

✓ **Besoins de pointes** : 184 mm/mois pour le mois de juillet.

✓ **Perméabilité du sol** : le sol est de type argileux à limono-argileuse estimée de : $K = 8-10$ mm/h.

VI.3.1. Calcul de la dose pratique : RFU :

Elle est calculée comme suit :

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

Avec $Z = 0.5$ m pour la pomme de terre, on trouve **RFU = 56 mm**.

VI.3.2. Choix du diamètre de l'ajutage :

La perméabilité du sol $k = 8$ mm/h. pluviométrie admissible.

On pose $p \leq k$ tel que p : pluviométrie de la buse.

Le diamètre de la buse se calcul, par la relation :

$$P = \frac{1.5 \cdot d}{1.04} ; P \text{ en mm}$$

$$D'où : d = \frac{P \cdot 1.04}{1.5} = \frac{8 \cdot 1.04}{1.5} = 5.5 \text{ mm}$$

D'après la fiche technique d'un arroseur de type Perrot (Annexe I), nous pouvons prendre des diamètres de 4.5 à 5.5mm, on prend un diamètre de 4.8mm.

VI.3.3. Calcul de la portée du jet (L) :

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

$$L = 3 \times d^{0.5} \times h^{0.25}$$

Ou :

d : diamètre de la buse (mm)

h : pression à la buse (m),

Dans notre cas $P = 2.5$ bars, $h = 25$ m.

$$L = 3 \times 4.8^{0.5} \times 25^{0.25} = 14.7 \text{ m}$$

D'après le catalogue (voir annexe I), pour le diamètre de la buse de 4.8mm à une pression minimale de 2.5 bars la portée sera de 15.4m. On prend une portée moyenne **de 15m**.

VI.3.4. Ecartements entre les rampes et arroseurs :

En fonction de la vitesse du vent, les normes américaines recommandent l'écartement maximum suivant :

El entre les lignes d'arrosage : 1,25 (vent faible) à 1,02 L (vent fort).

Ea entre les asperseurs sur la rampe : 0,8 (vent faible) à 0,5 L (vent fort).

Notre zone d'étude présente des vitesses pour des vents faibles de l'ordre de 1.9 m/s, donc on prend les valeurs suivantes :

$$E_l = 1.25 \times 15 = 18.75 \text{ m} ;$$

$$E_a = 0.8 \times 15 = 12 \text{ m} ;$$

On prend les valeurs normalisées des écartements multiples de 6 :
 $E_l = 18 \text{ m}$, $E_a = 12 \text{ m}$.

VI.3.5. Vérification de la pluviométrie (P<K) :

VI.3.5.1. Débit de l'asperseur :

Le débit d'un asperseur se calcule, par la relation suivante :

$$q = 0,95 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$q = 0,95 \cdot \frac{\pi \cdot (4,8 \cdot 10^{-3})^2}{4} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 25} = 0,00037 \text{ m}^3 / \text{s} =$$

D'après Perrot $q = 1,30 \text{ m}^3 / \text{h}$

VI.3.5.2. Vérification de la pluviométrie de l'asperseur :

Si on admet que l'écartement est proportionnel à L, la pluviométrie horaire p en (mm/h) peut être appréciée via la relation :

$$p = \frac{q}{E_l \cdot E_a}$$

D'où :
$$p = \frac{1,3 \times 1000}{18 \times 12} = 6,1 \text{ mm/h}$$

Donc le diamètre de la buse choisi assurera une pluviométrie **P<K=8 mm/h**.

VI.3.6. Paramètres d'arrosage :

VI.3.6.1. Calcul du tour d'eau :

$$T_{eau} = \frac{\text{Dose}_{RFU} \cdot N_j}{B_{mp}}$$

Dose_{RFU} = 56 mm, N_j = 26, B_{mp} = 184 mm

$$T_{eau} = \frac{56 \cdot 26}{184}, \text{ On prend un } T_{eau} = 7 \text{ jours.}$$

VI.3.6.2. Nombre d'irrigation par mois :

Le nombre d'irrigation par mois se calcule comme suit :

$$\text{Nb de irrigation par mois} = \frac{30 \text{ jours}}{T_{\text{eau}}} = 4 / \text{mois}$$

VI.3.6.3. Calcul de la dose réelle :

$$\text{Dose}_{\text{reelle}} = T_{\text{eau}} \times \text{la dose journalière}$$

Avec :

$$\text{La dose journalière} = 6.13 \text{ mm}$$

D'où :

$$\text{Dose}_{\text{reelle}} = 7 \times 6.13 \text{ mm} = 43 \text{ mm}$$

VI.3.6.4. Calcul de la dose brute :

$$\text{Dose}_{\text{brute}} = \frac{Dr}{0.75} = 57.2 \text{ mm}$$

VI.3.6.5. Temps d'arrosage :

Temps d'arrosage par position sans dépasser la capacité d'infiltration se calcul comme suit :

$$T = \frac{\text{Dose}_{\text{brute}}}{k_{\text{pluviométrie}}}$$

$$T = \frac{57.2}{6.1} \quad T = 9 \text{ h}$$

Donc on pourra adopter 2 positions par jour pour un asperseur.

