

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'IRRIGATION ET DRAINAGE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME

**Étude du périmètre d'irrigation Kramis (secteur Est)
à partir du barrage de KRAMIS
(Wilaya de Mostaganem)**

Présenté par

M^{elle} IDIR Naima

Devant les membres du jury

Nom et prénom	Grade	Qualité
M^r RASSOUL Abdelaziz	M.C.A	Président
M^{me} AZIEZ Wahiba	M.A.A	Examinatrice
M^r YAHIAOUI Samir	M.A.A	Examineur
M^r KERID Rachid	M.A.A	Examineur
M^r BENKACI Tarik	M.C.B	Promoteur

2017

Remerciements

Je remercie Dieu qui m'a donné le courage d'achever ce modeste travail.

*Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont apporté un soutien
pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*

*Mes plus vifs remerciements vont à mon promoteur M^r BENKACI pour
ses efforts afin de mener ce travail à terme.*

*Je remercie également le président et les membres du jury qui me feront
L'honneur de juger mon travail.*

*Je tiens à présenter par l'occasion mes respects à tous les enseignants qui
ont contribué à ma formation.*

*Enfin, à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin je leurs dis
merci.*

Naima IDIR

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma famille et à mes amis

Naima IDIR

ملخص:

الهدف من إنجاز هذه المذكرة هو تحديد أبعاد شبكة تزويد وتوزيع المياه على مستوى المنطقة الزراعية "أولاد بوغاليم" الواقعة في ولاية مستغانم، التي تمتد على مساحة قدرها 380 هكتارا انطلاقا من سد "كراميس". يتضمن هذا المشروع دراسة شاملة للمنطقة من حيث المناخ ونوعية التربة إضافة إلى الموارد المائية، بغرض تقييم حاجياتها من المياه، وذلك بغية تحديد وتصميم نظام الري المناسب. نظرا لأهمية المحافظة على الثروة المائية لرفع المردودية وعصرنة الزراعة، تم اعتماد خلال هذه المذكرة أنظمة ري اقتصادية وفعالة، مثل الري عن طريق الرش والري بالتنقيط.

Résumé :

Le but de ce travail est l'étude d'un réseau d'irrigation au niveau du périmètre d'Ouled Boughalem situé dans la wilaya de Mostaganem qui s'étend sur une superficie de 380 ha, à partir du barrage de Kramis. Ce projet comprend une étude détaillée de la région (climatologique, pédologique et ressources en eau) pour estimer les besoins des cultures afin de concevoir un réseau d'irrigation adéquat. La préservation de la ressource en eau est une nécessité pour le développement de l'agriculture qui assure des rendements meilleurs et de ce fait des systèmes d'irrigation économiques et efficaces tels que l'aspersion et le goutte à goutte ont été utilisés dans ce mémoire.

Abstract :

The aim of this work is to dimension the agricultural perimeter of Ouled Boughalem irrigation network, which is situated in the Wilaya of Mostaganem and extends over a surface of 380ha, from the dam of "Kramis". The project is based on a general study of the area such as: climate, soil nature, water resources, to estimate the water requirements to dimension the suitable irrigation system. The preservation of water resources is essential to modernize agriculture and allow crop intensification; for this, efficient irrigation systems such as drip irrigation and spray irrigation are adopted in this work.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	1
Remerciements.....	
Dédicaces.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Introduction générale	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
I.1 Introduction	3
I.2 Présentation de la wilaya de Mostaganem	3
I.2.1 Situation géographique.....	3
I.2.2 Situation démographique	3
I.3 Présentation de la zone d'étude [08].....	4
I.3.1 Périmètre de Kramis - Secteur Ouled Boughalem.....	4
I.3.2 Contexte géologique	5
I.3.3 Relief et géomorphologie.....	5
I.3.4 Réseau hydrographique	5
I.3.5 Conditions climatiques.....	6
I.3.5.1 Pluviométrie	6
I.3.5.2 Températures de l'air	7
I.3.5.3 Humidité de l'air.....	7
I.3.5.4 Le vent	8
I.3.5.5 L'insolation	9
I.4. Indices Agro-météorologiques.....	10
I.5 Etude socio-économique.....	13
I.6 Conclusion	15
CHAPITRE II : RESSOURCES EN SOL - RESSOURCES EN EAU	16
II.1 Introduction	16
II.2 Ressources en sol	16
II.2.1 Carte des sols d'Algérie de la plaine de Chélif	16
II.2.2 Classification de sol suivant les analyses des échantillons du sol	18
II.2.2.1 Sols fersiallitiques	18
II.2.2.2 Caractéristiques morphologiques et analytiques des sols fersiallitique	19
II.2.3 Analyse physico-chimique des sols.....	19
II.2.4 Caractéristiques hydrodynamiques des sols du secteur d'Ouled Boughalem.....	21
II.2.5 Caractéristiques des ressources en sol : Aptitudes culturales des sols.....	23
II.2.6 Détermination des aptitudes culturales des sols	24
II.2.7 Etude foncière	25
II.3 Ressources en eau- Hydrologie.....	26
II.3.1 Analyse hydrologique	26
II.3.2 Etude de la qualité de l'eau d'irrigation	27
II.3.4 Hydrologie	32
II.4 Détermination de l'année de calcul	38
II.4. Conclusion.....	39
CHAPITRE III : BESOINS EN EAU DES CULTURES.....	40
III.1 Introduction	40
III.2 Besoins en eau des cultures	40
III.2.1 Calcul de l'évapotranspiration.....	40
III.2.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle de référence (ET _o)	40
III.2.3 Calcul de l'évapotranspiration maximale ETM.....	42
III.2.4 Coefficients culturaux (K _c)	43
III.3 Besoins en eau d'irrigation	43
III.3.1 Calcul de la pluie efficace [1].....	43
III.3.2 Choix des cultures.....	44
III.2.3 Cycle végétatif des cultures.....	46
III.4 Calcul des besoins en eau des cultures	47
III.5.1 Calcul du débit spécifique [3]	55

III.5.2 Evaluation du débit caractéristique	55
III.5.3 Estimation des volumes d'eau d'irrigation	56
III.6 Conclusion.....	56
CHAPITRE IV : ETUDE DU SYSTEME D'ADDUCTION.....	57
IV.1 Introduction.....	57
IV.2 Alimentation en eau du périmètre	57
IV.3 Organisation du périmètre	57
IV.3.1 Ilots et bornes d'irrigation	57
IV.3.2 Rôle et fonction de la borne d'irrigation	57
IV.3.3. Implantation des bornes	58
IV.3.4. Calcul du débit aux bornes.....	58
IV.3.5 Choix du diamètre et du type des bornes	58
IV.4. Description de l'aménagement du périmètre	60
IV.4.1 Schéma général et fonctions du réseau :	60
IV.4.2 Choix de la variante d'aménagement.....	61
IV.5 Calculs hydrauliques du système d'adduction	61
IV.5.1 Etude du système de pompage.....	62
IV.5.1.1 Les pompes :	62
IV.5.1.2 Détermination de la hauteur d'élévation calculée :	62
IV.5.1.3 Hauteur manométrique totale	63
IV.5.1.4 Calcul des pertes de charge totales	63
IV.5.1.6 Choix des pompes et nombre des pompes	66
IV.5.1.7 Protection contre de la cavitation	68
IV.5.2 Dimensionnement du Réservoir de stockage (Bassin) :	69
IV.5.3 La desserte gravitaire :.....	70
IV.5.3.1 Tracé du réseau de distribution :.....	70
IV.5.3.2 Choix des matériaux des canalisations.....	70
IV.5.3.3 Dimensionnement hydraulique des canalisations.....	71
Conclusion	85
CHAPITRE V : Dimensionnement à la parcelle	86
V.1 Introduction.....	86
V.2 Choix des techniques d'irrigation	86
V.2.1 Différentes techniques d'arrosages	86
V.2.1.1 Irrigation gravitaire.....	86
V.2.1.2 Irrigation par aspersion.....	88
V.2.1.3. Irrigation localisée (Goutte à goutte)	89
V.3 Choix de la technique d'arrosage	91
V.4. Dimensionnement d'un réseau d'irrigation Goutte à goutte	92
V.4.1 Données générales	92
V.4.2 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée.....	92
V.5 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion	99
V.5.1 Données générales	99
V.5.2 Dimensionnement théorique.....	100
V.5.3 Dimensionnement hydrauliques des rampes	104
V.5.4 Calcul de la pression en tête du réseau.....	106
V.6 Conclusion	107
CHAPITRE VI : CALCUL TECHNICO-ECONOMIQUE	108
VI.1 Introduction.....	108
VI.2 Différents travaux à entreprendre.....	108
VI.3 Facture des différents types de conduites du réseau de distribution.....	109
VI.4 Frais des travaux sur réseau d'irrigation.....	111
VI.5 Conclusion	113
Conclusion Générale.....	114
Référence Bibliographiques.....	
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I.1 : Allocations initiales et superficies nettes et brutes par secteur à aménager.....	4
Tableau I.2 : Pluviométrie de la zone du périmètre.....	6
Tableau I.3 : Valeurs moyennes de température de l'air (°C)	7
Tableau I.4 : Humidité relative de l'air en (%).....	8
Tableau I.5 : Valeurs moyennes de la vitesse du vent.....	8
Tableau I.6 : Valeurs moyennes des durées d'insolation journalières en Heure/jour.....	9
Tableau I.7 : Classification du climat selon Martonne	10
Tableau I.8 : Répartition des terres de la commune	14
Tableau I.9 : Types de cultures répondues dans la commune.....	15
Tableau I.10 : Répartition des terres selon la propriété.....	15
Tableau II.1 : Analyse des profils étudiés au laboratoire.....	20
Tableau II.2 : Analyse des paramètres hydrodynamiques.....	22
Tableau II.4 : Clef de classement des aptitudes des terres à l'irrigation.....	23
Tableau II.5 : Répartition générale des terres selon le statut juridique pour tout le périmètre.....	25
Tableau II.6 : Caractéristiques hydrauliques du barrage.....	27
Tableau II.7 : Secteurs irrigués à partir du barrage de kramis.....	27
Tableau II.8 : Qualité de l'eau brute de l'Oued Kramis.....	28
Tableau II.9 : Valeurs des cations.....	30
Tableau II.10 : Répartition des précipitations moyenne mensuelle (mm)	33
Tableau II.11 : Caractéristiques de la série pluviométrique.....	34
Tableau II.12 : Résultats du Test de Mood.....	35
Tableau II.13 : Test de validité des deux ajustements.....	39
Tableau II.14 : Quantiles de pluies de la station de Mostaganem (Loi log normale).....	39
Tableau II.15 : Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%).....	40
Tableau III.1 : Calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de CROPWAT 8.0	43
Tableau III.2 : Précipitation efficace dans la zone d'étude.....	44
Tableau III.3 : Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre.....	45
Tableau III.4 : Occupation de sol en fonction des cultures.....	46
Tableau III.5 : Assolements proposés.....	47
Tableau III.6 : Cycle végétatif des cultures.....	48
Tableau III.7 : Calcul des besoins en eau du Blé.....	48
Tableau III.8 : Calcul des besoins en eau de l'orge grain.....	49
Tableau III.9 : Calcul des besoins en eau de la pomme de terre (saison)	49
Tableau III.10 : Calcul des besoins en eau de l'Ail /oignon.	49
Tableau III.11 : Calcul des besoins en eau du concombre.....	50
Tableau III.12 : Calcul des besoins en eau du chou.....	50
Tableau III.13 : Calcul des besoins en eau du poivron.	50
Tableau III.14 : Calcul des besoins en eau de la luzerne.....	51
Tableau III.15 : Calcul des besoins en eau du blé.....	51
Tableau III.16 : Calcul des besoins en eau de la tomate.	51
Tableau III.17 : Calcul des besoins en eau de l'Oignon/ail.....	52
Tableau III.18 : Calcul des besoins en eau de l'haricot.	52
Tableau III.19 : Calcul des besoins en eau des petits pois.....	52
Tableau III.20 : Calcul des besoins en eau de la carotte.....	53
Tableau III.21 : Calcul des besoins en eau de la betterave.....	53
Tableau III.22 : Calcul des besoins en eau de l'orge en vert.....	53
Tableau III.23 : Calcul des besoins en eau de l'olivier.....	54
Tableau III.24 : Calcul des besoins en eau du pêcher.....	54
Tableau III.25 : Calcul des besoins en eau de la vigne	54
Tableau III.26 : Récapitulatif des besoins pour l'assolement 1	55
Tableau III.27 : Récapitulatif des besoins pour l'assolement II.....	55

Tableau III.28 :	Besoins en eau totaux de l'assolement II.....	57
Tableau IV.1 :	Type de bornes en fonction de superficies des ilots.....	60
Tableau IV.2 :	Calcul des débits des ilots et choix du type de bornes.....	60
Tableau IV.2 :	Calcul du bilan total.....	67
Tableau IV.3 :	Choix de Nombre de pompes.....	68
Tableau IV.4 :	Variantes pour le choix du nombre de pompes.....	68
Tableau IV.5 :	Paramètres de pertes de charge de la loi de Lechapt-Calmon.....	73
Tableau IV.6 :	Calculs hydrauliques du réseau de distribution.....	74
Tableau IV.6 :	Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)	74
Tableau IV.6 :	Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)	74
Tableau IV.6 :	Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)	74
Tableau IV.6 :	Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)	74
Tableau IV.6 :	Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite et fin)	74
Tableau V.1 :	Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage.....	74
Tableau V.2 :	Calcul de Diamètre de la rampe.....	92
Tableau V.3 :	Calcul de Diamètre de la porte rampe.....	99
Tableau V.4 :	Calcul de diamètre des conduites tertiaires.....	99
Tableau V.5 :	Récapitulatif des calculs hydrauliques.....	100
Tableau V.6 :	Résultat de calcul pratique d'aspersion.....	107
Tableau VI.1 :	Facture des différents types de conduites du réseau de distribution.....	110
Tableau VI.2 :	Fourniture de pose de pièces spéciales.....	111
Tableau VI.3 :	Quantité des travaux de terrassement.....	113
Tableau VI.4 :	Coût des travaux de terrassement.....	113

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure I.1 : Localisation de la wilaya de Mostaganem.....	3
Figure I.2 : Localisation de la commune d'Ouled Boughalem dans la wilaya de Mostaganem.....	4
Figure I.3 : Réseau hydrographique du Cheliff.....	6
Figure I.4 : Répartition des températures maximale, minimale et moyenne.....	7
Figure I.5 : Evolution de l'humidité Relative de l'air.....	8
Figure I.6 : Variation de la vitesse du vent.....	9
Figure I.7 : Valeurs moyennes du nombre d'heures d'insolation journalière.....	10
Figure I.8 : Diagramme bioclimatique d'Emberger.....	12
Figure I.9 : Climogramme de Gaussen.....	12
Figure I.10 : Pyramide des âges de la wilaya.....	13
Figure I.11 : Répartition des secteurs d'activité.....	14
Figure II.1 : Carte des sols d'Algérie de la plaine de Chélif (Source ANRH d'Alger).....	17
Figure II.2 : Classification des eaux du barrage de Kramis selon le diagramme de Riverside.....	31
Figure II.3 : Ajustement des pluies annuelles aux lois : normale (à droite) et log-normale (à gauche).....	37
Figure IV.1 : Graphe du bilan en fonction diamètre.....	67
Figure IV.2 : Courbe caractéristique de la pompe.....	69
Figure V.1 : Irrigation gravitaire.....	88
Figure V.2 : Irrigation par aspersion.....	89
Figure V.3 : Irrigation par goutte à goutte.....	91
Figure V.4 : Dispositifs d'installation des goutteurs sur la rampe.....	94
Figure V.5 : Dispositifs d'installation des asperseurs sur la rampe.....	105
Figure VI.1 : Disposition de la conduite dans une tranchée.....	113

Introduction générale

Les ressources en eau dans le monde sont estimées à 1.400 millions de Km³, dont 97.5% des eaux sont salées (Océans et mers). L'eau douce dans le monde ne représente que 2.5% 09 pays se partagent près de 60% des ressources mondiales ; 80 pays avec 40% de la population mondiale souffrent de stress hydrique ; 70% de la consommation mondiale va à l'agriculture.

Le recours à l'irrigation est dans la plupart des cas nécessaire pour garantir le maintien d'une production suffisante dans de nombreuses régions du monde afin de se prémunir contre les aléas climatiques et sécuriser la production. L'utilisation rationnelle de l'eau en agriculture implique la connaissance des besoins en eau des cultures à travers la bonne évaluation des paramètres régissant les conditions du milieu et ceci en fonction des paramètres climatiques, édaphiques, culturales et autres liés à la parcelle.

L'agriculture irriguée doit produire plus de nourriture pour répondre à la croissance des besoins mais en utilisant moins d'eau, d'énergie et de capitaux.

Le périmètre d'irrigation d'Ouled Boughalem situé dans la wilaya de Mostaganem connaît des baisses de rendements remarquables au cours de ces dernières années à cause de l'effet combiné des changements climatiques induisant la rareté de la ressource en eau mobilisable d'une part ; et l'usage de systèmes d'irrigation archaïques et peu adéquats. Ce qui exige le recours à des solutions concrètes et rationnelles en vue de remédier à cette problématique.

Notre sujet d'étude rentre dans ce contexte, il vise à mobiliser l'eau du barrage de Kramis qui va permettre la mise en place d'un système d'adduction et de distribution en introduisant des systèmes d'irrigation modernes et performants tels que l'aspersion et le goutte à goutte.

Dans ce mémoire, on propose de dimensionner le réseau d'irrigation du périmètre de Ouled Boughalem, qui est caractérisé par une agriculture extensive, et de remplacer les systèmes d'irrigation classiques (système gravitaire), par des systèmes modernes afin d'économiser les ressources en eau et d'augmenter ainsi les rendements des cultures mises en place.

Pour bien mener cette étude, nous avons scindé notre travail en six chapitres à savoir :

Le premier chapitre qui est une description de la zone d'étude ensuite dans le deuxième chapitre il a été question de détailler l'ensemble des différentes ressources en sol et en eau disponibles.

Viens alors le troisième chapitre ou on a calculé les besoins en eau des cultures ce qui va nous aider à dimensionner le système d'adduction dans le quatrième chapitre.

INTRODUCTION GENERALE

Par la suite on est passé au choix et dimensionnement du système d'irrigation qui nous convient.

Enfin pour terminer une estimation du cout du projet a été faite.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**I.1 Introduction**

La connaissance des différentes conditions géographique, démographique, géologique, et climatologique de la zone d'étude relève d'une grande importance puisque cela est directement lié aux choix à entreprendre par la suite. C'est l'objectif de ce premier chapitre.

I.2 Présentation de la wilaya de Mostaganem**I.2.1 Situation géographique [10]**

La ville de Mostaganem est une wilaya côtière située au Nord-Ouest du pays, à 363 km à l'ouest d'Alger, d'une superficie totale de 2269 km² et dotée d'un littoral d'une longueur de 124 km. Elle est limitée par :

- Au Nord, par la méditerranée.
- A l'Ouest, par la wilaya d'Oran.
- A l'Est, par la wilaya de Chlef.
- Au Sud, par les wilayas de Mascara et Relizane.

I.2.2 Situation démographique [10]

Selon le recensement de 2008 le nombre d'habitants de la wilaya a atteint les 737 118 Hab, avec une densité moyenne de 325 hab/Km².

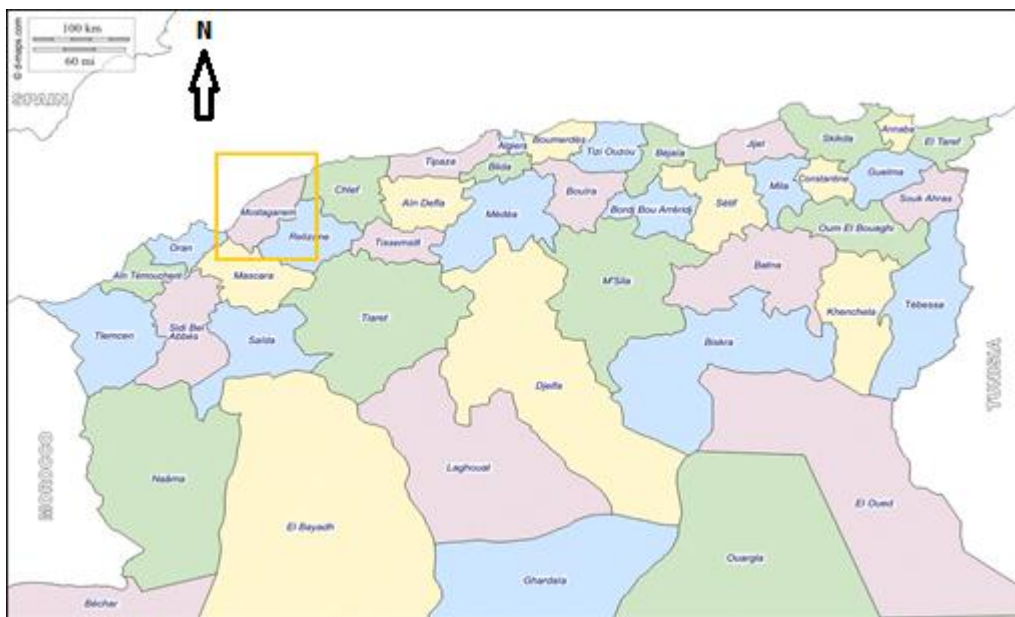


Figure I.1 : Localisation de la wilaya de Mostaganem

I.3 Présentation de la zone d'étude [08]

I.3.1 Périmètre de Kramis - Secteur Ouled Boughalem

Le périmètre en question se trouve au Nord du site du barrage de Kramis de part et d'autre de la route nationale N° 11, à une distance moyenne d'environ 60 km de la ville de Mostaganem.

Le périmètre est divisé en plusieurs secteurs comme l'illustre le tableau suivant :

Tableau I.1 : Allocations initiales et superficies nettes et brutes par secteur à aménager [2].

Secteur	Superficie brute (ha)	Superficie nette (ha)	Allocation brute totale m3/an
Ouled Boughalem	420	380	1 881 000
Vallée du Kramis	700	630	3 118 500
Khadhra	2.600	2.340	11 583 000
Sidi Lakhdar	620	560	2 772 000
TOTAL compact	4.340	3.910	19.354.500
Achâacha	800	400	1.200.000
Neffaisia haut	55	50	100.000
TOTAL DE L'AMENAGEMENT	5.195	4.360	20.654.500

Notre étude sera basée sur le secteur Nord « Ouled Boughalem », d'une superficie de 420 ha. La commune d'Ouled Boughalem est une commune côtière située à 80km à l'Est de la ville de Mostaganem dans le Dahra sur la côte méditerranéenne, ayant une superficie de 44 Km² et une densité de 313 hab/Km² pour un nombre d'habitant total de 13 761 hab.

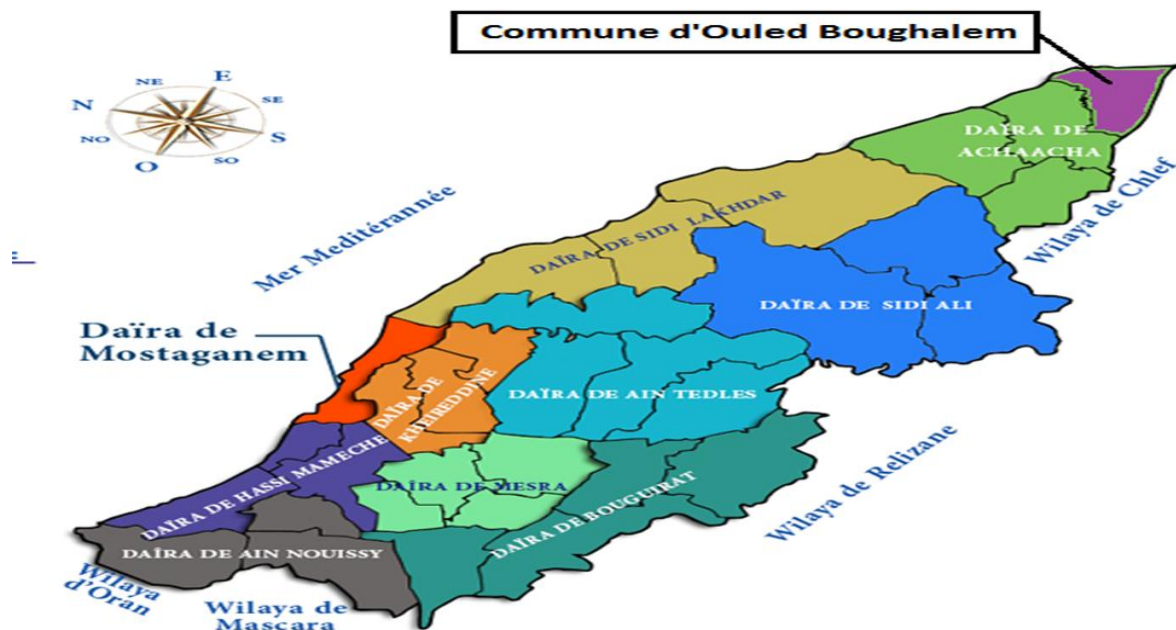


Figure I.2 : Localisation de la commune d'Ouled Boughalem dans la wilaya de Mostaganem [2].

I.3.2 Contexte géologique [2]

Sur le plan géologique, les terrains en affleurement identifiés dans notre zone d'étude manifestent des âges qui s'étalent du tertiaire jusqu'au quaternaire récent :

- Les formations géologiques antéquaternaires :

Elles dominent soit les séries montagneuses Sud, soit elles constituent le substratum de l'ensemble du territoire, néanmoins elles évoluent sous un important remplissage quaternaire.

Le Crétacé : il est à base de matériaux marneux et marno-calcaires riches en gypse s'alternant avec des roches gréseuses à faciès quartzeux.

Le Miocène : ce sont des formations géologiques à faciès mixtes marin et continental et à multiples séries. Elles se manifestent à base de grès quartzeux, de conglomérats et des marnes rouges, blanches et à tripolis. La série des marnes blanches dominant le compartiment des glacis et des plaines entre les Oueds Roumane et Zériffa, et la série des marnes à tripolis envahie la bordure méridionale et le synclinal de Sid Ali.

- Les formations quaternaires :

Elles sont représentées par trois catégories de matériaux, les grès sableux ou parfois marneux (grès calabrien), les apports alluvionnaires et colluvionnaires gardant les mêmes caractéristiques des formations géologiques dont elles sont issues, et enfin les dunes littorales sableuses.

I.3.3 Relief et géomorphologie [2]

A l'exception de la région du Dahra, le territoire de la wilaya est relativement plat, favorisant ainsi l'activité agricole et la réalisation des projets de développement avec un coût réduit. Les monts de Dahra couvrent une superficie de 78.550 hectares. Ils se présentent sous la forme de petits massifs d'aspect collinaire. Le relief est très accidenté dans l'ensemble de cette zone, il est entaillé par un réseau hydrographique très chevelu. Les versants présentent des pentes appartenant dans l'ensemble à la classe des 12-25%.

