

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS
"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⵓⵔⵉⵜ ⵉⵎⵓⵔⵉⵜ ⵉⵎⵓⵔⵉⵜ ⵉⵎⵓⵔⵉⵜ ⵉⵎⵓⵔⵉⵜ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME DU PROJET :

Étude d'aménagement hydro-agricole du périmètre El Abadia (160 ha) à partir de
la retenue Boukali, wilaya de Ain Defla.

PRESENTE PAR :
Mr. MEKIOUI Fatima

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
RASSOUL Abdelaziz	Professeur	Président
AZIEZ Ouahiba	M.C. B	Membre
KERID Rachid	M.C.A	Membre
BENKACI Ali Tarik	M.C. B	Promoteur

2024/2025

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :

A ma très chère mère

A mon cher père

*Pour tous les sacrifices et leur soutien moral et matériel dont ils ont fait
preuve pour que je réussisse.*

A toute ma famille de l'ENSH

A mes frères et soeurs ;

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, je leurs dédie ce modeste
travail.*

Remerciement

بسم الله الرحمن الرحيم

D'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la persévérance et les conditions favorables à la réalisation de ce travail ainsi qu'à l'achèvement de mon parcours universitaire.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur **BENKACI TARIK**, mon encadreur, pour sa disponibilité constante, ses orientations méthodologiques et ses conseils avisés qui ont grandement contribué à la bonne conduite de ce projet.

Je tiens également à remercier tous les enseignants qui ont assuré ma formation tout au long du cycle d'études, ainsi que les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail.

Je tiens à remercier chaleureusement ma famille et mes amis pour leur soutien moral et leur assistance tout au long de la réalisation de ce projet.

ملخص

تندرج هذه المذكرة في إطار تهيئة شبكة توزيع مياه السقي للمنطقة الزراعية الواقعة في منطقة العبادية ولاية عين الدفلى . انطلاقا من سد بوقلي الذي يغطي 160 هكتارا من الاراضي الزراعية .التي تهدف الى زيادة المردودية الفلاحية و كذا المحافظة على الثروات المائية ,

ان الهدف الرئيسي هو تصميم نظام إمداد جديد لزيادة المحاصيل الزراعية، وذلك من خلال استخدام تقنيات السقي الجديدة، وإدارة أفضل للموارد المائية، من خلال إدخال أنظمة السقي الفعالة التي فرضت موثوقيتها، وهي: السقي الموضعي للمحاصيل البقولية والشجرية، والرش لمحاصيل الحبوب. حيث يتمتع نظام التوصيل المتوقع بمزايا متعددة، خاصة فيما يتعلق بتحسين المياه وتوفيرها..

الكلمات الرئيسية: الامداد، المحاصيل.الرش

Résumé:

L'objectif de cette thèse entre dans le caractère de la politique de gestion des périmètres irrigués a partir des retenues collinaires, dans la Wilaya de Ain Defla. Le but principal est la projection d'un nouveau système d'adduction afin d'augmenter les rendements agricoles, par l'utilisation de nouvelles techniques d'irrigation, et une meilleure gestion des ressources en eau, en introduisant des systèmes d'irrigation efficients qui ont imposé leur fiabilité, à savoir : l'irrigation localisée pour les cultures maraichères et arboricoles, et l'aspersion pour les cultures céréalières. Le système d'adduction projeté présente de multiples avantages en particulier dans l'optimisation et l'économie d'eau

Mots clés : l'aménagement, réseau d'irrigation, cultures.

Summary :

The objective of this thesis enters into the character of the policy of management of irrigated areas from hillside reservoirs, in the Wilaya of Ain Defla.

The main goal is to project a new supply system in order to increase agricultural yields, through the use of new irrigation techniques, and better management of water resources, by introducing efficient irrigation systems that have imposed their reliability, namely: localized irrigation for market and arboreal crops, and sprinkling for cereal crops. The projected conveyance system has multiple advantages, particularly in terms of water optimization and savings.

Key words:l'aménagement, irrigation network, crops.

Sommaire

I. Analyse des Conditions Naturelles	2
I.2. Présentation de la wilaya de Ain defla :	2
I.2.1. Localisé du périmètre.....	3
I.2.2. Géomorphologie et Relief :	3
I.2.4. Réseau hydrographique :	4
I.2.5. Étude climatologique	4
I.3. Choix de la station de référence	5
I.3.1. Les températures	5
I.3.2. Études des précipitations.....	6
I.3.3. L'humidité relative	6
I.3.4. Le vent :	6
I.3.5. Le Sirocco	7
I.3.6. L'insolation :	7
I.4. Calcul des indices Agro-météorologiques	8
I.4.1. Indice d'aridité de Martonne	8
I.4.2. Quotient Ombrothermique d'Emberger :	9
I.4.3. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen	10
I.5. Analyse socio-économique	11
I.5.1. Importance de l'agriculture de la wilaya de Ain Defla	11
II. : Ressources en sol-Ressources en eau	14
II.2. Etude des sols :	14
II.2.1. Classification des sols.....	14
II.2.2. Analyse physico-chimique des sols :	15
II.2.3. Propriétés hydrodynamiques des sols :	17
II.2.4. Aptitudes culturales des sols	18
II.3. Ressources en eau :	18
II.3.1. Les eaux souterraines :	19

II.3.2.	Qualité des eaux d'irrigation.....	20
II.4.	Hydrologie : calcul de la pluie de projet	23
II.4.1.	Choix de la station.....	23
II.4.2.	Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique	25
II.4.3.	L'ajustement des pluies annuelles	27
II.4.4.	Test de validité d'un ajustement statique	28
II.4.5.	Détermination de l'année de calcul :	29
III.	: Besoins en eau des cultures	31
III.2.	Besoin en eau des cultures	31
III.2.1.	Estimation des besoins en eau pour l'irrigation	31
III.3.	Choix des cultures et occupation du périmètre.....	34
III.3.1.	Cultures proposées :	35
III.3.2.	Assolement des cultures	35
III.3.3.	Les cycles végétatifs des cultures :	37
III.	Les besoins en eau pour l'assolement (1)	46
III.	Les besoins en eau pour l'assolement (2)	46
III.4.	Calcul du débit spécifique :	47
III.4.1.	Evaluation du débit caractéristiques.....	47
III.4.2.	Estimation des volumes d'eau d'irrigation:	48
IV	. Etude du système d'adduction	49
IV.2.	Alimentation en eau du périmètre	49
IV.3.	Organisation du périmètre	50
IV.3.1.	Ilots d'irrigation.....	50
IV.3.2.	Borne d'irrigation.....	50
IV.4.	Calcul débit aux bornes.....	50
IV.4.1.	Calcul du diamètre de la borne	51
IV.5.	Description de l'aménagement du périmètre	52
IV.6.	Choix de la variante d'aménagement	52
IV.7.	Tracé du Réseau de Distribution.....	52
IV.7.1.	Choix du Matériau des conduites	52
IV.7.2.	Conduites en fonte :	53
IV.7.3.	Conduites en PEHD :	53

IV.8.	Dimensionnement des canalisations	53
IV.8.1.	Vitesses admissibles.....	53
IV.8.2.	Calcul des diamètres des conduites.....	53
IV.8.3.	Calcul des pertes de charge	54
V	Les Techniques D'irrigation	58
V.2.	Les techniques d'arrosages des cultures	58
V.2.1.	L'irrigation de surface (irrigation gravitaire).....	58
V.2.2.	L'irrigation par aspersion :.....	59
V.2.3.	Irrigation localisée ou micro irrigation	60
V.3.	Choix de la technique d'irrigation	62
VI.	Dimensionnement à la parcelle	63
VI.2.	Dimensionnement d'un réseau d'irrigation à goutte à goutte :.....	63
VI.2.1.	Choix de culture :	63
VI.2.2.	Choix du réseau d'irrigation :	63
VI.2.3.	Calcul de l'évapotranspiration corrigée :	64
VI.2.4.	Calcul de la dose d'irrigation corrigée :	64
VI.2.5.	Calcul de la fréquence d'arrosage :	65
VI.2.6.	Calcul de la dose réelle et brute :	65
VI.2.7.	Temps d'arrosage :	65
VI.2.8.	Calcul hydraulique des rampes et la porte rampe :	66
VI.2.9.	Dimensionnement de la conduite tertiaire :	68
VI.3.	Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion :	69
VI.3.1.	Choix de parcelle :	69
VI.3.2.	Choix de la culture :	70
VI.3.3.	Calcul de la dose pratique :	70
VI.3.4.	Dimensionnement de l'asperseur :	70
VI.3.5.	Détermination des paramètres d'arrosage :	72
VI.3.6.	Calcul hydraulique des rampes et porte rampe :	73
VI.3.7.	Dimensionnement de la porte rampe.....	74
VII.	Analyse Technico-Économique	78

VII.2.	Les phases de réalisation des réseaux d'adduction et de distribution :	78
VII.2.1.	Excavation de la tranchée :	78
VII.2.2.	Pose du lit de sable:	78
VII.2.3.	Installation des conduites :	79
VII.2.4.	Essai de pression et de joints :	79
VII.2.5.	Remblayage de la tranchée :	79
VII.2.6.	Nivellement et compactage :	79
VII.2.7.	Volumes de terrassement :	79
A.	Dimensions des tranchées :	79
VII.2.8.	Calcul des volumes de terrassement :	81
VII.2.9.	Coût du réseau de distribution:	83
VII.2.10.	Coût total du projet:	85

Listes des figures

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

Figure I.1: Situation géographique de la wilaya de Ain Defla	2
Figure I.2: Localisation du périmètre d'El Abadia	3
Figure I.4: Répartition des températures moyennes.	5
Figure I.5: Diagramme bioclimatique d'Emberger.....	9
Figure I.6: Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	10

Chapitre II : Ressources en sol-Ressources en eau

Figure II.1Analyse de la texture par le triangle (USDA).....	17
Figure II.2: Diagramme USSL 1954 de classification des eaux.....	22
Figure II.3: ajustement des pluies annuelles aux lois Normale et log-normale	28

Chapitre IV : Etude du système d'adduction

Figure IV.1: Photo satellite du périmètre d'étude de l'oued Boukali	49
---	----

Chapitre V : Les techniques d'irrigation

Figure V.1: Irrigation par ruissellement.....	59
Figure V.2 : Irrigation par aspersion.....	60
Figure V.3 : Irrigation par goutte à goutte	61

ChapitreVII : Analyse technico-economique

Figure VII.1: Profil à travers d'une tranchée	80
---	----

Liste des tableaux

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

Tableau I-1: Caractéristiques de la station météorologique de Ain defla	5
Tableau I-2: Moyennes des températures mensuelles en °C (Ain Defla,1990-2022)	5
Tableau I-3 : Pluies moyennes mensuelles en mm (1996-2020)	6
Tableau I-4 :L'humidité relative moyenne mensuelle (%)	6
Tableau I-5: Moyenne mensuelle de la vitesse du vent :	6
Tableau I-6: Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco :	7
Tableau I-7: L'insolation moyenne mensuelle en heurs	7
Tableau I-8: Classification du climat selon de Martonne :	8

Chapitre II : Ressources en sol-Ressources en eau

Tableau II-1: L'analyse des profils au laboratoire.	16
Tableau II-2: Propriétés hydrodynamiques d sols.	17
Tableau II-3: Les caractéristiques de la retenue de boukali :	19
Tableau II-4:Classification des eaux d'irrigation (USSL, 1954).....	20
Tableau II-5: Résultats d'analyse de l'eau de oued Boukali.....	21
Tableau II-6: Caractéristiques de station pluviométrique :	23
Tableau II-7:Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El-Abadia (1996 – 2020)..	23

Chapitre III: Besoins en eau des cultures

Tableau III-1: Calcul de l'évapotranspiration de référence ET0 (Cropwat) :	33
Tableau III-2:précipitations efficaces :	34
Tableau III-3:Système de cultures proposées.	35
Tableau III-4:assolement des cultures	36
Tableau III-5: Occupation du sol du périmètre.....	36
Tableau III-6:les cycle végétatifs des cultures proposées de périmètre d'El-Abadia	37
Tableau III-7: Besoins en eau du blé	38
Tableau III-8: Besoins en eau de l'orge en grain	38
Tableau III-9: Besoins en eau de l'orge en vert	39
Tableau III-10: Besoins en eau de l'avoine	39
Tableau III-11:Besoin en eau de l'oignon	41
Tableau III-12:Besoins en eau de Carotte.....	41
Tableau III-13:Besoins en eau de bersim.....	41
Tableau III-14:Besoins en eau de PDT AS.....	41
Tableau III-15:Besoins en eau de tomate.....	41
Tableau III-16:Besoins en eau de l'haricot.....	41
Tableau III-17:Besoins en eau de Fève.....	41
Tableau III-18:Besoins en eau de l'ail	41
Tableau III-19:Besoins en eau de l'olivier.....	41
Tableau III-20:Besoins en eau de l'amandier	41
Tableau III-21: Volume d'eau d'irrigation	48

Chapitre IV : Etude du système d'adduction

Tableau IV-1 : Choix du diamètre (S) de la borne (en fonction des débits des ilots).....	51
Tableau IV-2:Choix du type de borne (en fonction des parcelles /ilots)	51
Tableau IV-3 : Calcul des débits et choix du type de bornes.....	51
Tableau IV4 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution	51

Chapitre VI :Dimensionnement à la parcelle

Tableau VI-1: Récapitulatif de réseau d'irrigation au goutte à goutte.....	69
Tableau VI-2: Récapitulatif de réseau d'irrigation au aspersion.	69

ChapitreVII : Analyse technico-economique

Tableau VII-1: Résultats de calcul des dimensions de différents diamètres.	81
Tableau VII-2: Coefficients de foisonnement pour différente nature de sol.	82
Tableau VII-3: Résultats de calcul des volumes de terrassement	83
Tableau VII-4: Estimation de coût des volumes de terrassement de réseau de distribution....	83
Tableau VII-5: Estimation des coûts de mise en place des conduites.	84
Tableau VII-6: Estimation du coût des pièces spéciales.....	85
Tableau VII-7: Estimation de coût totale de projet.....	85

LISTE DES PLANCHES

Planche N°1 : : levé topographique de périmètre boukali commune d'el Abadia wilaya d'Ain defla

Planche N°2 : Carte situation de périmètre boukali commune d'el Abadia wilaya d'Ain defla

Planche N°3 : : réseau d'irrigation par goutte à goutte

Planche N°4 : profil en long de la conduit principal de périmètre d'irrigation de boukali commune el Abadia wilaya Ain defla

Introduction Générale

Introduction Générale

Les ressources en eau sont un élément fondamental dans le développement économique, en particulier en agriculture, puisqu'elles permettent d'intensifier les rendements agricoles. L'interdépendance entre l'hydraulique et les autres domaines économiques impose une gestion stratégique, garantissant l'atteinte des objectifs de production agricole et la sécurisation des rendements.

La problématique de l'irrigation demeure majeure en Algérie en raison de la rareté des ressources en eau, face à une demande accrue du secteur agricole.

La politique nationale de l'eau vise l'extension des surfaces irriguées à travers une gestion intégrée des ressources, se basant sur un développement rural.

En Algérie, les retenues collinaires visent à mobiliser les eaux superficielles pour soutenir l'agriculture dans les zones à faible disponibilité en eau, affectées par la sécheresse et les changements climatiques.

En 2007, 265 retenues permettaient l'irrigation de 5 099 ha. Dans le cadre des PPDRI lancés dès 2008, ces ouvrages sont devenus des outils de développement territorial. Entre 2008 et 2015, 176 nouvelles retenues ont été réalisées, soit une hausse de 66 %.

La wilaya d'Aïn Defla, qui fait partie du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez, est considérée comme une zone agricole, mais par manque de ressources en eau mobilisées, l'intensification de l'agriculture est restée bloquée, d'où un programme de retenues collinaires établi dans la wilaya pour résoudre la problématique des ressources en eau.