VI.3.6.6. Calcul de l'unité d'arrosage :

$$Su = \frac{s}{T_{\text{eau}} \cdot N}$$

$$Su = \frac{3.0}{7 \times 2} = 0.21 \text{ ha}$$

VI.3.6.7. Calcul du débit d'équipement :

Il se calcule comme suit :

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{S(\text{ha}) \cdot B(\text{mm}) \cdot 10}{T \cdot a \cdot N \cdot N_j \cdot 0.75}$$

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 15.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

VI.3.6.8. Nombre d'asperseurs (à acheter) Nombre d'asperseurs maximal :

$$N_{\text{asp}} = (\text{surface unitaire à arroser (m}^2\text{)}) / (\text{implantation}) ;$$

$$N_{asp} = \frac{Su * 10000}{El * Ea}$$

$$N_{asp} = \frac{0.21 * 10000}{12 * 18} = 10 \text{ asperseurs}$$

VI.4. Calculs hydrauliques :

VI.4.1. Dimensionnement hydraulique des rampes :

✓ La longueur du terrain est de 196m,

✓ La largeur du terrain est de 170 m.

VI.4.1.1. La longueur de la rampe :

$$L_r = \frac{\text{largeur du terrain}}{2} - \frac{Ea}{2}$$

$$L_r = 92\text{m}$$

Longueur du porte rampe :

$$L_{pr} = \text{Long} - (El/2) = 188\text{m}$$

VI.4.1.2. Nombre d'asperseurs/rampe :

$$N_{asp/R} = \frac{L_r}{Ea}$$

$$N_{asp/R} = 7 \text{ asperseurs}$$

VI.4.1.3. Nombre de rampes :

On travaille avec 1 seule rampe à 7 asperseurs.

VI.4.2. Dimensionnement de la rampe :

VI.4.2.1. Le débit de la rampe :

Il se calcule comme suit : le débit de l'asperseur × le nombre d'asperseur/ rampe.

$$Q_r = 1,3 \times 7 = 9.1 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0026 \times \text{m}^3/\text{s}$$

VI.4.2.2. Calcul du Diamètre de la rampe :

Il se calcule comme suit :

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_r}{\pi V}}$$

Avec :

V: vitesse de l'écoulement à travers la rampe;

On suppose que V=1.5m/s et on calcule Dr

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \times 0.0026}{\pi \times 1.5}}$$

$$D_r = 46.97$$

Les conduites en PEHD disponibles sur le marché ont les diamètres suivants :
50 ; 63 ; 75 ; 90 ; 110 ; 125 ; 160 et 200mm.

VI.4.3. Calcul des pertes de charge :

Les pertes de charges seront calculées selon la formule de Hazen-Williams :

$$DH = \left(\frac{3.592}{CW} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852}$$

Avec :

- ✓ J: Perte de charges linéaire en m;
- ✓ C_H : Coefficient de Hazen-Williams (130-140 pour la fonte et le PEHD);
- ✓ D: Diamètre en m;
- ✓ L: longueur de la conduite en m.

Règle de Christiansen :

Si on prend un diamètre de la rampe normalisé =50mm, on obtient une perte de charge de 3.1m ce qui n'est pas conforme ($J=3.1m$), on prend un diamètre normalisé de 63 mm, on trouve les pertes de charges totales de 1.1 m (Règle de Christiansen vérifiée). On calcule la nouvelle vitesse :

$$V = \frac{4 \times Q_r}{\pi \times D_r^2}$$

$$V = 0.82 \text{ /s} \leq V_{adm.}$$

VI.4.4. Dimensionnement de la porte rampe :

VI.4.4.1. Longueur de la porte Rampe :

La longueur du porte rampe est de 188m

VI.4.4.2. Débit de porte rampe :

Il se calcule comme suit :

$$Q_{P-r} = Q_{rampe} \times N_{rampe} ;$$

$$Q_{P-r} = 0.0026 \times 1 = 9.3 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$$

VI.4.4.3. Calcul du Diamètre de la porte rampe :

Il se calcule comme suit :

$$D_{P-r} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{P-r}}{\pi V}}$$

Avec :

V : vitesse de l'écoulement à travers la porte-rampe ou $V \leq V_{adm}$; $V_{adm} \in [0.5 : 2.5] \text{ m/s}$.