Les pentes les plus importantes (> 25%) caractérisent les versants de la partie Est.

I.3.4 Réseau hydrographique [2]

Sur le plan hydrographique La zone d'étude fait partie du grand bassin versant de l'oued Cheliff, qui présente un réseau hydrographique assez dense ayant pour Oueds : Ebda, Ras Ouahrane , Deurdeur, Harreza, Rouina, Zeddine, Fodda, Sly, Rhiou, Djediouia et l'oued Mina ajouter à cela les cours d'eau du massif Côtier du Dahra représenté par un nombre d'Oueds à écoulement Sud-Nord vers la méditerranée et sont très courts et présentent une forte pente Oueds Damous, Allala, Tarzoult et Kramis.

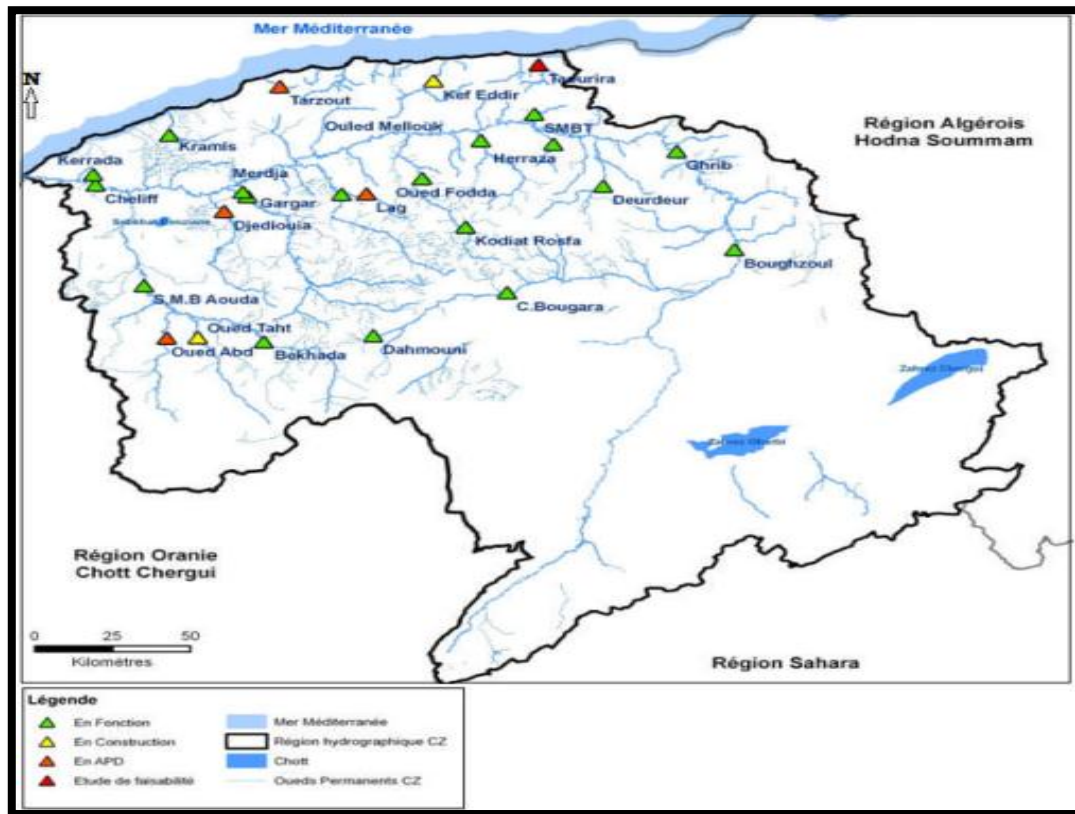


Figure I.3 : Réseau hydrographique du Cheliff [2]

I.3.5 Conditions climatiques [2]

Les facteurs climatiques interviennent dans bon nombres de calculs en irrigation et essentiellement dans l'estimation des besoins en eaux des cultures et dans le choix du système d'irrigation. Pour ce faire on s'appuie sur les données fournies par la station de Mostaganem ayant le code 040612 et pour coordonnées X=266.45 Km Y=293.4 Km Z=151m.

La commune d'Ouled Boughalem est caractérisée par un climat méditerranéen ayant l'hiver doux et l'été chaud et sec.

I.3.5.1 Pluviométrie [2]

L'irrigation est conditionnée par la pluviométrie car c'est en cas de manque de cette dernière qu'on fait appel à l'apport d'eau pour combler le déficit et éviter de mettre la plante dans un état de stress hydrique qui va engendrer des pertes pour l'agriculteur. Le tableau ci-dessous est obtenu pour une série pluviométrique de 31 ans (1982-2012) :

Tableau I.2 : Pluviométrie de la zone du périmètre

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluviométrie (mm)	45.9	39.4	31.7	33.7	25.4	2.50	1.20	3.0	16.2	31.8	69.4	49.7	350

Source ANRH Oran

On remarque que la pluviométrie annuelle moyenne de la zone est de 350 mm, avec les mois les plus pluvieux qui sont Novembre et Décembre, par contre ceux de Juin, juillet et Août sont relativement secs.

I.3.5.2 Températures de l'air

C'est un des facteurs qu'il ne faut pas négliger puisqu'il est à la base de l'évapotranspiration des cultures et donc directement lié au calcul de leurs besoins en eaux. Le tableau I.3 indique les valeurs moyennes mensuelles des températures, les moyennes maximales et minimales pendant la période 1990-2002.

Tableau I.3 : Valeurs moyennes de température de l'air (°C)

Paramètre	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température max (°C)	16,2	17,1	19,3	20,7	23,9	27,6	30,8	31,9	28,3	24,3	19,7	17,2	23,1
Température min (°C)	5,9	5,9	7,7	9,3	13,0	16,5	19,1	20,3	17,7	14,1	9,8	7,3	12,2
Température moy (°C)	10,8	11,3	13,6	15,2	18,6	22,1	24,8	25,8	22,8	19,0	14,6	12,0	17,5

Source ANRH Oran

La température moyenne de l'air du mois le plus chaud est de 26 °C (Mois d'Août), alors que celle du mois le plus froid est de 10,8 °C, la température moyenne annuelle est de 17,5 °C.

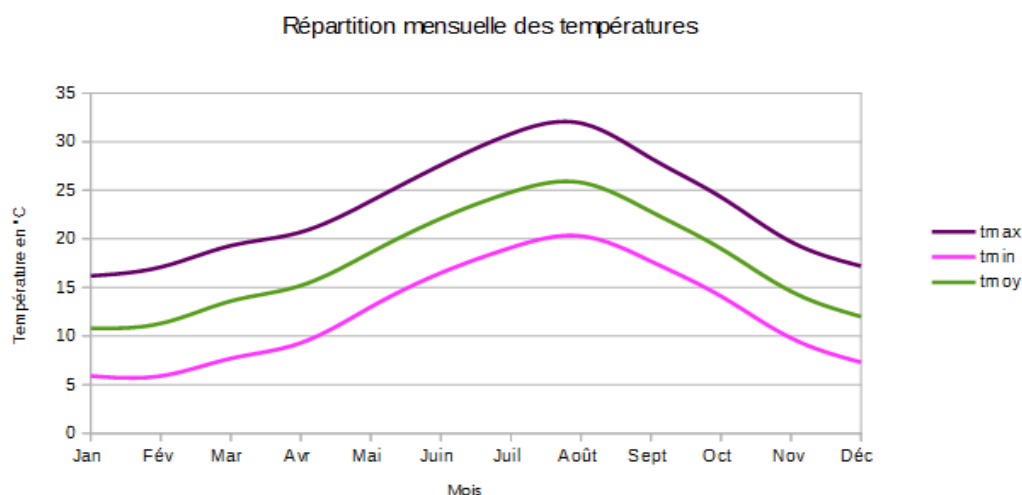


Figure I.4 : Répartition des températures maximale, minimale et moyenne

I.3.5.3 Humidité de l'air

La diminution de l'humidité relative, rendant l'air plus sec, abaisse considérablement le gradient potentiel hydrique atmosphérique ce qui contribue à augmenter la transpiration car cette grande

différence entre le potentiel hydrique interne des feuilles et externe encourage l'eau à quitter celles-ci impliquant de demande élevée en eau.

Tableau I.4 : Humidité relative de l'air en (%)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Humidité relative (%)	76	76	73	68	69	67	66	66	71	73	76	76	71

Source ANRH Oran

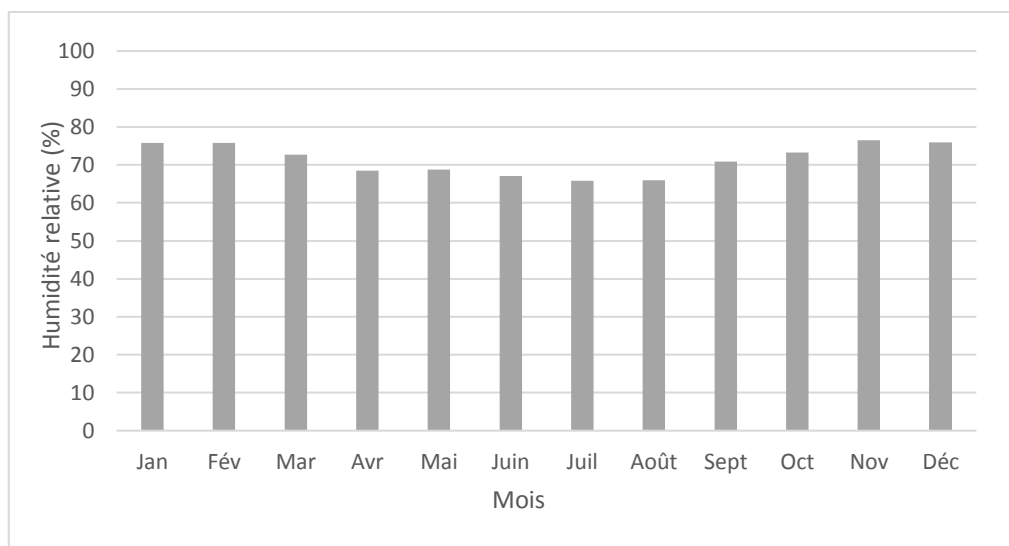


Figure I.5 : Evolution de l'humidité Relative de l'air.

I.3.5.4 Le vent

Les vents sont produits par les différences de pression atmosphérique engendrées principalement par les différences de température. Ils causent des ravages aux agriculteurs en détruisant leurs champs, ajouté à cela il faut en tenir compte dans le choix de la technique d'irrigation. Le tableau ci-dessous montre les variations de la vitesse du vent.

Tableau I.5 : Valeurs moyennes de la vitesse du vent

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Vitesse du vent (m/s)	1,8	1,6	1,7	2,4	2,1	2,0	1,7	1,5	1,6	1,7	1,8	1,7	1,8

Source ANRH Oran

La vitesse moyenne du vent présente une petite variation pendant toute l'année, passant d'une valeur minimale en Août, de l'ordre de 1,5 m/s et une valeur maximale de 2,4 m/s environ en Avril.

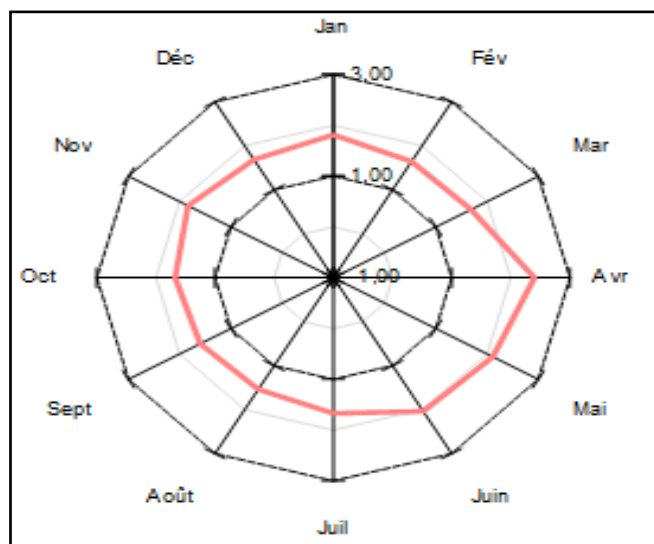


Figure I.6 : Variation de la vitesse du vent

I.3.5.5 L'insolation

L'insolation dépend de la latitude, de l'époque de l'année, de l'exposition solaire et de la nébulosité, ce qui explique les variations des valeurs d'un site à l'autre.

Le tableau I.6 présente les valeurs moyennes mensuelles et annuelles de la durée d'insolation journalière. Les valeurs moyennes mensuelles varient régulièrement pendant l'année : les valeurs les plus élevées correspondent au mois d'été, avec comme valeur maximale 10,6 h par jour pour le mois de juin et valeur minimale pendant le mois de décembre (5,9 h par jour).

Tableau I.6 : Valeurs moyennes des durées d'insolation journalières en Heure/jour

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Insolation (h/jour)	6,2	7,4	8,2	9,1	9,7	10,6	9,8	9,9	8,8	7,2	6,2	5,9	8,2

Source ANRH Oran

La figure ci- après présente la variation de ce paramètre.

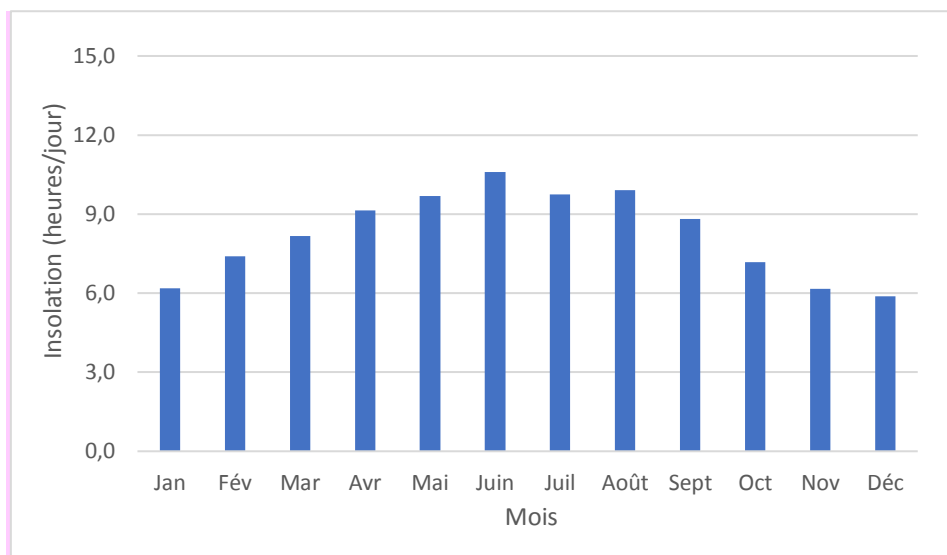


Figure I.7 : Valeurs moyennes du nombre d'heures d'insolation journalière

I.4. Indices Agro-météorologiques [07]

Les indices climatiques permettent de classer le climat en se basant essentiellement sur deux paramètres la pluie moyenne et la température de l'air.

- **Classification de climat selon l'indice d'aridité de De Martone :**

Cet indice nous donne une idée sur la nécessité d'introduire l'irrigation par rapport au climat :

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

Avec :

I_A : indice climatique ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau I.7 : Classification du climat selon Martonne

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

Dans notre cas, on trouve :

$$I^A = \frac{350}{17,5 + 10} \approx 12,73$$

On constate que l'indice d'aridité est compris entre 10 et 20 ce qui se traduit par un climat sec et une irrigation souvent indispensable.

▪ **Classification du climat selon le diagramme d'Emberger :**

Le quotient pluviométrique d'Emberger s'exprime par la formule suivante :

$$Q = \frac{1000 \cdot p}{\frac{M + m}{2} \cdot (M - m)} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot p}{M^2 - m^2} \dots\dots (I.2)$$

Avec :

Q : coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des températures maximales (Kelvin).

m : moyenne des températures minimales (Kelvin).

Pour : P=350mm ; M= 31,9°C et m=5.9°C

D'où : Q=75

A partir du diagramme bioclimatique d'EMBERGER, en fonction du quotient pluviométrique et de la température moyenne minimale du mois le plus froid, on trouve que notre région se situe dans :

- **L'étage bioclimatique : Semi-Aride**

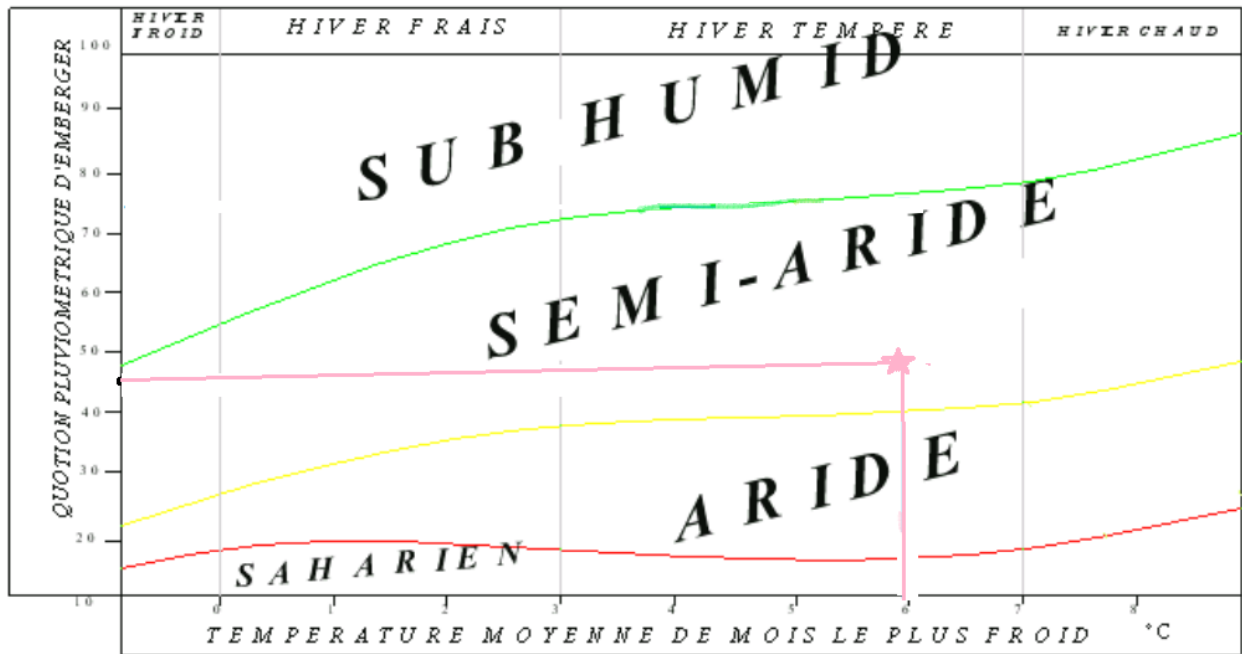


Figure I.8 : Diagramme bioclimatique d'Emberger

- **Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen**

Ce diagramme ombro-thermique permet la détermination de la période sèche. : Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures, la période qui s'étale entre les points d'intersections des deux courbes correspond à la durée de la période sèche.

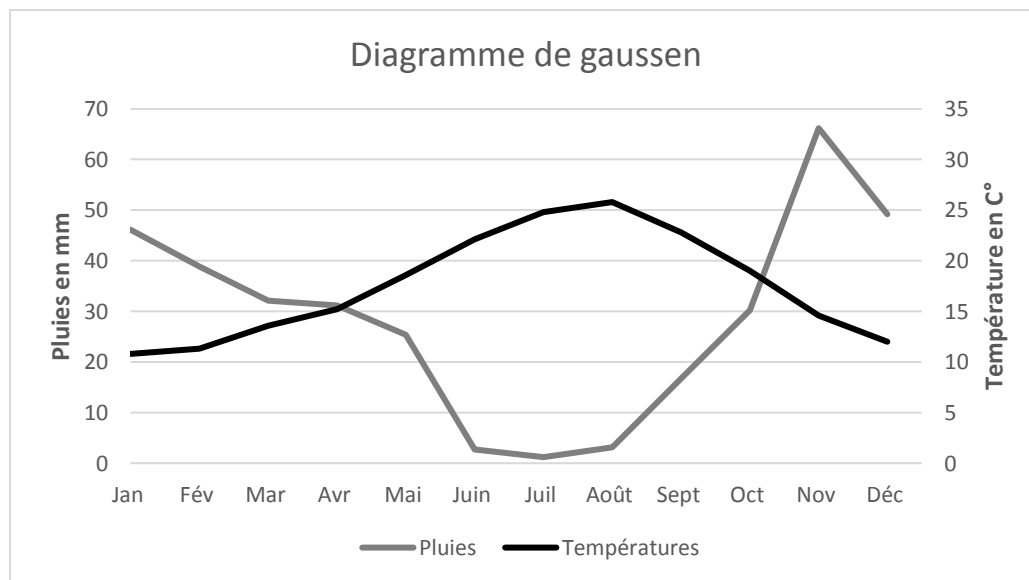


Figure I.9 : Climogramme de Gaussen

On constate que la période sèche s'étale du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre.

I.5 Etude socio-économique

✚ La population de la wilaya de Mostaganem est plutôt jeune et donc c'est un potentiel assez important à considérer (Figure I.10).

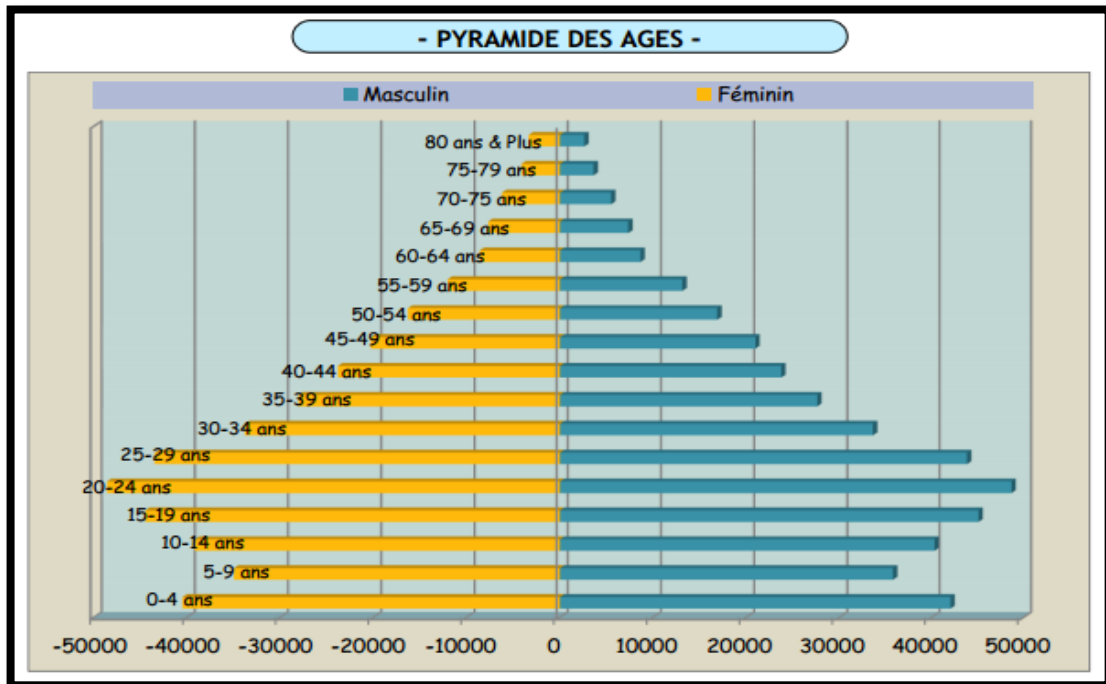


Figure I.10 : Pyramide des âges de la wilaya

✚ Les chiffres de l'emploi au niveau de la Wilaya donnent une population active de l'ordre de 414.750 personnes et une population occupée de 378.353 personnes, soit un taux de chômage estimé à 8.77%.

✚ Le secteur du commerce et services demeure toujours le premier employeur avec une population occupée de 123.707 salariés et un taux de 32.70 %. L'agriculture vient en deuxième position avec 78.932 personnes et un taux de 20.86%.

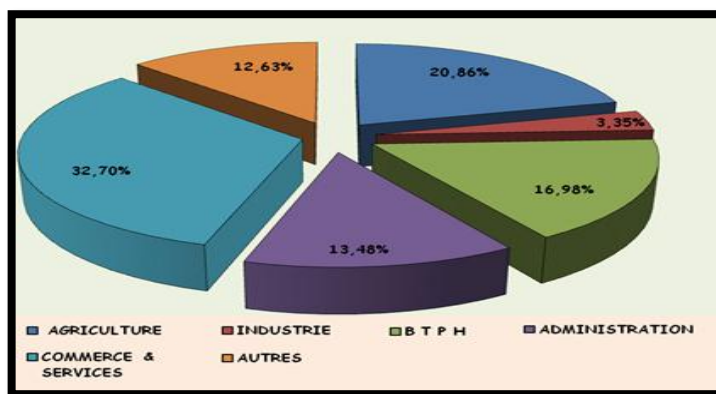


Figure I.11 : Répartition des secteurs d'activité

Les tableaux suivants montrent que l'agriculture irriguée dans notre zone n'est pas suffisamment développée avec uniquement 154 ha, vient alors ce projet d'aménagement d'un périmètre irrigué de 400 ha afin d'apporter un plus à la commune et de booster son économie.

Tableau I.8 : Répartition des terres de la commune

Commune	Superficie agricole totale	Superficie agricole utile (ha)				Autres terres (ha)				Superficie totale des terres
		Totale	Irriguée	Terres labourable	Cultures perm	Parcours	Terres incultes	Terrains imp.	Foret et maquis	
Ouled Boughalem	3475	2800	154	2562	238	30	100	908	545	4383

On remarque que la céréaliculture prend le dessus par rapport aux autres cultures puis vient le maraichage, les cultures fourragères et enfin l'arboriculture (agrumes et oliviers).

Tableau I.9 : Types de cultures répondues dans la commune [07].

Désignation	2010/2011	2011/2012
Cultures Labourables et herbacées		
Céréales	52.831	52.000
Légumes secs	3.360	2.809
Fourrages artificiels	18.990	13.562
Cultures industrielles	239	200
Cultures maraichères	25.896	29.765
Cultures permanentes vignobles		
Raisin de table	3.687	3.605
Raisin de cuve	7.742,5	7.606
Pépinières	6	6
Cultures fruitières		
Fruits à pépins	3.468	3.415
Fruits à noyaux	3.538	3.473
Fruits secs	1.724	1.702
Agrumes	4.593	4.666,5
Oliviers	6.220,5	6.402,5
Jachères	-	3.056

Les terres agricoles privées occupent plus de 50% de la superficie totale comme l'illustre le tableau qui suit :

Tableau I.10 : Répartition des terres selon la propriété

Secteur	Superficie	Nombre d'exploitants
Public	61404	4009
Privé	70864	20491
Total	132268	24500

I.6 Conclusion

Le périmètre d'Ouled Boughalem situé dans la wilaya de Mostaganem jouit d'un climat semi-aride caractérisé par un hiver froid, et un été chaud et sec, avec une insuffisance en pluie, qui en plus présente une mauvaise répartition au cours de l'année, les paramètres climatiques et agro-météorologiques indiquent que la zone d'étude est relativement semi-aride.