Notre étude se concentre donc sur l'aménagement du périmètre d'El-Abadia qui couvre une superficie de 160 hectares, situé dans la wilaya de Aïn defla. Ce secteur est principalement approvisionné en eau par la retenue de Boukali.

En outre, notre travail portera sur le dimensionnement d'un réseau d'irrigation, l'étude est scindée en deux parties : la première est consacrée au calcul des besoins en eau d'irrigation et au choix des cultures, la seconde abordera le dimensionnement hydrauliques du réseau d'adduction ainsi que les techniques d'irrigation telles que l'aspersion et le goutte à goutte.



Chapitre I : Analyse Des Conditions Naturelles

I. Analyse des Conditions Naturelles

I.1. Introduction :

Ce chapitre vise à fournir une présentation complète du périmètre d'étude, en analysant ses aspects géographiques, climatiques et socio-économiques. L'objectif est d'identifier les divers paramètres nécessaires pour caractériser cette zone et mieux comprendre la nature de son climat.

Cette analyse est essentielle dans le cadre d'un projet d'irrigation, car elle constitue la première étape pour calculer les besoins en eau d'irrigation.

I.2. Présentation de la wilaya de Ain defla :

La wilaya de Ain Defla, localisée dans la région Nord de l'Algérie, couvre une superficie de 4544,28 km². Cette wilaya est subdivisée en 14 daïras et 36 communes. Est situer a l'ouest du chef-lieu de la wilaya, elle est délimitée :

- Au Nord par la wilaya de Tipaza,
- par le Sud la wilaya de Tissemsilet ;
- par l'Ouest la wilaya de Chlef.
- l'Est la wilaya de Blida et Médéa

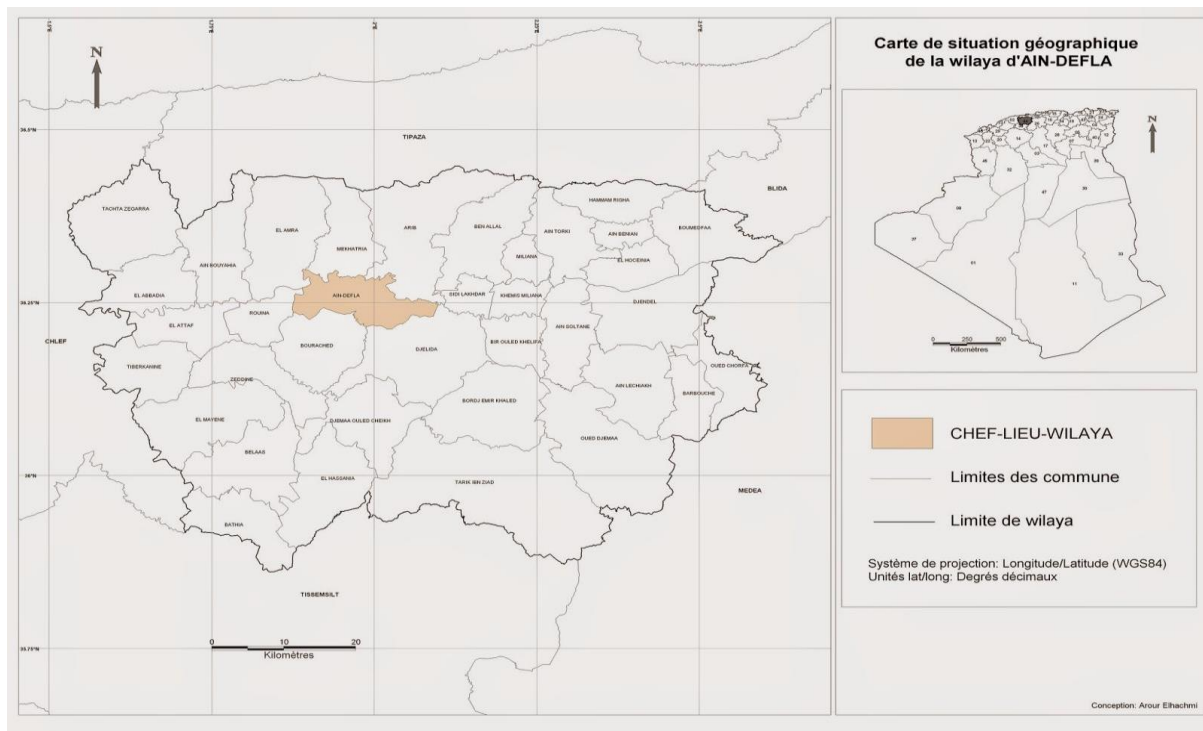


Figure I.1: Situation géographique de la wilaya de Ain Defla

I.2.1. Localisé du périmètre

Le périmètre de Boukali est localisé dans la commune d'El-Abadia, à 30 km Nord-Ouest de la wilaya de Ain-Defla, cette commune est délimitée par :

- La commune de Tacheta Zougara au nord.
- La commune d'El Attaf et Oued El Foda au sud.
- La commune d'Ain Bouyahia à l'Est.
- La commune de Beni Rached à l'Ouest.



Figure I.2: Localisation du périmètre d'El Abadia

I.2.2. Géomorphologie et Relief :

La zone de projet a des caractéristiques géographiques distinctes : La plupart des régions sont relativement plates, les zones du secteur Nord possèdent des pentes vierges. Les différences de relief sont cruciales dans la direction des eaux de pluie, qui sont transportées par gravitation naturelle en grande partie. La commune est située sur une surface en pente uniforme qui oscille entre 0,3% et 5,5%.

Les altitudes vont d'environ 70 à 110 mètres, ce qui crée un gradient doux qui favorise l'écoulement. Ce modèle topographique permet d'utiliser efficacement les terres pour un développement agricole ou résidentiel qui réduit l'érosion et les inondations dans les zones basses.

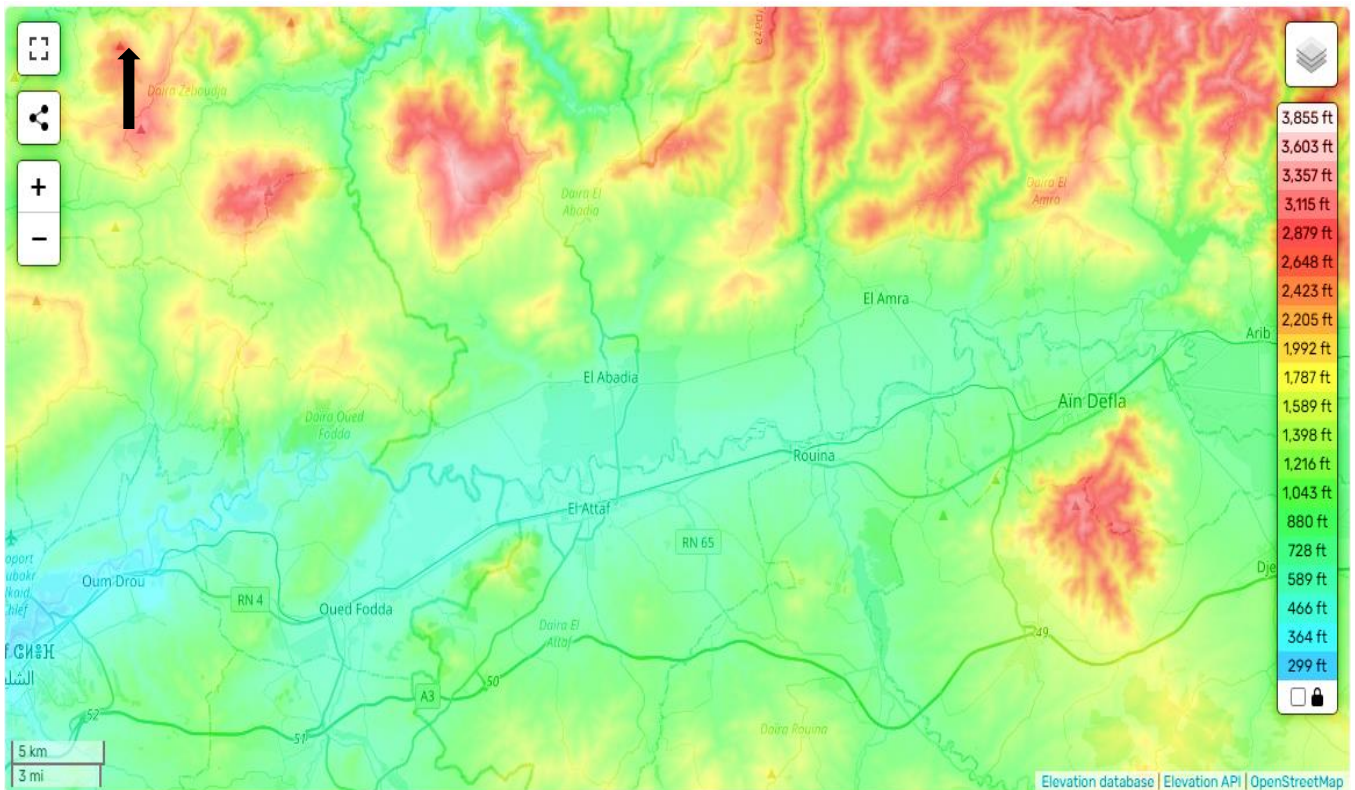


Figure I.3: Situation topographique de la wilaya de ain defla (Topografic map,2025)

I.2.4. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est relativement lâche, il est constitué de thalwegs qui tarissent en période estivale. Les ressources en eau souterraines sont caractérisées par une structure marneuse, sont relativement limitées.

Les nappes aquifères sont principalement alimentées et drainées par les oueds. Les nappes aquifères les plus significatives sont situées dans les alluvions quaternaires.

I.2.5. Étude climatologique

La climatologie étudie à long terme la moyenne des éléments nécessaires pour décrire les conditions de l'atmosphère, comme la température de l'air, les précipitations, la direction et la vitesse du vent. Les projets d'irrigation dépendent principalement des conditions climatiques, car ces facteurs (température, précipitations, humidité relative, évaporation) ont un impact direct sur l'irrigation et la croissance des cultures.

I.3. Choix de la station de référence

Pour l'étude du climat, nous avons choisi la station de référence de Ain Defla qui est située à proximité de notre périmètre, les caractéristiques de cette station sont les suivantes :

Tableau I--1: Caractéristiques de la station météorologique de Ain defla

Station	Coordonnées géographiques			Code de référence
	N	E	Altitude	
Ain Defla	36°15'50"	1°58'04"	264 m	4401

I.3.1. Les températures

Les températures moyennes du périmètre d'El-Abadia ont été déterminées suivant les mesures données par la station de Ain-Defla.

Tableau I-I-2: Moyennes des températures mensuelles en °C (Ain Defla,1990-2022)

mois	jan	Fev	Mars	avr	mai	juin	juil	août	Sep	Oct	nov	dec	moy
Tmax	13.6	14.8	17.1	19.1	24.2	29.6	34.0	33.5	28.5	24.1	18.3	14.8	22.6
Tmin	6.5	7.3	9.6	12.2	15.7	20.6	24.4	24.5	20.6	16.1	10.9	7.9	14.7
Tmoy	10.05	11.05	13.3	15.65	19.9	25.1	27.2	27	24.6	20.1	14.6	11.35	18.3

(Source : ANRH Station Ain Defla)

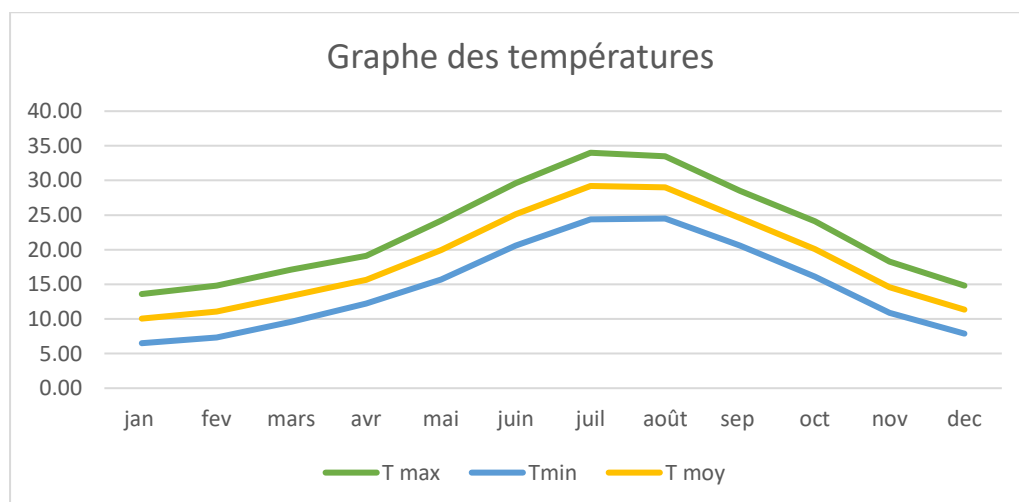


Figure I.4: Répartition des températures moyennes.

D'après le graphe précédent, le périmètre d'El Abadia est marqué par des hivers froids où les gelées sont relativement fréquentes. L'été, quant à lui, s'étend sur une durée de six mois, avec des températures très élevées.

I.3.2. Études des précipitations

La connaissance des paramètres climatiques a une importance majeure en irrigation, pour améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau, car ces paramètres interviennent dans l'estimation des besoins en eau des cultures en assurant une production agricole optimale.

Dans notre cas, nous avons utilisé la pluviométrie moyenne mensuelle de la station d'El-Abadia, sur une période d'observation de 25 ans (1996- 2020), et sont présentées dans le tableau I.3:

Tableau I-3 : Pluies moyennes mensuelles en mm (1996-2020)

Mois	sept	Oct	nov	dec	Janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Anné
Moyenne	16.2	25.7	59.4	45.2	48.7	44.2	35.9	30.7	25.2	5.5	0.4	2.0	338.8

(Source : ANRH Station El-Abadia)

I.3.3. L'humidité relative

L'humidité relative, ou hygrométrie de l'air, fait partie du cycle hydrologique et influence l'évaporation du sol ainsi que la végétation. Elle montre à quel point l'atmosphère est proche de la condensation. Les valeurs de l'humidité de l'air sont données par le tableau I.4 :

Tableau I-4 : L'humidité relative moyenne mensuelle (%)

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
Humiditérelativ %	75	73	69	65	61	60	61	60	60	66	72	75	66.4

(Source : ANRH Station Ain Defla)

D'après le tableau I.4, l'humidité relative présente généralement des valeurs supérieures à 60%, atteignant une valeur maximale de 75% en décembre et janvier

I.3.4. Le vent :

le vent est un facteur climatique potentiellement, il influence directement sur les sols, et les autres facteurs comme les précipitations, l'évapotranspiration et ainsi sur le choix des techniques d'irrigation.

Tableau I-5: Moyenne mensuelle de la vitesse du vent :

Mois	Ja	Fév	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
vents (m/s)	2.99	3.21	2.9	3.59	3.4	2.9	3	3	2.2	2	3.08	2.88	2.9

(Source : ANRH Station Ain Defla)

Les vitesses moyennes mensuelles du vents sont environ de 3 m/s, D'après le tableau (I.5) .on constate que les vitesses sont plus ou moins stable .

I.3.5. Le Sirocco

Le sirocco est un vent chaud et sec qui influence fortement l'évaporation de l'air. Il est donc important de signaler sa présence. Nous disposons de données sur le nombre de jours de sirocco enregistrés sur une période de 31 ans (1980-2010) à la station de Aïn Defla.