On suppose que $v=1.5 \text{ m/s}$ et on calcule D_{P-r} .

$$D_{P-r} = \sqrt{\frac{4.0.0026}{\pi.1.5}} = 46.97 \text{ mm}$$

On prend le diamètre normalisé ($D_{P-r}=75 \text{ mm}$), les pertes de charge de la rampe :

$$L_{pr}=188\text{m} \text{ Donc } \Delta H_{\text{Porte rampe}}=1.1.$$

On suppose que $v=1.5\text{m/s}$ et on calcule D_{P-r} .
on trouve :

$$V_{pr}= 0.58 \text{ m/s.}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau VI.2 :

Tableau VI.2: Calcul Récapitulatif réseau aspersion.

Conduites	Rampe	Porte Rampe	C.tertiaire
Longueur (m)	799	179	25
Diamètre (mm)	63	75	75
Débit (m ³ /s)	0.0026	0.0026	0.0026
Vitesse (m/s)	0.82	0.58	0.58
Perte de charge totale (m)	1.1	1.1	0.2

La perte de charge totale =2.4 m de perte de charge (<10%), la règle de Christiansen est vérifiée.

VI.4.5.Calcul de la pression en tête du réseau :

C'est la pression nécessaire pour le bon fonctionnement du dernier asperseur.

$$H=H_1+ H_2+ H_3$$

Avec :

- ✓ H: pression à la tête de la parcelle.
- ✓ H1: pression nécessaire pour le bon fonctionnement d'un asperseur (2.5bar).
- ✓ H2: perte de charge totale.
- ✓ H3: la dénivelée. (0 m. terrain relativement plat).

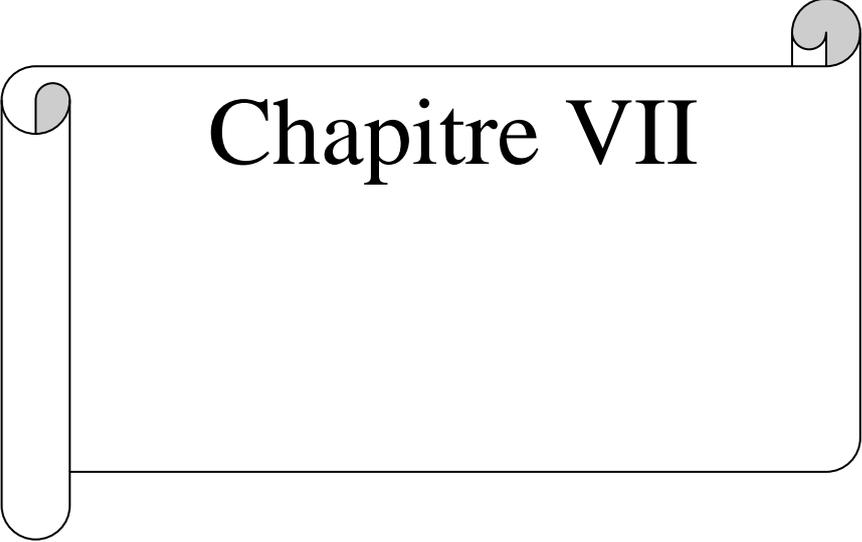
$$H=25+2.4+0=26.9 \text{ m}$$

Donc la pression =2.7bars ce qui est largement suffisant vu la pression aux bornes qui est de 5.3bars

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le dimensionnement d'un réseau goutte à goutte, pour le pommier et un réseau d'aspersion pour la culture de pomme de terre.

L'utilisation de ces systèmes a pour but d'économiser l'eau d'irrigation, et aussi d'améliorer les rendements des cultures, ce qui permettra d'intensifier les cultures dans la wilaya de Guelma.



Chapitre VII

Chapitre VII : Calcul technico-économique

VII.1. Introduction :

Pour finaliser un projet hydraulique il faut prendre en considération son estimation financière, ceci pour la bonne réalisation du projet et une gestion technico-économique rationnelle.

L'estimation financière d'un projet a lieu bien avant le lancement du projet et elle est étroitement liée à l'estimation des délais.

Dans ce chapitre nous allons quantifier l'ensemble des travaux à entreprendre, à savoir:

- Le système de pompage.
- Le réservoir de stockage.
- Le système d'adduction avec ses pièces spéciales.

VII.2. Le système de pompage :

Le système de pompage est composé de parties suivantes :

- Partie génie civil.
- Equipement hyromécanique (pompes, vanne...)
- Conduite de refoulement et bache d'aspiration.

Le détail estimatif des différentes composantes des travaux est présenté dans (Annexe4), avec répartition des travaux et des coûts.