Cependant vu les potentialités agro-pédologiques de la zone d'étude, l'introduction de l'irrigation s'avère donc indispensable pour un développement des cultures et une intensification de l'agriculture.

CHAPITRE II : RESSOURCES EN SOL - RESSOURCES EN EAU**II.1 Introduction**

Le sol désigne l'ensemble hétérogène des matériaux issus de l'évolution d'un substrat minéral sous l'action combinée de facteurs climatiques (température, précipitation) et de l'activité biologique (racines de végétaux, animaux fouisseurs, accumulation de matière organique en décomposition, micro-organismes).

Le sol joue le rôle d'un réservoir d'alimentation en eau des plantes, il est donc essentiel de bien connaître ses caractéristiques et son mode de fonctionnement qui sont utiles dans le dimensionnement du périmètre d'irrigation.

II.2 Ressources en sol**II.2.1 Carte des sols d'Algérie de la plaine de Chélif**

La carte de la plaine de Chélif qui engendre la partie Est de la wilaya de Mostaganem, plus précisément la plaine de périmètre de Kramis, nous a permis d'estimer et de tirer les types de sol qui composent la partie Est de la wilaya de Mostaganem, donc on détermine la nature des sols qui dominent le périmètre de Kramis.

La carte des sols d'Algérie de la plaine de Chélif, établie par l'inspection générale de l'agriculture de gouvernement générale de l'Algérie, dressée par les services pédologiques de la colonisation et de l'hydraulique d'après des relevés pédologiques (1998), présentée dans la figure suivante :

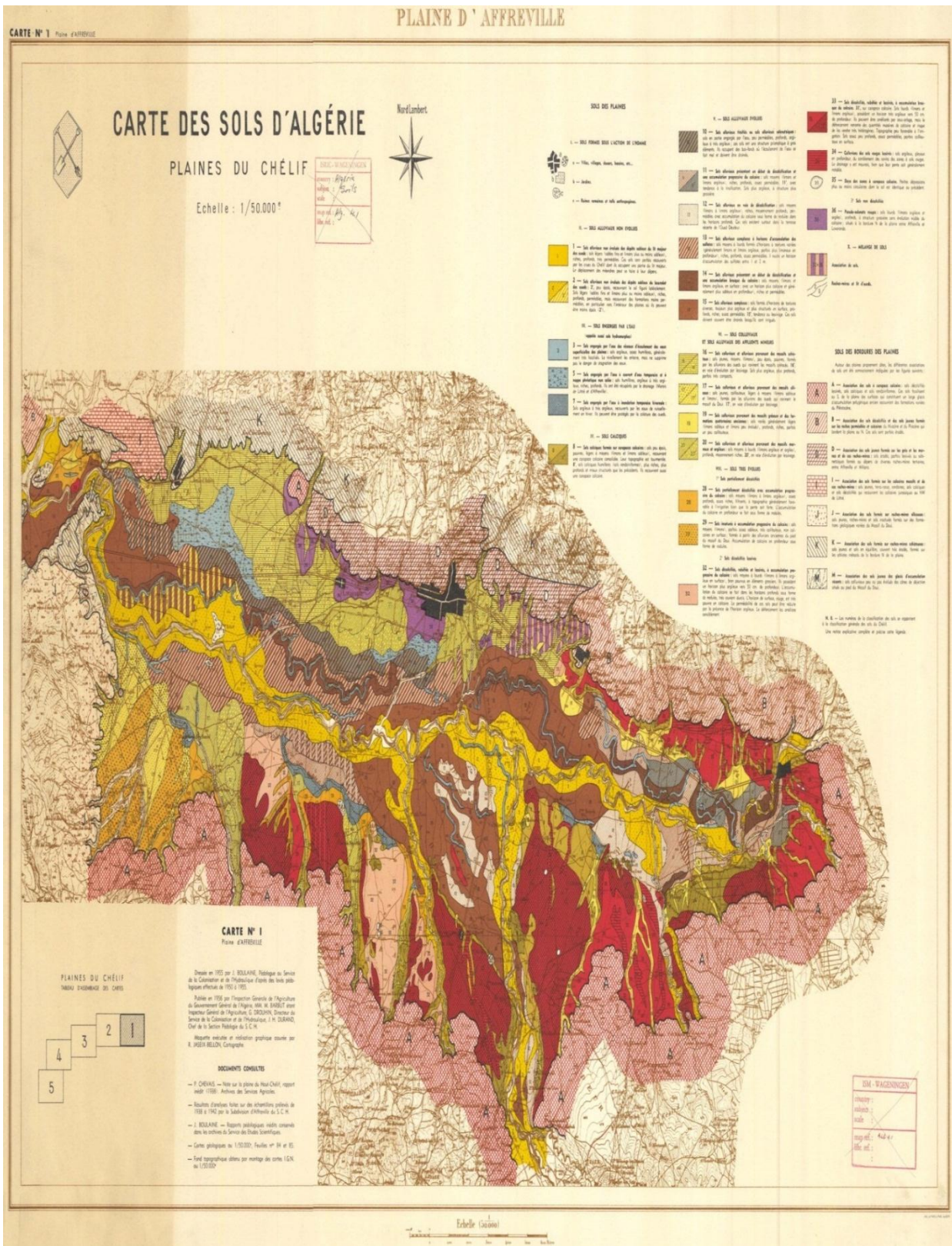


Figure II.1 : Carte des sols d'Algérie de la plaine de Chélif (Source ANRH d'Alger)

Suivant la carte des sols d'Algérie de la plaine de Chélif, on constate une prédominance des sols associés et marie, sol alluvion basique ou acide, sol dunaire, roche mère nue, avec des ravines d'érosion.

II.2.2 Classification de sol suivant les analyses des échantillons du sol

L'ensemble des sols de la couverture pédologique de la région évolue soit sur des accumulations calcaires tendres (encroûtement) et/ou indurées (croûte) soit sur des apports alluvionnaires et colluvionnaires issues des formations géologiques environnantes.

Les régions Ouest du périmètre forment d'importantes étendues alluviales, sillonnées par plusieurs écoulements secondaires intermittents de direction Sud Nord, prenant naissance en amont et se dirigeant vers la côte.

Sur le plan pédologique, et mise à part quelques unités ponctuelles où s'identifient des sols bruns calcaires sur alluvions et colluvions, la majorité du des sols du périmètre constitue le territoire des sols fersiallitiques évoluant sur des apports alluviaux-colluviaux ou sur des croûtes et/ou des encroûtements calcaires profonds.

II.2.2.1 Sols fersiallitiques

L'essentiel de la couverture pédologique du secteur Ouled Boughalem est formé de sols fersiallitiques à accumulations calcaires plus ou moins tendre et à un degré moindre par des sols d'apports qui colonisent les régions périphériques Nord.

Par ailleurs, sur les ruptures de pentes, ou dans des situations particulières de bas-fonds au Sud de la localité, ou dans la vallée de l'oued Kramis, des processus secondaires de pédogenèse (salure et/ou hydromorphie) viennent affecter ces sols à moyenne profondeur.

Ces sols sont généralement riches et fertiles, avec des humus stables, voire peu mobilisables. Mais ce sont de sols fragiles, particulièrement sensibles à l'érosion éolienne ou hydrique, surtout dans la situation de découverte végétale dans laquelle ces sols se retrouvent après un incendie ou par suite du surpâturage. L'érosion réduit ces sols à des sols squelettiques autour de croûtes calcaires stériles.

- Du point de vue chimique, ces sols sont riches en matière organique dont le taux est supérieur à 2%. Ces sols sont caractérisés par un taux de calcaire total relativement élevé.

II.2.2.2 Caractéristiques morphologiques et analytiques des sols

fersialitique

❖ Profil N° 1 :

▪ Caractéristique morphologique :

- * Classe : Sols à Sesquioxides
- * Sous classe : sols rouges Méditerranéens
- * Groupe : sols rouges non lessivés
- * Sous-groupe : Modal
- * Famille : sols issue de formations alluviales indifférenciées
- * Situation : sud du périmètre.
- * Topographie : en pente.
- * Pente : 3% Sud-Nord
- * Géomorphologie : terrasse.
- * Occupation du sol : Vigne

▪ Description des horizons :

On définit les horizons suivant les profondeurs :

[0-25 cm] : horizon caractérisé par une couleur à l'état sec rouge ; de texture limono-argileuse, structure grumeleuse, enracinement abondant de céréales, nodules de calcaire, horizon poreux, peu compact, effervescence à l'HCl moyennement forte.

[25-80 cm] : horizon caractérisé par une couleur à l'état sec rouge ; texture limono-argileuse, structure polyédrique plus ou moins grossière, faible enracinement de céréales, nodules de calcaire, horizon relativement poreux, moins compact que l'horizon superficiel avec la présence de gravier, effervescence HCl moyenne.

[>80-140 cm] : horizon caractérisé par une couleur à l'état sec rouge vif, de texture argilo-sableuse avec la présence de cailloux et de blocs, de couleur brun clair à l'état sec, structure polyédrique fine ou prismatique horizon poreux, compact. Complexe absorbant presque saturé, l'effervescence à l'HCl est moyenne.

II.2.3 Analyse physico-chimique des sols

L'analyse physico-chimique faite au laboratoire nous a permis de mieux apprécier les propriétés en particulier texturales et hydrodynamiques de notre sol. Les analyses physico-chimiques des sols sont résumées dans le tableau II.1 :

Tableau II.1 : Analyse des profils étudiés au laboratoire

Horizons		Horizon1	Horizon2	Horizon3
Profondeur de prélèvement des échantillons (cm)		0-25	25-80	80-140
Granulométrie	Argile [%]	35,20	32,50	30,60
	Limon fin [%]	18,25	18,20	20,10
	Limon grossier [%]	9,50	12,45	11,36
	Sable fin [%]	20,60	18,20	26,89
	Sable grossier [%]	16,45	18,65	10,96
Matière organique	Matière organique [%]	1,45	0,56	0,39
	Carbone C [‰]	8,55	3,3	2,3
	Azote N [‰]	0,74	0,63	0,67
	Rapport C/N	11,56	5,23	3,43
Réserve minérale	CaCO ₃ Total %	12,04	22,8	21,5
	CaCO ₃ Actif [%]	2 393	2 184	2 315
	P ₂ O ₅ Assimilé	28,95	30,44	31,45
	P ₂ O ₅ Total [‰]	39,45	39,46	34,75
	K ₂ O Assimilé [méq /100 g]	28,95	30,44	31,45
	K ₂ O Total [‰]	39,45	39,46	34,75
Complexe absorbant	Ca ⁺⁺ [méq /100 g]	22,5	16,5	16,5
	Mg ⁺⁺ [méq /100 g]	4,17	5,11	5,21
	K ⁺ [méq /100 g]	1,13	0,36	0,47
	Na ⁺ [méq /100 g]	1,52	2,04	1,39
Solution du sol	pH Eau	7,3	7,4	7,5
	C.E. [mmhos/cm]	0,1	0,05	0,11

*** Analyse de la texture :**

Le triangle textural permet de classer les sols d'après leur composition granulométrique, et permet d'indiquer la nature de texture (texture argileuse, texture sableuse, texture équilibré et texture limoneuse).

D'après les analyses de granulométrie des échantillons de sol, On peut classer notre sol comme étant un sol limono-sableux à un sol argilo-sableux, ce qui dénote une texture équilibrée.

II.2.4 Caractéristiques hydrodynamiques des sols du secteur d'Ouled Boughalem

Dans le but d'identifier les paramètres mécaniques et hydrodynamiques du secteur d'Ouled Boughalem. Pour l'évaluation du comportement des sols du périmètre vis à vis de la pratique de l'irrigation, 20 stations de mesure des paramètres hydrodynamiques, ont été choisies et implantées à travers tout le périmètre, on se basant sur les caractéristiques hydrodynamiques de secteur d'Ouled Boughalem. Ces mesures ont touché les paramètres physiques suivants :

• La densité apparente (D_a) et la densité réelle (D_r) :

La densité c'est le rapport entre la masse d'un volume de matière et la masse d'une matière de référence. La densité réelle présente la mesure de la masse volumique des particules qui composent un solide granulaire.

• La perméabilité :

La perméabilité est la capacité qu'à un sol à laisser circuler l'eau plus ou moins facilement, et définie par sa vitesse d'infiltration qui est la quantité maximale d'eau qui peut traverser le sol dans un temps donné ; elle est exprimée en général en mm /h.

• L'humidité caractéristique :

Elle représente la masse d'eau contenue dans de sol, c'est le rapport entre la masse d'eau contenue dans l'air de sol et celle que contiendrait le même volume s'il était saturé, elle exprimé en g/m^3 ou par pourcentage.

Les résultats de mesures in situ et/ou au laboratoire de ces paramètres hydrodynamiques concernant le secteur de Ouled Boughalem, sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau II.2 : Analyse des paramètres hydrodynamiques

Paramètre	Unité	Valeur moyenne
Densité apparente (Da)	g/m ³	1,3- 1.45
Densité réelle (Dr)	g/m ³	2,61
Perméabilité Porchet (K)	m/s	7.2
L'humidité (PF) caractéristique (pF 4.5)	%	14%
L'humidité (PF) caractéristique (Pf 2,5)	%	26%
La porosité	%	41
Perméabilité moyenne des sols	m/s	10 ⁻⁵

❖ Analyse des résultats :

La structure d'un sol peut être appréhendée sous l'angle du mode d'arrangement de ses particules élémentaires ou, de façon plus quantitative, par le réseau d'espaces lacunaires issus de cet arrangement. L'examen des résultats de mesures de vitesse de perméabilité obtenues montre que l'ensemble des sols du périmètre, sont perméables à moyennement perméables.

II.2.5 Caractéristiques des ressources en sol : Aptitudes culturales des sols

Les classes d'aptitudes des terres à l'irrigation sont obtenues moyennant à la fois l'utilisation de la clef de classement et les caractéristiques de l'unité morpho-pédologiques comme suit :

Tableau II.4 : Clef de classement des aptitudes des terres à l'irrigation.

Paramètres d'évaluation	CATEGORIES DES TERRES IRRIGABLES			
	I	II	III	IV
Profondeur /Roche mère/ Texture				
Roche mère dure - Texture moyenne - Texture grossière	120 cm et plus	80 - 120 cm 120 cm et plus	50 - 80cm 80 -120 cm	30 - 50 cm 50 - 80cm
Roche mère tendre - Texture moyenne - Texture grossière	80 cm et plus	50 - 80 cm 80 cm et plus	30 - 50 cm 50 - 80 cm	< 30 cm 30 - 50 cm
Texture	Moyenne	Fine Grossière	Très grossière	-
Salinité mmhos/cm	< 4	4 - 8	8 - 16	16 - 32
Perméabilité cm / h	0,8 - 3.5 0.5 - 6	0.1 - 0.5 ou 6 - 12	< 0.1 ou > 12	
Charge caillouteuse %	< 15	15 - 40	40 - 75	> 75
Teneur en Calcaire %	10 - 25	1 - 10 ou 25 - 50	> 50 ou < 1	
Pente %	< 2	2 - 5	5 - 8	8 - 12
Drainage Prof. Nappe (m)				
Eau douce	2	1,2	0,75	< 0,75
Eau salée	3	2	1,2	< 1,2

Ainsi quatre catégories d'aptitudes à l'irrigation ont pu être identifiées :

Catégorie I : potentialités en sol très favorables, permettant une mise en valeur hautement productive sans aménagement au préalable, aptitude à l'irrigation très élevée.

Catégorie II : potentialités en sol favorables, permettant d'obtenir une production satisfaisante malgré la présence de certaines contraintes mineures, aptitude à l'irrigation élevée.

Catégorie III : potentialités en sol de qualité moyenne, correspondant à des ressources édaphiques présentant certaines contraintes, avec possibilité d'améliorations moyennant la pratique de certains travaux d'aménagement, aptitude à l'irrigation moyenne.

Catégorie IV : potentialités en sol marginales correspondant à des sols à facteurs limitant pour une mise en valeur en irrigué, faibles aptitudes à l'irrigation.

II.2.6 Détermination des aptitudes culturales des sols [3]

Les critères de détermination des aptitudes culturales reposent essentiellement sur les caractères morphologiques des sols (profondeur essentiellement) et leur position topographique

sans tenir compte de la ressource en eau. Ainsi la détermination est établie en considérant que l'on dispose d'une eau d'irrigation de bonne qualité.

- **Arboriculture**

De façon générale, les sols présentent de bonnes aptitudes pour les espèces : les agrumes, l'olivier, la vigne, ou l'abricotier. Certains sols présentent des aptitudes moyennes pour l'arboriculture fruitière irriguée tels que le pommier, poirier.

- **Cultures industrielles**

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

- **Cultures céréalières et fourragères :**

Les cultures céréalières (blé, orge) peuvent être cultivées dans le périmètre sans contraintes ou restrictions en irriguée ou en sec. Les cultures fourragères deviennent possibles en irrigation, à introduire dans la région, car elles permettent de développer l'élevage (vocation de la région) et leurs résidus végétaux constitueront des amendements qui contribueront à l'amélioration de la majorité des sols à texture fine et très fine et de structure défavorable.

Les sols présentent de bonnes aptitudes à moyennes pour les cultures suivantes : le blé, l'orge, la luzerne, le bersim et le Sorgho.

- **Cultures maraichères :**

Cette liste concerne les cultures en extension ; les cultures sous serres comme pratiquées dans la région peuvent avoir des aptitudes meilleures qui dépendent de la qualité du sol apporté et de la conduite de la spéculacion. Les sols ne présentent aucune restrictions pour les cultures telles que : la tomate, la pomme de terre, la carotte, le navet, le chou-fleur, les cucurbitacées, le piment, le poivron, l'ognon et l'ail.

a) **Légumineuses :**

Leur irrigation permet une augmentation des rendements, car elles permettent l'enrichissement des sols en azote, l'améliorent de la structure du sol et de développer l'élevage (vocation de la région). De plus, leurs résidus végétaux constitueront des amendements qui contribueront à l'amélioration des sols à texture fine et de structure défavorable.

II.2.7 Etude foncière

L'enquête effectuée sur le périmètre de Kramis, concerne 839 parcelles et 485 exploitations la répartition générale des terres par secteur juridique indiquent une prépondérance du secteur public sur le secteur privé avec 64% de la superficie totale du périmètre, soit près des deux tiers.

Le tableau ci-dessous représente la répartition générale des terres selon le statut juridique pour le périmètre de Kramis (tous les secteurs) :

Tableau II.5 : Répartition générale des terres selon le statut juridique pour tout le périmètre

Système	Public	Privé			Total
		Propriété	Indivise	Total	
Superficie (ha)	2 804	1 049	538	1 587	4 392
Nombre de parcelles	146	519	174	693	839
Superficie moyenne de parcelle	19	2	3,1	2,3	5,2
Nombre d'exploitations	27	362	96	458	485
Superficie moyenne /exploitation	103	2,898	5,607	3,466	9,055

- **Pour le secteur public :**

- * La taille moyenne des parcelles s'élève à 10 ha environ.
- * La taille moyenne des exploitations s'élève à 50 ha environ.

- **Pour le secteur privé :**

- * La taille moyenne des parcelles s'élève à 2.2 ha environ
- * La taille moyenne des exploitations s'élève à 3.5 ha environ

Toutefois et pour le nombre d'exploitations, le secteur privé représente avec 458 exploitations plus de 95% des exploitations.

II.3 Ressources en eau- Hydrologie

L'eau est un élément constitutif majeur de la matière végétale ; pour cela on va présenter dans cette partie les ressources en eau qui peuvent alimenter notre zone d'étude et analyser les pluies, qui conditionnent l'étude de notre projet d'aménagement hydro-agricole.

L'étude porte sur la qualité de l'eau, l'homogénéisation des séries pluviométriques, et l'étude fréquentielle des séries pluviométriques par des lois statistiques, et la détermination de l'année de calcul.

Les eaux d'irrigation peuvent être superficielles (barrages, lacs, cours d'eau) ou souterraines (Nappes, forages, puits). Elles doivent être en outre de bonne qualité, surtout peu chargées en sels.

II.3.1 Analyse hydrologique

L'étude hydrologique est indispensable à la mise en œuvre d'un projet d'aménagement hydro-agricole puisqu'elle permet le calcul des besoins de cultures projetées dans le périmètre.

a) Caractéristiques hydrauliques du barrage de Kramis

Le barrage de Kramis est situé sur l'oued Kramis dans la commune de Achaacha, mis en service en 2005 destiné au renforcement de l'alimentation en eau potable de la zone de Dahra(Sidi Lakhdar, Nekmaria, Achaacha et Ouled Boughalem) ainsi qu'à l'irrigation des périmètres au voisinage.

Le niveau d'eau dans le barrage fluctue entre le niveau maximum qui est celui de la retenue normale (NNR), et les différents niveaux d'exploitation possibles.

Tableau II.6 : Caractéristiques hydrauliques du barrage

Dénomination	Unités	Quantités
Superficie du bassin versant	Km ²	366
Hauteur du barrage	m	48
Volume mort	Hm ³	11,9
Volume utile	Hm ³	33
Cote au niveau mort (NVM)	m	94
Cote au niveau normal (NNR)	m	108
Cde plus hautes eaux (NPHE)	m	111

b) Alimentation des secteurs du périmètre :

Le barrage de kramis est du type mixte destiné à l'alimentation en eau ainsi qu'à l'irrigation des différents secteurs du périmètre kramis tel que montré dans le tableau suivant :

Tableau II.7 : Secteurs irrigués à partir du barrage de kramis

Secteur	Superficie brute (ha)	Superficie nette (ha)	Allocation brute totale m ³ /an
Ouled Boughalem	420	380	1 881 000
Vallée du Kramis	700	630	3 118 500
Khadhra	2.600	2.340	8 704 000

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

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. La qualité de l'eau de surface qui sera utilisée pour l'irrigation a été caractérisée par l'analyse des données de qualité d'eau brute de l'Oued Kramis.

Les valeurs de référence en ce qui concerne la qualité de l'eau brute pour la station hydrométrique de l'Oued Kramis sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Qualité de l'eau brute de l'Oued Kramis

Paramètre	Valeurs
Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	730
PH	7,5
Na ⁺ en mg/l	175
Ca ⁺⁺ en mg/l	140
Mg ⁺⁺ en mg/l	59

II.3.3. Classification des eaux pour l'irrigation [08]

Les deux premiers critères à savoir la salinité de l'eau et l'alcalinité sont d'importance majeure, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau, provoquant une sécheresse physiologique et un flétrissement des plantes puisque les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

La quantité totale des sels est exprimée, généralement, par la conductivité électrique (CE), elle est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25°C et exprimée en mmhos/cm.

La salinisation du sol limite considérablement la production des cultures et par conséquent a des effets négatifs sur la sécurité alimentaire. Dans les régions arides et semi-arides, où les précipitations sont insuffisantes pour lessiver les sels solubles du sol et où le drainage est restreint, des sols salins vont se former avec des concentrations élevées de sels de sodium (Na^{++}), de calcium (Ca^{++}), de magnésium (Mg^{++}), les chlorures et les sulfates. On distingue quatre classes de danger de salinité de l'eau en fonction de la conductivité électrique :

a) La Conductivité électrique (CE)

Le laboratoire de Riverside (1954) a donné une classification basée sur la mesure de la conductivité à 25°C et exprimée en mmhos/cm. Qui permet de déterminer quatre classes d'eau :

- **C1 (CE < 0.250 mmhos/cm) :** Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
- **C2 (CE comprise entre 0.250 et 0.750 mmhos/cm)** Eaux utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas, sans pratique spéciale de Contrôle de la salinité.
- **C3 (CE comprise entre 0.750 et 2.250 mmhos/cm) :** Eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées.
- **C4 (CE 250 C > 2.250 mmhos/cm) :** Eaux inutilisables normalement pour l'irrigation. Exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau d'irrigation sera appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol.

Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

Remarque :

L'eau du barrage de kramis prévue pour l'irrigation du périmètre étudié a une conductivité électrique moyenne **CE=0,73 mmhos/cm**, donc de classe **C2** (Eau de salinité moyenne à risque moyen).

b) Le SAR ou risque d'alcalinité

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut Veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en Na⁺. On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le SAR (Sodium Absorption Ratio).

On distingue quatre (4) classes :

❖ **Classes S1 : S.A.R < 10**

L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.

❖ **Classes S2 : 10 < S.A.R < 18**

La quantité de sodium est qualifiée de moyenne. Le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange, surtout dans des conditions de faible lessivage. Ces eaux peuvent poser des problèmes sur le plan structural du sol à moins que du gypse soit présent en quantité suffisante au niveau de ce dernier. Elles sont utilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité

❖ **Classes S3 : 18 < S.A.R < 26**

La quantité de sodium dans ces eaux est qualifiée d'élevée. Elles sont à employer avec prudence. Sinon de graves difficultés peuvent apparaître sur la plupart des sols

❖ **Classes S4 : S.A.R > 26**

De telles eaux sont qualifiées d'impropres à l'irrigation, sauf si sa salinité est très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \dots\dots\dots(II.1)$$

Les cations sont exprimés en milliéquivalent par litre.

Tableau II.9 : Valeurs des cations

Cations	mg/L	méq/L
Ca	140	7
Mg	59	4,92
Na	175	15,91
Conductivité mmho/cm	0.73	

$$S.A.R = \frac{15.91}{\sqrt{\frac{7 + 4.92}{2}}} = 6.52 < 10$$

D'après les résultats du calcul de la conductivité électrique CE = 0.73 mmhos/cm, et le rapport d'absorption du sodium SAR de l'eau d'irrigation SAR (Égal à 6.52) on pourra classer notre eau d'irrigation.