Tableau I-6: Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Nbr des jours	1.3	0.2	0.1	0	0	0.1	0.3	1.2	2.1	3.4	6.6	4.7

(Source : ANRH Station Ain Defla)

I.3.6. L'insolation :

L'insolation est un paramètre climatique important qui est utilisé pour calculer l'évapotranspiration potentielle. Les données de l'insolation moyenne journalière pour chaque mois est données par le tableau I.7 :

Tableau I-7: L'insolation moyenne mensuelle en heures

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	moy
L'insolation (h/j)	6.3	6.9	8.2	9.3	10.9	12.5	12.6	11.7	10.2	8.8	6.6	6.1	9.175

(Source : ANRH Station Ain Defla)

La durée moyenne d'ensoleillement est de 9.2 heures par jour. Les journées les plus longues, avec une durée entre 10.9 et 12,6 heures, se trouvent en mai, juin, juillet, août. Les journées les plus courtes, avec une durée entre 6.1 et 6.3 heures, ont lieu durant les mois de décembre et janvier.

I.4. Calcul des indices Agro-météorologiques

Pour classifier le climat, on s'appuie généralement sur des paramètres agrométéorologiques basés sur la température et les précipitations de la région.

I.4.1. Indice d'aridité de Martonne

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

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

Avec : I_A : indice climatique.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C)

Dans notre cas, nous avons : $i_A = \frac{338.8}{18.66+10} = 11.82$.

Tableau I-I-8: Classification du climat selon de Martonne :

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

Puisque l'indice de De Martonne est de 11.8, on conclut que la région d'El-Abadia est caractérisée par un climat sec, ce qui peut rendre l'irrigation occasionnellement nécessaire.

I.4.2. Quotient Ombrothermique d'Emberger :

L'objectif de cet indice est de déterminer l'étage bioclimatique, et son calcul se fait de la manière suivante :

$$Q = \frac{1000.p}{\left(\frac{M+m}{2}\right).(M-m)} = \frac{2.1000.p}{M^2 - m^2} \dots\dots\dots (I-2)$$

Q : Quotient pluviométrique d'Emberger

P : Moyenne des précipitations annuelles = 338.8 mm

M : moyenne des températures maximales = 273 + 34°C

m : moyenne des températures minimales = 273 + 6.5°C

On trouve **Q = 42.01**

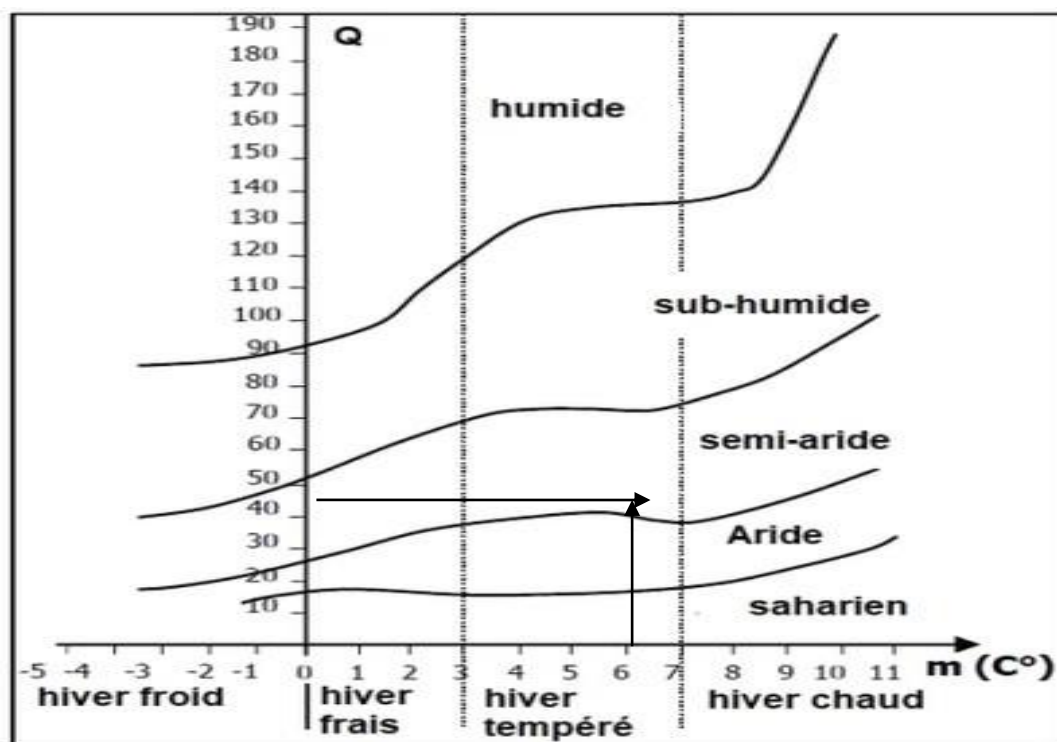


Figure I.5: Diagramme bioclimatique d'Emberger

D'après la classification, le climat de notre région est de type **semi-aride**.

I.4.3. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique conçu par F. Bagnouls et H. Gaussen permet d'identifier la période sèche au cours de l'année.

Selon leur définition, on considère un mois sec lorsque la quantité totale de précipitations (en mm) est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle (en °C), soit lorsque la courbe des précipitations se situe en dessous de celle des températures. La durée de la saison sèche correspond à l'intervalle entre les abscisses des points où ces deux courbes se croisent.

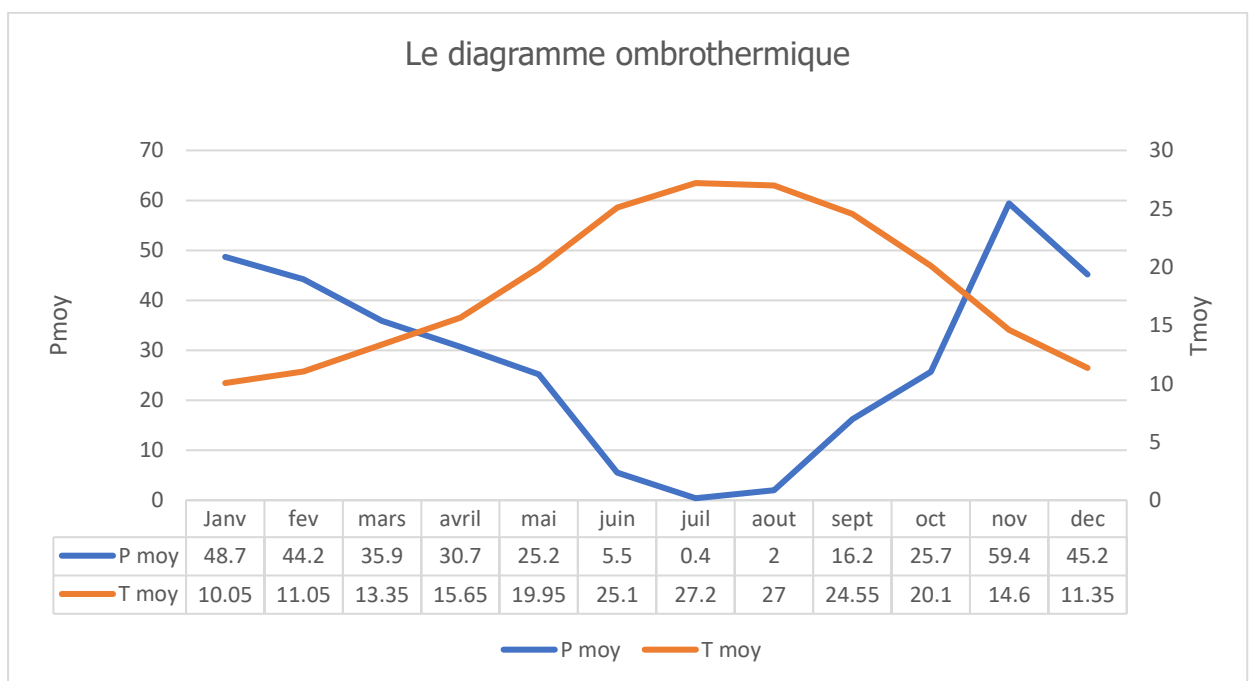


Figure I.6: Diagramme ombrothermique de Gaussen.

Description du graphe :

Selon le climogramme ombrothermique de Gaussen, on observe deux périodes distinctes : une période humide, durant laquelle l'irrigation n'est pas nécessaire, et une période sèche, où l'irrigation devient essentielle. Cette dernière s'étend du mois d'Avril à octobre.

I.5. Analyse socio-économique

La commune d'El Abadia, la plus grande de la wilaya d'Ain Defla, compte une population totale de 44 742 habitants, la distribution de cette population selon le sexe est présentée dans le tableau suivant :

Tableau I.9 : Répartition de la population par sexe :

Commune	Surface km ²	population au 2015			densité(hab/km ²)
		Masculin	féminin	Total	
d'El_Abadia	105.41	47 108 (50,7 %)	45 746 (49,3 %)	92 854	218,8

I.5.1. Importance de l'agriculture de la wilaya de Ain Defla

L'agriculture est la principale activité des habitants, la wilaya est classée au premier rang national dans la production de la pomme de terre dont elle alimente 30 % du marché national. La superficie agricole représente plus de la moitié de la superficie totale de la wilaya.

Les forêts sont principalement couvertes de pin d'Alep, chêne vert et thuya.

La superficie agricole totale (SAT) est de l'ordre de 235611 ha soit 51.80% de la superficie totale de la wilaya représentant plus de la moitié;

La superficie agricole utile (SAU) est de l'ordre de 181676 ha soit 77.10% de la SAT. Elle était de 170384 ha en 1998 soit une augmentation absolue de 11292ha de 1998 à 2019;

La superficie cultivée en irrigué concerne 48163 ha en 2019 soit 26.50% de la SAU, alors qu'elle était de l'ordre de 22655 ha en 1998 soit une augmentation absolue de 25508 1ha;

Les cultures sous serres restent peu développées et occupent une superficie 352,84 ha représentant 0,19 % de la SAU.

La superficie agricole utile est répartie comme suit :

* Exploitations agricoles collectives (EAC) : 1447 exploitations pour 6242 exploitants et une superficie globale de l'ordre de 41206 ha dont une superficie exploitée de 39590 ha.

* Exploitations agricoles individuelles (EAI) : 887 Exploitations pour une superficie globale de 5717 ha toutes exploitées dont 2061 ha irriguées.

* Fermes pilotes : 06 fermes pilotent pour un effectif permanent de 170 personnes et une superficie totale de l'ordre de 5277 ha dont une superficie exploitée de 5215 ha dont 1355 ha

irriguées.

*Exploitations privées : le nombre de propriétaires privées est de 21745 personnes pour une superficie globale de 183411 ha. Et une superficie exploitée de 131154 ha dont 22922 ha irriguées.

Le tableau I.9 présente les rendements des principales spéculations agricoles et leurs rendements respectifs (2019):

Tableau I.10 Répartition des cultures et leurs rendements respectifs (2019):

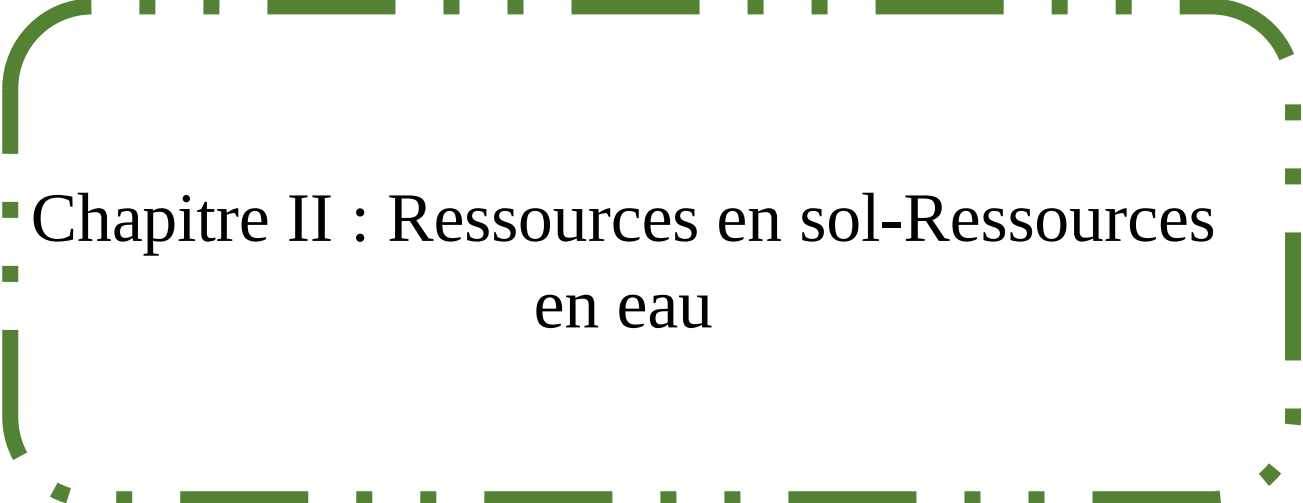
principales	campagne2018-2019		
	superficie ha	production QX	RDT (QX/ha)
Blé Dur	48540	630450	12,99
Blé Tendre	14260	173400	12,16
Orge	19750	222460	11,26
Fourrages	21450	467335	21,79
• Avoine	3595	24400	6,79
• Vesce Avoine	17128	372813	21,77
Légumes Secs	3522	23749	6,74
Culture Maraichères Don't	15194	2439726	160,57
• Pomme De Terre	10601	1726936	162,9
Arboriculture Don't	6624	531009	80,16
• Agrumes	893	113267	126,84
• Poiriers	1707	173000	101,23
• Pommier	1094	170915	156,23
• Olivier	1186	16813	14,18

I.6. Conclusion

Le périmètre d'El_Abadia, qui fait partie du bassin du haut Cheliff, dans la wilaya de Ain Defla, se caractérise par un climat méditerranéen sec. Les hivers sont relativement froids et les étés sont très chauds et secs.

La pluie est relativement faible et n'est pas équitablement répartie sur l'année, mais dispose d'un potentiel de terrains favorables à un aménagement hydro-agricole.

Pour améliorer l'agriculture et développer les différentes cultures dans cette région rurale, il est nécessaire d'introduire l'irrigation, pour intensifier les rendements des différentes spéculations agricoles.



▪ Chapitre II : Ressources en sol-Ressources en eau

II.: Ressources en sol-Ressources en eau

II.1. Introduction

L'étude d'un périmètre nécessite une analyse et une quantification de toutes les ressources disponibles de la zone d'étude, en particulier les ressources en sol et en eau, indispensables à toute mise en valeur.

Ce chapitre a pour objectif d'analyser les principales caractéristiques pédologiques ainsi que les ressources en eau et les aspects hydrologiques du périmètre concerné.

II.2. Etude des sols :

L'étude agro-pédologique du périmètre destiné à :

- Évaluer les potentialités naturelles des terres en matière d'irrigation ;
- Fournir une première orientation pour le choix optimal des cultures à planter ;
- Mettre en évidence les données essentielles sur les interactions sol-eau, qui influencent directement la gestion et l'organisation des arrosages.

II.2.1. Classification des sols

La Classification des sols s'est basée sur la classification de la CPCS (France 1970), adoptée par l'ANRH Algérie. Cette classification, permet d'analyser les sols à différents niveaux : les unités supérieures (classe, sous-classe, groupe, sous-groupe) et les unités inférieures (famille et série).

Les classes des sols rencontrés dans le périmètre d'étude sont principalement :

- des sols minéraux bruts, notamment les lithosols ;
- des sols peu évolués issus d'apports alluviaux provenant de formations indifférenciées, à tendance brun calcaire, avec des horizons modaux et une profondeur mal drainée ;
- des sols peu évolués issus d'apports colluviaux également dérivés de formations indifférenciées modales.

a) Sols peu évolués d'origine non climatique d'apport alluvial :

Ce sont des sols peu profonds (de 70 à 90cm de profondeur), Au point de vue chimique, ces sols sont relativement pauvres en matière organique dont le taux est inférieur à 2%, et qui décroît en profondeur, et un rapport C/N inférieur à 10 qui varie dans le sens inverse du taux de la matière organique. Ces sols sont caractérisés par un taux de calcaire total relativement élevé.