L'estimation des coûts est récapitulée au Tableau .1.

Tableau VII.1: Prix du système de pompage.

Désignation des travaux	Montant
1-Déblais et remblais	110 400.0
2-Génie Civil : béton et coffrage	441 600.0
3-Equipements hydro-mécaniques : armoire électrique pompe, vanne, clapet etc	310 000.0
4- Bache d'aspiration	100 000.0
5- la conduite de refoulement	3 285 000.0
6-mur de clôture	63 000.0
Total HT	4 310 000.0
Total général	5 128 900.0

VII.3. Le réservoir de stockage :

Les travaux concernant le réservoir de stockage sont Terrassements, Bétons, maçonneries, matériaux et second œuvre.

Les dimensions de notre réservoir sont :

$$V=800\text{m}^3$$

$$H=4.5, \text{ et } D= 15\text{m}$$

Le détail estimatif des différentes composantes des travaux est présenté dans (Annexe 5) .

L'estimation des coûts est récapitulée au Tableau .2.

Tableau VII.2: Prix du réservoir de stockage.

Désignation des travaux	Montant
1-Terrassement	435 000.0
2-Béton et coffrage	667 170.0
3-Maçonneries- revêtements	640 000.0
4-Matériaux (acier)	20 000.0
5-Accessoires (portail métallique)	80 000.0
Total HT	1 842 170.0
Total général	2 192 182.0

VII.4. Travaux à entreprendre pour Le système d'adduction :

Lors d'une conception et pose de canalisation, on s'attachera à passer par trois opérations importantes pour construire un système d'adduction adéquat.

Les trois opérations sont les suivantes :

Le système d'adduction est constitué de :

- Conduite gravitaire (conduite principale)
- Conduites secondaires et accessoires
- Bornes d'irrigation

VII.4.1. Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution :**a) Exécution des tranchées :**

C'est une opération de terrassement dépend des caractéristiques du terrain l'excavation sera réalisée mécaniquement (pelle mécanique). La profondeur minimale de la tranchée à excaver est de 1 m, la largeur de la tranchée doit être telle qu'un homme puisse travailler sans difficulté et elle augmente avec les diamètres des conduites à mettre en place.

L'excavation des tranchées s'effectue par tronçon successive.

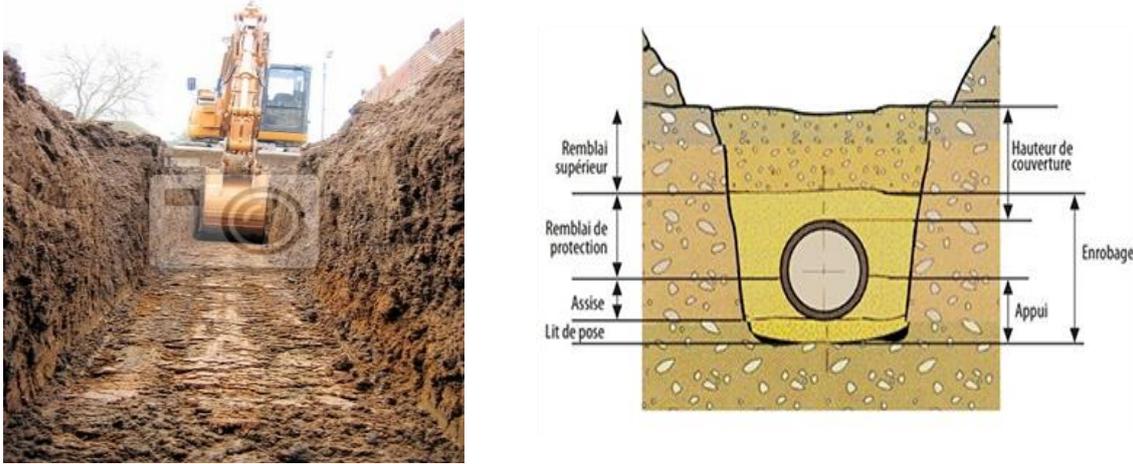


Figure VII.1: Le creusement d'une tranchée.

b) Pose du lit de sable :

Le lit de pose a pour fonction première d'assurer une répartition uniforme des charges sur la zone d'appui, il y a donc lieu de poser les tuyaux de manière à ce qu'il n'y ait ni appui linéaire, ni appui ponctuel.

Avant la pose des conduites on procède aux opérations suivantes :

- Eliminer les grosses pierres sur les talus de la tranchée ;
- Respecter les côtes du profil en long ;
- Nivelier soigneusement le fond de la tranchée ;
- Etablir une suite le fond de la fouille en confectionnant un lit de pose (Sable).

Dans notre cas on a une épaisseur de 20 cm.