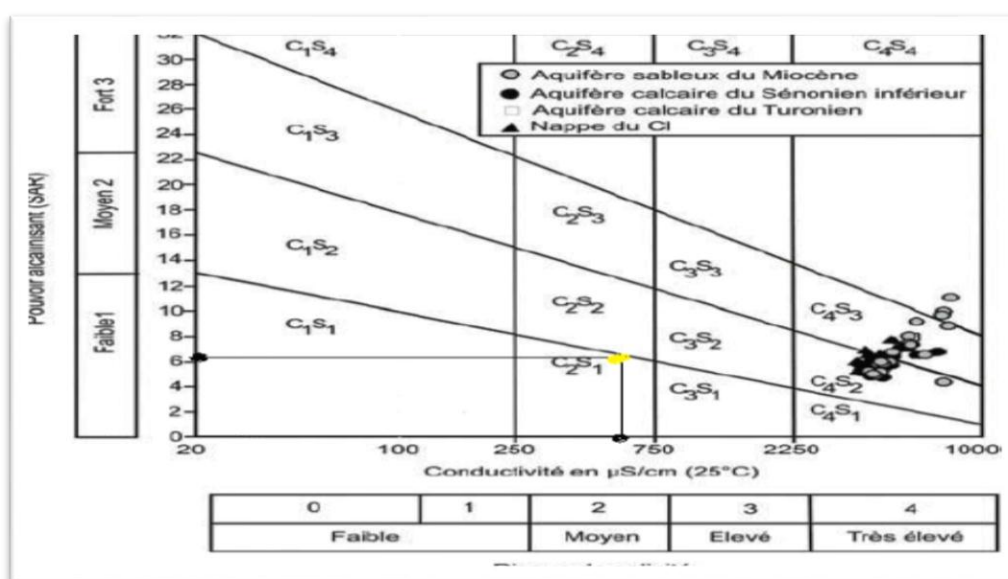


Figure II.2 : Classification des eaux du barrage de Kramis selon le diagramme de Riverside.

c) Classification de l'eau d'irrigation selon l'U.S.S. L (1954)

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation proposée par laboratoire de Riverside (RICHARD 1954), elle est basée sur :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux destinés à l'irrigation. C'est-à-dire :

-La conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm)

-Le SAR (% de Na échangeable)

D'après le diagramme de Riverside : l'eau du barrage de Kramis est de classe **C2S1** ce qui veut dire que l'irrigation avec cette eau est possible sans aucune nuisance sur le sol ou les plantes puisque l'alcalinité est faible et le risque de salinité est moyen donc un léger lessivage est à effectuer.

d) Qualités physiques :

-pH de l'eau d'irrigation : Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation puisque il conditionne la solubilité de la plupart des microéléments.

Le pH de l'eau du barrage est de 7.5.

-La température : Elle est généralement égale à la température ambiante.

II.3.4 Hydrologie

L'objectif de l'étude hydrologique est de déterminer les caractéristiques des pluies de fréquences données, qui conditionnent l'étude de notre projet d'aménagement hydro-agricole, l'étude porte sur : l'homogénéisation des séries pluviométriques, l'étude fréquentielle des séries pluviométriques par des lois statistiques et la détermination de l'année de calcul.

a) Répartition de la pluie moyenne annuelle

La précipitation est un facteur climatique très important, elle nous permet de connaître la période où les cultures ont besoin d'être irriguées ou pas.

Choix de la station pluviométrique

La série des précipitations moyennes mensuelles de la station pluviométrique de Mostaganem (Code : 04061) avec les coordonnées X = 266.45 Km ; Y = 293.4 Km et Z = 151 m pour la période 1982-2012) est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau II.10 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (mm).

Années	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuelle
1982	7,3	98,9	108,5	94,2	0	61,8	15,4	0,6	0,2	0	0	17,7	404,6
1983	0	0,9	102,4	38,2	51,7	38,2	55,6	12,4	62,1	0,4	0	0	361,9
1984	3,9	7,7	241,4	44,4	20,1	5,8	43,6	40,4	34,3	0	0	0	441,6
1985	3,7	67,1	47,4	90,3	79,5	72,2	69	20,3	2,9	7,5	0,7	0	460,6
1986	71,5	27,3	17,1	66,2	34,8	71,8	5,6	1,2	13,6	2,5	6,3	0,4	318,3
1987	4,4	25,8	56,1	28	78	18,6	15,8	36,6	84,1	2,1	0	1,2	350,7
1988	8,3	9,8	30,5	17,1	12,7	20,7	76,8	18,4	2,1	3,4	1,4	8,9	210
1989	11	4	17,5	42	104,7	0,3	32,8	49,6	13	0	4	0,7	279,6
1990	6,9	23,9	58,9	28,6	27,2	58,5	130,2	4	25,1	1,3	1,1	0	365,7
1991	8,8	35,9	67,9	10,1	38,1	28,3	30,4	8,8	36,2	25,7	3,6	0,3	294,1
1992	1,5	2,9	34,7	19,4	0	58	16,6	40,9	19	4,2	0	2,4	199,6
1993	4,9	52,1	55,7	7,9	33,1	40	0	27,7	7,2	0	0	0	228,6
1994	16,6	23,7	29,3	4,9	31,6	23,5	44,3	10,4	0,6	0	5,7	0	190,6
1995	22,3	12,7	78,4	58,4	125,4	94,6	39,9	47,3	24,6	0	5,6	0,3	509,5
1996	37,9	29	2,2	45	79,4	4,2	0	111,7	15	1,6	2	8,5	336,5
1997	23,4	37,5	56,1	50,2	46,6	29,1	11,4	30,6	42,8	0	1,4	8,9	338
1998	4,2	8,5	26,5	58,6	72,2	69,2	40,2	0,4	3	1,2	0,7	13,1	297,8
1999	19,3	17,6	74,2	51,9	3,1	0	12,5	17,9	29,3	0,5	0	0	226,3
2000	86,8	43,9	115,1	25,1	42	135,5	1,8	63,5	12	0,7	0	0,1	526,5
2001	8,4	17,3	145,4	43,1	6,2	0	62,8	47,5	40,2	1,1	0	9,7	381,7
2002	0,6	31,9	54,2	7,2	54	46,9	7,4	51,3	10,3	1,6	0	0,1	265,5
2003	0	25,7	29,9	68	24,4	32,5	10,9	8,3	79,1	10,9	0	0	289,7
2004	2,2	52,1	85,3	104,7	12,7	51,8	25,1	3,9	0	1	0,7	0	339,5
2005	11,2	43,2	100,8	40,3	108,2	64,4	10,2	24	92,1	3,1	0	0	497,5
2006	35,7	0	0	189,3	48,7	20,1	51,2	77,3	0	0	0	0	422,3
2007	32,9	68,4	62,5	22,3	27,9	5,8	16,3	4,4	14,7	6,2	1,47	0	262,87
2008	31,6	40,5	144,5	119,4	60,6	8,2	32,6	32,1	15,4	0,8	0	1,6	487,3
2009	15,1	2,7	18,7	34,8	44,3	42,7	44,7	37,3	11,6	0,4	0	16,4	268,7
2010	3,6	66,1	58,6	16	70,3	26,2	28,5	76,6	45,5	2,2	0	0	393,6
2011	4,3	41,2	76,2	38,7	31,9	62,7	20,4	62,3	2,4	0	0	0	340,1
2012	14	65,9	155,7	77,2	54,8	29,3	30,9	75,9	48,4	0	3,3	2	557,4
Moy.	16,20	31,75	69,41	49,73	45,94	39,38	31,71	33,66	25,38	2,53	1,22	2,98	349,90

ANRH d'Oran

La série des pluies annuelles (1983 –2012) présente des caractéristiques statistiques suivantes :

Tableau II.11 : Caractéristiques de la série pluviométrique

Taille de la série	31
Moyenne	349.9
Ecart type	101.2
Cv	0.29
Min	190.6
Max	557.4

b) L'homogénéité de la série pluviométrique [06]

On procède au test de Mood basé sur la Médiane pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique. C'est un test statistique robuste.

Test de Mood : Soit un échantillon $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Déterminons sa médiane M après avoir classé l'échantillon par ordre croissant.

La médiane M est une constante de telle sorte que 50% des x_i lui soient inférieurs et 50% des x_i lui soient supérieures.

Remplaçons donc la série des valeurs non classées par une suite de signe :

+ pour les $x_i > M$

- Pour les $x_i < M$

Calculons les quantités N_s et T_s avec :

N_s : Nombre total de séries de + et de -.

T_s : Taille de la plus grande série de + ou de -.

N_s suit approximativement une loi normale de moyenne $\frac{N+2}{2}$ et de variance $\frac{1}{4}(N-1)$ et T_s suit une loi binomiale.

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

$$\text{➤ } N_s > \frac{1}{2}(N+1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N+1})$$

$$\text{➤ } N_s < \frac{1}{2}(N+1 + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N+1})$$

$$\text{➤ } T_s < 3.3(\log_{10} N+1)$$

Si les conditions du test sont vérifiées, on conclut que la série à étudier est homogène au seuil de signification $1-\alpha$.

Le tableau II.12 détaille le procédé du Test d'homogénéité pour notre station :

Tableau II.12 : Résultats du Test de Mood

Rang	Années	Série d'origine	Ns/Ts
1	1982	404,6	+
2	1983	361,9	+
3	1984	441,6	+
4	1985	460,6	+
5	1986	318,3	-
6	1987	350,7	+
7	1988	210	-
8	1989	279,6	-
9	1990	365,7	+
10	1991	294,1	-
11	1992	199,6	-
12	1993	228,6	-
13	1994	190,6	-
14	1995	509,5	+
15	1996	336,5	-
16	1997	338	-
17	1998	297,8	-
18	1999	226,3	-
19	2000	526,5	+
20	2001	381,7	+
21	2002	265,5	-
22	2003	289,7	-
23	2004	339,5	+
24	2005	497,5	+
25	2006	422,3	+
26	2007	262,87	-
27	2008	487,3	+
28	2009	268,7	-
29	2010	393,6	+
30	2011	340,1	+
31	2012	557,4	+

D'après les calculs, nous avons : **La médiane** =339.5

Ns=15 et Ts=4

On vérifie les conditions :

- $N_s > \frac{1}{2}(31 + 1 - 1.96\sqrt{31 + 1}) = 10.46$
- $N_s < \frac{1}{2}(31 + 1 + 1.96\sqrt{31 + 1}) = 21.54$
- $T_s < 3.3(\log_{10} 30+1) = 4.97$

La condition de Mood est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelles est homogène.

c) 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

i. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale

Le procédé de calcul consiste à:

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale (par la formule de Hazen par exemple).

-Variable réduite de gauss : $U = \frac{x - \bar{x}}{\delta}$

-Calcul des caractéristiques empirique de loi (\bar{x} ; δ ; Cv ; $CS=0$).

-Calculer le coefficient de variation : $Cv = \frac{\delta}{\bar{x}}$

Le quantile de pluie pour une période de retour donnée est:

$$XP\% = \bar{x} + \delta * Up\%$$

Avec : $XP\%$: précipitation de probabilité $P\%$.

$Up\%$: variable réduit de Gauss.

\bar{x} : Moyenne arithmétique.

δ : Écart type

ii. Ajustement à la loi log-normale (Galton)

L'ajustement par la loi log-normale se fait comme suit [06]:

-Les données statistiques des pluies sont rapportées à une autre échelle à savoir l'échelle du log normale.

Nous avons l'équation de la droite de Galton qui s'écrit comme suit :

$$\ln(X_p \%) = \overline{\ln(X)} + \delta \ln \cdot \text{Up} \% \quad \text{et } X_p \% : \text{précipitation probable à } P\%.$$

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

$\delta \ln$: la variance calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique sa formule s'écrit comme suit :

$$\delta \ln = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} [\ln(X_i) - \overline{\ln(X)}]^2} \quad \text{Si } n \leq 30$$

$$\delta \ln = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} [\ln(X_i) - \overline{\ln(X)}]^2} \quad \text{Si } n > 30$$

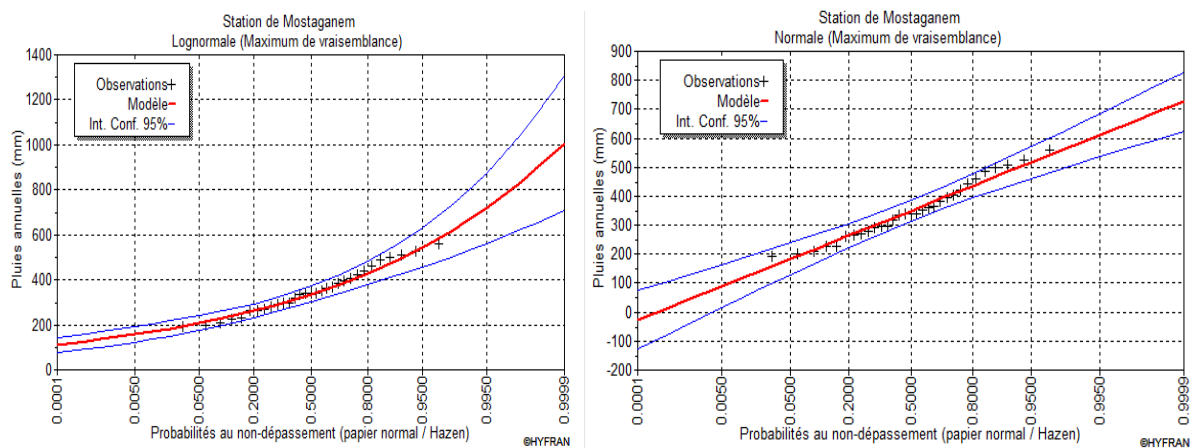


Figure II.4 : Ajustement des pluies annuelles aux lois : normale (à droite) et log-normale (à gauche).

d) Test d'adéquation a une loi

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié, l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré (χ^2).

Soit un échantillon de N valeurs, classées par ordre croissant ou décroissant à étudier, et pour lequel une loi de répartition F(X) a été déterminée :

On divise cet échantillon en un certain nombre de classes K contenant chacune N_i valeurs expérimentales. Le nombre V_i est le nombre théorique de valeurs sur un échantillon de N valeurs affectées à la classe i par la loi de répartition, donnée par la relation suivante :

$$v_i = N \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(X) dX = N [F(X_i) - F(X_{i-1})]$$

$f(X)$: étant la densité de probabilité correspondant à la loi théorique. La variable aléatoire χ^2 , dont la répartition a été étudiée par Pearson, est définie par l'expression suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i}$$

$$\lambda = K - 1 - P$$

Avec :

P : Nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition (P=2).

On calcule χ^2 , on calcule le nombre de degré de liberté $\gamma : \gamma = k - 1 - m$. On détermine χ^2 théorique sur la table de Pearson

Avec : χ^2 théorique = $g(\gamma, \alpha)$

La loi est adéquate pour une erreur $\alpha = 0.05$ si et seulement si : $\chi^2_{calculé} < \chi^2_{théorique}$

Pour les calculs nous avons utilisé le logiciel HYFRAN.

Tableau II.13 : Test de validité des deux ajustements.

Loi normale	Loi log normale
χ^2 calculé =4.45	χ^2 calculé=1.29
Degré de liberté $\gamma=4$.	Degré de liberté $\gamma=4$.
χ^2 théorique = 9.49	
$\alpha =0.05$	

D'après le test de Khi carré, on déduit que les deux lois sont à considérer ($\alpha =5\%$), et que la loi log normale présente un meilleur ajustement.

II.4 Détermination de l'année de calcul

Puisque la loi log normale est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne annuelle (fréquence 80%) représentative de la région.

Tableau II.14 : Quantiles de pluies de la station de Mostaganem (Loi log normale)

T = 1/q	q = F(X) (probabilité au non-dépassement)				
	P. Retour	Fréquence	Quantile	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10	0.90	280	19	240	320
5	0.80	250	15	220	280
2	0.50	200	9.9	180	220
1.25	0.2	150	9.1	140	170

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

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

$$P_{\text{théorique de } 80\%} = 200 \text{ mm} \text{ et } P_{\text{théorique de } 50\%} = 250 \text{ mm},$$

$$\text{et } P_{\text{moy } 80\%} = 0.8 \times P_{\text{moy-mensuelle}}$$

Tableau II.15 : Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.
P_{moy} (mm/mois)	16.2	31.75	69.41	49.73	45.94	39.38	31.71	33.66	25.38	2.53	1.22	2.98
P_{moy 80%} (mm/mois)	12.96	25.4	55.53	39.78	36.75	31.5	25.37	26.93	20.3	2.02	0.98	2.38

II.4. Conclusion

La couverture pédologique du secteur d'Ouled Boughalem est formée des sols fersiallitiques à accumulations calcaires plus ou moins tendre, avec un sol limono-sableux à un sol argilo-sableux d'une bonne texture et un bon drainage interne. En général les sols du périmètre d'Ouled Boughalem présentent de bonnes aptitudes culturales, et donc peut constituer une opportunité socio- économique pour la région.

L'analyse de la ressource en eau qui provient du barrage de Kramis qui montre qu'elle appartient à la classe C2S1, avec une faible alcalinité, et une salinité moyenne alors une dose de lessivage est préconisée pour éviter d'éventuelles dégradations du sol dues à la salinisation.

En effet, les analyses effectuées sur les sols de secteur d'Ouled Boughalem ont mis en évidence des propriétés adéquates pour l'irrigation, ce qui constitue un atout pour l'irrigation des sols dans l'ensemble du périmètre.

Chapitre III : Besoins en eau des cultures

III.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de quantifier les besoins en eau des cultures sur la base des informations définies auparavant, conditionnant la conception de notre projet tels que : les conditions climatiques, systèmes agronomiques, l'intensité culturale, potentialités des sols, l'eau disponible, et méthodes d'irrigation.

III.2 Besoins en eau des cultures

Selon Doorenbos et Pruitt (1976) : « Le besoin en eau d'une culture est la quantité d'eau en mm, 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».

III.2.1 Calcul de l'évapotranspiration

L'évaluation des besoins en eau du périmètre est basée sur la détermination des besoins en eau de chaque culture retenue dans le calendrier agronomique, pour cela il faut déterminer l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET_0).

III.2.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle de référence (ET_0) [3]

C'est l'évapotranspiration maximale d'un gazon recouvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue (Perrier, 1977).

Vu la complexité de la mise en œuvre d'un dispositif de mesure de l'évapotranspiration potentielle et à défaut de mesures directes, il est toujours préférable d'utiliser des formules empiriques suffisamment variées, et adaptées à différents climats.

Pour estimer l'évapotranspiration de référence on se base sur des méthodes indirectes, utilisant des formules empiriques en s'appuyant sur des variables climatiques.

Il existe plusieurs formules de calcul dont les principales sont :

- Formule de Turc (1960).
- Formule de Thornthwaite (1955).
- Formule de Blaney-Criddle (1959).
- Formule de Penman ou Formule de Bilan d'énergie (1948).
- Méthode de Doorenbos et Pruitt (1977) dans le cadre de la FAO.
- Formule de Bouchet

La formule de Penman est la meilleure manière d'estimation de l'ETP sous tous les climats. Son seul inconvénient est qu'elle nécessite un nombre important d'informations climatiques, rarement toutes disponibles sur une même station.

Les experts de la FAO, recommandent la méthode de Penman-Monteith (modifiée) comme méthode privilégiée d'estimation de ETo.

Formule Modifiée de Penman_Monteith [4]

La formule la plus employée aujourd'hui est la formule de Penman-Monteith modifiée :

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

Avec:

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

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

G : densité 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]

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

e_s : pression de vapeur saturante [kPa],

e_a : pression de vapeur réelle [kPa],

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

D : 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 Mostaganem :

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

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ET₀ calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0. Les résultats trouvés pour la station de Mostaganem sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau III.1 : Calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de CROPWAT 8.0

Pays : Algérie		Station : Mostaganem					
Altitude : 151m.		Latitude : 35.92 °N		Longitude : 0.08 °E			
Mois	Temps min °C	Temps max °C	Humidité %	Vent m/s	Insol heures	Radiation MJ/m ² .jour	ET _o -penman mm/mois
Janvier	5.9	16.2	76	1.8	6.2	10.0	43,30
Février	5.9	17.1	76	1.6	7.4	13.5	50,25
Mars	7.7	19.3	73	1.7	8.2	17.5	81,81
Avril	9.3	20.7	68	2.4	9.1	21.5	109,77
Mai	13.0	23.9	69	2.1	9.7	23.9	134,53
Juin	16.5	27.6	67	2.0	10.6	25.7	154,13
Juillet	19.1	30.8	66	1.7	9.8	24.2	163,30
Août	20.3	31.9	66	1.5	9.9	23.0	158,82
Septembre	17.7	28.3	71	1.6	8.8	19.1	119,21
Octobre	14.1	24.3	73	1.7	7.2	14.1	84,80
Novembre	9.8	19.7	76	1.8	6.2	10.5	52,93
Décembre	7.3	17.2	76	1.7	5.9	9.1	41,35
Moy.	12.2	23.1	71	1.8	8.3	17.7	1194.2

III.2.3 Calcul de l'évapotranspiration maximale ETM

Les besoins en eau d'une culture (ETM), représentent l'évapotranspiration maximale de la culture considérée durant un stade végétatif donné.

Pour estimer l'évapotranspiration maximale (ETM) à partir de l'évapotranspiration de référence (ET_o), on utilise les coefficients culturaux (K_c), dépendant du type de la culture et de son stade de développement et des conditions climatiques qui y règnent.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est mesurée comme suit :

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

III.2.4 Coefficients culturaux (K c)

Les valeurs du coefficient cultural (Kc) de chaque culture ont été ressorties, en fonction du stade végétatif de la plante ; de la force du vent et de la valeur moyenne de l'humidité moyenne minimale de l'air régnant au niveau de notre périmètre d'étude, à partir du bulletin « irrigation et drainage », F.A.O N°24.

III.3 Besoins en eau d'irrigation [3]

Par définition le bilan hydrique d'une culture donnée est la différence entre d'une part les besoins en eau des cultures tels que déterminés par le climat et les caractéristiques végétales (ETM) et d'autre part la somme des apports effectifs des précipitations.

Le calcul des volumes d'eau à apporter par irrigation est réalisé en effectuant période par période le bilan :

$$Bi = ETM - (Pe_{ff} + K \cdot RFU_i - 1) \dots\dots\dots (III.3)$$

ETM : évapotranspiration potentielle de référence en (mm/mois)

Pe_{ff} : pluie efficace en mm

RFU : Réserve du sol assimilée à la réserve facilement utilisable disponible au début de la période, **K** est un coefficient généralement égal à 1/2 ou 1/3.

➔ **L'irrigation est faite lorsque Bi (bilan hydrique) > 0**

III.3.1 Calcul de la pluie efficace [1]

Pour tenir compte des pertes, il faut calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation en profondeur.

La pluie efficace est estimée comme suit :

$$\text{Pluie efficace (Pe}_{ff}) = 80 \% \text{ de la pluie moyenne mensuelle.}$$

Les valeurs moyennes mensuelles de Pe_{ff} sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Précipitation efficace dans la zone d'étude.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr	Mai.	Jui.	Juil.	Août.
Pmoy (mm)	12.96	25.4	55.53	39.78	36.75	31.5	25.37	26.93	20.3	2.02	0.98	2.38
Pe_{ff} (mm)	10.4	20.3	44.4	31.8	29.4	25.2	20.3	21.5	16.2	1.6	0.8	1.9

III.3.2 Choix des cultures

Le choix des cultures à mettre en place doit concilier entre les critères suivants :

- Les conditions climatiques de la région étudiée.
- La qualité et disponibilité de l'eau d'irrigation.
- L'aptitude culturale des sols basée sur l'étude pédologique.
- Des disponibilités des moyens de production.
- De la demande commerciale traduisant les profils des agriculteurs.

a) Cultures proposées :

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

Tableau III.3 : Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre

Scenario	Céréales %	Fourrages %	Maraichage %	Arboriculture %	Total %
1	45	15	30	10	100
2	35	15	35	15	100
3	30	10	35	25	100

Dans notre mémoire on propose le scénario 2 qui est un scénario équilibré. La gamme des cultures proposée relatives aux cultures envisageables dans notre scénario est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.4 : Occupation de sol en fonction des cultures

Les cultures	Surface occupé en %	Surface occupée en Ha
La céréaliculture : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Blé ▪ Orge grain 	35	133
Les cultures fourragères : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Orge en vert ▪ Luzerne 	15	57
Le maraîchage : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pomme de terre ▪ Ail /Oignon vert ▪ Tomate ▪ Carotte ▪ Petit pois ▪ Choux ▪ Concombre ▪ Haricot 	35	133
L'arboriculture : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vigne ▪ Olivier ▪ Pruniers/Pêchers 	15	57
Total	100	380

b) Identification des principaux types d'assolement [4]:

La pratique des assolements a pour but principal de maximiser les revenus et minimiser les risques de fluctuation de la fertilité de sol, d'une année à l'autre, elle permet l'association et la combinaison des grandes classes de cultures, à savoir : les maraîchages, arboriculture, céréaliculture, fourragères suivant la taille des exploitations, les moyens financiers, les capacités techniques et de la gestion des agriculteurs.

L'assolement proposé est détaillé dans le tableau III.5 :

Tableau III.5 : Assolements proposés.

Assolement 1	Assolement 2
Blé	Orge en vert
Orge grain	Betterave
Luzerne	Blé
Ail + Oignon vert	Tomate
Pomme de terre	Haricot (s)
Tomate /poivron	Oignon vert
Chou	Petits pois
Concombre	Carotte
Arboriculture : Vigne, Olivier et Pruniers	Arboriculture : Vigne, Olivier et Pruniers

c) Avantages de la rotation des cultures

- Elle contribue à rompre le cycle vital des organismes nuisibles aux cultures, en particulier la succession de plantes de familles différentes (par exemple alternance de graminées et de plantes oléifères, type blé et colza) permet de rompre avec le cycle de certaines adventices ;

- L'emploi de légumineuses permet l'ajout d'azote symbiotique dans le sol. D'une façon générale, la composition des différents résidus de cultures participe à la qualité de la matière organique du sol.

Pour notre part, nous avons choisi un assolement biennal, qui vise l'intensification des céréales, étant donné que le périmètre d'Ouled Boughalem est une entité agricole qui a pour objectifs l'intensification et la diversification des cultures céréalières et fourragères.

N/B : (s) : saison et (a/s) : arrière-saison

III.2.3 Cycle végétatif des cultures

Le cycle végétatif des différentes cultures sont présentés dans le tableau dessous:

Tableau III.6 : Cycle végétatif des cultures

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé/Avoine			←								→	
Orge grain			←							→		
Orge en vert			←							→		
Mais								←				→
Tomate							←				→	
P.D.T (AR)		←										
Luzerne		←										→
Oignon/Ail		←										
Choux	←											
Carotte	←											
Haricot		←										→
Concombre												→
Petit pois				←								
Pêcher	←											→
Vigne	←											→
Olivier	←											→

III.4 Calcul des besoins en eau des cultures

Assolement I

Estimation des besoins en eau des céréales

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

Tableau III.7 : Calcul des besoins en eau du Blé.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,30	32,40	10,80	0,40	21,17	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,50	54,00	18,00	0,70	28,95	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,50	54,00	18,00	0,85	36,81	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,60	64,80	21,60	0,95	47,74	0,94
Mars	25,37	20,3	81,81	0,60	64,80	0,00	1,05	85,90	65,60
Avril	26,93	21,5	109,77	0,60	64,80	0,00	1,00	109,77	88,23
Mai	20,3	16,2	134,53	0,60	0,00	0,00	0,80	107,62	91,38
Juin	2,02	1,6	154,13	0,60	0,00	0,00	0,45	69,36	67,74
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.8 : Calcul des besoins en eau de l'orge grain.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,30	32,40	10,80	0,40	21,17	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,50	54,00	18,00	0,70	28,95	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,50	54,00	18,00	0,85	36,81	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,60	64,80	21,60	0,95	47,74	0,94
Mars	25,37	20,3	81,81	0,60	64,80	0,00	0,90	73,63	53,33
Avril	26,93	21,5	109,77	0,60	64,80	0,00	0,90	98,79	77,25
Mai	20,3	16,2	134,53	0,60	64,80	21,60	0,80	107,62	69,78
Juin	2,02	1,6	154,13	0,60	64,80	21,60	0,45	69,36	46,14
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estimation des besoins en eau des cultures maraichères :

Tableau III.9 : Calcul des besoins en eau de la pomme de terre (saison).