Profil N° 1

Classification :

- Classe : sols peu évolués.
- Sous classe : sols peu évolués d'origine non climatique.
- Groupe : sols peu évolués d'apport.
- Sous-groupe : sols peu évolués d'apport colluvial.
- Famille : sols issus de formations d'origine colluviale.
- Situation : centre du périmètre.
- Topographie : pente douce.
- Occupation du sol : cultures maraichères.

Description :

0 – 40 cm : couleur à l'état sec rouge brun clair, texture argilo-limoneuse, structure Polyédrique fine, enracinement abondant, taches de calcaire, quelques fentes de retraits, faible porosité, compact, Très forte effervescence à l'HCl ;

40 – 90 cm : couleur à l'état sec rouge brun foncé; texture argileuse, structure Polyédrique fine, Faible enracinement, porosité moyenne, horizon compact plus que l'horizon superficielle, faible effervescence à l'HCl ;

90 – 120 cm : couleur à l'état sec Brun foncé ; texture sablo limono argileuse, structure polyédrique fine, porosité moyenne, horizon compact, et l'effervescence l'HCl est moyenne.

II.2.2. 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: L'analyse des profils au laboratoire.

Horizons		H1	H2	H3
Profondeur de prélèvement des échantillons (cm)		0-	35-	80-
Granulométrie	Argile %	35,	32,	30,
	Limon fin %	18,	18,	20.
	Limon grossier %	9.5	12.	11.
	Sable fin %	20.	18.	26.
	Sable grossier %	16.	18.	10.
Matière organique	Matière organique %	1,4	0,5	0,3
	Carbone C ‰	8,5	3,3	2,3
	Azote N ‰	0,7	0,6	0,6
	C/N	11,	5,2	3,4
Réserve minérales	CaCO ₃ Total %	12,	22,	21,
	CaCO ₃ Actif %	2	2	2
	P205 Total ‰	39,	39,	34,
	K20 Total ‰	39,	39,	34,
Complexe absorbant	Ca ⁺⁺ en méq /100 g	22,	16,	16,
	Mg ⁺⁺ en méq /100 g	4,1	5,1	5,2
	K ⁺ en méq /100 g	1,1	0,3	0,4
	Na ⁺ en méq /100 g	1,5	2,0	1,3

Dans le cadre de notre étude, le triangle textural utilisé est le suivant :

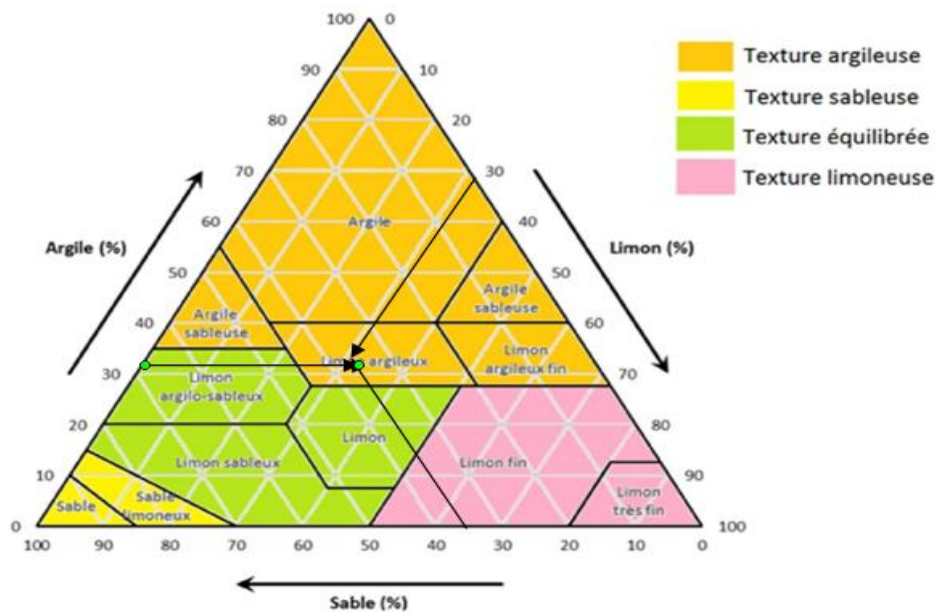


Figure II.1 Analyse de la texture par le triangle (USDA)

La majorité des sols ont une texture limono-argileuse.

II.2.3. Propriétés hydrodynamiques des sols :

Les caractéristiques hydrodynamiques du sol désignent l'ensemble des propriétés influençant le mouvement et la rétention de l'eau dans le sol, notamment la densité apparente, la porosité, la perméabilité, la capacité au champ (H_{cc}) et le point de flétrissement permanent (H_{pf}).

Les propriétés hydrodynamiques des sols dans la zone d'étude sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-2: Propriétés hydrodynamiques des sols.

Texture	Limoneux-argileux
Capacité au champ (%)	26%
Point de flétrissement (%)	16%
Vitesse de perméabilité (mm/h)	8 - 12 mm/h
Densité apparente	1.35- 1.38

Interprétation:

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols du périmètre confirment la faisabilité des activités agricoles, en raison des éléments suivants :

- Selon le triangle des textures, le sol est de texture limoneux-argileuse,
- Le sol contient une bonne teneur en matières organiques, et ne présente pas de risque salin
- Les capacités de rétention en eau des sols sont bonnes 25 à 30%.

II.2.4. Aptitudes culturales des sols

D'après les analyses des sols et l'analyse physico-chimique on remarque que les sols ne présentent pas de restrictions pour les cultures céréalières, fourragères et maraichères.

Pour ce qui de l'arboriculture, les sols présentent de bonnes aptitudes pour les espèces olivier, amandier, figuier et des aptitudes moyennes pour l'arboriculture fruitière irriguée tel que la vigne.

Les pommiers poiriers sont à déconseiller.

Le périmètre étudié présente des sols aux aptitudes culturales favorables à l'introduction de cultures industrielles, notamment la tomate industrielle et la betterave sucrière.

II.3. Ressources en eau :

La zone d'étude présente un potentiel en eau relativement faible, en raison du déficit pluviométrique et de l'inexistence d'ouvrages d'exploitations.

La wilaya d'Ain Defla contient plusieurs barrages sont mobilisés pour l'AEP et l'irrigation tels que le barrage de Ghrib, Harreza, Deurdeur et barrage Ouled Melouk

Les ressources en eaux superficielles dans la zone sont alimentées à partir des affluents des oueds Boukali, Oued Deurdeur, Oued Rahil et Oued Khelifa.

II.3.1. Les eaux souterraines :

Du point de vue hydrogéologique, les plus importants sont :

-Les grés sableux du tortonien.

-Les grés et sables du pliocène constituent une nappe aquifère dont les ressources proviendraient des eaux d'infiltration.

-Les nappes alluviales de l'oued chellif.

Le périmètre d'étude sera alimenté par une retenue collinaire de Boukali, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-3: Les caractéristiques de la retenue de boukali :

Dénomination	Unité	quantité
Hauteur de la digue	m	15.5
Volume mort	M.m3	0.29
Volume utile	M.m3	0.835
Volume au niveau normal de la retenue	M.m3	1.13
Cote de fond	m	100.5
Cote au niveau mort (NVM)	m	106
Cote au niveau normal de retenue	m	112.9
Cde plus hautes eaux (NPHE)	m	114.3
Cote de la crête	m	116
Largeur de déversoir	m	35
Débit évacué	m3 /s	180.95
D. C de vidange	mm	500

II.3.2. Qualité des eaux d'irrigation

La détermination de la quantité en eau d'irrigation est indispensable pour préserver l'environnement et ses impacts sur la santé des plantes. Le recours à la classification des eaux d'irrigation permet d'avoir une idée sur la qualité de l'eau utilisée.

Il existe plusieurs classifications des eaux selon leur qualité chimique a été réalisée à l'aide du diagramme de classification des eaux d'irrigation, basé sur deux paramètres principaux : la conductivité électrique (CE) et le rapport d'adsorption du sodium (SAR).

a) La conductivité électrique :

C'est une propriété liée à la mobilité des ions dans l'eau. Elle est généralement mesurée à une température de 25 °C et exprimée en millimhos par centimètre (mmho/cm). En fonction de sa valeur, on distingue quatre classes de risque de salinité pour l'eau d'irrigation.

Tableau II-4: Classification des eaux d'irrigation (USSSL, 1954)

classe	conductivité électrique mhos/cm	appréciation	
C1	$CE < 0,25$	Eaux faiblement salinité	convient pour toutes les cultures
C2	$0,25 < CE < 0,75$	Eaux à salinité moyenne	convient pour les plantes moyennement tolérantes
C3	$0,75 < CE < 2,25$	Eaux à salinité forte	ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes
C4	$CE > 2,25$	Eaux à très forte salinié	eau difficilement utilisable sur sol bien drainé

L'eau du barrage de Boukali, destinée à l'irrigation du périmètre étudié, présente une conductivité électrique moyenne $CE = 0,85$ mmhos/cm

LE S.A.R. : (Sodium Absorption Ration) :

Si l'eau d'irrigation est riche en Sodium, celui-ci peut se fixer sur le complexe du sol et exercer Alors une action de floculante. Pour apprécier le risque alcalin, on compare donc la Concentration en ions Na^+ et celle en ions Ca^{++} et Mg^{++} .

Les résultats des analyses de l'eau provenant du oued boukali sont présentés dans le tableau II.5 :

Tableau II-5: Résultats d'analyse de l'eau de oued Boukali.

Paramètres	Résultats Meq/L
Calcium (Ca^{2+})	8.6
Magnesium (Mg^{2+})	6.5
Sodium (Na^+)	7.1
Chlore (Cl)	15.5
Sulfate (SO_4^{2-})	17.8
HCO_3	2.33
PH	7.7

Mesure du SAR : (Sodium Absorption Ration) :

Le taux de sodium absorbé Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} en (méq/l) est donne par la formule suivante :

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

$$\text{A.N : SAR} = \frac{7.1}{\sqrt{\frac{8.6 + 6.5}{2}}} = 2.6$$

En utilisant le diagramme d'USSL 1954 suivant :

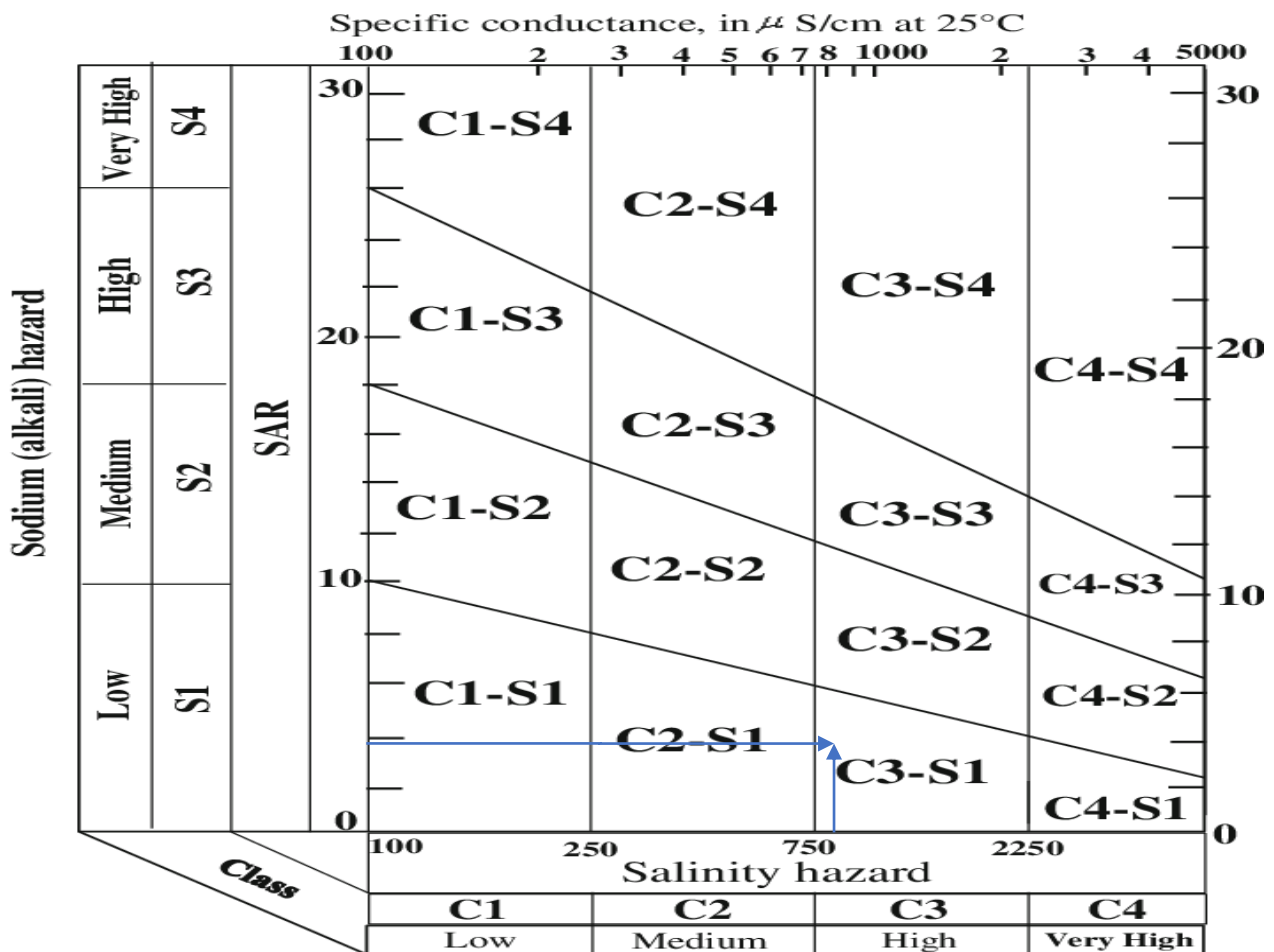


Figure II.2: Diagramme USSS 1954 de classification des eaux

Selon le diagramme précédent les eaux de l'Oued Boukali sont de la classe C3S1 :

Salinité forte, alcalinité faible. Le PH des eaux de la retenue est de 7.7, elles sont donc adéquates.

II.4. Hydrologie : calcul de la pluie de projet

Le calcul de l'apport constitue une étape essentielle dans la planification et la gestion d'un projet d'irrigation durable. Il permet d'estimer la quantité d'eau naturellement disponible pour l'irrigation, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace des ressources en eau et à la réduction des coûts.