Figure VII.2: Pose du lit de sable.

c) Pose des conduites

La mise en place des conduites répond aux opérations suivantes :

- Les éléments sont posés à partir de l'aval et l'emboîture des tuyaux est dirigée vers l'amont ;
- Chaque élément doit être posé avec précaution dans la tranchée et présenté dans l'axe de l'élément précédemment posé ;
- Réaliser un fond de fouille bien rectiligne pour que les tuyaux y reposent sur toute leur longueur et éliminer les grosses pierres sur les talus de la tranchée ;
- Creuser le fond de fouille à côté de l'emboîtement de façon à éviter que celui-ci ne se pose pas sur le sol ;
- Réaliser si possible un appui de manière à ce que le tuyau repose sur un arc égal au moins au quart de sa circonférence extérieure.

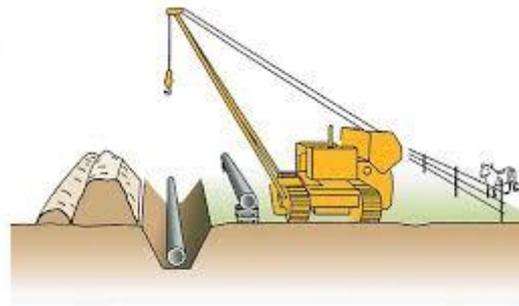


Figure VII.3: Pose des conduites.

d) Epreuve de joint et de la canalisation :

Pour plus de sécurité, l'essai de pression des conduites et des joints se fait avant le remblaiement, on l'effectue à l'aide d'une pompe d'essai qui consiste au remplissage en eau de la conduite sous une pression de 1.8 fois la pression de servie à laquelle sera soumise la conduite lors du fonctionnement. Cette épreuve doit durer 30 minutes environ ou la variation ne doit pas excéder 0.2 bar.

e) Remblayage des tranchées

L'opération de remblayage consiste à enterrer la conduite en utilisant le remblai résultant de l'excavation.

f) Nivellement et compactage

Le nivellement consiste à étaler les terres en monticule, ensuite on procède au compactage afin d'augmenter la densité des terres et éviter le tassement.

VII.5. Frais des travaux sur réseau d'irrigation :

Il s'agit des frais des travaux exécutés pour la réalisation des tranchées et autres emplacements pour la pose de canalisations :

VII.5.1. Calcul des volumes de remblai et de déblai :**✓La longueur du fond de tranchée :**

La longueur d'ouverture de tranchée est donnée par la formule suivante :

$$B=D+(2\times 0.3) ;$$

Avec : D : le diamètre de la conduite en (m).

✓Profondeur de la tranchée :

La profondeur de la conduite doit être correctement installée.

$$H=D+0.8+e ;$$

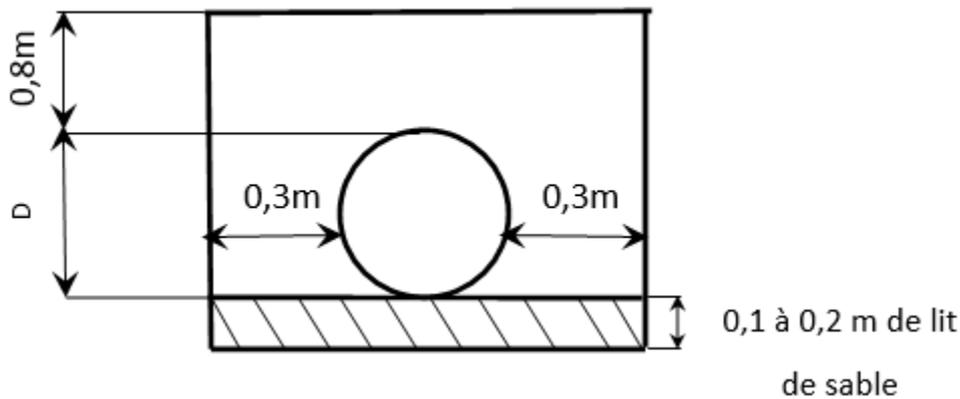


Figure VII.4 : Disposition de la conduite dans une tranchée.

✓Volume de remblai :

On s'intéresse à une surface rectangulaire :

$$S=B\times H.$$

$$V_{\text{remblai}}=V_d-V_c-V_s;$$

V_d : volume de déblai (m^3) ;

V_s : volume du sable (m^3) ;

V_c : volume occupé par la conduite (m^3).