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,3	32,40	10,80	0,45	22,61	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,6	64,80	21,60	0,8	65,45	23,55
Avril	26,93	21,5	109,77	0,6	64,80	21,60	1,05	115,26	72,11
Mai	20,3	16,2	134,53	0,6	64,80	21,60	0,7	94,17	56,33
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.10 : Calcul des besoins en eau de l'Ail /oignon.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,40	43,20	0,00	0,50	42,40	22,08
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,40	43,20	14,40	0,75	39,70	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,40	43,20	14,40	0,95	39,28	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,40	43,20	14,40	0,95	41,14	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,40	43,20	14,40	0,75	37,69	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.11 : Calcul des besoins en eau du concombre.

Mois	P moy (mm)	Pe _{eff} (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,40	47,68	37,32
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,70	59,36	39,04
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,00	0,00	0,00	0,90	47,64	3,21
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,00	0,00	0,00	0,70	28,95	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,40	43,20	0,00	0,38	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,45	48,60	14,40	0,57	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,50	54,00	16,20	0,85	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,60	64,80	18,00	0,85	0,00	0,00

Tableau III.12 : Calcul des besoins en eau du chou.

Mois	P moy (mm)	Pe _{eff} (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,30	32,40	0,00	0,50	59,61	49,24
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,40	43,20	0,00	0,70	59,36	39,04
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,50	54,00	14,40	0,95	50,28	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,60	64,80	18,00	0,80	33,08	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.13 : Calcul des besoins en eau du poivron.

Mois	P moy (mm)	Pe _{eff} (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,4	43,20	14,40	0,4	32,72	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,5	54,00	18,00	0,9	98,79	59,25
Mai	20,3	16,2	134,53	0,7	75,60	25,20	1,05	141,26	99,82
Juin	2,02	1,6	154,13	0,7	75,60	25,20	0	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estimation des besoins en eau des cultures fourragères :

Tableau III.14 : Calcul des besoins en eau de la luzerne.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,40	43,20	0,00	0,65	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,70	75,60	25,20	0,70	37,05	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,90	97,20	32,40	0,80	33,08	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	1,00	108,00	36,00	0,90	38,97	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	1,20	129,60	43,20	0,95	47,74	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	1,20	129,60	0,00	1,05	85,90	65,60
Avril	26,93	21,5	109,77	1,20	129,60	0,00	1,05	115,26	93,71
Mai	20,3	16,2	134,53	1,20	129,60	43,20	1,15	154,71	95,27
Juin	2,02	1,6	154,13	1,20	129,60	43,20	1,20	184,96	140,14
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Assolement II

Estimation des besoins en eau des céréales

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

Tableau III.15 : Calcul des besoins en eau du blé

Mois	P moy(mm)	Peff(mm)	ETP(mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B(mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,30	32,40	10,80	0,40	21,17	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,50	54,00	18,00	0,70	28,95	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,50	54,00	18,00	0,85	36,81	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,60	64,80	21,60	0,95	47,74	0,94
Mars	25,37	20,3	81,81	0,60	64,80	0,00	1,05	85,90	65,60
Avril	26,93	21,5	109,77	0,60	64,80	0,00	1,00	109,77	88,23
Mai	20,3	16,2	134,53	0,60	0,00	0,00	0,80	107,62	91,38
Juin	2,02	1,6	154,13	0,60	0,00	0,00	0,45	69,36	67,74
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estimation des besoins en eau des cultures maraichères :

Tableau III.16 : Calcul des besoins en eau de la tomate.

Mois	P moy(mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B(mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,90	97,20	0,00	0,90	107,29	96,92
Octobre	25,4	20,3	84,8	1,20	129,60	0,00	1,15	97,52	77,20
Novembre	55,53	44,4	52,93	1,20	129,60	43,20	0,80	42,34	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,70	75,60	0,00	0,45	71,47	69,57

Tableau III.17 : Calcul des besoins en eau de l'Oignon/ail.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,40	43,20	0,00	0,50	42,40	22,08
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,40	43,20	14,40	0,75	39,70	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,40	43,20	14,40	0,95	39,28	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,40	43,20	14,40	0,95	41,14	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,40	43,20	14,40	0,75	37,69	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.18 : Calcul des besoins en eau de l'haricot.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,70	75,60	0,00	0,90	107,29	96,92
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,70	75,60	0,00	0,85	72,08	51,76
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,50	54,00	0,00	0,50	77,07	75,45
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,50	54,00	0,00	0,65	106,15	105,36
Août	2,38	1,9	158,82	0,70	75,60	0,00	1	158,82	159

Tableau III.19 : Calcul des besoins en eau des petits pois

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,40	43,20	14,81	0,50	20,68	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,70	75,60	21,60	0,80	34,64	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,70	75,60	25,20	1,00	50,25	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,70	75,60	0,00	0,95	77,72	57,42
Avril	26,93	21,5	109,77	0,70	75,60	0,00	0,50	54,89	33,34
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.20 : Calcul des besoins en eau de la carotte

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,30	32,40	0,00	0,40	47,68	37,32
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,40	43,20	0,00	0,70	59,36	39,04
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,50	54,00	14,40	0,90	47,64	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,70	75,60	18,00	0,70	28,95	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau III.21 : Calcul des besoins en eau de la betterave.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,60	64,80	0,00	0,65	77,49	67,12
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,60	64,80	21,60	1,00	84,80	42,88
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,60	64,80	21,60	0,60	31,76	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avril	26,93	21,5	109,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	20,3	16,2	134,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,40	43,20	0,00	0,45	71,47	69,57

Estimation des besoins en eau des cultures fourragères :

Tableau III.22 : Calcul des besoins en eau de l'orge en vert.

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octobre	25,4	20,3	84,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	55,53	44,4	52,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	0,30	32,40	0,00	0,30	12,41	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	0,50	54,00	10,80	0,30	12,99	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	0,50	54,00	18,00	0,50	25,13	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	0,60	64,80	0,00	0,50	40,91	20,61
Avril	26,93	21,5	109,77	0,60	64,80	0,00	0,90	98,79	77,25
Mai	20,3	16,2	134,53	0,60	64,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Juin	2,02	1,6	154,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet	0,98	0,8	163,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août	2,38	1,9	158,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estimation des besoins en eau de l'Arboriculture :

Tableau III.23 : Calcul des besoins en eau de l'olivier

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	1,50	162,00	0,00	0,85	101,33	90,96
Octobre	25,4	20,3	84,8	1,50	162,00	0,00	0,85	72,08	51,76
Novembre	55,53	44,4	52,93	1,50	162,00	54,00	0,75	39,70	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	1,50	162,00	54,00	0,65	26,88	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	1,50	162,00	54,00	0,65	28,15	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	1,50	162,00	54,00	0,65	32,66	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	1,50	162,00	0,00	0,65	53,18	32,88
Avril	26,93	21,5	109,77	1,50	162,00	0,00	0,65	71,35	49,81
Mai	20,3	16,2	134,53	1,50	162,00	0,00	0,65	87,44	71,20
Juin	2,02	1,6	154,13	1,50	162,00	0,00	0,80	123,30	121,69
Juillet	0,98	0,8	163,3	1,50	162,00	0,00	0,85	138,81	138,02
Août	2,38	1,9	158,82	1,50	162,00	0,00	0,85	135,00	133,09

Tableau III.24 : Calcul des besoins en eau du pêcher

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	1,50	162,00	0,00	0,55	65,57	55,20
Octobre	25,4	20,3	84,8	1,50	162,00	0,00	0,55	46,64	26,32
Novembre	55,53	44,4	52,93	1,50	162,00	54,00	0,55	29,11	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	1,50	162,00	54,00	0,75	31,01	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	1,50	162,00	54,00	0,75	32,48	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	1,50	162,00	54,00	0,75	37,69	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	1,50	162,00	0,00	0,75	61,36	41,06
Avril	26,93	21,5	109,77	1,50	162,00	0,00	0,55	60,37	38,83
Mai	20,3	16,2	134,53	1,50	162,00	0,00	0,55	73,99	57,75
Juin	2,02	1,6	154,13	1,50	162,00	0,00	0,55	84,77	83,16
Juillet	0,98	0,8	163,3	1,50	162,00	0,00	0,55	89,82	89,03
Août	2,38	1,9	158,82	1,50	162,00	0,00	0,55	87,35	85,45

Tableau III.25 : Calcul des besoins en eau de la vigne

Mois	P moy (mm)	Peff (mm)	ETP (mm/mois)	Z (m)	RFU_THEO	RFU_REEL	KC	ETM	B (mm)
Septembre	12,96	10,4	119,21	1,5	162	0	0,55	83,16	61,16
Octobre	25,4	20,3	84,8	1,5	162	0	0,45	50,468	17,12
Novembre	55,53	44,4	52,93	1,5	162	54	0,00	27,225	0,00
Décembre	39,78	31,8	41,35	1,5	162	54	0,00	26,2725	0,00
Janvier	36,75	29,4	43,3	1,5	162	54	0,00	35,1075	0,00
Février	31,5	25,2	50,25	1,5	162	54	0,00	41,37	0,00
Mars	25,37	20,3	81,81	1,5	162	0	0,25	68,655	44,77
Avril	26,93	21,5	109,77	1,5	162	0	0,45	62,733	30,30
Mai	20,3	16,2	134,53	1,5	162	0	0,60	86,4435	55,34
Juin	2,02	1,6	154,13	1,5	162	0	0,75	97,1685	91,55
Juillet	0,98	0,8	163,3	1,5	162	0	0,70	116,7925	114,26
Août	2,38	1,9	158,82	1,5	162	0	0,65	115,038	111,53

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

Mois	Blé	Orge en grain	Luzeerne	Oignon vert	Pomme de terre	Poivron	Chou	Concombre	Arbori	Bes/max	Total
Septembre	0	0	49,5	0	0	0	49,24	37,32	207,32	207,32	343,38
Octobre	0	0	29,3	22,08	0	0	39,04	39,04	95,2	95,2	224,66
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	3,21	0	3,21	3,21
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	0,94	0,94	8,2	0	0	0	0	0	0	8,2	10,08
Mars	65,6	53,33	48,1	0	23,55	0	0	0	118,71	118,71	309,29
Avril	88,23	77,25	76,3	0	72,11	59,25	0	0	118,94	118,94	492,08
Mai	91,38	69,78	120,9	0	56,33	99,82	0	0	184,29	184,29	622,5
Juin	67,74	46,14	165,4	0	0	0	0	0	296,4	296,4	575,68
Juillet	0	0	152,7	0	0	0	0	0	341,31	341,31	494,01
Août	0	0	146,9	0	0	0	0	0	330,07	330,07	476,97

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

Mois	Orge en vert	Betterave	Blé	Tomate	Haricot (s)	Oignon vert	Petits pois	Carotte	Arbori	Bes/max	Total
Septembre	0	67,12	0	96,92	96,92	0	0	37,32	207,32	207,32	712,92
Octobre	0	42,88	0	77,2	51,76	22,08	0	39,04	95,2	95,2	423,36
Novembre	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Décembre	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Janvier	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Février	0	0,00	0,94	0	0	0	0	0	0	0,94	1,88
Mars	20,61	0,00	65,6	0	0	0	57,42	0	118,71	118,71	381,05
Avril	77,25	0,00	88,23	0	0	0	33,34	0	118,94	118,94	436,7
Mai	0	0,00	91,38	0	0	0	0	0	184,29	184,29	459,96
Juin	0	0,00	67,74	0	75,45	0	0	0	296,4	296,4	735,99
Juillet	0	0,00	0	0	105,36	0	0	0	341,31	341,31	787,98
Août	0	69,57	0	69,57	159	0	0	0	330,07	330,07	948,26

III.5.1 Calcul du débit spécifique [5]

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.

$$q_s = \frac{B_{net} * 10 * 1000}{N_j * N_i * 3600 * E_i} \text{ l/s/ha}$$

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 II)

D'où les besoins de pointe correspondent au mois d'Aout,

B_{net} = 948.3 mm/mois.

➔ **q_s=4.88 l/s/ha > 1.5 l/s/ha**

Le débit spécifique obtenu est supérieur à 1.5. On prend donc le débit spécifique de la culture la plus exigeante pour le mois de pointe.

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

➔ **q_s =0.82 l/s /ha**

III.5.2. 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, déterminé en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile, voir la formule suivante :

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

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

S : la superficie nette à irriguer = 380 ha

➔ **Q_{car} = q_s · S =0.82*380=311.6 l/s**

III.5.3 Estimation des volumes d'eau d'irrigation

Le volume des besoins en eau pour notre périmètre est présenté dans le Tableau suivant.

Tableau III.28 : Besoins en eau totaux de l'assolement II.

Culture	Surface (ha)	Besoins nets (m ³ /ha)	Efficience	Besoins bruts (m ³ /ha)	Besoins en eau (m ³)
Orge vert	57	978,6	0,75	733,95	41835,15
Blé	133	3138,9	0,75	2354,175	313105,28
Betterave	10	1795,7	0,75	1346,775	13467,75
Tomate	30	2436,9	0,75	1827,675	54830,25
Petit pois	15	907,6	0,75	680,7	10210,5
Oignon	40	220,8	0,75	165,6	6624
Carotte	15	763,6	0,75	572,7	8590,5
Haricot	23	4784,7	0,75	3588,525	82536,075
Pécher	17	4768	0,75	3576	60792
Vigne	20	5260,3	0,75	3945,225	78904,5
Olivier	20	6894,1	0,75	5170,575	103411,5
Total	380	31949,2		23961,9	774307,5

Le volume nécessaire pour les cultures durant toute leur période végétative est de **774307,5 m³**.

III.6 Conclusion

A partir de ce chapitre nous avons déterminé les besoins en eau d'irrigation pour les cultures de notre périmètre. On remarque que le mois de pointe est le mois d'Aout, ce qui a permis de calculer le débit spécifique (**qs = 0.82 l/s/ha**) en tenant compte du débit spécifique de la culture la plus exigeante. On remarque que le volume total des besoins en eau de notre périmètre est de 774307,5 m³. Ce volume peut être déduit de la retenue puisque le volume alloué au périmètre est de 1.8 Mm³.

CHAPITRE IV : ETUDE DU SYSTEME D'ADDUCTION**IV.1 Introduction**

Pour une bonne conception d'un périmètre d'irrigation il faut se préoccuper par la partie adduction vue que l'ensemble du système d'irrigation en dépend et afin de garantir une gestion efficace.

IV.2 Alimentation en eau du périmètre

Le périmètre de Kramis secteur Ouled Boughalem dont la surface nette est de 380 Ha, sera irrigué à partir du barrage de Kramis, qui est situé en amont du périmètre.

IV.3 Organisation du périmètre

L'organisation du périmètre est la première contrainte dans un aménagement hydro-agricole, la conception du périmètre d'Ouled Boughalem a été faite en discrétisant le périmètre en 62 ilots dont la superficie varie de 1 ha à 12.2 ha.

IV.3.1 Ilots et bornes d'irrigation

Le terme « Ilot d'irrigation » décrit l'unité hydro-agricole alimenté par une borne d'irrigation. L'organisation d'un périmètre en ilots résulte d'un compromis de plusieurs facteurs topographiques, technico-économique, taille et nombre de parcelles...etc. On admet généralement que l'implantation des bornes pour les zones de petites et moyennes exploitations doivent répondre aux critères suivant :

1. Une prise par ilot d'exploitations.
2. Quatre (04) prise maximum sur une même borne.
3. Bornes implantées en limites d'ilots ou au centre pour les grands ilots.

IV.3.2 Rôle et fonction de la borne d'irrigation

Chaque ilot sera équipé d'un ouvrage de desserte appelé borne d'irrigation, qui comporte une ou plusieurs sorties ou « prises » suivant le nombre d'arrosages qu'elle doit assurer simultanément. Chaque borne, et même chaque sortie, doit assurer toutes les fonctions d'une prise c'est-à-dire :

- ✓ Régler le débit, ou plus exactement le limiter au débit de l'ilot.
- ✓ Régler la pression et encaisser les suppressions accidentelles.
- ✓ Compter les volumes distribués par la prise

IV.3.3. Implantation des bornes [4]

L'emplacement des bornes d'irrigation qui régit le plan de bornage est le premier problème auquel doit s'attaquer le projecteur. En effet une forte densité améliore les conditions de travail des agriculteurs en diminuant les longueurs de canalisation mobile de surface, mais il en résulte une augmentation importante des frais d'installation du réseau fixe. Une trop faible densité accroît le travail de montage et de transport de canalisation mobiles. On admet généralement que l'implantation des bornes répond aux critères suivants :

- Pour les zones de petites et moyennes exploitations :
 - ✓ Une borne par îlot d'exploitations ;
 - ✓ Quatre (04) prises maximum sur une même borne soit huit parcelles au maximum ;
 - ✓ Bornes implantées en limites d'îlots ou des parcelles ;
 - ✓ Dénivelée maximum de 5 m entre les points les plus hauts et les plus bas du bloc d'îlots.
- Pour les zones à grande exploitation :
 - ✓ La borne se situe au centre de l'îlot ;
 - ✓ 4prises sur les mêmes bornes.

IV.3.4. Calcul du débit aux bornes

Le débit de chaque borne pouvant desservir un îlot est calculé comme suit :

$$Q_b = q_s \cdot S_i \quad (IV.1)$$

Avec :

Q_b : Débit de chaque îlot (l/s)

q_s : Débit spécifique (l/s/ha)

S_i : Superficie de l'îlot (ha)

IV.3.5 Choix du diamètre et du type des bornes

Le choix du type de borne dépend de la surface de l'îlot et du nombre de parcelles. Généralement on admet :

- ➔ Pour les îlots 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.1 : 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 B	$40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11l/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 $\Phi 150$

Tableau IV.2 : Calcul des débits des ilots et choix du type de bornes.

Ilot	Borne	Nbre de parcelles	Superficie ilot (ha)	Débit (l/s)	Matériel	Type de borne
BG1	BG1/K	2	6,97	5,72	Fonte	A2
BG2	BG2/A	1	6,5	5,33	Fonte	A2
BG61	BG61/A	1	10	8,20	Fonte	A2
BG6	BG6/B	1	9,54	7,82	Fonte	A2
BG5	BG5/K	1	8,75	7,18	Fonte	A2
BG4	BG4/H	1	9,64	7,90	Fonte	A2
BG7	BG7/A	2	6.83	5.6	Fonte	A2
BG8	BG8/K	1	2,9	2,38	Fonte	A2
BG9	BG9/K	2	7.43	6.09	Fonte	A2
BG10	BG10/K	1	7,92	6,49	Fonte	A2
BG11	BG11/A	1	8,48	6,95	Fonte	A2
BG12	BG12/A	3	6.4	5.24	Fonte	A2
BG13	BG13/K	2	4.85	3.98	Fonte	A2
BG14	BG14/K	1	6,15	5,04	Fonte	A2
BG15	BG15/K	1	8,3	6,81	Fonte	A2
BG16	BG16/K	1	8,46	6,94	Fonte	A2
BG62	BG62/A	1	2,56	2,10	Fonte	A2
BG17	BG17/K	1	4,67	3,83	Fonte	A2
BG18	BG18/A	1	6,13	5,03	Fonte	A2
BG19	BG19/H	1	3,32	2,72	Fonte	A2
BG20	BG20/H	2	7.14	5.86	Fonte	A2
BG21	BG21/H	2	6.6	5.41	Fonte	A2
BG22	BG22/K	3	11.05	9.07	Fonte	A2
BG24	BG24/A	1	12	9,84	Fonte	A2

Tableau IV.2 : Calcul des débits des ilots et choix du type de bornes (Suite et fin).

Ilot	Borne	Nbre de parcelles	Superficie ilot (ha)	Débit (l/s)	Matériel	Type de borne
BG25	BG25/K	1	7,95	6,52	Fonte	A2
BG26	BG26/K	1	7,73	6,34	Fonte	A2
BG27	BG27/A	1	6,75	5,54	Fonte	A2
BG28	BG28/K	1	10,82	8,87	Fonte	A2
BG29	BG29/A	1	3,17	2,60	Fonte	A2
BG30	BG30/H	2	3,24	2,66	Fonte	A2
BG31	BG31/H	3	7,7	6,31	Fonte	A2
BG32	BG32/A	1	11,88	9,74	Fonte	A2
BG33	BG33/A	1	3,13	2,57	Fonte	A2
BG34	BG34/K	2	6,16	5,05	Fonte	A2
BG35	BG35/Q	3	7,1	5,82	Fonte	A2
BG36	BG36/K	3	3,43	2,81	Fonte	A2
BG37	BG37/A	3	5,89	4,84	Fonte	A2
BG38	BG38/Q	2	8,41	6,89	Fonte	A2
BG39	BG39/K	1	2,07	1,70	Fonte	A2
BG40	BG40/K	2	5,14	4,22	Fonte	A2
BG41	BG41/K	2	11,14	9,13	Fonte	A2
BG42	BG42/K	1	7,16	5,87	Fonte	A2
BG43	BG43/K	1	9	7,38	Fonte	A2
BG44	BG44/H	3	3,76	3,01	Fonte	A2
BG45	BG45/H	1	2,45	2,01	Fonte	A2
BG46	BG46/H	2	9,21	7,56	Fonte	A2
BG47	BG47/H	1	1,68	1,38	Fonte	A2
BG48	BG48/Q	1	12,2	10,00	Fonte	A2
BG49	BG49/K	2	7,91	6,48	Fonte	A2
BG50	BG50/K	6	12,01	9,84	Fonte	A4
BG51	BG51/A	1	9,46	7,76	Fonte	A2
BG53	BG53/K	7	5,24	4,31	Fonte	A4
BG54	BG54/Q	4	3,36	2,76	Fonte	A4
BG55	BG55/A	1	8,24	6,76	Fonte	A2
BG57	BG57/K	4	2,78	2,28	Fonte	A4
BG58	BG58/K	5	4,42	3,63	Fonte	A4
BG59	BG59/K	5	4,59	3,76	Fonte	A4
BG60	BG60/A	1	9,86	8,09	Fonte	A2

IV.4. Description de l'aménagement du périmètre

IV.4.1 Schéma général et fonctions du réseau :

Le réseau d'adduction a été conçu pour amener les eaux provenant du barrage Kramis vers les différents points de consommation.

Le tronç commun :

Ce tronç commun va du barrage jusqu'au point à partir duquel éclatent les deux branches, desservant respectivement la vallée de Kramis et le bloc de Ouled Boughalem pour la branche Nord, et la zone de Khadra Achâacha ainsi que Sidi Lakhdar pour la branche Ouest.

A la fin de ce tronçon commun, la branche nord poursuit son cheminement le long de la vallée, et la branche ouest longe grosso modo la seule piste existante rejoignant le plateau. La longueur totale du tronçon commun est de 1780 ml.

La branche Ouled Boughalem :

Cette branche poursuit son cheminement dans la vallée à partir de la fin du tronçon commun ; une piste d'exploitation à créer, longe cette branche qui dessert en cours de route plusieurs quartiers d'irrigation dans la vallée.

Le bief gravitaire de cette branche, se termine au droit de la station de surpression de Ouled Boughalem (SOB) ; il a une longueur totale de 9436ml, dont 1780ml concernent le tronçon commun.

Le bief terminal de la branche Nord, concerne l'alimentation de Ouled Boughalem, par pompage, il démarre de la station SOB jusqu'au réservoir de stockage de Ouled Boughalem, sur une longueur de 927ml.

Au-delà de la station SOB, l'alimentation de la zone nord de la vallée se poursuit gravitairement.

IV.4.2 Choix de la variante d'aménagement

Notre périmètre est situé en aval du barrage de Kramis dans ce cas, deux variantes ont été étudiées :

- **Une variante gravitaire** : le périmètre sera alimenté exclusivement par une desserte gravitaire. Après analyse cette variante a été écartée du fait des faibles pressions obtenues.
- **Une variante mixte** : à partir d'un refoulement du barrage vers un réservoir de mise en charge puis une desserte gravitaire alimentant les parcelles.

Dans notre étude et après analyse des deux variantes nous avons choisi la plus adéquate c'est-à-dire un système mixte refoulement-Adduction gravitaire.

IV.5 Calculs hydrauliques du système d'adduction

Pour les besoins des calculs hydrauliques du système d'adduction nous allons dimensionner les systèmes suivants :

- Le système de pompage avec le diamètre économique
- Le réservoir de stockage

- La desserte gravitaire

IV.5.1 Etude du système de pompage

IV.5.1.1 Les pompes :

La pompe est un dispositif utilisé pour aspirer, pour déplacer ou pour comprimer des liquides et des gaz. Dans toutes les pompes, il faut éviter la cavitation (formation des poches gazeuses), ce qui réduirait le débit et endommagerait le corps de la pompe. Il existe deux grands types de pompes : les pompes volumétriques qui sont utilisées pour pomper les eaux usées et les turbopompes.

➤ Les turbopompes (pompes centrifuge)

Il existe trois classes de turbopompes : les pompes centrifuges, à écoulement radial ;

Les pompes axiales, à écoulement axial ; les pompes semi axiales.

➤ Les pompes à écoulement radial

Ce sont les pompes centrifuges au sens strict. Elles permettent de relever des faibles débits sur de fortes hauteurs. La hauteur de refoulement croit avec le diamètre extérieur de la roue. Dans ce cas, l'écoulement est radial et les aubages sont des surfaces planes.

➤ Les pompes axiales :

Ce sont les pompes hélices où les pales sont constituées par des surfaces gauches. Ces pompes conviennent pour relever de forts débits sur de faibles hauteurs.

➤ Les pompes semi axiales :

Pour relever de forts débits sur de faibles hauteurs on montre que les vitesses d'entrée doivent être faibles. La hauteur de refoulement étant faible le diamètre de sortie est relativement faible d'où la construction d'une pompe hélico-centrifuge avec des dimensions importantes. Les diamètres d'entrée et de sortie sont comparables.

IV.5.1.2 Détermination de la hauteur d'élévation calculée :

La hauteur d'élévation se calcule comme suivant :

$$H_{cal} = h_g + \sum h_p(\text{asp}) + \sum h_p(\text{ref}) + P_{exh} \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique (m) ;

$\sum h_p(\text{asp})$: Pertes de charges à l'aspiration (m) ;

Σh_p (ref) : Pertes de charges au refoulement (m) ;

P_{exh} : Pression nécessaire à l'exhaure (sortie du collecteur), $P_{exh} = (1,0 \div 1,5)$ m ; On prend $P_{exh} = 1$ m

IV.5.1.3 Hauteur manométrique totale

La hauteur manométrique est donnée par la formule

$$HMT = H_g + \Delta h_p \quad (IV.3)$$

Avec :

HMT : Hauteur Manométrique Totale en (m).