II.4.1. Choix de la station

Les précipitations sur le périmètre de Boukali sont enregistrées par la station climatologique d'El-Abadia, laquelle présente les caractéristiques suivantes :

Tableau II-6: Caractéristiques de station pluviométrique :

N	Nom de la station	code	Période d'observation	N d'anne	Altitude (m)	Pluie annuelle (mm)
1	EL Abadia	12001	1996-2020	25	162	338.8

Les données de pluviométrie de la station d'El-Abadia de la durée de 1996 – 2020 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-7: Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El-Abadia (1996 – 2020)

Mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	Mai	juin	juil	aout	annuel
1996	54.4	9.6	10.2	48.8	54.3	0	0	0	0	0	0	15	192.3
1997	10.2	17.1	114	24.3	14.2	28.7	11.7	39.2	105.5	0	0	0	364.9
1998	10.7	19.4	29.6	9.7	67	68.7	54.5	0	0	0	0	0	259.6
1999	17.6	9.8	39.3	70.1	2.8	0	1.4	24.7	2.7	0	0	0	168.4
2000	22.7	43.8	87.4	20.6	90	24.5	0	36.2	19.1	0	0	0	344.3
2001	0	0	63.1	22.5	30.1	9	51.2	43.3	40.6	0	0	3.9	263.7
2002	0	28.3	56.7	28.1	102.3	56.7	17.1	25.4	32.9	12.3	0	0	359.8
2003	1.6	25.6	82.5	67.2	29.8	42.3	27	16.4	67	0	0	0	359.4
2004	10	31.7	26.7	82.1	38.6	81.4	20.1	5.7	0	0	0	0	296.3
2005	5	27.5	57.2	72.4	26	77.6	8.6	0	36.2	0	0	0	310.5

2006	14	0	0	109.9	19.3	40.3	50.7	74	34.8	0	5.2	0	348.2
2007	81.4	67	78.1	18.9	16.5	23.2	33.6	11.2	50.4	14.5	0	0	394.8
2008	3.7	38.1	76.3	95.1	83.7	27.9	51.5	71.4	15.1	0	0	0	462.8
2009	18.9	12.5	56.1	56.6	55.1	83.3	62.7	8.3	8.3	0	0	28.6	390.4
2010	6.2	100.8	69.7	35.4	91.4	79.6	15.7	31	72	21.3	0	0	523.1
2011	0	22.5	81.4	12.3	18.2	72.3	25.2	66.5	10.1	0	0	0	308.5
2012	3.4	38.1	96.7	8.6	66.6	105.7	57.2	51.4	59.2	0	4.7	0	491.6
2013	28.4	0	57.6	53	50	33.9	67.4	2	16.8	0	0	2.3	311.4
2014	12.7	18.6	74.6	79.7	55.3	112.5	23	0	1.4	0	0	0	377.8
2015	20.3	1.2	38.4	0	25.4	46.3	138.7	19	9.9	0	0	0	299.2
2016	0	0.9	42	42.5	106.8	2.1	3.7	0	0	7.2	0	0	205.2
2017	6.5	49.6	66.5	71.7	29.5	66.8	94.2	111.9	32.4	61.2	0	0	590.3
2018	40.9	55.4	74.6	29.1	60.1	8.2	21.5	21.1	3.3	0.3	1	0.2	315.7
2019	31.4	7.9	85.1	24	36.5	0	29.3	88.8	7.2	6.6	0	0	316.8
2020	5.4	16.1	20	46.8	48.6	13.7	31.3	19.4	4.8	8.6	0	0.3	215
Moyenne	16.2	25.7	59.4	45.2	48.7	44.2	35.9	30.7	25.2	5.5	0.4	2	338.8

Source (ANRH)

La série des pluies moyennes annuelles présente les caractéristiques suivantes :

Paramètre	Résultat
Moyenne	338.8
Mediane	316.8
Ecartype	102
coef variance	0.3
Val mximale	590

II.4.2. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon. La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé suivant :

- On divise la série complète en deux sous séries : X et Y tel que : N_1 et N_2 représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement $N_1 > N_2$:

- On constitue par la suite, la série X union Y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Touaibia, 2004), si la relation ci-dessous est vérifiée

$$W_{\min} < W_x < W_{\max}$$

Avec :

$$W_x = \sum \text{Rang}_{i_x}$$

W_x : Somme des rangs de sous-séries.

$$W_{\min} = \left(\frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} \right) - 1.96 \left(\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{1/2} \quad (\text{II-2})$$

$$W_{\max} = [(N_1 + N_2 + 1).N_1 - W_{\min}] \quad (\text{II-3})$$

Tableau II-8 :détail du procédé de Test d'homogénéité pour la station

série	série N1	série N2	Ordre	Y ou X	rang
	X	Y			r
192.3	192.3	462.8	168.4	X	1
364.9	364.9	390.4	192.3	X	2
259.6	259.6	523.1	205.2	Y	3
168.4	168.4	308.5	215	Y	4
344.3	344.3	491.6	259.6	X	5
263.7	263.7	311.4	263.7	X	6
359.8	359.8	377.8	296.3	X	7
359.4	359.4	299.2	299.2	Y	8
296.3	296.3	205.2	308.5	Y	9
310.5	310.5	590.3	310.5	X	10
348.2	348.2	315.7	311.4	Y	11
394.8	394.8	316.8	315.7	Y	12
462.8		215	316.8	Y	13
390.4		590.3	344.3	X	14
523.1			348.2	X	15
308.5			359.4	X	16
491.6			359.8	X	17
311.4			364.9	X	18
377.8			377.8	Y	19
299.2			390.4	Y	20
205.2			394.8	X	21
590.3			462.8	Y	22
315.7			491.6	Y	23
316.8			523.1	Y	24
215			590.3	Y	25

On calcule :

$$W_{\min}=123.9,$$

$$W_{\max}=200.1,$$

$$W_x=132$$

Donc : $W_{\min} < W_x < W_{\max}$

La condition de **Wilcoxon** est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle est homogène.

II.4.3. L'ajustement des pluies annuelles

L'ajustement des données de précipitations annuelles présente une étape essentielle dans l'analyse pluviométrique, l'objectif est de disposer d'informations fiables pour les études climatiques et hydrologiques.

-L'ajustement par la loi normale

Cette forme est connue sous le nom de loi normale ou loi de Gauss. La formule mathématique de cette loi est la suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (\text{II-4})$$

Avec u =variable réduite de Gauss égale à $u = \frac{x-\bar{x}}{\sigma}$

-L'ajustement par la loi log-normale

La loi log-normale est une distribution de probabilité continue utilisée pour représenter des valeurs toujours positives, dont les variations sont assez stables par rapport à leur taille. En fait, cela signifie que le logarithme de ces valeurs suit une loi normale. La formule de cette loi est la suivante :

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

Avec $u = a \log (x-x_0) + b$.

Nous avons effectué l'ajustement aux lois normale ou log-normale, à l'aide d'outils spécialisés tels que le logiciel HYFRAN.

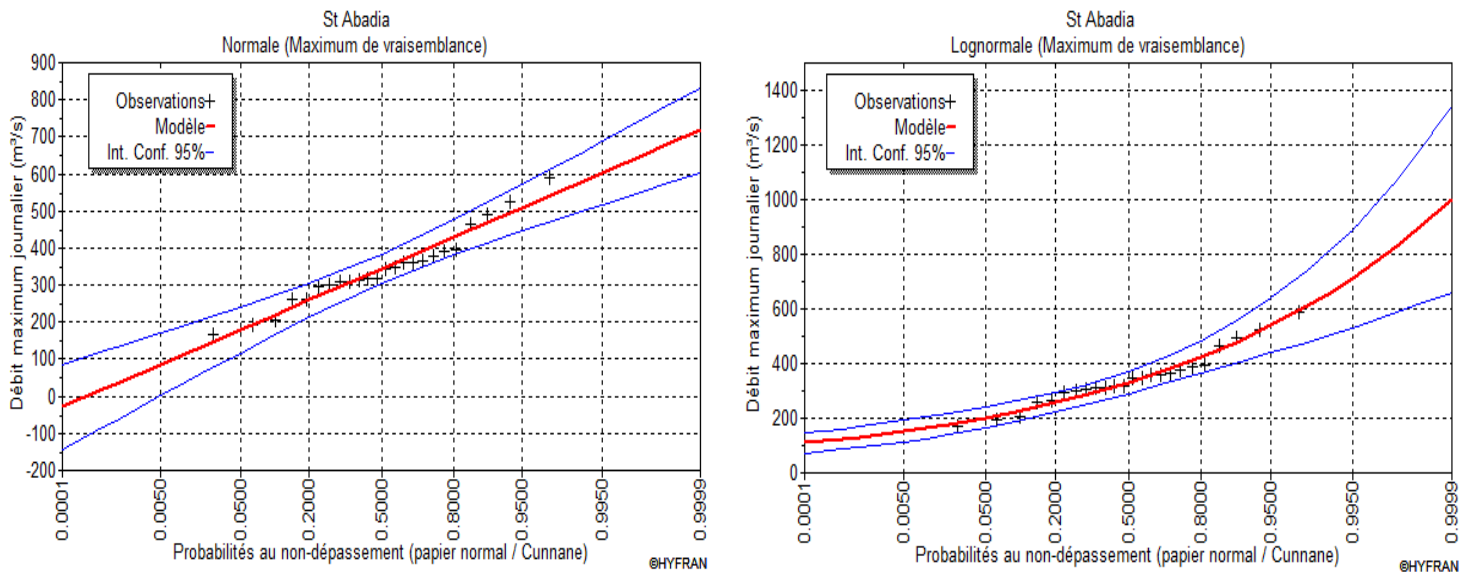


Figure II.3: ajustement des pluies annuelles aux lois Normale et log-normale

II.4.4. Test de validité d'un ajustement statique

Après ajustement des pluies à une loi donnée, il est essentiel d'évaluer la pertinence de cet ajustement afin de déterminer le modèle le plus adéquat, nous avons utilisé le test du Khi carré (χ^2).

La loi est jugée adéquate au seuil de signification $\alpha = 0,05$ si, et seulement si, la valeur du Khi carré calculée (χ^2 calculé) est inférieure à la valeur théorique du Khi carré (χ^2 théorique)

Tableau II-9 : Test khi carré des ajustements

Paramètres	loi normale	loi log-normale
KHI carré χ^2 calculé	9	5.23
Probabilité $P(\chi^2)$	0.06	0.3
Degré de liberté	4	4
KHI carré χ^2 théorique	9.49	9.49

Les valeurs de P associées au χ^2 calculé étant supérieures à 5 %, cela indique que les deux lois offrent un ajustement satisfaisant. Cependant, nous retenons la loi log-normale, car l'écart entre sa valeur de χ^2 calculé et celle de χ^2 théorique est le plus faible.

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

Comme la loi normale est celle qui convient le mieux, nous l'utilisons pour estimer la pluviométrie moyenne annuelle avec une fréquence de 80 %, ce qui représente bien la région.

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

Les résultats de l'ajustement par la loi log-normale est donnée dans le tableau suivant :

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
2	0.5	325	19	288-362
1.25	0.2	253	17.3	219-287

Les pluies moyennes mensuelles 80% sont comme suit :

Tableau II-10:les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche

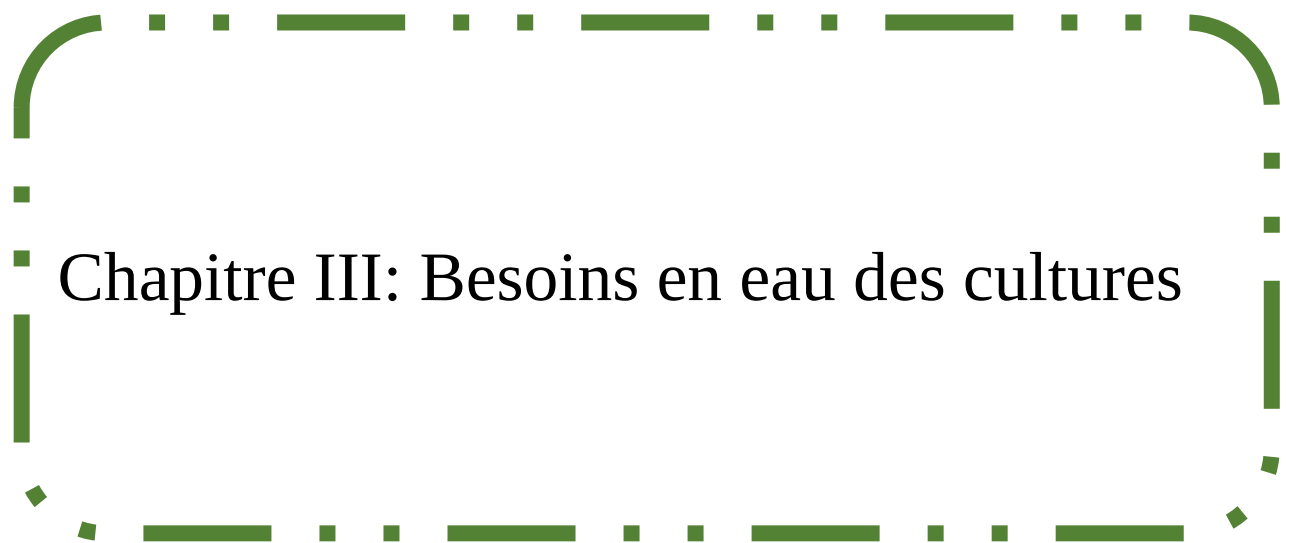
Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	Mar	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
Moy	16.2	25.7	59.4	45.2	48.7	44.2	35.9	30.7	25.2	5.5	0.4	2	338.8
P80	10.4	16.4	38	29	31.2	28.3	23	19.7	16.1	3.5	0.3	1.3	217.2

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons entamé les ressources en sols et en eau, une étude approfondie a été menée sur les sols de la zone du périmètre d'El-Abadia. Ces sols présentent une texture limono-argileuse, particulièrement favorable aux activités agricoles.

Par ailleurs, une analyse détaillée de la qualité de l'eau d'irrigation provenant de l'oued boukali a été réalisée afin de s'assurer de son adéquation à un usage agricole. L'eau a été classée C3S1, et donc adéquate pour l'irrigation.

Enfin, l'analyse de la série pluviométrique enregistrée par la station d'El-Abadia a permis de déterminer les précipitations moyennes mensuelles durant l'année sèche. Ces données sont essentielles pour la planification des cultures, la gestion optimale des ressources hydriques et l'adaptation des pratiques agricoles à la variabilité climatique de la région.



Chapitre III: Besoins en eau des cultures

III.: Besoins en eau des cultures

III.1. Introduction

Les plantes ne peuvent se développer sans eau. La pluie constitue généralement la principale source d'approvisionnement en eau pour leur croissance. En cas de précipitations insuffisantes, un apport complémentaire par irrigation devient nécessaire. Le besoin en eau d'irrigation correspond alors à la différence entre les besoins hydriques de la culture et les précipitations effectivement reçues.

Pour évaluer ces besoins, il est essentiel de prendre en compte plusieurs paramètres, qu'ils soient liés à la plante elle-même, au climat local ou aux caractéristiques du sol de la région.

III.2. Besoin en eau des cultures

Le besoin en eau d'une culture est la quantité d'eau nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état physiologique, établit dans un champ de grande superficie, dans des conditions hydriques optimales et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données.

La détermination des besoins en eau d'une culture requiert la prise en compte de plusieurs paramètres, notamment les données climatologiques et agronomiques, la répartition des cultures dans le périmètre concerné, ainsi que les informations concernant le sol.

III.2.1. Estimation des besoins en eau pour l'irrigation

Le bilan hydrique de l'irrigation constitue la première étape dans la gestion de l'eau en agriculture. Ce bilan est généralement calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{Irrigation} + \text{Pluie} = \text{Infiltration} + \text{Evapotranspiration} + \text{Ruissellement}$$

a) L'évapotranspiration potentielle de référence ET₀

L'évapotranspiration de référence (ET₀) est le processus par lequel l'eau passe de la surface de la terre vers l'air sous forme de vapeur. Elle englobe à la fois l'évaporation de l'eau depuis le sol et la transpiration des plantes.

L'ET₀ correspond à la quantité maximale d'eau pouvant être évaporée dans des conditions climatiques données, en supposant un couvert végétal continu de gazon bien irrigué et une végétation en bonne santé.

On peut mesurer l'ET₀ de deux façons principales :

– soit directement sur le terrain, grâce à des appareils placés dans les champs,

– soit indirectement, en utilisant des formules et des données météorologiques comme la température, le vent, l'humidité et l'ensoleillement.

➤ Méthodes directes

L'évapotranspiration peut être mesurée à l'aide d'un appareil appelé **lysimètre**. Il s'agit d'un réservoir enterré aux parois verticales, ouvert sur le dessus et rempli d'un échantillon de sol, les conditions à l'intérieur du lysimètre — comme l'humidité du sol et la végétation — sont maintenues aussi proches que possible de celles du terrain environnant : un système de collecte est installé au fond du lysimètre pour récupérer l'eau qui s'infiltre.

L'évaporation à la surface du sol est ensuite estimée en analysant les variations de la quantité d'eau présente dans le lysimètre. Cette évaluation peut se faire soit par pesée directe de l'appareil, soit par des mesures de l'humidité du sol et de l'eau drainée.