✓ **Volume de la conduite :**

$$V_c = L \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right)$$

✓ **Volume du déblai :**

$$S = B \times H.$$

$$B = d + 0.6$$

$$H = 0.8 + d + e$$

$$V_d = S \times L$$

✓ **Volume de lit du sable :**

Ce lit correspond à une couche de sable de 12 cm sur le fond de la tranchée.

$$V_s = e \times B \times L ;$$

Le calcul des volumes de déblais, de sable, et de remblais du réseau de distribution est présenté dans le tableau VII.3 :

Tableau VII.3: Calcul des différents volumes

D(mm)	Hauteur(m)	Longueur(m)	Largeur(m)	V déblai(m3)	V sable	V con	V remblai
Conduite de refoulement							
Ø600 Fonte	1.75	5475	6.6	10512	2365.2	1547.235	6599.565
Conduite gravitaire							
Ø500 Fonte	1.65	2862	6.6	4722.3	1030.32	561.6675	3130.3125
Conduite de distribution							
Ø75 PEHD	1.22	227	1.35	164.716875	12.258	1.002346	151.45652
Ø90 PEHD	1.24	1154	1.5	867.9234	74.7792	7.337709	785.80649
Ø 110 PEHD	1.26	1592	1.7	1254.6552	126.086	15.12161	1113.4471
Ø 125 PEHD	1.275	1396	1.85	1528.48125	168.66	22.98578	1336.8354
Ø 160 PEHD	1.31	1874	2.2	1230.7136	160.819	28.05401	1041.8403
Ø 200 PEHD	1.35	139	2.6	133.44	20.016	4.3646	109.0594
Ø 400 PEHD	1.55	708	4.85	991.2	203.904	88.9248	698.3712
SOMME				21405.4303	4162.04	2276.693	14966.694

VII.5.2. Estimation du cout des travaux du réseau d'adduction :**Tableau VII.4** Estimation Cout du réseau de distribution :

Conduites	Type de conduite	Unités de mesure	Quantité (m)	Prix unitaire (DA/m)	Montant (DA)
Ø 75	PEHD	ml	227	540.0	122 580.0
Ø 90	PEHD	ml	1154	610.0	703 940.0
Ø 110	PEHD	ml	1592	721.9	1 149 264.8
Ø 125	PEHD	ml	1396	934.9	1 305 120.4
Ø 160	PEHD	ml	1874	2100.4	3 936 149.6
Ø 200	PEHD	ml	139	2390.9	332 335.1
Ø 315	PEHD	ml	708	5880.9	4 163 677.2
Ø 500	FONTE	ml	2325	11000.8	25 576 860.0
Total (HT)					37 289 927.1
Total (TTC)					44 375 013.25

VII.5.3: Estimation du cout des bornes d'irrigation :**Tableau VII.5 :** Estimation Cout des bornes ainsi équipements de protection du réseau :

	Unité de mesure	Quantité	Prixunitaire (DA)	Montant (DA)
Les bornes d'irrigation	U	26	120 000	3 120 000.0
Ventouses Ø80	U	1	29000	29 000.0
Vidange Ø100	U	1	16000	16 000.0
Vanne Ø350	U	4	11000	44 000.0
Vanne Ø160	U	6	10000	60 000.0
Vanne Ø110	U	5	9000	45 000.0
Total (HT)				3 314 000.0
Total (TTC)				3 943 660.0

Tableau VII.6. Coût des travaux de terrassement.

Volumes	Unité de mesure	Quantités	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai	m3	21405.4303	400	8562172.13
Pose du lit de sable	m3	4162.04	2500	10405107
Remblai de la tranchée	m3	14966.694	600	8980016.5
Total (HT)				27947295.6
Total (TTC)				33257281.8

VII.6. Le devis des travaux :

Le devis total des travaux est détaillé dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII.7 : Devis estimatif total.

Travaux	Montant (DA)
Système de pompage	5 128 900.0
Conduite de refoulement et conduite gravitaire	33257281.8
Réservoir de stockage	2 192 182.3
Bornes	3 943 660.0
Adduction : Conduites et P. spéciales	44 375 013.25
Montant TTC	88897037.35

VII.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé l'estimation des couts des travaux nécessaires à la réalisation d'un projet d'aménagement hydro-agricole.

Au final, nous avons calculé le volume des travaux de terrassement de la station de pompage, du réseau d'adduction ainsi de distribution. Nous avons défini les étapes nécessaires pour la pose des canalisations d'un réseau d'irrigation, puis on a calculé les volumes de terrassement.

Enfin on a estimé que le cout du projet est de **88897037.35 DA**, soit un cout spécifique de **350000da/ha**.

Conclusion générale

L'objectif de cette étude est l'aménagement hydro-agricole du périmètre de Khezzara situé dans la wilaya de Guelma et qui présente une superficie totale de 270 ha, avec des potentialités agricoles importantes.

Au terme de ce travail, nous avons constaté que le périmètre d'étude est caractérisé par un climat aride avec un été chaud et sec, et un hiver froid.