H_g : Hauteur géométrique en (m). $H_g = h_r - h_b$

H_a : hauteur d'aspiration

h_r : Cote bête : 116

Cote du réservoir = 166 m

Débit à refouler $Q = 333$ l/s.

Donc $H_g = 166 - 116 = 50$

IV.5.1.4 Calcul des pertes de charge totales

a) Pertes de charge linéaires :

Les pertes de charge sont calculées comme suit :

$$\Delta H_l = I * L = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \quad (IV.4)$$

L : longueur du tronçon en (m).

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

ΔH_l : Pertes de charge linéaires en (m) :

I : gradient hydraulique en (m/m)

Le coefficient λ est obtenu par les formules suivantes :

$$\lambda = (1,14 - 0,86 \operatorname{Ln} \frac{\xi}{D})^{-2} \quad (\text{Formule de Nikuradzé}) \quad (\text{IV.5})$$

ξ : Rugosité absolue ; 0,03 mm. (Conduite en PEHD).

b) Pertes de charge singulières :

Elles sont occasionnées par les singularités des différents accessoires de la conduite (Coude, vannes, clapets...). Elles sont estimées à 10 % des pertes de charge linéaires pour une adduction ou conduite longue.

$$\Delta H_s = 0,1 * \Delta H_l$$

IV.5.1.5 Calcul du diamètre économique

Le dimensionnement de la conduite d'adduction s'établit en cherchant le diamètre économique qui permet de donner un coût de revient minimum entre les dépenses de fonctionnement et celle d'investissement, donc une étude technico-économique s'avère indispensable. Le diamètre économique des conduites de refoulement sera déterminé comme suit :

➤ La formule de Bonin :

$$D = \sqrt{Q} \quad (\text{IV.6})$$

Q : débit à élever en m³/s.

D : diamètre de la conduite (m).

$$Q_{\text{équipement}} = 1,05 * Q_{\text{car}} = 0,033 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0,57 \text{ m} \quad \text{donc Déco} = 570 \text{ mm}$$

➤ Puissance absorbée par la pompe :

C'est la puissance fournie à pompe, définie comme suit :

$$P = \frac{\rho g * Q * HMT}{\eta} \quad (\text{IV.7})$$

η : rendement de la pompe en (%) ($\eta = 82\%$)

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**

$$E = P * t * 365 \text{ [kWh]} \quad (\text{IV.8})$$

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

P : puissance de la pompe en (kW).

➤ **Frais d'exploitation**

Les frais d'exploitation sont définis comme suit :

$$F_{ex} = E * e \text{ [DA]} \quad (\text{IV.8})$$

E : énergie consommée par la pompe en (kWh)

e : prix unitaire d'un kWh imposé par la SONELGAZ (e=4,69DA).

➤ **Frais d'amortissement**

Les frais d'amortissement sont donnés comme suit :

$$F_{am} = P_{rc} * A \text{ [DA]} \quad (\text{IV.9})$$

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

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

$$A = \frac{i}{(i + 1)^n - 1} + i \quad (\text{IV.10})$$

i : Taux d'annuité annuel, i = 8 %

n : nombre d'années d'amortissement, n = 29ans

$$A = \frac{0.08}{(0.08+1)^{29}-1} + 0.08 = 0.0896$$

A=8.96 %

Les résultats sont résumés comme suit :

Tableau IV.2 : Calcul du bilan total.

D (mm)	Amortissement	Exploitation	Bilan
300	711175,86	12955055,7	13666231,6
350	802754,19	10065722,9	10868477,1
400	990861,03	8882476,2	9873337,23
500	1324173,15	8066744,55	9390917,7
600	1470203,46	7836712,67	9306916,13

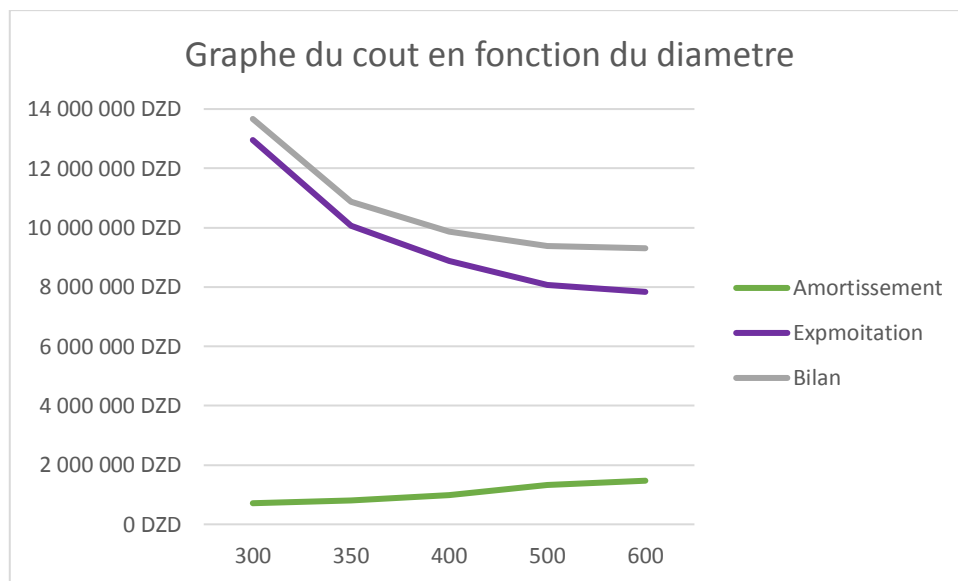


Figure IV.1 : Graphe du cout en fonction diamètre.

D'après le graphe du bilan, on remarque que le diamètre économique est de 600 mm, et une HMT de l'ordre de 51 m.

IV.5.1.6 Choix des pompes et nombre des pompes

Les Critères du choix du nombre de pompes sont les suivants :

- Nombre minimal de pompes.
- Puissance absorbée minimale.
- (NPSH)_r minimal.
- Meilleur rendement.
- Vitesse de rotation élevée.

Les intervalles des nombres de pompes sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.3 : Choix de Nombre de pompes

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

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

- Le débit d'équipement qui est de 333 l/s.
- La hauteur manométrique totale nécessaire à l'adduction elle est de 51 m
- La conduite de refoulement a un linéaire de 927 m.

Dans notre cas, nous avons utilisé le logiciel CAPRARI pour le choix du type et du nombre des pompes. Le tableau IV.4 englobe le type, le nombre et les caractéristiques de chaque pompe choisie.

Les caractéristiques de la pompe sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Variantes pour le choix du nombre de pompes.

N	Q (l/s)	HMT(m)	Type de la Pompe	η (%)	N (tr/min)	P abs (KW)	NPSHr (m)	\varnothing mm
1	/	/						
2	166*2	51	E14S64/1A + MC10800	73	2900	104	11	230
3	111*3	51	E14S55/1A + M10125	77.5	2900	78.7	11	230
4	88.7*4	51	E10S64/2A+MC880	76.5	2900	58	7.68	150

Conclusion :

Le choix des pompes est porté sur la variante n°4 avec 4 pompes pour les raisons technico-économiques suivantes :

1. Rendement 76.5%
2. Puissance absorbée 58 Kw
3. NPSHr minimal 7.68

La courbe caractéristique de la pompe est comme suit

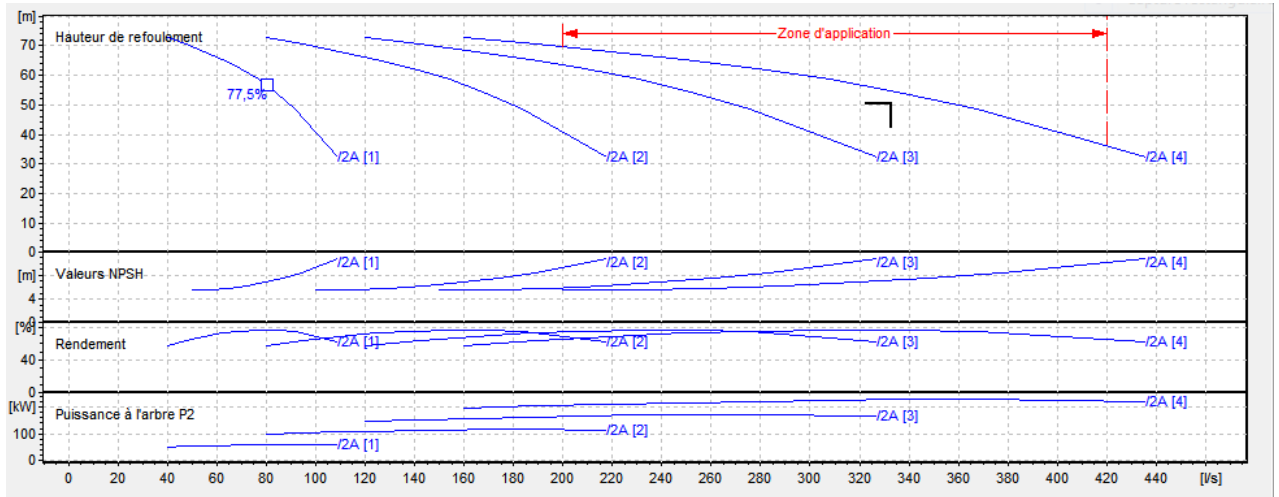


Figure IV.2 : Courbe caractéristique de la pompe

IV.5.1.7 Protection contre de 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 : $(NPSH)_r < (NPSH)_d$

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

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

La relation permettant de calculer le NPSHd est la suivante :

$$(NPSH)_d = \frac{p_a}{\rho g} - Z_E - \Delta H_a - \frac{P_v}{\rho g} \dots\dots\dots(IV.11)$$

Avec :

$\frac{p_a}{\rho g}$: en mce, la hauteur de pression atmosphérique locale, il est posé que $\frac{p_a}{\rho g} = 10.33 - \Delta h$

En notant que la hauteur perdue Δh est liée à l'altitude, il est notamment commande de prendre une hauteur perdue de 0.125m par tranche de 100m.

P_v : en mce, pour la plupart des installations, avec une température d'eau comprise entre 15°C et 20°C, il est commande de prendre $P_v = 20$ hPa, soit $\frac{P_v}{\rho g} = 0.2m$

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

ΔH_a : perte de charge à l'aspiration.

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

$$\Delta H_{\left(\frac{m}{100m}\right)} = 1.23 \times 10^{12} \times \frac{\frac{Q}{C_{wh}}^{1.85}}{D^{4.87}} \quad (\text{IV.12})$$

$$\Delta H_{\left(\frac{m}{100m}\right)} = 1.23 \times 10^{12} \times \frac{\frac{0.128}{350}^{1.85}}{350^{4.87}} = 0,0000019805$$

$$(\text{NPSH})_d = \frac{pa}{\rho g} - ZE - \Delta Ha - \frac{Pv}{\rho g} = 10.33 - (0.25 + 10^{-7} + 4.4^{-9} + 2 + 0.24) = 7.84\text{m}$$

Par comparaison entre NPSH_d et NPSH_r en remarque que :

$$\text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r$$

Conclusion :

Notre pompe est protégée contre la cavitation.

IV.5.2 Dimensionnement du Réservoir de stockage (Bassin) :

Etant donné la superficie importante, on opte pour un réservoir rectangulaire (ou bassin).

Le volume du réservoir est estimé comme suit :

$$V = Q_c \times T_{nf} \quad (\text{IV.13})$$

Avec:

V: Volume d'eau d'irrigation (m^3).

Q_p : débit caractéristique (m^3/h), $Q_p = 1121.8 \text{ m}^3/\text{h}$.

T_{nf} : temps de non fonctionnement pris égal à 2 heures.

On trouve donc $V = 1121.8 \times 2 = 2243\text{m}^3$.

On prend donc $V = 2500 \text{ m}^3$

Vu le volume de régulation nous optons pour 2 variantes de réservoirs :

1. Réservoir circulaire

Les dimensions finales du bassin sont : $5 \times 25 = 2500 \text{ m}^3$.

2. Bassin rectangulaire

Les dimensions finales du bassin sont : $5 \times 25 \times 20 = 2500 \text{ m}^3$.

IV.5.3 La desserte gravitaire :**IV.5.3.1 Tracé du réseau de distribution :**

Pour le choix du tracé du réseau de distribution, il est impératif de s'assurer de certaines considérations, qu'on résume en :

- Il est important de chercher un profil en long aussi régulier que possible pour éliminer les contres pentes ;
- Dans le but d'économie du projet, le tracé doit être le plus court possible ;
- Éviter le phénomène de cavitation qui peut engendrer les éclatements et vibration de la canalisation au cours de la phase de surpression ;
- Éviter les forêts, bois et zones marécageuses, ainsi que la traversée des obstacles (routes, voies ferrées, canaux, oueds,).

Le tracé escompté est un réseau ramifié qui conduit à un coût d'investissement optimum.

IV.5.3.2 Choix des matériaux des canalisations

De nombreux types de matériaux sont disponibles pour constituer une conduite. On peut classer en fonction des matériaux avec lesquels ils sont fabriqués : fonte, PEHD, PRV, .etc. Le choix des tuyaux utilisés est fonction de la pression et de la nature du terrain, des coûts de fourniture et de mise en œuvre, mais aussi de la facilité à réaliser les raccordements, les prises de branchement et les réparations en cas de fuite.

➤ Fonte

La fonte est un matériau noble apte à prendre en charge les grandes pressions, il n'est pas sensible à la corrosion et sa pose se fait sans grande contrainte. Néanmoins elle nécessite beaucoup de pièces spéciales ainsi son prix devient onéreux mais acceptable par rapport à la longévité de la conduite.

➤ PEHD (polyéthylène)

Les tuyaux en matière plastique sont les plus légers de tous les tuyaux. Ils sont faciles à couper, à poser et à assembler si certaines précautions sont prises. Ils ont de très bonnes

propriétés hydrauliques et ne sont pas sujets à la corrosion. Toutefois leur résistance mécanique présente une limitation plus sévère que les autres matériaux (Casse pour le PVC, écrasement pour le PEHD).

➤ **PRV (polyester renforcé verre) :**

C'est un matériau composite constitué d'une matrice polymère (appelée résine) renforcée par des fibres ou parfois par des microsphères de verre, Ses propriétés de résistance (mécanique, chimique) et sa densité sont très favorables, comparé aux métaux. et sa résistance à la corrosion.

IV.5.3.3 Dimensionnement hydraulique des canalisations

➤ *Calcul des diamètres :*

Le calcul des diamètres est réalisé sur la base des débits véhiculés par le tronçon de conduite, et les vitesses. La formule de « LABYE "nous donne une approche du diamètre économique qu'on normalise :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q \times 0.001}{\pi \times V}} \times 1000 \quad (\text{IV.14})$$

Avec :

Q : débit, exprimé en m³/s ;

D : diamètre exprimé en mm

V : vitesse d'écoulement dans les conduites.

➤ **Vitesse admissible :**

La vitesse admissible varie entre 0.5 m/s, comme vitesse inférieure, et 2.5 m/s comme vitesse maximum. Dans notre étude, on prend une vitesse moyenne dans la conduite égale à 1.5 m/s.

➤ **Calcul des pertes de charge :**

Les pertes de charge unitaires, ont été définies par la formule de LECHAPT et CALMON, qui est donnée par la formule suivante :

$$h_{Pu} = \frac{L \times Q^M}{D^N} \times C \quad (\text{IV.15})$$

Avec :

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

Q : Débit en m³/s

D : Diamètre de la conduite considérée. L, M et N : Paramètres en fonction de la rugosité absolue (Ks) des canalisations

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

$$J=L \times Q^M/D^N$$

Tableau IV.5 : 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

La rugosité équivalente : K=0.1 mm, donc : L=1.15 M=1.89 N=5.01.

Dans notre cas, les conduites seront en fonte si leur diamètre est supérieur ou égal à 315mm et en PEHD dans le cas contraire. Pour une conduite en fonte/PEHD, nous a les caractéristiques suivantes :

Les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires. Les calculs hydrauliques sont détaillés dans le tableau qui suivra.

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

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_{21} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

Où h₁ et h₂ sont les hauteurs de pressions

V₁ et V₂ sont les vitesses d'écoulement dans A et B

Z₁ et Z₂ sont les côtes du terrain naturel.

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

Les calculs sont détaillés dans le tableau IV.6

Tableau IV.6 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L(km)	Superficie (ha)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	Diametre calculé	Dian- Norm	Matériau	Vitesse V réelle(m /s)	Perte de charge linéaire ΔH_t (m)	Perte de charge total ΔH_t (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote peiezometrique (m)	Pression au point P(m)	P(bars)
R-N1	674,5	0,6745	380	311,60	0,312	563,38	600	Fonte	1,103	1,107	1,22	136	169,78	33,783	3,4
N1_BG1/K	127	0,127	12,57	10,31	0,010	102,46	110	PEHD	1,085	1,629	1,792	138,2	167,99	29,79	3,0
BG1/K-BG2/A	98	0,098	5,8	4,76	0,005	69,60	75	PEHD	1,077	1,985	2,18	138,15	167,60	29,45	2,9
N1-N2	213	0,213	367,43	301,29	0,301	553,98	600	Fonte	1,066	0,328	0,361	121,5	167,24	45,74	4,6
N2-BG3/K	279	0,279	10	8,20	0,008	91,39	110	PEHD	0,863	2,323	2,56	121,00	165,04	44,04	4,4

N2-N3	222	0,222	357,43	293,09	0,293	546,39	600	Fonte	1,037	0,324	0,357	115,5	164,69	49,19	4,9
N3-BG4/H	125	0,125	27,93	22,90	0,023	152,74	160	PEHD	1,140	1,110	1,22	115,00	163,82	48,82	4,9
BG4/H-BG5/K	312	0,312	18,29	15,00	0,015	123,60	125	PEHD	1,223	4,286	4,714	114	159,11	45,11	4,5
BG5/K-BG6/B	136	0,136	9,54	7,82	0,008	89,26	110	PEHD	0,824	1,036	1,14	120,00	162,68	42,68	4,3
N3-N4	93	0,093	301,67	247,37	0,247	501,96	600	Fonte	0,875	0,099	0,109	114,25	162,57	48,32	4,8

Tableau IV.6 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L(km)	Superficie (ha)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	Diametre calculé	Dian_ Norm alise	Matéri au	Vitesse V reelle(m /s)	Perte de charge linéaire ΔH_t (m)	Perte de charge total ΔH_t (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote peiezometrique (m)	Pression au point P(m)	P(ba rs)
---------------	--------------------------	---------------------------	-----------------	--------------	---------------	------------------	------------------	-----------	------------------------	---	--	-------------------------	-------------------------	------------------------	----------

N4-BG7/A	110	0,11	6,83	5,60	0,006	75,53	90	PEHD	0,881	1,218	1,34	114	161,34	47,34	4,7
N4-N5	314	0,314	294,84	241,77	0,242	496,25	500	Fonte	1,232	0,795	0,875	111,5	160,47	48,97	4,9
N5-N6	195	0,195	289,16	237,11	0,237	491,45	500	Fonte	1,208	0,476	0,524	111	160,82	49,82	5,0
N6-BG8/K	75	0,075	27,53	22,57	0,023	151,64	160	PEHD	1,123	0,648	0,71	110,5	160,63	50,13	5,0
BG8/K- BG'10	140	0,14	24,63	20,20	0,020	143,43	160	PEHD	1,005	0,980	1,078	111	159,55	48,55	4,9
BG'10- BG12/A	158	0,158	6,4	5,25	0,005	73,11	90	PEHD	0,825	1,547	1,70	110,50	158,93	48,43	4,8
BG'10- BG10/K	142	0,142	18,23	14,95	0,015	123,40	160	PEHD	0,744	0,563	0,619	111	158,31	47,31	4,7

BG10/K- BG11/A	195	0,195	8,43	6,91	0,007	83,91	90	PEHD	1,087	3,213	3,53	111,6	155,40	43,80	4,4
N6-N7	153	0,153	261,63	214,54	0,215	467,47	500	Fonte	1,093	0,309	0,34	110,6	155,06	44,46	4,4
N7-N8	204	0,204	254,2	208,44	0,208	460,78	500	Fonte	1,062	0,390	0,429	110,6	154,6	44,03	4,4
N8- BG14/K	188	0,188	22,91	18,79	0,019	138,33	160	PEHD	0,935	1,148	1,262	110,45	153,79	43,34	4,3
BG14/K- BG15/K	116	0,116	16,76	13,74	0,014	118,32	125	PEHD	1,120	1,351	1,486	110	152,3	42,31	4,2
BG15/K- BG16/A	171	0,171	8,46	6,94	0,007	84,06	90	PEHD	1,091	2,836	3,120	110,7	150,67	39,97	4,0
N8- BG13/K	72	0,072	19,86	16,29	0,016	128,79	160	PEHD	0,810	0,335	0,369	110,5	150,3	39,80	4,0

Tableau IV.6 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L(km)	Superficie (ha)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	Diametre calculé	Dian_ Normalise	Matériau	Vitesse V réelle(m/s)	Perte de charge linéaire ΔH_t (m)	Perte de charge total ΔH_t (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote piezometrique (m)	Pression au point P(m)	P(bar s)
BG13/K-BG62/A	188	0,188	15,01	12,31	0,012	111,97	125	PEHD	1,003	1,777	1,955	110,5	148,7	38,22	3,8
N8-BG'17	377	0,377	211,43	173,37	0,173	420,23	500	Fonte	0,883	0,509	0,560	110	148,2	38,16	3,8
BG'17-BG17/K	135	0,135	10,8	8,86	0,009	94,98	110	PEHD	0,932	1,300	1,430	109,5	147,3	37,79	3,8
BG17/K-BG18/A	264	0,264	6,13	5,03	0,005	71,55	75	PEHD	1,138	5,938	6,53	110	148,52	38,52	3,9
BG'17-BG'19	120	0,12	200,63	164,52	0,165	409,36	500	Fonte	0,838	0,147	0,16	109,5	148,36	38,86	3,9

BG'19- BG20/H	143	0,143	73,21	60,03	0,060	247,28	250	PEHD	1,224	0,838	0,92	109,5	147,44	37,94	3,8
BG20/H- BG21/H	283	0,283	66,07	54,18	0,054	234,91	250	PEHD	1,104	1,367	1,50	109	146,86	37,86	3,8
BG21/H- BG22/K	359	0,359	57,39	47,06	0,047	218,94	250	PEHD	0,959	1,329	1,46	109,5	146,90	37,40	3,7
BG22/K- BG23/Q	175	0,175	48,42	39,70	0,040	201,10	250	PEHD	0,809	0,470	0,52	109	146,38	37,38	3,7
BG23/Q- BG24/A	280	0,28	12	9,84	0,010	100,11	110	PEHD	1,036	3,290	3,62	110	143,28	33,28	3,3
BG23/Q- BG'25	408	0,408	36,42	29,86	0,030	174,41	200	PEHD	0,951	1,955	2,15	108	144,75	36,75	3,7
BG'25- BG25/K	94	0,094	22,43	18,39	0,018	136,87	160	PEHD	0,915	0,551	0,61	108,5	147,92	39,42	3,9

Tableau IV.6 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L(km)	Superficie (ha)	débit Q (l/s)	débit Q (M3/S)	Diametre calculé	Dian_ Norm alise	Matéri au	Vitesse V reelle(m /s)	Perte de charge linéaire ΔH_t (m)	Perte de charge total ΔH_t (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote peiezometrique (m)	Pression au point P(m)	P (bars)
BG25/K-BG26/K	236	0,236	14,48	11,87	0,012	109,97	110	PEHD	1,250	3,955	4,35	110,12	143,57	33,45	3,3
BG26/K-BG27/A	411	0,411	6,75	5,54	0,006	75,09	90	PEHD	0,870	4,449	4,89	110,35	142,01	31,66	3,2
BG'25-BG28/K	234	0,234	13,99	11,47	0,011	108,10	110	PEHD	1,208	3,675	4,04	107	137,96	30,96	3,1
BG28/K-BG29/A	215	0,215	3,17	2,60	0,003	51,46	63	PEHD	0,834	3,331	3,664	106	138,34	32,34	3,2
BG'19-BG19/H	137	0,137	127,42	104,48	0,104	326,23	400	Fonte	0,832	0,217	0,24	109	137,73	28,73	2,9

BG19/H- BG30/H	241	0,241	123,83	101,54	0,102	321,60	400	Fonte	0,808	0,362	0,40	108	137,94	29,94	3,0
BG30/H- BG31/H	326	0,326	120,59	98,88	0,099	317,37	400	Fonte	0,787	0,466	0,51	108	137,21	29,21	2,9
BG31/H- BG'32	191	0,191	113,87	93,37	0,093	308,40	400	Fonte	0,743	0,245	0,27	107,5	137,68	30,18	3,0
BG'32- BG32/A	186	0,186	11,88	9,74	0,010	99,61	110	PEHD	1,026	2,145	2,36	107,3	134,85	27,55	2,8
BG'32- BG33/H	93	0,093	101,99	83,63	0,084	291,87	315	PEHD	1,074	0,321	0,35	107,2	137,32	30,12	3,0
BG33/H- BG34/K	163	0,163	98,86	81,07	0,081	287,35	315	PEHD	1,041	0,530	0,58	107,14	134,27	27,13	2,7
BG34/K- BG63/H	59	0,059	92,7	76,01	0,076	278,26	315	PEHD	0,976	0,170	0,19	107,25	137,14	29,89	3,0

Tableau IV.6 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite)

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L(km)	Superficie (ha)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	Diametre calculé	Dian_ Normalise	Matériau	Vitesse V réelle(m/s)	Perte de charge total ΔH_t (m)	Perte de charge linéaire ΔH_t (m)	Cote terrain aval Z (m)	Cote piezometrique (m)	Pression au point P(m)	P(bar s)
BG63/H-BG35/Q	158	0,158	85,5	70,11	0,070	267,23	315	PEHD	0,900	0,390	0,43	107,3	133,84	26,54	2,7
BG35/Q-BG36/K	67	0,067	7,01	5,75	0,006	76,52	90	PEHD	0,904	0,779	0,86	107	136,28	29,28	2,9
BG36/K-BG37/A	145	0,145	3,58	2,94	0,003	54,68	63	PEHD	0,942	2,827	3,11	107	130,73	23,73	2,4
BG35/Q-BG38/Q	233	0,233	71,39	58,54	0,059	244,19	250	PEHD	1,193	1,303	1,43	107	134,85	27,85	2,8
BG38/Q-BG44/H	109	0,109	89,97	73,78	0,074	274,13	315	PEHD	0,947	0,296	0,33	107	130,41	23,41	2,3

BG44/H- BG45/H	196	0,196	86,3	70,77	0,071	268,48	315	PEHD	0,909	0,493	0,54	106,5	134,30	27,80	2,8
BG45/H- BG46/H	193	0,193	83,85	68,76	0,069	264,64	315	PEHD	0,883	0,459	0,51	106,5	129,90	23,40	2,3
BG46/H- BG47/H	209	0,209	78,44	64,32	0,064	255,96	315	PEHD	0,826	0,439	0,48	106,5	133,82	27,32	2,7
BG47/H- BG48/Q	336	0,336	76,76	62,94	0,063	253,21	315	PEHD	0,808	0,677	0,74	106	129,16	23,16	2,3
BG48/Q- BG49/K	159	0,159	29,38	24,09	0,024	156,65	160	PEHD	1,199	1,553	1,71	105	132,11	27,11	2,7
BG49/K- BG50/K	70	0,07	21,47	17,61	0,018	133,91	160	PEHD	0,876	0,378	0,42	105	128,74	23,74	2,4
BG50/K- BG51/A	195	0,195	9,46	7,76	0,008	88,89	90	PEHD	1,220	3,995	4,39	107	127,72	20,72	2,1

BG48/Q- BG53/K	192	0,192	35,18	28,85	0,029	171,42	200	PEHD	0,919	0,862	0,95	106,5	127,79	21,29	2,1
-------------------	-----	-------	-------	-------	-------	--------	-----	------	-------	-------	------	-------	--------	-------	-----

Tableau IV.6 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution (Suite et fin)

N° du tronçon	Longueur du tronçon L(m)	Longueur du tronçon L(km)	Superficie (ha)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	Diamètre calculé	Dian_ Normalise	Matériau	Vitesse V réelle(m/s)	Perte de charge total ΔH_t (m)	Perte de charge linéaire ΔH_t (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote piézométrique (m)	Pression au point P(m)	P(bar s)
BG53/K- BG54/Q	108	0,108	30,69	25,17	0,025	160,11	200	PEHD	0,801	0,375	0,41	106,5	127,31	20,81	2,1
BG54/Q- BG57/K	228	0,228	22,45	18,41	0,018	136,94	160	PEHD	0,916	1,339	1,47	106	126,32	20,32	2,0
BG57/K- BG58/K	44	0,044	18,87	15,47	0,015	125,54	160	PEHD	0,770	0,186	0,20	106	127,10	21,10	2,1
BG58/K- BG59/K	132	0,132	14,45	11,85	0,012	109,86	160	PEHD	0,590	0,337	0,37	105	125,95	20,95	2,1

BG59/K- BG60/A	113	0,113	9,86	8,09	0,008	90,75	110	PEHD	0,851	0,916	1,01	105,5	126,09	20,59	2,1
BG54/Q- BG55/A	269	0,269	8,24	6,76	0,007	82,96	90	PEHD	1,063	4,245	4,67	106,8	121,28	14,48	1,4
BG38/Q- BG39/K	162	0,162	38,31	31,41	0,031	178,88	200	PEHD	1,000	0,854	0,94	106,8	125,15	18,35	1,8
BG39/K- BG40/K	182	0,182	32,44	26,60	0,027	164,61	200	PEHD	0,847	0,701	0,77	107,12	120,51	13,39	1,3
BG40/K- BG41/K	198	0,198	27,3	22,39	0,022	151,00	160	PEHD	1,114	1,683	1,85	106,9	123,30	16,40	1,6
BG41/K- BG42/K	206	0,206	16,16	13,25	0,013	116,18	125	PEHD	1,080	2,239	2,46	106	118,04	12,04	1,2
BG42/K- BG43/A	262	0,262	9	7,38	0,007	86,70	90	PEHD	1,161	4,885	5,37	106	117,93	11,93	1,2

Conclusion

Les calculs hydrauliques nous indiquent qu'on dispose de multiples choix concernant le système d'irrigation et cela vu les valeurs des pressions aux bornes qui varient de (1.2bars-5bars).