➤ Méthodes indirectes

Les méthodes de calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_0) reposent sur des paramètres climatiques tels que la température, la vitesse du vent, l'humidité relative de l'air et l'ensoleillement, la formule la plus utilisée est celle de Penman-Monteith détaillée comme suit :

La formule de Penman-Monteith, modifiée, a été initialement développée en 1948 par Penman. Elle combine le bilan énergétique avec une approche de transfert de masse afin d'estimer l'évapotranspiration d'une surface d'eau libre :

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2)$$

Dans notre mémoire, nous avons utilisé le logiciel CROPWAT, qui basé sur la formule de Penman-Monteith. Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau III-1: Calcul de l'évapotranspiration de référence ET₀ (Cropwat) :

Mois	Temp Moy	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET ₀
	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /j	mm/mois
Janvier	10.5	75	2.9	6.3	10	44.47
Février	11.1	73	3.2	6.9	12.9	53.16
Mars	13.3	69	2.9	8.2	17.4	84.04
Avril	15.7	65	3.6	9.3	21.7	114.27
Mai	19.9	61	3.4	10.9	25.6	156.84
Juin	25.1	60	2.9	12.5	28.4	187.59
Juillet	27	61	3	12.6	28.2	204.64
Août	27	60	3	11.7	25.5	192.76
Septembre	24.6	60	2.2	10.2	20.8	141.81
Octobre	20.1	66	2	8.8	15.7	96.01
Novembre	14.6	72	3.1	6.6	10.7	61.42
Décembre	11.3	75	2.9	6.1	9.1	43.99
Moyenne	18.4	66	2.9	9.2	18.8	1380.99

b) Les précipitations efficaces

Les précipitations efficaces, sont les précipitations qui contribuent réellement à alimenter les racines des plantes. Comme les précipitations totales, elles se mesurent selon une hauteur exprimée en millimètres. Il existe plusieurs méthodes pour estimer les précipitations. Dans notre étude, nous avons opté pour la méthode du pourcentage fixe, dont le principe est décrit ci-dessous :

$$\text{Précipitations efficaces (mm /mois)} = A * \text{Pluies totales (mm/mois)}$$

Avec A : coefficient de pertes.

Tableau III-2:précipitations efficaces :

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	tot
Moyenne	16.22	25.66	59.35	45.18	48.72	44.19	35.89	30.68	25.19	5.50	0.44	2.01	338.80
PEFF	7.28	11.51	26.63	20.27	21.86	19.83	16.11	13.76	11.30	2.47	0.20	0.90	152.03

c) Détermination de la réserve en eau du sol

La quantité d'eau disponible pour les plantes dépend à la fois de la capacité du sol à retenir l'eau et de la profondeur d'enracinement des plantes. Cette quantité, appelée réserve en eau du sol, est proportionnelle à la réserve facilement utilisable (RFU), selon la formule :

$$RS_i = K \times RFU_{i-1} \quad (3)$$

Avec : Le coefficient **K** varie selon les conditions climatiques.

La réserve facilement utilisable (RFU) correspond à la portion d'eau contenue dans la zone du sol située entre le point de ressuyage et le point de flétrissement. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) \times Z \times Y \times D_a \quad (4)$$

où :

- **H_{cc}** est l'humidité à la capacité au champ,
- **H_{pf}** est l'humidité au point de flétrissement,
- **Z** représente la profondeur des racines (en mm),
- **Y** est un coefficient lié à la nature du sol (généralement $Y = 2/3$),
- **D_a** désigne la densité apparente du sol.

d) Calcul des Besoins en eau des cultures

Le calcul des besoins nets en eau des cultures s'effectue à l'aide de la formule suivante

$$B_i = ETM - (Pe_{ff} + R_{si-1}) \quad (5)$$

Ou :

- **ETM** représente l'évapotranspiration maximale, correspondant aux besoins en eau des cultures exprimés en millimètres. Elle est déterminée par la relation :

$$ETM = ET_0 \times K_c \quad (6)$$

- **K_c** est le coefficient cultural propre à la culture considérée,
- **Pe_{ff}** désigne la pluie efficace,
- **R_{si-1}** correspond à la réserve en eau du sol au mois précédent

III.3. Choix des cultures et occupation du périmètre

Le choix des cultures à implanter doit prendre en compte plusieurs critères essentiels :

- Les conditions climatiques de la région concernée ;
- La qualité ainsi que la disponibilité de l'eau destinée à l'irrigation ;
- L'aptitude des sols à accueillir certaines cultures, évaluée à partir de l'étude pédologique ;

III.3.1. Cultures proposées :

Pour notre cas nous avons choisi les cultures suivantes :

Tableau III-3: Système de cultures proposées.

Céréaliculture	Culture maraichères	Culture arboricoles	Culture fourragères
Blé	Pomme de terre AS	Olivier	Avoine
orge en vert	Oignon		Bersim
Orge grain	Tomate	Amandier	
	Poivron		
	Haricot		
	l'ail		
	Fève et carotte		

III.3.2. Assolement des cultures

L'assolement des cultures permet l'organisation planifiée de la rotation des cultures sur une période donnée et a plusieurs objectifs majeurs : préserver et améliorer la fertilité du sol, limiter la prolifération des maladies et des ravageurs, et optimiser les rendements agricoles.

Pour notre cas, nous avons proposé la rotation des cultures suivante :

Tableau III-4:assolement des cultures

Assolement 1	Assolement 2
Blé	Orge en vert- fève
Avoine	Orge grain
Pomme de terre (AS)	Avoine
Carotte	Bersim
Haricot	Tomat
Oignon	Poivron / ail
Amandier	Amandier
Olivier	Olivier

L'occupation des sols est détaillée comme suit :

Tableau III-5: Occupation du sol du périmètre

Type de culture	Céréales	Maraichage	Arboriculture	Fourragère	Total
<i>Surface occupée en %</i>	50	38	6	6	100%
<i>Surface occupée en ha</i>	80	60	10	10	160ha

III.3.3. Les cycles végétatifs des cultures :

Pour les cultures retenues les cycles sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau III-6:les cycles végétatifs des cultures proposées de périmètre d'El-Abadia

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
Blé / avoin			←							→		
Orge grain			←							→		
Orge en vert			←							→		
Fève					←				→			
Ail	←			→								
Pdt as							←			→		
Oignon sec	←			→								
Tomate							←			→		
Poivron							←			→		
Carotte	←			→								
Haricot	←			→								
Olivier	←											→
Amandier	←											→
Bersim		←			→							

Les résultats obtenus pour le calcul des besoins en eau des cultures sélectionnées dans le cadre du projet d'extension du périmètre d'El-Abadia sont présentés ci-après :

A. Besoins en eau des cultures céréalières**Tableau III-7: Besoins en eau du blé**

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	Rsi-1	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42	0.6	36.85	0.3	27.6	0	10.22
Dec	20.27	43.99	0.8	35.19	0.5	46	0	14.92
Jan	21.86	44.47	0.95	42.25	0.6	55.2	0	20.39
Fev	19.83	53.16	1.1	58.48	0.6	55.2	0	38.65
Mars	16.11	84.04	1.1	92.44	0.6	55.2	0	76.33
Avr	13.76	114.27	1.1	125.7	0.6	55.2	0	111.23
Mai	11.3	156.84	1	156.84	0.6	55.2	0	145.12
Juin	2.47	187.59	0.7	131.31	0.6	55.2	0	128.84
Juill	0.2	204.64						
Aout	0.9	192.76						

Tableau III-8: Besoins en eau de l'orge en grain

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	RS	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42						
Dec	20.27	43.99	0.3	13.20	0.3	27.00	0.00	
Jan	21.86	44.47	0.3	13.34	0.5	45.00	27.00	
Fev	19.83	53.16	0.5	26.58	0.5	45.00	0.00	6.75
Mars	16.11	84.04	0.5	42.02	0.6	54.00	0.00	25.91
Avr	13.76	114.27	0.9	102.84	0.6	54.00	0.00	89.08
Mai	11.30	156.84	0.95	149.00	0.6	54.00	0.00	137.70
Juin	2.47	187.59	0.7	131.31	0.6	54.00	0.00	128.84
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-9: Besoins en eau de l'orge en vert

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	RS	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42						
Dec	20.27	43.99						
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16	0.3	18.43	0.3	27.60	0.00	
Mars	16.11	84.04	0.5	26.58	0.6	55.20	0.00	25.91
Avr	13.76	114.27	1.05	88.24	0.6	55.20	0.00	106.22
Mai	11.30	156.84	0.95	108.56	0.6	55.20	0.00	137.7
Juin	2.47	187.59	0.6	94.10	0.6	55.20	0.00	110.08
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-90: Besoins en eau de l'avoine

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	Rsi-1	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42	0.3	18.43	0.6	55.20	0.00	
Dec	20.27	43.99	0.8	35.19	0.6	55.20	0.00	14.92
Jan	21.86	44.47	1.2	53.36	0.6	55.20	0.00	31.50
Fev	19.83	53.16	1	53.16	0.6	55.20	0.00	33.33
Mars	16.11	84.04	0.8	67.23	0.6	55.20	0.00	51.12
Avr	13.76	114.27	0.6	68.56	0.6	55.20	0.00	54.80
Mai	11.30	156.84	0.3	47.05	0.6	55.20	0.00	35.75
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-11: Besoins en eau de bersim

Mois	Peff (mm)	Eto (mm/ mois)	Kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU_reelle (mm)	RS (mm)	B _{net} (mm)
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01	0.65	62.41	0.05	4.50	0.00	50.90
Nov	26.63	61.42	0.95	58.35	0.1	9.00	0.00	31.72
Dec	20.27	43.99	1	43.99	0.15	13.50	0.00	23.72
Jan	21.86	44.47	1.01	44.91	0.25	22.50	0.00	23.05
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04						
Avr	13.76	114.27						
Mai	11.30	156.84						
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

b-Besoins en eau des cultures maraichères

Tableau III-12: Besoin en eau de PDT AS

Mois	Peff (mm)	Eto (mm/ mois)	Kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU_reelle (mm)	Rsi-1 (mm)	B _{net} (mm)
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42						
Dec	20.27	43.99						
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04	0.5	42.02	0.25	23.00	0.00	25.91
Avr	13.76	114.27	0.7	79.99	0.5	46.00	0.00	66.23
Mai	11.30	156.84	0.9	141.16	0.5	46.00	0.00	129.86
Juin	2.47	187.59	0.75	140.69	0.5	46.00	0.00	138.22
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-13: Besoin en eau de l'oignon

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	Rsi-1	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81	1.1	155.99	0.3	27.60	0.00	148.71
Oct	11.51	96.01	1.1	105.61	0.4	36.80	0.00	94.10
Nov	26.63	61.42	0.9	55.28	0.5	46.00	0.00	28.65
Dec	20.27	43.99	0.85	37.39	0.6	55.20	0.00	17.12
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04						
Avr	13.76	114.27						
Mai	11.30	156.84						
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-14: Besoins en eau de Carotte

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	Rsi-1	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81	0.4	56.72	0.3	27.60	0.00	49.44
Oct	11.51	96.01	0.7	67.21	0.4	36.80	0.00	55.70
Nov	26.63	61.42	0.9	55.28	0.5	46.00	0.00	28.65
Dec	20.27	43.99	0.7	30.79	0.7	64.40	15.33	
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04						
Avr	13.76	114.27						
Mai	11.30	156.84						
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-15 : Besoins en eau de tomate

Mois	Peff (mm)	Eto (mm/ mois)	Kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU_reelle (mm)	Rsi-1 (mm)	Bnet (mm)
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42						
Dec	20.27	43.99						
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04	0.4	33.62	0.7	64.40	0.00	17.51
Avr	13.76	114.27	0.85	97.13	0.9	82.80	0.00	83.37
Mai	11.30	156.84	1.15	180.37	1.2	110.40	0.00	169.07
Juin	2.47	187.59	0.65	121.93	1.2	110.40	0.00	119.46
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-16 : Besoins en eau de l'haricot

Mois	Peff (mm)	Eto (mm/ mois)	Kc	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU_reelle (mm)	Rsi-1 (mm)	Bnet (mm)
Sep	7.28	141.81	0.5	127.63	0.5	46.00	0.00	63.63
Oct	11.51	96.01	0.65	81.61	0.7	64.00	0.00	50.90
Nov	26.63	61.42	0.9	93.80	0.7	64.00	0.00	28.65
Dec	20.27	43.99	0.85	133.02	0.7	64.00	0.00	17.12
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04						
Avr	13.76	114.27						
Mai	11.30	156.84						
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.20	204.64						
Aout	0.90	192.76						

Tableau III-17 : Besoins en eau de poivron

Mois	Pe _{eff} (mm)	E _{to} (mm/mois)	K _c	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU _{reelle} (mm)	RS (mm)	B _{net} (mm)
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42						
Dec	20.27	43.99						
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04	0.45	37.82	0.3	27	0	21.71
Avr	13.76	114.27	0.8	91.42	0.6	54	0	77.66
Mai	11.3	156.84	1.1	172.52	0.6	54	0	161.22
Juin	2.47	187.59	0.7	131.31	0.6	54	0	128.84
Juill	0.2	204.64						
Aout	0.9	192.76						

Tableau 0-18 : Besoins en eau de Fève

Mois	Pe _{eff} (mm)	E _{to} (mm/mois)	K _c	ETM (mm/mois)	Z (m)	RFU _{reelle} (mm)	RS (mm)	B _{net} (mm)
Sep	7.28	141.81						
Oct	11.51	96.01						
Nov	26.63	61.42						
Dec	20.27	43.99						
Jan	21.86	44.47	0.4	17.79	0.6	55.2	0	
Fev	19.83	53.16	0.6	37.21	0.7	64.40	0	17.38
Mars	16.11	84.04	0.7	79.84	0.7	64.40	0	63.73
Avr	13.76	114.27	0.95	91.42	0.7	64.40	0	77.66
Mai	11.3	156.84						
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.2	204.64						
Aout	0.9	192.76						

Tableau III-19 : Besoins en eau de l'ail

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	RS	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81	0.5	70.91	0.2	18.4	0	63.63
Oct	11.51	96.01	0.75	91.21	0.5	46	0	79.7
Nov	26.63	61.42	0.95	46.07	0.8	73.6	0	19.44
Dec	20.27	43.99	0.65	28.59	0.8	73.6	0	8.32
Jan	21.86	44.47						
Fev	19.83	53.16						
Mars	16.11	84.04						
Avr	13.76	114.27						
Mai	11.3	156.84						
Juin	2.47	187.59						
Juill	0.2	204.64						
Aout	0.9	192.76						

b-Besoins en eau des cultures Fourragère

Tableau 0-20: Besoin en eau de L'olivier

Mois	Peff	Eto	Kc	ETM	Z (m)	RFU_reelle	Rsi-1	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm/ mois)		(mm/mois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81	0.65	92.18	1.5	138.00	0.00	84.90
Oct	11.51	96.01	0.6	57.61	1.5	138.00	0.00	46.10
Nov	26.63	61.42	0.6	36.85	1.5	138.00	0.00	10.22
Dec	20.27	43.99	0.5	22.00	1.5	138.00	0.00	1.73
Jan	21.86	44.47	0.5	22.24	1.5	138.00	0.00	0.38
Fev	19.83	53.16	0.6	31.90	1.5	138.00	0.00	12.07
Mars	16.11	84.04	0.65	54.63	1.5	138.00	0.00	38.52
Avr	13.76	114.27	0.7	79.99	1.5	138.00	0.00	66.23
Mai	11.30	156.84	0.75	117.63	1.5	138.00	0.00	106.33
Juin	2.47	187.59	0.8	150.07	1.5	138.00	0.00	147.60
Juill	0.20	204.64	0.7	143.25	1.5	138.00	0.00	143.05
Aout	0.90	192.76	0.7	134.93	1.5	138.00	0.00	134.03