En ce qui concerne la pédologie, elle convient à la majorité de cultures sans restriction majeures, quant à l'irrigation elle sera assurée à partir d'un pompage des eaux de l'oued Seybouse.

Dans le cadre d'assurer la quantité d'eau adéquate durant toute la période végétative, nous avons calculé les besoins en eau des différentes cultures et estimé le volume nécessaire du périmètre de Khezzara. Nous avons ensuite dimensionné le système de pompage, et projeté un réservoir de stockage pour assurer des pressions acceptables au niveau de chaque borne d'irrigation, ces dernières vont alimenter les différentes parcelles.

Pour ce qui est des techniques d'arrosage, nous avons opté pour des techniques modernes telles que le goutte à goutte et l'aspersion.

Enfin, nous espérons avoir contribué à l'amélioration de la gestion de ce périmètre afin d'augmenter sa rentabilité, et qui aurait un impact positif sur l'agriculture et l'économie de la wilaya de Guelma.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1-ANRH Alger. Les données pluviométriques.
- 2-Doorenbos et puill, (1976). Directives pour la prévision des besoins en eau des cultures. Document d'irrigation et de drainage n ° 24, FAO, Rome.
- 3-FAO N°24. Les besoins en eau des cultures. Bull FAO n° 24. 1975 (A C* E F).
- 4-Gobat et al ,1998. Gobat, J.M., & Matthey , W.1998. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols.
- 5-ONM Alger. les données climatiques.
- 6-Tiercelin, 1998. Traité d'irrigation, Lavoisier tec & doc, paris .1011p.

- 7-Touibia, B, (2004). Manuel pratique d'hydrologie. Presse Madani Frères. Blida. Algérie.

Les abréviations

ANRH Alger : Agence Nationale des ressources Hydraulique.
ONM Alger : Office Nationale de la Météorologie.

Annexe

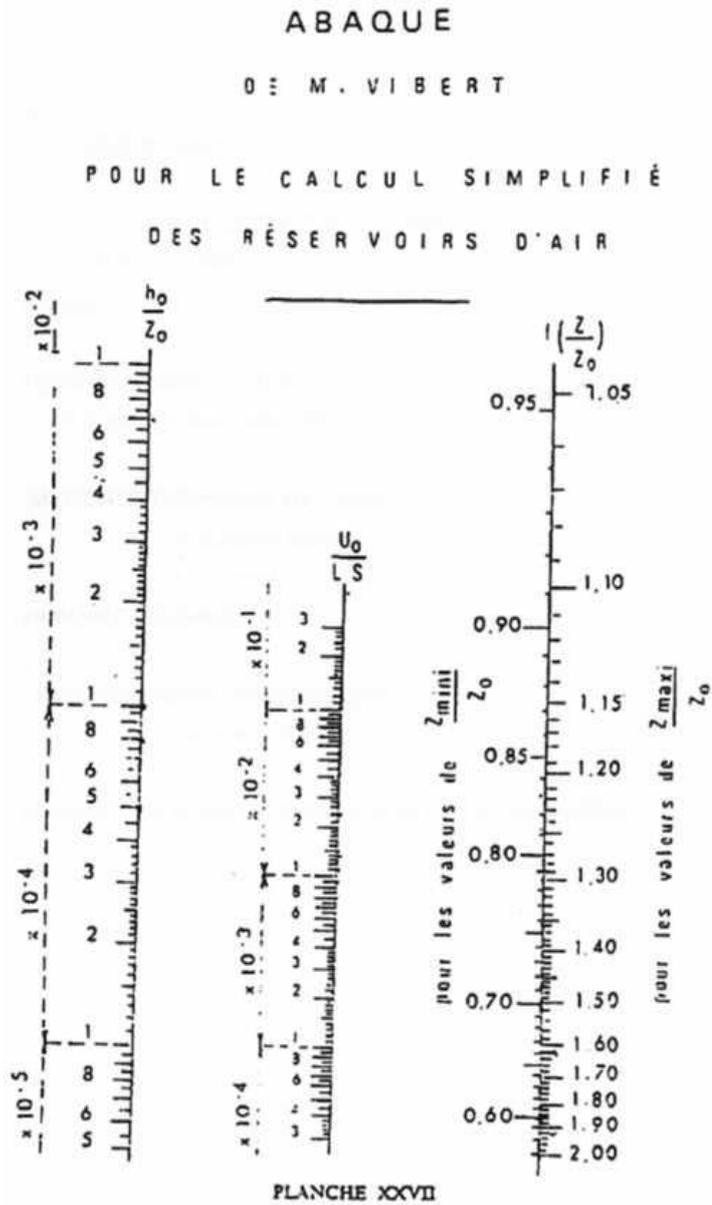
ANNEXE

Annexe 1

Table de χ^2 théorique

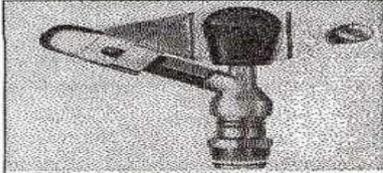
$\alpha \backslash \gamma$	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	6.346	8.383	9.83	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877