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT A LA PARCELLE

V.1 Introduction

Ce chapitre concerne le choix de la technique d'irrigation ainsi que le dimensionnement du réseau d'irrigation tout en prenant en considération différents paramètres afin d'atteindre des rendements optimaux avec économie d'eau.

V.2 Choix des techniques d'irrigation

Plusieurs facteurs sont à prendre considération pour le choix des techniques d'irrigation et en particulier :

- La pente du terrain à irriguer.
- Le débit dont on dispose.
- Nature du sol (perméabilité).
- Nature des cultures.
- Facteurs économiques.
- Rentabilité de l'opération.

V.2.1 Différentes techniques d'arrosages

Les techniques d'arrosages sont majoritairement réparties en trois classes :

- L'irrigation gravitaire ou de surface.
- L'irrigation par aspersion (sous pression).
- L'irrigation par micro-irrigation (sous pression).

V.2.1.1 Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire est l'application de l'eau aux champs à partir de canaux ouverts se situant au niveau du sol. La totalité du champ peut être submergée, ou bien l'eau peut être dirigée vers des raies ou des planches d'irrigation.



Figure V.1 : Irrigation gravitaire

a) Irrigation par ruissellement

Cette méthode consiste à faire couler l'eau sur la surface du sol qui s'y infiltre verticalement. On laisse l'eau s'écouler le temps qu'il faut pour le sol puisse s'humecter jusqu'à la profondeur de la couche active.

b) Irrigation à la raie

Les raies sont des petits fossés creusés entre les rangées de plantes. Cette méthode est essentiellement appropriée pour les cultures qui ne tolèrent pas la submersion de leurs feuillages ou de leur collet par les eaux pour un temps trop long. Elle convient pour les terrains en pente, et pour plusieurs types de sol. La longueur des sillons dépend de la pente du terrain naturel, du type de sol, du débit d'eau, de la dose d'irrigation.

c) Arrosage par submersion

Le principe consiste à donner au sol une couche d'eau plus au moins épaisse, qu'on laisse séjourner pendant le temps nécessaire pour qu'elle pénètre par infiltration à la profondeur utile permettant ainsi au sol de mettre en réserve l'eau indispensable au développement des cultures.

d) Irrigation en planches

Dans l'irrigation en planches, le champ à irriguer est divisé en bandes (planches) par des diguettes parallèles.

Avantages et les inconvénients de l'irrigation par gravité

❖ Avantage

- Coût d'investissement relativement faible.
- Besoins en énergie nuls.
- Permet d'irriguer des grandes surfaces.

❖ Inconvénients

- Elle nécessite un aménagement préalable du terrain.
- Le volume d'eau utilisé est important.
- Pertes d'eau considérable.
- Elle nécessite beaucoup de mains d'œuvre.
- La durée de l'arrosage est plus longue.

V.2.1.2 Irrigation par aspersion

Le but d'une irrigation par aspersion est l'application uniforme de l'eau sur l'aire occupée par la culture. Le système d'irrigation doit être conçu pour appliquer l'eau à un taux inférieur à la capacité d'infiltration du sol et éviter ainsi les pertes par ruissellement.



Figure V.2 : Irrigation par aspersion

Avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion

❖ 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.

❖ Inconvénients

- Elle nécessite au départ, pour chaque irrigant une dépense importante de premier établissement et qu'elle exige souvent une nombreuse main d'œuvre d'explication.
- Elle favorise l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont plus fines et l'air plus sec.
- Elle favorise le développement des mauvaises herbes.
- Elle exige un choix judicieux des époques d'irrigation, toute irrigation intempestive pouvant provoquer au printemps par refroidissement du sol un retard dans la végétation.
- L'eau donnée en pluie passe le sol et provoque la formation d'une croûte superficielle.

Différentes installations à la parcelle

En pratique, deux solutions extrêmes peuvent être envisagées :

L'installation totalement fixée, et l'installation totalement mobile. Dans l'installation fixée, l'ensemble des équipements (pompe, canalisation, asperseur) sont fixés de façon permanente, ce qui limite une main d'œuvre, mais occasionne des investissements très élevés.

V.2.1.3. Irrigation localisée (Goutte à goutte)

Cette méthode d'irrigation sous pression est appelée ainsi du fait que l'eau est appliquée en des endroits où l'on désire la voir s'infiltrer. Cette application est donc localisée. L'irrigation localisée regroupe tous les systèmes caractérisés par un réseau de distribution à la parcelle, fixe sous pression, permettant des apports d'eau continus ou fréquents en des endroits déterminés par rapport au dispositif cultural et de façon telle que l'infiltration ne se produise que sur une fraction réduite de la surface du sol, en l'occurrence la zone racinaire.



Figure V.3 : Irrigation par goutte à goutte

Avantages et les inconvénients de l'irrigation localisée

❖ Avantages

- **Efficiace de l'eau**

Peu de pertes par évaporation, puisqu'il n'y a pas de trajectoire aérienne des gouttes d'eau, que le feuillage n'est pas humidifié inutilement, qu'une partie de la surface du sol reste sèche, que la croissance des mauvaises herbes est très limitée (Rieul, 1992).

Il n'y a pas de ruissellement, pas de débordement sur les parcelles voisines ; les doses peuvent être mesurées avec précision, ce qui évite les pertes par percolation dans le sol. La répartition de l'eau n'est pas affectée par le vent, les irrégularités du terrain ne gênent pas.

❖ Inconvénients

- **L'obstruction des goutteurs**

Des particules de sable, des dépôts lents d'argile ou de limons, des précipitations chimiques, le développement de micro-organismes sont les plus souvent rencontrés et favorisent l'obstruction des orifices des goutteurs. Il est à noter que l'entretien et l'élimination des goutteurs obstrués sont longs et onéreux. Le meilleur moyen de prévenir ces obstructions est un procédé par de filtration soignée de l'eau.

• **Accumulation de sels**

Pendant la période d'irrigation les sels sont peu refoulés à la périphérie du bulbe humide, plus spécialement près de la surface du sol. Une pluie légère risque alors de les entrainer vers les racines, ce qui est très dommageable.

V.3 Choix de la technique d'arrosage

Pour pouvoir choisir la technique d'irrigation convenable, il est nécessaire de connaître toutes les contraintes de chaque type d'arrosage. Une analyse multicritères des techniques d'arrosage basée sur différentes contraintes est nécessaire pour aboutir au choix de la technique d'irrigation la plus adéquate pour la zone considérée, notre analyse est détaillée comme suit :

Tableau V.1 : Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage

Contraintes	Irrigation de surface par Rigole	Irrigation par Aspersion	Irrigation Localisée
Evaporation			
Vent (1.9 m/s)	+	+ +	+ + +
Texture (argileux-limoneuse)	+ + +	+	+ + +
Perméabilité (bonne)	+ +	+ +	+ + +
Pente	+ +	+ + +	+ + +
Qualité d'eau (moyenne)	+	+ +	+ + +
	+ +	+ +	+
Cultures			
▪ Maraîchage			
▪ Céréales	+ + +	+ + +	+ + +
▪ Arbres	x	+ + +	x
Contraintes économiques	+ + +	x	+ + +
▪ économie d'eau	X	+ +	+ + +

Remarque

x: inadéquat ou déconseillé ; +: Adapté avec réserve;

+ + : Adapté ; + + + : Très Adapté

V.4. Dimensionnement d'un réseau d'irrigation Goutte à goutte

V.4.1. Données générales

Le réseau d'irrigation sera installé sur la parcelle illustré dans la figure I ; alimentée par la borne **BG33/H** et dont les pressions calculées sont de l'ordre de 3 bars, ce qui est largement suffisant. La surface de l'exploitation est de 3.13 ha.

Culture : Olivier : Besoin de pointe : 138mm (Juillet)

Organisation du réseau : Avec un écartement de 4*4m, et un espacement des goutteurs 2 m,

- Surface : **1.21** ha.
- Longueur : **150** m.
- Largeur : **70** m.

Caractéristique du goutteur

- Débit nominal : 4 l/h
- Pression nominale : 10 m.c.e
- Espacement des goutteurs : 2 m
- Le nombre de goutteurs par arbre : 2

V.4.2 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée

a) Influence du taux de couverture du sol

En micro-irrigation, les apports d'eau étant localisés sur une portion très faible de la 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 dépend du taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) pour les plantes adultes. K_r peut être calculé par diverses formules proposées ci-après

- KELLER et KARMELI (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0.85} \quad (\text{V.1})$$

- La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s) \quad (\text{V.2})$$

- La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s \quad (\text{V.3})$$

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

$K_r = 0.80$ selon Freeman et Garzoli

$K_r = 0.70$ selon Decroix

(CTGREF)

On prendra un coefficient $K_r = 0.80$

$B_{jl} = B_j * K_r$

$B_j = ETM_c = 4.6 * 0.8 = 3.68 \text{ mm/j}$

➤ Dose nette pratique

La deuxième étape en micro-irrigation, est la détermination d'une fraction ou pourcentage d'humidification du bulbe humide dans la zone racinaire. La différence par rapport aux autres systèmes (gravitaire ou par aspersion) est qu'il ne s'agit plus d'humidifier uniformément la totalité du sol sur une même profondeur h :

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

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

Tel que : H_{cc} : (26%), H_{pf} : (14%) ; Y : (2/3) ; Z : profondeur des racines (1500 mm)

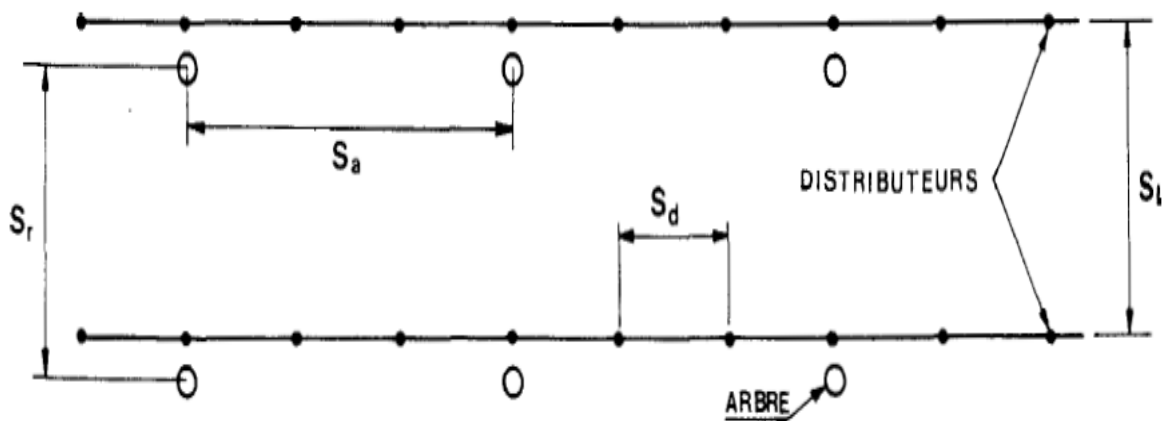


Figure V.4 : Dispositifs d'installation des goutteurs sur la rampe.

P : Pourcentage du sol humidifié

$$P\% = \frac{n \cdot S_p \cdot d \cdot S_h}{S_a \cdot S_r}$$

P : Volume du sol humidifié

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

S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre = 2

S_h : Largeur de la bande humidifiée = 1m (arbres)

S_r : Ecartement entre rangs d'arbre

S_a : espacement des arbres sur les rangs

$$P\% = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1}{4 \cdot 4} = 25\%$$

$$D_n = (26-14) / 100 \times 1500 \times 2/3 \times 1.35 \times 0.25 = \mathbf{Dn=37.13mm.}$$

➤ Fréquence des arrosages (Fr_jours)

La fréquence d'arrosage est donnée par la formule suivante :

$$Tr = \frac{\text{Dose nette}}{ETMc} = \frac{37.13}{3.68} = 10.08 \text{ jours}$$

Donc on prend $Tr = 10$ jours.

➤ Calcul de la dose réelle

On recalcule la nouvelle dose réelle (dose brute):

$$D_{brute} = 3.68 \times 10 / (Ef \cdot Cu)$$

Cu : coefficient d'uniformité $Cu=90\%$

Eff : efficacité du réseau d'irrigation $Eff=90\%$

$$D_{brute} = \frac{Dr}{Cu * eff} = \frac{3.68 \times 10}{0.9 * 0.9} = \mathbf{45.43 \text{ mm}}$$

Avec : $Dr = B_j * Fr$

➤ Durée de fonctionnement par d'arrosage (h)

$$\theta = \frac{D_{br} * S_d * S_r}{n * q_g} \quad (\text{V.4})$$

S_r et S_d espacement entre rang et distributeur, n et Q_g nombre et débit du goutteur.

$$\theta = \frac{45.43 * 2 * 4}{2 * 4} = 45.43 \text{ heures} \approx 45 \text{ heures}$$

➤ Durée d'arrosage journalier

$$D_j = \frac{\text{durée d'arrosage}}{Fr} = \frac{45}{10} = 4.5 \text{ heures/jour}$$

➤ **Nombre de poste**

Le nombre de poste par jour est défini comme suit :

$$N = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = \frac{20}{4.5} = 4.44.$$

On prend 4 postes.

➤ **Surface du poste**

$$S_p = \frac{\text{Surface totale}}{\text{Nombre de poste}} = \frac{1.21}{4} = 0.3 \text{ ha}$$

V.4.3 Calculs hydrauliques

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

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\% \quad (\text{V.5})$$

La variation maximale de la pression

$q = K.H^x$ avec $x=0.5$ (caractéristique du goutteur)

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = x \frac{\Delta H}{H(n)} \quad (\text{V.6})$$

Avec : $q(g)$: débit nominal du goutteur

$H(n)$ pression nominal $x=0.5$ pour les goutteurs (circuit court) et $H(n) = 10$ mce (1 bar)

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

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

Donc selon la règle de Christiansen 10% ΔH singulières = 0.2 m

Le reste 1.8 ΔH linéaire = 1.8 m

Donc pour les rampes 2/3. 1.8 = 1.2 m

Pour le porte rampe = 1/3. 1.8 = 0.6 m

V.4.4 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**

Qui 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 :

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r)*2.75}{0.478*Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad (V.7)$$

$$\varnothing pr(cal) = \left[\frac{P.d.c(pr)*2.75}{0.478*Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad (V.8)$$

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

1. Pour les rampes : L= 68 m

- . Qr : Débit de rampe.
- . Qg: Débit du goutteur
- . Ng/r : Nombre des goutteurs par rampe
- . Nr : Nombre des rampes
- Qpr: Débit de porte rampe

Le nombre d'arbres par rampe

N arbres = Lr/Ea=68/4 = 17 => 17 arbres

Nombre des goutteurs par rampe

N=N_{arbres} *n =17*2 =34 goutteurs

Débit de la rampe

Qr=Ng*Qg = Qr= 4*34 = 136 l/h

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r)*2.75}{0.478*Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} = 10.34 \text{ mm}$$

D_rampe= 10.34 mm, on prend DN = **12 mm**

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 = 12 mm

Perte de charge selon hazen-williams

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_w} \right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}} \cdot Q^{1.852} \quad (\text{V.9})$$

Où : L : la longueur de la conduite ;

Q : débit (m³/s) ; D : diamètre intérieur de la canalisation (m) ;

C_w= 130 PEBD,

ΔH_rampe= 0.39 m < 1.2m

2-Pour le porte rampe : L=148

Le nombre des rampes

N_r=L_{pr}/E_r= 148/4=37 rampes.

Débit du porte rampe

Q_{pr}=Q_r*N_r= 136*37=5032 l/h

Nombre de porte rampe

N_{pr}=1 (1 seul porte rampe)

3. Pour la conduite tertiaire

Q_{cs1}=Q_{pr}*N_{pr} = 5032*1 =5032 l/h = 0.0014 m³/s

$$\varnothing pr(cal) = \left[\frac{P.d.c(pr)*2.75}{0.478*Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} = 50.98 \text{ mm}$$

Donc on prend $\varnothing pr = 63 \text{ mm}$

Tableau V.2 : Calcul de diamètre de la rampe

Culture	Surface (m ²)	Lr (m)	Ng	Qr (l/h)	ΔH _r (m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vitesse (m/s)	ΔHcal (m)
Olivier	12100	68	4	136	1.2	10.34	12	0.19	0.39

Tableau V.3. Calcul de diamètre de la porte rampe

Culture	Surface m ²	Lpr (m)	N Rampe	Qpr (l/h)	ΔH _{p.r} (m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vitesse (m/s)	hcal(m)
Olivier	12100	148	37	5032	0.6	50.98	63	0.32	0.6

On applique le même procédé que les rampes, et on trouve

La valeur de la perte de charges calculée est inférieure à 0.6 mce (hpr max).

D’après les deux tableaux précédents, on voit que les pertes de charges totales n’ont pas dépassé la limite imposée par la règle de Christiansen.

Calcul des diamètres de la conduite tertiaire

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

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

avec : Q : débit de la conduite considérée (m³/s); V : vitesse d’écoulement (m/s).

Tableau V.4 : Calcul de diamètre des conduites tertiaires

Culture	Surface m ²	L(m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vcal (m/s)	hcal (m)
Olivier	12100	8	0.0014	1.05	50.46	75	0.48	0.3

Calcul de la pression d’eau à la borne de distribution

Les pertes de charge de la borne jusqu’au goutteur le plus défavorable :

Tableau V.5 : Récapitulatif des calculs hydrauliques.

Conduites	La rampe	Porte rampe
Longueur(m)	68	148
Diamètre(m)	11	63
Débit (m ³ /s)	0.000038	0.0014
Pertes de charge(m)	0.36	0.41

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

Donc la pression demandée à la borne égale à la pression nominale plus la somme des pertes de charges.

$$P(m) = 10 + 0.36 + 0.41 + 0.3 = \mathbf{10.8 \text{ m.}}$$

V.5 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion

Avec l'aspersion, l'eau d'irrigation est amenée aux plantes sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression. Présentons sommairement le principe de la mise en œuvre de l'irrigation à la parcelle dans le cadre d'un équipement classique.

À partir de la prise d'irrigation, l'agriculteur dispose d'une canalisation d'approche (conduite tertiaire) alimentant les portes rampes qui alimentent à leurs tours les rampes sur lesquelles sont montés les asperseurs.

Le dimensionnement des ouvrages cités, nécessite au préalable de quantifier certains paramètres nécessaires à la mise en œuvre de cette technique, tels que le choix de la culture et les caractéristiques de la parcelle choisie.

V.5.1 Données générales

Choix de la culture : Pour laquelle la totalité des canalisations et des asperseurs est mise en place sur la parcelle, durant toute la campagne d'irrigation.

Dans notre cas nous avons choisi l'irrigation du haricot,

Choix des parcelles et de l'ilot : la parcelle choisie pour l'arrosage par aspersion est dans l'ilot 20/H qui présente une superficie de 3.45 ha et qui dispose d'une pression de 4.8 bars.

Surface : 3.45 ha

Longueur : 246 m

Largeur : 138 m

Temps de travail : 20 heures par jour, et 26 jours par mois

Besoins en de pointe : 159 mm/mois pour le mois de pointe(Aout).

Perméabilité du sol : le sol est de type sol limono-sableux à un sol argilo-sableux avec une perméabilité estimée à:

$K=7.2$ mm/h.

Dose pratique : RFU : elle est calculée comme suit :

$$RFU = Y \cdot (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Da \cdot Z \quad (\text{V.10})$$

Y: degré de tarissement : égal à 2/3 ;

Da: densité apparente : égale à 1.35

Z: profondeur d'enracinement mm (70 cm)

Hcc: humidité à la capacité au champ (26%)

Hpf : humidité au point de flétrissement (14%).

RFU= 50.4mm

V.5.2 Dimensionnement théorique

a) Calcul du diamètre de l'ajutage

La perméabilité du sol $K= 7.2$ mm/h; On pose $p \leq k$ tel que p : pluviométrie de la buse.

Le diamètre de la buse se calcule par la formule suivante :

$$p = \frac{1.5 \cdot d}{1.04} \quad (\text{V.11})$$

D'où : $d = \frac{7.2 \cdot 1,04}{1,5} = 4,99 \text{ m m}$

D'après la fiche technique d'un arroseur de type PERROT, le diamètre de la buse normalisé le plus proche est de 5 mm.

b) Calcul de la portée du jet (L)

La portée du jet est la distance de l'appareil au point du rayon arrosé, permet de définir la surface circulaire arrosée par l'appareil, se calcule par l'équation suivante :

$$L = 3 \cdot d^{0,5} \cdot h^{0,25} \quad (\text{VI.12})$$

Avec : d : le diamètre de la buse (mm)

h : pression à la buse (m), dans notre cas P= 4.8 bars, hauteur d'eau =48m.

$$L = 3 \cdot (5)^{0,5} \cdot 48^{0,25} = 17,5 \text{ m}$$

Théoriquement, cette formule est valable, mais demande encore plus de précisions en fonction du diamètre choisi et recommandé par le fournisseur.

D'après le catalogue, pour le diamètre de la buse de 5 mm à une pression de 4 bars, la portée calculée est de 17.5m.

c) Ecartements entre les rampes et arroseurs

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

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

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

Les valeurs maximales correspondent à des conditions de vent peu violent (<10Km/h).

Notre zone d'étude présente des vitesses maximales de vents de l'ordre de 2.4 m/s=8.64 Km/h, donc on prend les valeurs suivantes :

$$E_l = 1,25 \cdot 17,5 = 21,88 \text{ m}$$

$$E_a = 1,02 \cdot 17,5 = 17,85 \text{ m}$$

Les valeurs normalisées des écartements sont comme suit :

$$E_l=24\text{m}, \quad E_a=18\text{m}.$$

La surface mouillée (m²) =24*18= 432 m².

d) Débit de l'asperseur

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

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

$$q = 0,95 \cdot \frac{3,14 \cdot (4,5 \cdot 10^{-3})^2}{4} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 45} = 0.00057 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (\text{V.13})$$

$$q = 2.06 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Avec q débit de l'asperseur (m³/s).

e) Vérification de la pluviométrie de la buse

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

$$p = \frac{q}{E_i \cdot E_a} \quad (\text{V.14})$$

Q : est le débit de l'asperseur choisi, q = 3.52 m³/h

$$\text{D'où } p = \frac{1,52}{18 \cdot 24} = 3.52 \text{ mm} / \text{h}$$

Donc le diamètre de la buse choisi assurera une pluviométrie $P \leq K = 3.52 \text{ mm/h}$.

f) Calcul du tour d'eau

La durée du tour d'eau correspond à la durée nécessaire à l'arrosage de l'ensemble des parcelles.

$$T_{eau} = \frac{Dose_{RFU} \cdot N_J}{B_{mp}} \quad (\text{V.15})$$

$$T_{eau} = (50.4 \cdot 26) / 159 = 8.24 \text{ jours.}$$

Donc on irrigue 3 fois par mois.