Tableau 0-21: Besoin en eau de l'amandier

Mois	Pe _{eff}	E _{to}	K _c	ETM	Z (m)	RFU _{re} elle	R _{si-1}	B _{net} (mm)
	(mm)	(mm / mois)		(mm/m ois)		(mm)	(mm)	
Sep	7.28	141.81	0.2	28.36	1.5	138.00	0.00	21.08
Oct	11.51	96.01	0.3	28.80	1.5	138.00	0.00	17.29
Nov	26.63	61.42	0.4	24.57	1.5	138.00	0.00	0.00
Dec	20.27	43.99	0.7	30.79	1.5	138.00	0.00	10.52
Jan	21.86	44.47	0.85	37.80	1.5	138.00	0.00	15.94
Fev	19.83	53.16	0.95	50.50	1.5	138.00	0.00	30.67
Mars	16.11	84.04	1	84.04	1.5	138.00	0.00	67.93
Avr	13.76	114.27	0.85	97.13	1.5	138.00	0.00	83.37
Mai	11.30	156.84	0.7	109.79	1.5	138.00	0.00	98.49
Juin	2.47	187.59	0.3	56.28	1.5	138.00	0.00	53.81
Juill	0.20	204.64	0.2	40.93	1.5	138.00	0.00	40.73
Aout	0.90	192.76	0.2	38.55	1.5	138.00	0.00	37.65

III. Les besoins en eau pour l'assolement (1)

Donnée les résultats de besoins net(mm) (Asollement1)									
Mois	Blé	avoine	PDT AS	haricot	l'oignon	carotte	l'olivier	l'amandier	somme
Sep				63.63	148.71	49.44	84.9	21.08	367.76
Oct				50.9	94.1	55.7	46.1	17.29	264.09
Nov	10.22			28.65	28.65	28.65	10.22	0	106.39
Dec	14.92	14.92		17.12	17.12		1.73	10.52	76.33
Jan	20.39	31.5					0.38	15.94	68.21
Fev	38.65	33.33					12.07	30.67	114.72
Mars	76.33	51.12	25.91				38.52	67.93	259.81
Avr	111.94	54.8	66.23				66.23	83.37	382.57
Mai	145.54	35.75	129.86				106.33	98.49	515.97
Juin	128.84		138.22				147.6	53.81	468.47
Juill							143.05	40.73	183.78
Aout							134.03	37.65	171.68

III. Les besoins en eau pour l'assolement (2)

Mois	orge en vert	orge grain	ail	fève	poivron	bersim	tomate	Avoin	Olivier	amandier	somme
Sep			63.63						84.9	21.08	169.61
Oct			79.7			50.9			46.1	17.29	193.99
Nov			19.44			31.72			10.22	0	61.38
Dec			8.32			23.72		14.92	1.73	10.52	59.21
Jan						23.05		31.5	0.38	15.94	70.87
Fev		6.75		17.38				33.33	12.07	30.67	100.2
Mar	25.91	25.91		63.73	21.71		17.51	51.12	38.52	67.93	312.34
Avr	106.22	89.08		77.66	77.66		83.37	54.8	66.23	83.37	638.39
Mai	137.7	137.7			161.22		169.07	35.75	106.33	98.49	846.26
Juin	110.08	128.84			128.84		119.46		147.6	53.81	688.63
Juill									143.05	40.73	183.78
Aout									134.03	37.65	171.68

III.4. Calcul du débit spécifique :

$$q_{spécifique} = \frac{B_{net} \times 10 \times 10^3}{N_j \times N_h \times 3600 \times E_f}$$

Le débit spécifique se calcul par la formule suivantes

Avec :

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

N_h : nombre des heures d'irrigation = 22h,

N_j : nombre de jours du mois de pointe = 30j,

E_i : Efficience d'irrigation que nous avons estimée à 75%,

On calcule les besoins de pointe correspondent au mois de Mai :

B_{net} = 846.26 mm/mois, on trouve Q_s = 5.21 l/s/ha > 1.5 l/s/ha

Lorsque le débit spécifique dépasse 1,5 l/s/ha, il existe un risque de surdimensionnement des conduites, qu'elles soient de refoulement ou gravitaires.

Pour éviter ce problème, trois approches peuvent être envisagées pour estimer le débit spécifique :

1. Calculer la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures.
2. Retenir le débit spécifique de la culture la plus exigeante durant le mois de pointe

Pour notre cas on prend le débit spécifique de la culture la plus exigeante qui est sur l'assolement 1 (pomme de terre 138.22mm). Ainsi, le débit spécifique de notre périmètre est de: **Q_s = 1.0 l/s/ha**

III.4.1. Evaluation du débit caractéristiques

Le calcul du débit caractéristique permet de déterminer le débit maximal que le système de distribution devra assurer pour irriguer chaque parcelle. Il est obtenu en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile, selon la formule suivante :

$$Q_c = q_s \times S$$

Q_s : débit spécifique de mois de pointe en l/s/ha

S : la surface nette à irriguer (ha)

$$Q_c = q_s \times S = 1.0 \times 160 = 160 \text{ l/s.}$$

III.4.2. Estimation des volumes d'eau d'irrigation:

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

Tableau III-10 : Volume d'eau d'irrigation

Type de culture	Besoin net (mm)	Besoin bruts	Surface (ha)	Besoins totaux
		(m ³ /ha)		
<i>Blé</i>	340.24	4536.51	80	362920.5
<i>Avoine</i>	221.43	2952.40	10	29524.0
<i>Pdt</i>	360.22	4802.93	20	96058.7
<i>Haricot</i>	160.3	7957.60	10	79576.0
<i>L'oignon</i>	288.58	3847.73	10	38477.3
<i>Carotte</i>	133.79	1924.13	10	19241.3
<i>L'olivier</i>	791.16	10548.80	10	105488.0
<i>L'amandier</i>	477.48	6366.40	10	63664.0
<i>somme</i>			160	794949.9

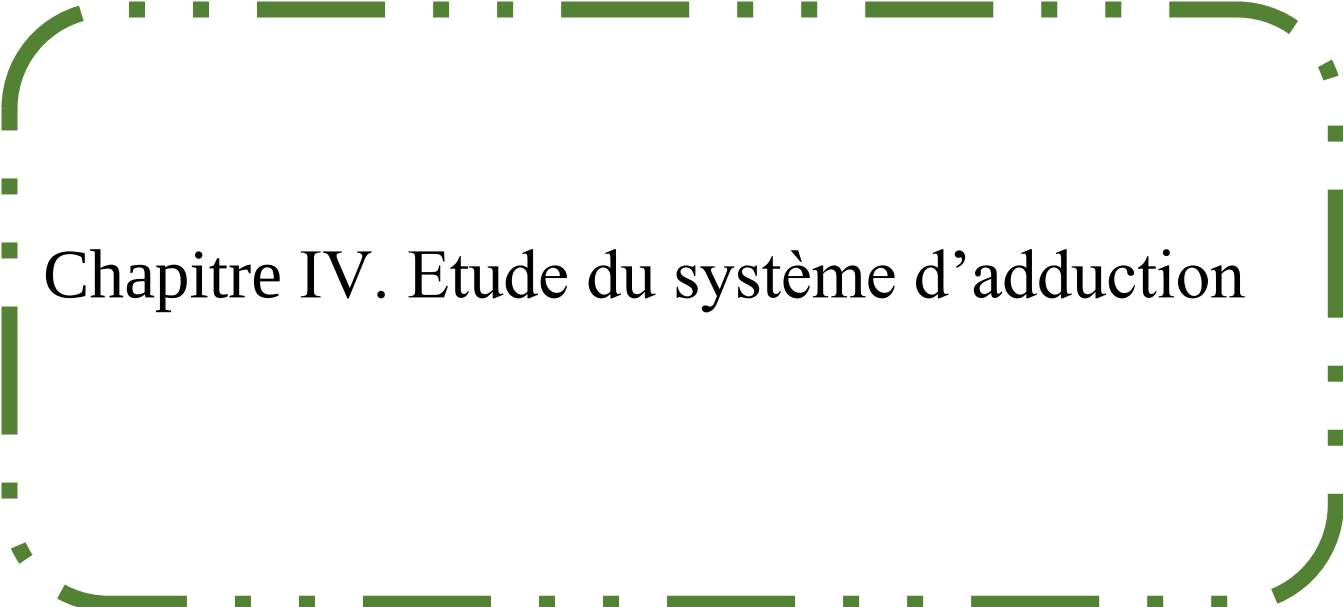
Le volume nécessaire pour les cultures durant toute la période végétative est de l'ordre 800 000m³.

III.5. Conclusion

Dans cette partie du mémoire, nous avons traité l'étape la plus cruciale d'un projet d'irrigation : la détermination des besoins en eau des cultures.

Après avoir choisi les cultures adéquates a notre région, et effectué les calculs des besoins en irrigation de chaque culture nous avons estimé les besoins hydriques spécifiques à chaque culture. Il ressort de cette étude que le mois de pointe est le mois de juin, correspondant à la période de culture de pomme de terre, ce qui nous a permis de déterminer le débit spécifique requis pour le dimensionnement du réseau d'irrigation qui est de **qs=1 l/s/ha**.

Les besoins en eau totaux du périmètre pour toute la période végétative ont été estimés à 800000m³.



Chapitre IV. Etude du système d'adduction

IV . Etude du système d'adduction

IV.1. Introduction

La conception du système d'adduction constitue la priorité dans un projet hydro-agricole, car elle conditionne le fonctionnement de l'ensemble des systèmes d'irrigation, lesquels dépendent directement du tracé et du dimensionnement des conduites du réseau d'adduction. Ce chapitre a pour objectif de détailler le système d'adduction du périmètre qui sera alimenté en eau à partir d'une retenue collinaire, en mettant l'accent sur ses caractéristiques techniques et économiques.

Les calculs hydrauliques visent à dimensionner les conduites en déterminant les diamètres appropriés, tout en garantissant des pressions et des vitesses d'écoulement adéquates dans les conduites.

IV.2. Alimentation en eau du périmètre

Le périmètre d'El-Abadia dont la surface est de 160 ha, sera irrigué à partir de la retenue collinaire de l'Oued Boukali, il est situé en aval par rapport à la retenue, le réseau gravitaire fonctionnant sous pression permettra d'alimenter l'ensemble des parcelles du périmètre.

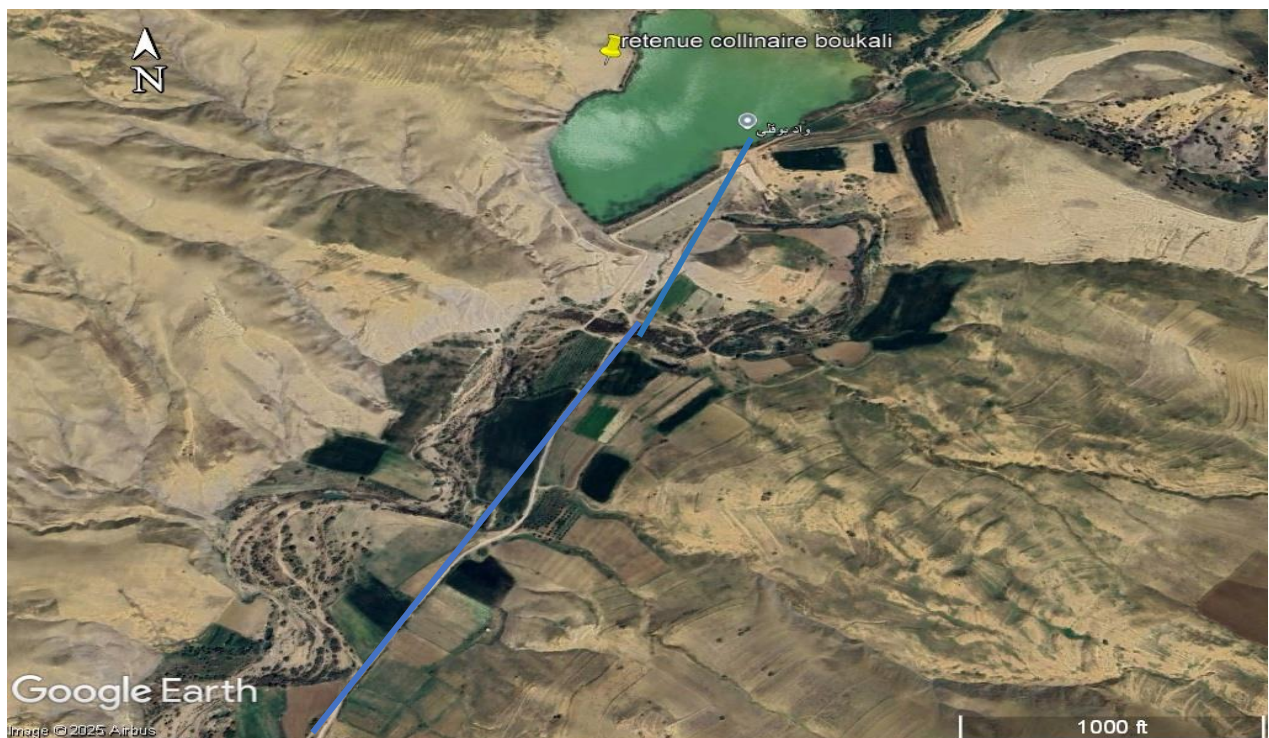


Figure IV.1: Photo satellite du périmètre d'étude de l'oued Boukali

Cette variante permet une alimentation en eau par simple gravité, sans recours aux frais de pompages optimisant ainsi les coûts d'exploitation et de maintenance.

IV.3. Organisation du périmètre

L'organisation de périmètre une étape primordiale dans un aménagement hydro-agricole. La conception du périmètre El-Abadia a été faite en divisant le périmètre plusieurs ilots pour faciliter la gestion de l'eau d'irrigation.

IV.3.1. Ilots d'irrigation

Le terme ilot d'irrigation décrit l'unité hydro-agricole constituée d'un groupe de parcelles et alimenté par une borne d'irrigation.

L'organisation d'un périmètre en ilot d'un compromis des plusieurs facteurs :

- Topographique
- Foncier
- Technico-économique : système d'irrigation.
- Organisation : taille des ilots et /ou parcelles, nombre de parcelles.

IV.3.2. Borne d'irrigation

La borne d'irrigation est une pièce hydraulique destinée à assurer la livraison de l'eau sous pression à des agriculteurs, à partir d'un réseau collectif de distribution.

Chaque ilot sera équipé d'un ouvrage de desserte appelé borne comporte une ou plusieurs sorties « prise » suivant le nombre d'arrosages qu'elle doit assuré simultanément

Chaque borne et même chaque sortie doit assurer toutes les fonctions d'une prise c'est-à-dire :

- Régler le débit en fonction de la surface de l'ilot ;
- Assurer le comptage du volume d'eau livré
- Régler la pression et les suppressions accidentelles

IV.4. Calcul débit aux bornes

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

$$Q_b = q_s * S \quad (1)$$

Tel que

Q_b = débit de chaque ilot (l/s)

q_s =débit spécifique l/s/ha

S =superficie de l'ilot (ha)

IV.4.1. Calcul du diamètre de la borne

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

Tableau IV-1 : Choix du diamètre (S) de la borne (en fonction des débits des ilots)

Débit de l'ilot	Diamètre de la borne
$Q \leq 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11)l/s	$D=[65-80]$ mm
$40 \text{ m}^3/\text{h} < Q \leq 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (22.22)l/s	$D=100$ mm
$80 \text{ m}^3/\text{h} < Q \leq 120 \text{ m}^3/\text{h}$ (33.33)l/s	$D=[100-150]$ mm

Tableau IV-2: Choix du type de borne (en fonction des parcelles /ilots)

Nbr parcelle	Type	Entrée	Sorties(prise)
2	A2 $Q \leq 40 \text{ m}^3/\text{h}$	1 Entrée Ø65 , 80	2 Sorties Ø65
4-8	A4 $Q \leq 40 \text{ m}^3/\text{h}$	1 Entrée Ø80 ,100,125	4 Sorties Ø65
2=20 ha	B2 $Q > 40 \text{ m}^3/\text{h}$	1 Entrée Ø80 ,100,125	2 Sortie Ø100
1	C	Entrée Ø100,125,150	1 Sortie Ø 100,150

Tableau IV-3 : Calcul des débits et choix du type de bornes.