Annexe 2
Abaque de vibert



Annexe 3

Caractéristiques de l'asperseur circulaire PERROT ZF 30



Caractéristiques de l'asperseur circulaire PERROT ZF 30

1 buse
angle de jet 30°
Raccord fileté 1"

Ø de la buse mm	pression à la buse bar	portée m	débit m³/h	espacement m		surface irriguée m²		densité d'aspersion mm/h	
				□ disp.	△ disp.	□ disp.	△ disp.	□ disp.	△ disp.
4,0	2,5	13	0,93	12/18	18/18	216	324	4,3	2,88
	3,0	14,5	1,02	18/18	18/24	324	432	3,16	2,36
	4,0	16	1,19	18/18	18/24	324	432	3,42	2,57
4,2	2,5	13,5	1,04	12/18	18/24	324	432	4,8	2,42
	3,0	15	1,14	18/18	18/24	324	432	3,52	2,64
	4,0	16,5	1,23	18/18	18/24	324	432	3,8	2,85
4,5	2,5	14	1,20	18/18	18/24	432	432	3,71	2,78
	3,0	15,5	1,32	18/18	18/24	324	432	4,07	3,05
	4,0	17	1,42	18/18	18/24	324	432	4,38	3,29
4,8	2,5	14,5	1,38	18/18	18/24	432	432	3,52	2,64
	3,0	16	1,51	18/18	18/24	324	432	4,66	3,5
	4,0	17	1,63	18/24	24/24	324	576	3,78	2,82
5,0	2,5	14,5	1,48	18/18	18/24	432	432	4,57	3,43
	3,0	16,5	1,63	18/18	18/24	432	432	5,04	3,77
	4,0	17,5	1,76	18/24	24/24	324	576	4,08	3,05
5,5	2,5	15,2	1,62	18/18	18/24	432	432	4,35	3,26
	3,0	17	1,89	18/24	24/24	432	576	5,62	4,22
	4,0	17,5	2,14	18/24	24/24	324	576	4,95	3,71
6,0	2,5	16,2	2,29	18/24	24/24	432	576	5,31	3,98
	3,0	17,5	2,37	18/24	24/24	432	576	5,00	3,75
	3,5	18	2,56	18/24	24/24	432	576	5,92	4,43
7,0	4,0	19,5	2,74	18/24	24/24	432	576	6,35	4,76
	2,5	17,5	2,98	18/24	24/24	432	576	6,9	5,1
	3,0	18,0	3,22	18/24	24/24	432	576	7,5	5,6
	3,5	19,0	3,48	24/24	24/24	576	576	8,0	6,0
	4,0	19,0	3,73	24/24	24/30	576	720	6,5	4,7

Figure IV.48 : fiche technique d'un arroseur

- Débit de l'asperseur

On le calcule par la relation (IV.9)

Annexe

Annexe 4

Le détail estimatif des différentes composantes des travaux du système de pompage

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (da)
déblai	m ³	120.00	600.00	72000.00
remblais	m ³	64.00	600.00	38400.00
béton	m ³	320.00	1200.00	384000.00
coffrage	m ³	96.00	600.00	57600.00
Armoire él	U	1.00	100000.00	100000.00
pompe	U	5.00	20000.00	100000.00
vanne	U	2.00	50000.00	100000.00
clapet	U	1.00	10000.00	10000.00
Bache d'asp	U	1.00	100000.00	100000.00
La conduite R	MI	5475.00	600.00	3285000.00
Mur de clot	MI	90.00	700.00	63000.00
Total (HT)	da			4310000.00
TVA (19%)	da			818900.00
Total (TTC)	da			5128900.00

Annexe 5

Le détail estimatif des différentes composantes des travaux du réservoir (800m³)

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (da)
Décapage	m ³	300.00	250.00	75000.00
Déblai	m ³	350.00	600.00	210000.00
Remblai	m ³	250.00	600.00	150000.00
Béton	m ³	450.00	1200.00	540000.00
coffrage	m ³	211.95	600.00	127170.00
Maçonneri	brique	30000.00	18.00	540000.00
matériaux	m ³	200.00	100.00	20000.00
Portail m	U	1.00	80000.00	80000.00
revêtement	m ²	50.00	2000.00	100000.00
Total (HT)	da			1842170.00
TVA (19%)	da			350012.30