On prend un tour d'eau de 10 jours.

g) La dose réelle

$$D_r = T_{eau} \cdot \text{la dose journalière} = 10 \cdot (159/30) = 53 \text{ mm.}$$

$$D_r = 53 \text{ mm.}$$

h) Calcul de la dose brute

$$D_b = \text{La dose réelle} / 0,75 = 53 / 0,75 = 70.67 \text{ mm}$$

i) Temps d'arrosage

Le temps T pour donner une dose par un asperseur sans dépasser la capacité d'infiltration se calcule d'après la relation suivante :

$$T = \frac{\text{dose}_{réelle} - \text{dose}_{brute}}{\text{pluviométrie}} = 70.67 / 7.2 = 9.8 \text{ h}$$

$$T = 10 \text{ h.}$$

Donc on pourra adopter deux positions par jour pour un asperseur, ce qui donne un temps de fonctionnement d'un 22 h

j) Calcul du débit d'équipement (Qeq)

$$Q_{eq} = \frac{S \text{ (ha)} \cdot B \text{ (mm)} \cdot 10}{T \cdot n \cdot N_j} = \frac{2.48 \cdot 159 \cdot 10}{10 \cdot 2 \cdot 26} = 7,58 \text{ m}^3 / \text{h}$$

k) Calcul de l'unité d'arrosage (SU)

$$\text{La surface unitaire arrosée : } SU = \frac{S}{\text{Teau} \cdot n} = \frac{3.48}{10} = 0,124 \text{ ha}$$

l) Nombre d'asperseur requis (Nasp)

$$N_{asp} = \frac{SU \cdot 10000}{El \cdot Ea} = \frac{0,124 \cdot 10000}{18 \cdot 24} = 2.87 \text{ asp} \quad \text{donc on prend 3 asperseurs}$$

Tel que: La dose réelle brute d'arrosage = la dose réelle/0.75

m) Calcul du volume fourni par un asperseur par mois

V = nbr de position par jour . nbr d'irrigation par mois . Dose brute . Ea . El

$$V = 2381.18 \text{ m}^3$$

Volume à épandre en 1 mois sur toute la parcelle :

Vt = besoins mensuels * surface

$$V_t = 159/1000 * 200 * 120 = 3816 \text{ m}^3$$

V.5.3 Dimensionnement hydrauliques des rampes

a) Longueur de la rampe

Cette étape de dimensionnement diffère d'une parcelle à une autre car elle basée sur les dimensions de la parcelle ainsi que la façon dont on projette le réseau d'aspersion.

Il est envisagé deux dispositifs d'installation des asperseurs sur la rampe :

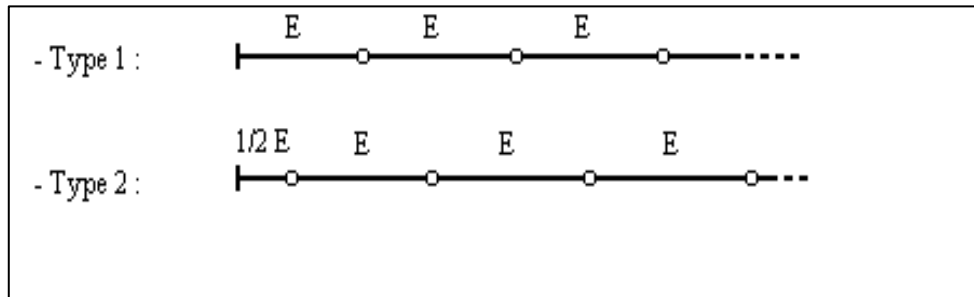


Figure V.5 : Dispositifs d'installation des asperseurs sur la rampe.

La longueur de la rampe est donc :

Pour le type 1 : $L = n.E$

Pour le type 2 : $L = (n-0,5)E$

d'où :

$$L = \text{largeur de terrain} - E/2 = 120 - 18/2 = 111 \text{ m}$$

b) Nbre asperseur/rampe (N)

$$N = \text{largeur}/E = L/E = 111/18 + 1 = \mathbf{10 \text{ asperseurs}}$$

c) Nombre de rampes(Nr)

$$N_r = N_{\text{asp}} / (\text{nbr asp/ rampe}) = 10 / 3 = 3,33 \text{ rampes.}$$

On travaille avec 1 rampe.

d) Calcul du débit de la rampe(Qr)

$Q_r = \text{le débit de l'asperseur} \times \text{le nombre d'asperseur/ rampe.}$

$$\text{Le débit de la rampe : } Q_r = 1,81 \times 10 = 18,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Nombre de position des rampes :

$$N_r = \frac{Lr}{E_l} = \frac{200}{18} \approx 11$$

Lr : longueur du terrain = 200 m, El : espacement entre les rampes (=18m).

Le nombre de poste égale à 11 postes.

e) Calcul du Diamètre de la rampe

$$\text{Diamètre de la rampe : } D_R = \sqrt{\frac{4Q_R}{\pi \cdot V}}$$

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

$$\text{Où : } V \leq V_{ADM} ; V_{adm} \in [0.5 \div 2.5] m / s$$

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

$$D_R = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.005226}{\pi \cdot 1.5}} = 0.099 m = 110 mm$$

La nouvelle vitesse sera :

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0.005226}{\pi \cdot (110 \cdot 10^{-3})^2} = 0.549 m / s \text{ Ce qui est conforme.}$$

f) Dimensionnement de la porte-rampe

La longueur de la porte-rampe est calculée par :

$$L_{pr} = 200 - 24/2 = 188 m$$

On recalcule avec le porte-rampe

$$Q_{p_rampe} = Q_{asp} \cdot n_{asp/rampe} \cdot N_{rampe} \quad Q = 0.005226 m^3/s$$

$$\text{Ou : } V \leq V_{ADM} ; V_{adm} \in [0.5 \div 2.5] m / s$$

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

$$D_{pr} = 99 mm ,$$

On prend le diamètre normalisé ($D_{pr} = 110 mm$),

La nouvelle vitesse sera :

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} = 1.67 \text{ m / s} \text{ Ce qui est conforme.}$$

g) Calcul des pertes de charge

L'expression générale des pertes de charges linéaire dans les conduites est calculée généralement par une formule de type Hazen Williams :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_H} \right)^{1.852} \frac{Q^{1.852}}{D^{4.87}} \quad (\text{V.17})$$

Ou ΔH = Perte de charge unitaires (m/m)

Q : Debit de la conduite en m³/s

C_H : coefficient equivalent à 130.

Pour la rampe on a : L=111m, D= 110mm, Q= 0.0052 m³/s

$\Delta H_{\text{rampe}} = 1.64\text{m.}$

Pour la porte rampe on a : L=188m, D=110mm, Q=0.0052 m³/s

$\Delta H_{\text{porte-rampe}} = 0.6\text{m.}$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.6 : Résultat de calcul pratique d'aspersion

Paramètres	Porte Rampe	Rampe
Longueur (m)	188	111
Diamètre (mm)	110	110
Débit (m ³ /s)	0.0052	0.0052
Vitesse (m/s)	1.67	0.55
Perte de charge totale (m)	1.6.	0.6

$\Delta H_t = 1.6 + 0.67 = 2.3 \text{ m de perte de charge}$

V.3.4 Calcul de la pression en tête du réseau

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

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \quad (\text{V.18})$$

H : pression à la tête de la parcelle.

H1 : pression nécessaire pour le bon fonctionnement d'un asperseur (3bar).

H2 : perte de charge totale de la rampe

H3 : la dénivelée. (0 m. terrain relativement plat)

$$H=40+0.67+1.6=42,3$$

P=4,2 bar, ce qui est suffisant vu que la pression à la borne est de 4.8 bars.

V.6 Conclusion

Le choix de techniques d'irrigation est d'une grande importance dans l'aménagement d'un périmètre, puisqu'il joue un rôle capital dans le rendement des cultures. Dans ce chapitre, nous avons procédé au dimensionnement de deux systèmes d'irrigation : aspersion et goutte à goutte. Ces systèmes d'irrigation sont modernes, pratiques et nettement plus économiques et donc nous aide beaucoup dans le développement de l'agriculture.

CHAPITRE VI : CALCUL TECHNICO-ECONOMIQUE**VI.1 Introduction**

A travers ce chapitre on fera une estimation du cout global du projet de l'aménagement hydro-agricole du périmètre d'Ouled Boughalem. Pour se faire il est important de quantifier l'ensemble des travaux à entreprendre et qui sont :

- Réseau de distribution.
- Conduite d'adduction.
- Travaux divers.

VI.2 Différents travaux à entreprendre**a) Exécution des tranchées**

C'est une opération de terrassement (déblais) qui consiste à faire des excavations. Ces excavations seront faites par une pelle hydraulique et les déblais seront posés à côté de la tranchée, l'autre côté étant réservé au bardage des conduites.

b) Pose du lit de sable

Cette opération consiste à poser un lit de sable au fond de la tranchée, ce lit aura une épaisseur de 20cm dans notre cas.

c) Pose des conduites

Avant la pose des conduites dans chaque fouille, on procède à un tri des conduites de façon à écarter celles qui ont subies des chocs ; et on les descend lentement à l'aide d'un engin de levage, dans le fond de la fouille. Au cours de pose, on vérifie régulièrement l'alignement des tuyaux pour n'avoir pas des difficultés au raccordement 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 service à laquelle sera soumise la conduite lors du fonctionnement. Cette épreuve doit durer 30 minutes environ où la variation ne doit pas excéder 0.2 bar.

e) Remblayage des tranchées

C'est une opération de terrassement qui consiste à enterrer la conduite, en utilisant le remblai résultant de l'excavation.

f) Nivellement et compactage

Une fois le remblai fait, on procède au nivellement qui consiste à étaler les terres qui sont en monticule, ensuite au compactage pour augmenter la densité des terres et éviter le tassement par la suite.

VI.3. Facture des différents types de conduites du réseau de distribution

Les prix des conduites sont détaillés comme suit :

Tableau VI.1 : Facture des différents types de conduites du réseau de distribution.

Conduites	Type de conduite	Unités de mesure	Quantité (m)	Prix unitaire (DA/m)	Montant (DA)
Ø 63	PEHD	ml	360	137,18	49 384,80
Ø 75	PEHD	ml	362	193,61	70 086,82
Ø 90	PEHD	ml	1838	278,35	511 607,30
Ø 110	PEHD	ml	1726	416,10	718 188,60
Ø 125	PEHD	ml	822	530,10	435 742,20
Ø160	PEHD	ml	1667	868,30	1 447 456,10
Ø 200	PEHD	ml	2058	1 358,50	2 795 793,00
Ø 250	PEHD	ml	1193	2 109,00	2 516 037,00
Ø 315	Fonte	ml	1516	3 363,00	5 098 308,00
Ø 400	Fonte	ml	895	5 396,00	4 829 420,00
Ø 500	Fonte	ml	1363	8 398,00	11 446 474,00
Ø 600	Fonte	ml	1202,5	13 300,00	15 999 900,00
Total (HT)					45 918 397,82
TVA (19%)					8 724 495,59
Total (TTC)					54 642 893,41

Tableau VI.2 : Fourniture de pose de pièces spéciales.

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 600-160 mm PN 10	U	2	49 553,63	99107,26
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 600-110 mm PN 10	U	2	48 668,03	179579,54
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 600-90 mm PN 10	U	1	48 400,10	27550,22
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 500-250 mm PN 10	U	1	51 139,10	37380
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 500-160 mm PN 10	U	2	47 548,29	95096,58
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 500-110 mm PN 10	U	1	46 223,60	46223,6
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 400-110 mm PN 10	U	1	30 405,17	30405,17
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 315-200 mm PN 10	U	2	13 942,28	27884,56
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 315-160 mm PN 10	U	1	13 279,92	13279,92
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 315-90 mm PN 10	U	1	12 788,75	12788,75
Fourniture pose de réduction en PEHD diamètre 200-160 mm PN 10	U	3	8 112,79	24338,37
Fourniture pose de borne d'irrigation type A2 PN 10	U	56	300000	18300000
Fourniture pose de borne d'irrigation type A4 PN 10	U	5	300000	
Fourniture et pose de Vannes Ø 600 PN 10	U	1	416270,43	416270,43
Fourniture et pose de Vannes Ø 400 PN 10	U	1	295601,27	295601,27
Fourniture et pose de Vannes Ø 315 PN 10	U	1	64 783,27	64783,27
Fourniture et pose de Vannes Ø 250 PN 10	U	1	42 204,65	42204,65
Fourniture et pose de Vannes Ø 200 PN 10	U	2	29 684,30	59368,6
Fourniture et pose de Vannes Ø 160 PN 10	U	6	16 737,18	100423,08
Fourniture et pose de Vannes Ø 110 PN 10	U	6	11 098,26	66589,56
Fourniture et pose de Vannes Ø 90 PN 10	U	3	9 334,92	28004,76

VI.4 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 :

I.1.1. Calcul des volumes de déblais et remblais

La pose des conduites dans le réseau se fait dans des tranchées conçues selon le tracé et l'itinéraire des lignes de conduites et prend en compte les longueurs, les largeurs et les hauteurs de chaque tranchée conçue à recevoir une conduite de diamètre spécifique

La largeur de la tranchée varie selon la section des conduites est de :

$$l = D + 2 \times 0.3 \quad (\text{m})$$

La hauteur est de :

$$H = D + h_{\text{sable}} + 0.8 \quad (\text{m})$$

Avec :

h_{sable} : qui est la hauteur du lit de sable comprise entre 0.1 et 0.2 mètres

Sois L la longueur de la tranchée en mètres.

D : diamètre de la conduite.

I.1.2. Volume du déblaiement

Le volume des déblaiements sera alors égal à :

$$V_{\text{deb}} = L \times H \times l \quad (\text{m}^3)$$

I.1.3. Volume de remblais

Le volume du remblai est égale à celui des déblais duquel on soustrait le volume de la conduite enterrée on aura donc :

$$V_{\text{remb}} = V_{\text{deb}} - V_{\text{cond}}$$

$$\text{Avec : } V_{\text{cond}} = \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) \cdot L$$

$$\text{Donc : } V_{\text{remb}} = V_{\text{deb}} - \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) \cdot L$$

I.1.4. Volume de sable

Le Volume du sable nécessaire pour le lit de sable est égale à :

$$V_{\text{sable}} = h_{\text{sable}} \times L \times l$$

La figure si après illustre la disposition de la conduite au niveau de la tranchée :

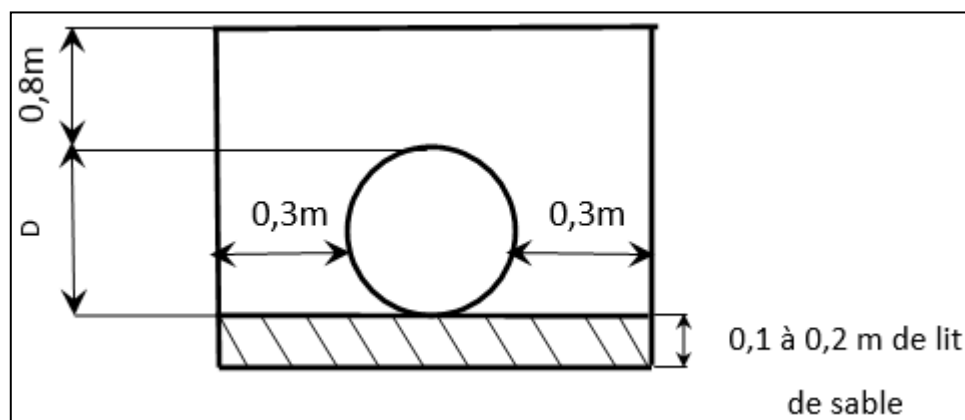


Figure VI.1 : Disposition de la conduite dans une tranchée

Calcul des différents volumes

Tableau VI.3 Quantité des travaux de terrassement.

Conduites	l (m)	h (m)	L (m)	V _{deb} (m ³)	V _{cond} (m ³)	V _{sable} (m ³)	V _{remb} (m ³)	V _{excédentair} (m ³)
Ø 63	0,7	1,0	360	291,21	1,12	25,20	264,89	26,32
Ø 75	0,7	1,0	362	296,48	1,60	25,34	269,54	26,94
Ø 90	0,7	1,0	1838	1 528,48	11,69	128,66	1 388,13	140,35
Ø 110	0,8	1,0	1726	1 673,53	16,39	138,08	1 519,06	154,47
Ø 125	0,8	1,0	822	808,85	10,08	65,76	733,01	75,84
Ø160	0,8	1,1	1667	1 696,34	33,50	133,36	1 529,48	166,86
Ø 200	1	1,1	2058	2 716,56	64,62	205,80	2 446,14	270,42
Ø 250	1	1,2	1193	1 646,34	58,53	119,30	1 468,51	177,83
Ø 315	1	1,2	1516	2 210,33	118,08	151,60	1 940,64	269,68
Ø 400	1	1,3	895	1 396,20	112,41	89,50	1 194,29	201,91
Ø 500	1,2	1,4	1363	2 747,81	267,49	163,56	2 316,76	431,05
Ø 600	1,2	1,5	1203	2 598,48	339,97	144,36	2 114,15	484,33
Total				19 610,60	--	1 390,52	17 184,59	2 426,01

Tableau VI.4 : Coût des travaux de terrassement.

Conduites	Unités de mesure	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai	M ³	19610,6028	1000	19610602,8
Pose du lit de sable	M ³	1390,52	1100	1529572
Remblai de la tranchée	M ³	17184,594	600	10310756,4
Evacuation de terres excédentaires à la décharge	M ³	2426,00882	500	1213004,41
TOTAL (DA)				32663936

Le cout total des travaux est estimé comme suit :

$$P_t = F_{\text{remb}} + F_{\text{sable}} \text{ soit donc: } P_t = \mathbf{32663936 \text{ DA}}$$

Le cout total du projet en prenant en compte toutes les opérations financières est de l'ordre de :

$$CT = 54\,642\,893,41 + 32663936 + 19966879,6 = \mathbf{107\,273\,709 \text{ DA}}$$

VI.5. Conclusion

L'estimation du cout total du projet a donné un montant global de **cent sept million deux cent soixante-treize mille sept cent neuf dinars.**

Conclusion Générale

L'Algérie étant contrainte à augmenter sa production agricole afin de subvenir aux besoins des populations, des plans de développement agricoles ont été mis en place ; ayant des objectifs sur le moyen et long terme. Alors pour y arriver il a fallu tout d'abord construire des ouvrages de mobilisation des eaux tel que les barrages et retenues et concevoir des réseaux d'irrigation performants et surtout économiques vue la pénurie d'eau.

L'aménagement hydro agricole du périmètre de Ouled Boughalem (Wilaya de Mostaganem) qui s'étend sur une superficie nette de 380 irrigué à partir du barrage de kramis a fait l'objet de ce mémoire de fin d'études qui comporte plusieurs chapitres.

En premier lieu, une étude détaillée de la région et sous différents angles a permis de classer son climat comme étant semi-aride avec une période sèche d'environ six mois.

Deuxièmement il a été question de l'identification des ressources en sol et en eau disponible dans notre région afin de les exploiter au mieux dans la réalisation du projet.

Puis vient alors l'estimation et le calcul des besoins en eau des cultures mise en place dans l'objectif de leur assurer une bonne alimentation en eau car les rendements en dépendent.

Le système d'adduction est l'épine dorsale de l'aménagement puisque c'est grâce au bon dimensionnement de ses divers ouvrages que l'opération d'acheminer l'eau au périmètre se fera de manière optimale.

Pour compléter notre travail, un choix des techniques d'irrigation s'est imposé tout en veillant à ce que l'économie et l'eau soit une priorité.

Après d'avoir opté pour la technique du goutte à goutte et celle de l'aspersion étant donné les multiples avantages qu'elles offrent on est passé au dimensionnement à la parcelle.

Estimer le cout du projet est primordiale car l'ingénieur doit avoir la notion de la faisabilité technique mais aussi de la rentabilité économique, dans notre cas l'aménagement demande un montant d'environ cent millions de dinars.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Andre, H., (1976).** Hydrométrie pratique des cours d'eau. Paris : Eyrolles, p 259.
- [2] **ANRH, (2007).** Données Pluviométrique. Document interne. Oran.
- [3] **Graf, W., Altinakar, M. S. (1993).** Hydraulique fluviale, Tome 1. Ecoulement uniforme et non uniforme, Volume 16. Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [4] **Touaibia, B., (2004)** Manuel pratique d'hydrologie. Presse Madani Frères. Blida. Algérie.
- [5] **Zella L, (2010)** Micro irrigation .Office des Publications Universitaire. Algérie.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1

Coefficients culturaux (Kc)

CULTURE	Stades de développement de la culture					Durée totale de la période végétative
	Initial	Développement	Mi-saison	Fin de saison	Récolte	
Bananier tropical	0.4 -0.5	0.7 -0.85	1.0 -1.1	0.9 -1.0	0.75-0.85	0.7 -0.8
Bananier subtropical	0.5 -0.65	0.8 -0.9	1.0 -1.2	1.0 -1.15	1.0 -1.15	0.85-0.95
Haricot vert	0.3 -0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9 -0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
Haricot sec	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.25-0.3	0.7 -0.8
Chou	0.4 -0.5	0.7 -0.8	0.95-1.1	0.9 -1.0	0.8 -0.95	0.7 -0.8
Coton	0.4 -0.5	0.7 -0.8	1.05-1.25	0.8 -0.9	0.65-0.7	0.8 -0.9
Raisin	0.35-0.55	0.6 -0.8	0.7 -0.9	0.6 -0.8	0.55-0.7	0.55-0.75
Arachide	0.4 -0.5	0.7 -0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.55-0.6	0.75-0.8
Maïs sucré	0.3 -0.5	0.7 -0.9	1.05-1.2	1.0 -1.15	0.95-1.1	0.8 -0.95
Maïs grain	0.3 -0.5*	0.7 -0.85*	1.05-1.2*	0.8 -0.95	0.55-0.6*	0.75-0.9*
Oignon sec	0.4 -0.6	0.7 -0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8 -0.9
Oignon vert	0.4 -0.6	0.6 -0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
Pois, frais	0.4 -0.5	0.7 -0.85	1.05-1.2	1.0 -1.15	0.95-1.1	0.8 -0.95
Poivron, frais	0.3 -0.4	0.6 -0.75	0.95-1.1	0.85-1.0	0.8 -0.9	0.7 -0.8
Pomme de terre	0.4 -0.5	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.85-0.95	0.7 -0.75	0.75-0.9
Riz	1.1 -1.15	1.1 -1.5	1.1 -1.3	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
Carthame	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.7	0.2 -0.25	0.65-0.7
Sorgho	0.3 -0.4	0.7 -0.75	1.0 -1.15	0.75-0.8	0.5 -0.55	0.75-0.85
Soja	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.0 -1.15	0.7 -0.8	0.4 -0.5	0.75-0.9
Betterave sucrière	0.4 -0.5	0.75-0.85	1.05-1.2	0.9 -1.0	0.6 -0.7	0.8 -0.9
Canne à sucre	0.4 -0.5	0.7 -1.0	1.0 -1.3	0.75-0.8	0.5 -0.6	0.85-1.05
Tournesol	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.7 -0.8	0.35-0.45	0.75-0.85
Tabac	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.0 -1.2	0.9 -1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
Tomate	0.4 -0.5	0.7 -0.8	1.05-1.25	0.8 -0.95	0.6 -0.65	0.75-0.9
Pastèque	0.4 -0.5	0.7 -0.8	0.95-1.05	0.8 -0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
Blé	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2 -0.25	0.8 -0.9
Luzerne	0.3 -0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
Agrumes sarclés						0.65-0.75
Agrumes sans sarclage						0.85-0.9
Olivier						0.4 -0.6

Premier chiffre: avec forte humidité (HR min > 70%) et vent faible (U < 5 m/s).

Second chiffre: avec faible humidité (HR min < 20%) et vent fort (> 5 m/s).

ANNEXES

Annexe 2

Caractéristiques hydriques de quelques sols

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

ANNEXES

Annexe 3


Diamètres des conduites PEHD (Groupe CHIALI)

TABLEAU N° 1 – Diamètre extérieur

Diamètre extérieur nominal d_n (mm)	Diamètre extérieur moyen	
	d_{moy} (mm)	d_{moy} (mm)
16	16,0	16,3
20	20,0	20,3
25	25,0	25,3
32	32,0	32,3
40	40,0	40,4
50	50,0	50,4
63	63,0	63,4
75	75,0	75,5
90	90,0	90,6
110	110,0	110,7
125	125,0	125,8
140	140,0	140,9
160	160,0	161,0
180	180,0	181,1
200	200,0	201,2
225	225,0	226,4
250	250,0	251,5
280	280,0	281,7
315	315,0	316,9
355	355,0	357,2
400	400,0	402,4
450	450,0	452,7
500	500,0	503,0
560	560,0	563,4
630	630,0	633,8
710	710,0	716,4
800	800,0	807,2
900	900,0	908,1
1000	1000,0	1009,0
1200	1200,0	1210,8
1400	1400,0	1412,6
1600	1600,0	1614,4

Annexe 4

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
	3,5	15,3	1,11	18/18	18/24	324	432	3,42	2,57
	4,0	16	1,19	18/18	18/24	324	432	3,71	2,76
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	216	432	3,52	2,64
	3,5	15,8	1,23	18/18	18/24	324	432	3,8	2,85
	4,0	16,5	1,32	18/24	24/24	324	576	3,06	2,3
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
	3,5	16,3	1,42	18/18	18/24	324	432	4,38	3,29
	4,0	17	1,52	18/24	24/24	324	576	3,52	2,64
4,8	2,5	14,5	1,38	18/18	18/24	432	432	4,27	3,2
	3,0	16	1,51	18/18	18/24	324	432	4,66	3,6
	3,5	16,5	1,63	18/24	24/24	324	576	3,78	2,82
	4,0	17	1,75	18/24	24/24	432	576	4,05	3,04
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
	3,5	17	1,76	18/24	24/24	324	576	4,08	3,05
	4,0	17,5	1,88	18/24	24/24	324	576	4,35	3,26
5,5	2,5	15,2	1,82	18/18	18/24	432	432	5,62	4,22
	3,0	17	1,99	18/24	24/24	432	576	4,61	3,45
	3,5	17,5	2,14	18/24	24/24	324	576	4,95	3,71
	4,0	18	2,29	18/24	24/24	432	576	5,31	3,98
6,0	2,5	16,2	2,16	18/24	24/24	432	576	5,00	3,75
	3,0	17,5	2,37	18/24	24/24	432	576	5,50	4,12
	3,5	18	2,56	18/24	24/24	432	576	5,92	4,43
	4,0	18,5	2,74	18/24	24/24	432	576	6,35	4,76
7,0	2,5	17,5	2,96	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	18,5	3,48	24/24	24/24	576	576	6,0	6,0
	4,0	19,0	3,73	24/24	24/30	576	720	6,5	6,7

Figure IV.48 : fiche technique d'un arroseur

- Débit de l'asperseur

On le calcule par la relation (IV.9)

Annexe 5

Perte de charge Lechapt_Calmom

A/ NOTATIONS - EXPLOITATION DE LA TABLE

Formule utilisée

$$J = L Q^M / D^N$$

où Q est en m³/s ; D en mètre ; J en mm/m
valable pour une eau à 10° centigrades.

1 - K = 2	L = 1,863	M = 2	N = 5,33
2 - K = 1	L = 1,601	M = 1,975	N = 5,25
3 - K = 0,5	L = 1,40	M = 1,96	N = 5,19
4 - K = 0,25	L = 1,160	M = 1,93	N = 5,11
5 - K = 0,1	L = 1,100	M = 1,89	N = 5,01
6 - K = 0,05	L = 1,049	M = 1,86	N = 4,93
7 - K = 0,025	L = 1,01	M = 1,84	N = 4,88
8 - K = 0			