	Superficie	Parcelle	Qb l/s	Type de borne	Diametre de la borne
ilot 1	3.70	2	3.77	A2	65
ilot 2	4.57	2	4.66	A2	65
ilot 3	4.50	2	4.59	A2	65
ilot 4	5.00	2	5.10	A2	65
ilot 5	6.83	3	6.97	A4	65
ilot 6	6.60	4	6.73	A4	65
ilot 7	5.48	2	5.59	A2	65
ilot 8	3.70	2	3.77	A2	65
ilot 9	4.22	2	4.30	A2	65
ilot 10	4.80	2	4.90	A2	65
ilot 11	4.85	2	4.95	A2	65
ilot 12	6.54	3	6.67	A4	65
ilot 13	6.00	4	6.12	A4	65
ilot 14	6.20	3	6.32	A4	65
ilot 15	3.70	2	3.77	A2	65
ilot 16	7.00	4	7.14	A4	65
ilot 17	6.60	4	6.73	A4	65
ilot 18	7.00	4	7.14	A4	65
ilot 19	4.30	2	4.39	A2	65
ilot 20	5.47	2	5.58	A2	65
ilot 21	5.73	2	5.84	A2	65

ilot 22	5.47	2	5.58	A2	65
ilot 23	7.45	4	7.60	A4	65
ilot 24	5.91	2	6.03	A2	65
ilot 25	4.61	2	4.70	A2	65
ilot 26	5.66	2	5.77	A2	65
ilot 27	5.24	2	5.34	A2	65
ilot 28	6.10	4	6.22	A4	65
ilot 29	5.08	2	5.18	A2	65

IV.5. Description de l'aménagement du périmètre

Lors de la mise en place d'un périmètre d'irrigation, il est essentiel d'analyser les différentes options d'aménagement possibles, car celles-ci déterminent le schéma hydraulique à adopter, incluant les systèmes d'adduction et de distribution. Le choix de la variante la plus appropriée dépend principalement de la disponibilité de la ressource en eau, afin de garantir une alimentation efficace du périmètre concerné.

IV.6. Choix de la variante d'aménagement

Etant donné que le périmètre est situé en aval de la retenue, on projette un réseau d'adduction gravitaire, sans système de pompage et sans réservoir. Une conduite principale va relier directement la chambre des vannes à la station de tête (ST), qui assure l'alimentation du périmètre.

La variante avec refoulement a été écartée du fait de la charge statique entre la retenue et le périmètre d'étude en aval.

IV.7. Tracé du Réseau de Distribution

Le choix du tracé du réseau de distribution doit répondre à plusieurs exigences techniques telles que la régularité du tracé, et l'affranchissement de contraintes topographiques, et économiques afin d'assurer un fonctionnement optimal et durable.

IV.7.1. Choix du Matériau des conduites

Il existe plusieurs types de matériaux pour les conduites, comme la fonte ou le PEHD. Le choix dépend de la pression du réseau, de la nature du sol, du coût d'achat et de pose, ainsi que de la facilité à faire les raccordements et à réparer en cas de fuite. Le but est de choisir un matériau fiable, économique et adapté aux conditions du terrain.

IV.7.2. Conduites en fonte :

Ces conduites sont très utilisées en irrigation et dans les réseaux sous pression et présentent plusieurs avantages :

- Bonne résistance aux forces internes ;
- bonne résistance à la corrosion ;
- très rigides et solide ;

Leur inconvénient est leur coût relativement important.

IV.7.3. Conduites en PEHD :

Elles sont les plus utilisés car elles présentent des avantages importants tels que :

- Bonne résistance à la corrosion
- Disponible sur le marché ;
- Une pose de canalisation facile ;
- Leur coût est relativement faible ;

Mais leur inconvénient majeur est le risque de rupture dans le cas d'une mauvaise soudure.

IV.8. Dimensionnement des canalisations

Le dimensionnement hydraulique constitue l'un des enjeux majeurs pour l'ingénieur. Dans une approche technico-économique, les conduites doivent être dimensionnées de manière à respecter les normes hydrauliques tout en optimisant les coûts.

IV.8.1. Vitesses admissibles

Pour éviter des surpressions et certains inconvénients, la vitesse admissible de l'eau dans les conduites varie généralement entre 0,5 m/s (vitesse minimale de dépôt) et 2,5 m/s (vitesse maximale). Dans le cadre de notre étude, une vitesse moyenne de 1,5 m/s a été retenue pour le dimensionnement.

IV.8.2. Calcul des diamètres des conduites

Pour le dimensionnement des diamètres des conduites, il est effectué en fonction des débits à transporter dans chaque tronçon de conduite et des vitesses d'écoulement admissibles. Pour déterminer le diamètre optimal, on utilise la formule de type Chezy, qui permet d'estimer un diamètre économique tenant compte des aspects technico-économiques du projet. Ce diamètre est ensuite normalisé selon les gammes disponibles sur le marché.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} * 1000 \quad (2)$$

Avec :

- Q : débit, exprimé en m³/s ;
- D: diamètre exprimé en mm.
- V : vitesse économique de l'ordre de 1.5 m/s

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

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H \quad (3)$$

IV.8.3. Calcul des pertes de charge

Etant donné que la ligne piézométrique décroît en fonction des pertes de charges, celles-ci, ont été définies par la formule de Hazen-Williams, elle est donnée par l'expression suivante :

$$\Delta H_L = \left(\frac{3.592}{C_{HW}} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852} \quad (4)$$

Où ΔH_L représentent les pertes de charges linéaires.

Les pertes de charges totales sont les pertes de charges linéaires majorées de 10% pour prendre en compte les pertes de charges singulières, calculées comme suit :

$$\Delta H_T = 1.1 * \Delta H_L \quad (5)$$

Le tableau de calculs hydrauliques : débit, diamètres, pressions et vitesse est présenté dans le tableau suivant :

Tableau VI-4 : Calculs hydrauliques du réseau de distribution

N° du tronçon	L(m)	s(HA)	débit Q(l/s)	D calculé (mm)	Dian_Nor (mm)	Materiau	V réelle (m/s)	P. charge HWIilliams	P.Chtotal (m)	Cote terrain Z (m)	cote piezo(m)	Pression au point P(m)
R-TS	85.00	160.00	160.00	368.62	400	Fonte	1.27	0.28	0.31	258.00	269.69	11.69
TS_N1	91.60	160.00	160.00	368.62	400	Fonte	1.27	0.30	0.33	259.20	269.36	10.16
N1-B1	49.79	3.70	3.70	56.06	63	PEHD	1.19	1.24	1.36	258.10	268.00	9.90
N1-N2	238.26	156.30	156.30	364.33	400	Fonte	1.24	0.75	0.82	252.51	268.54	16.03
N2-B2	57.26	4.57	4.57	62.30	75	PEHD	1.03	0.90	0.99	252.51	267.01	14.50
N2-N3	143.06	151.73	151.73	358.97	400	Fonte	1.21	0.43	0.47	250.24	268.07	17.83
N3-B3	152.46	4.50	4.50	61.82	75	PEHD	1.02	2.33	2.56	253.00	265.51	12.51
N3-N4	36.92	147.23	147.23	353.60	400	Fonte	1.17	0.10	0.11	250.45	267.96	17.51
N4-B4	79.86	5.00	5.00	65.16	75	PEHD	1.13	1.48	1.63	252.50	266.33	13.83
N4-N5	188.38	142.23	142.23	347.55	400	Fonte	1.13	0.50	0.55	247.15	267.41	20.26
N5-B5	49.71	6.83	6.83	76.16	90	PEHD	1.07	0.68	0.74	247.77	266.67	18.90
N5-N6	230.33	135.40	135.40	339.10	400	Fonte	1.08	0.55	0.61	247.99	266.80	18.81
N6-B6	44.23	6.60	6.60	74.87	90	PEHD	1.04	0.56	0.62	243.75	266.18	22.43
N6-N7	695.54	128.80	128.80	330.73	400	Fonte	1.03	1.53	1.68	242.41	265.12	22.71
N7-B7	32.08	5.48	5.48	68.22	90	PEHD	0.86	0.29	0.32	250.44	264.81	14.37
N7-N8	293.70	123.32	123.32	323.62	400	Fonte	0.98	0.59	0.65	242.15	264.47	22.32
N8-B8	32.15	3.70	3.70	56.06	63	PEHD	1.19	0.80	0.88	246.21	263.59	17.38
N8-N9	67.48	119.62	119.62	318.73	400	Fonte	0.95	0.13	0.14	238.00	264.33	26.33
N9-B9	33.27	4.22	4.22	59.87	63	PEHD	1.35	1.05	1.16	238.87	263.17	24.30
N9-N10	227.24	115.40	115.40	313.06	400	Fonte	0.92	0.41	0.45	253.00	263.88	10.88
N10-B10	31.00	4.80	4.80	63.85	75	PEHD	1.09	0.53	0.59	252.00	263.29	11.29
N10-N11	82.80	110.60	110.60	306.48	400	Fonte	0.88	0.14	0.15	252.37	263.73	11.36
N11-B11	43.37	4.85	4.85	64.18	63	PEHD	1.56	1.78	1.96	246.42	261.77	15.35
N11-N25	137.98	105.75	105.75	299.68	315	PEHD	1.36	0.67	0.74	239.38	262.99	23.61
N25-N12	122.79	79.14	79.14	259.25	315	PEHD	1.02	0.35	0.38	229.38	262.61	33.23
N12-B12	38.03	6.54	6.54	74.53	90	PEHD	1.03	0.48	0.53	236.37	262.08	25.71
N12-N13	222.45	72.60	72.60	248.31	250	PEHD	1.48	1.66	1.83	239.52	260.78	21.26
N13-B13	36.45	6.00	6.00	71.38	90	PEHD	0.94	0.39	0.43	240.67	260.35	19.68
N13-N14	193.30	66.60	66.60	237.82	250	PEHD	1.36	1.23	1.36	249.00	259.42	10.42

N14-B14	47.82	6.20	6.20	72.56	90	PEHD	0.98	0.54	0.60	230.90	258.82	27.92
N14-N15	101.01	60.40	60.40	226.48	250	PEHD	1.23	0.54	0.59	240.43	258.83	18.40
N15-B15	55.54	3.70	3.70	56.06	63	PEHD	1.19	1.38	1.52	235.00	257.31	22.31
N15-N16	153.10	56.70	56.70	219.44	225	PEHD	1.43	1.21	1.33	230.62	257.50	26.88
N16-B16	46.52	7.00	7.00	77.10	90	PEHD	1.10	0.66	0.73	234.75	256.77	22.02
N16-N17	21.53	49.70	49.70	205.45	225	PEHD	1.25	0.13	0.15	227.89	257.35	29.46
N17-B17	62.95	6.60	6.60	74.87	90	PEHD	1.04	0.80	0.88	222.78	256.46	33.68
N17-N18	161.67	43.10	43.10	191.32	200	PEHD	1.37	1.37	1.50	223.75	255.85	32.10
N18-B18	45.14	7.00	7.00	77.10	90	PEHD	1.10	0.64	0.71	231.63	255.14	23.51
N18-N19	89.81	36.10	36.10	175.09	200	PEHD	1.15	0.55	0.60	221.53	255.25	33.72
N19-B19	59.53	4.30	4.30	60.43	65	PEHD	1.30	1.68	1.85	215.98	253.40	37.42
N19-N20	45.27	31.80	31.80	164.34	200	PEHD	1.01	0.22	0.24	223.65	255.01	31.36
N20-B20	49.74	5.47	5.47	68.16	90	PEHD	0.86	0.45	0.49	237.43	254.51	17.08
N20-N21	135.89	26.33	26.33	149.54	160	PEHD	1.31	1.37	1.50	222.53	253.50	30.97
N21-B21	61.87	5.73	5.73	69.76	90	PEHD	0.90	0.61	0.67	215.67	252.84	37.17
N21-N22	39.18	20.60	20.60	132.27	160	PEHD	1.03	0.25	0.27	220.00	253.23	33.23
N22-B22	49.41	5.47	5.47	68.16	90	PEHD	0.86	0.45	0.49	226.31	252.74	26.43
N22-N23	200.46	15.13	15.13	113.35	125	PEHD	1.23	2.40	2.64	214.70	250.59	35.89
N23-B23	52.10	7.45	7.45	79.54	90	PEHD	1.17	0.83	0.92	229.93	249.67	19.74
N23-N24	17.39	7.68	7.68	80.76	90	PEHD	1.21	0.29	0.32	214.76	250.26	35.50
N24-B24	60.21	5.91	5.91	70.85	90	PEHD	0.93	0.63	0.69	207.46	249.57	42.11
N25-N26	307.51	26.61	26.61	150.33	160	PEHD	1.32	3.15	3.47	228.43	259.52	31.09
N26-B25	65.66	4.61	4.61	62.57	75	PEHD	1.04	1.05	1.15	240.00	258.37	18.37
N26-N27	107.04	22.00	22.00	136.69	160	PEHD	1.09	0.77	0.85	228.37	258.68	30.31
N27-B26	96.65	5.66	5.66	69.33	90	PEHD	0.89	0.93	1.02	229.34	257.65	28.31
N27-N28	51.88	16.34	16.34	117.80	125	PEHD	1.33	0.72	0.79	224.57	257.89	33.32
N28-B27	101.65	5.24	5.24	66.71	63	PEHD	1.68	4.81	5.29	224.67	252.60	27.93
N28-N29	149.24	11.10	11.10	97.09	110	PEHD	1.17	1.88	2.07	222.35	255.82	33.47
N29-B28	106.82	6.10	6.10	71.98	90	PEHD	0.96	1.18	1.30	219.33	254.52	35.19
N29-N30	68.82	5.00	5.00	65.16	63	PEHD	1.60	2.99	3.28	222.48	252.54	30.06
N30-B29	80.30	5.08	5.08	65.68	63	PEHD	1.63	3.59	3.95	228.44	248.59	20.15

IV.9. Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux différents calculs hydrauliques relatifs au dimensionnement du système d'adduction du périmètre irrigué de Boukali.

En premier lieu, nous avons choisi une variante qui est représentée par un système gravitaire, sans recours à un dispositif de pompage, cela vu la topographie du terrain et la position de la retenue, qui située juste en amont du périmètre, assurant ainsi desserte gravitaire et suffisante en eau.

Le dimensionnement du réseau de distribution a été réalisé en estimant les diamètres des canalisations en différents points du réseau.

Deux types de matériaux ont été utilisés selon les sections du réseau :

- la fonte ductile pour les conduites de grand diamètre,
- le polyéthylène haute densité (PEHD) pour les conduites de faible diamètre (<315 mm).

Ce choix de matériaux vise à optimiser les coûts de réalisation tout en garantissant la performance et la durabilité du système d'adduction.

Les pressions et les vitesses obtenues sont adéquates, et ne présentent aucun dysfonctionnement pour le réseau de distribution.



Chapitre V : Les Techniques D'irrigation

V Les Techniques D'irrigation

V.1. Introduction

La pluie dans les pays semi-arides est souvent insuffisante pour assurer un rendement optimal des cultures. Dans ce cas, l'irrigation devient indispensable pour couvrir le manque d'eau induit par un déficit de précipitations et ainsi assurer un rendement optimal des cultures. Il existe plusieurs méthodes d'irrigation, chacune adaptée à des contextes spécifiques.

Les trois méthodes les plus couramment utilisées sont :

- L'irrigation de surface
- L'irrigation par aspersion
- L'irrigation goutte à goutte

V.2. Les techniques d'arrosages des cultures

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

L'irrigation de surface consiste à acheminer l'eau en fonction de la topographie du terrain, puis à la laisser s'écouler naturellement par gravité. Elle peut être répartie dans le champ selon différentes méthodes : par submersion dans des bassins (irrigation par bassins), par écoulement dans des sillons creusés dans le sol (irrigation par sillons), ou encore par ruissellement sur des surfaces planes appelées planches d'arrosage (irrigation par planches).

V.2.1.1. L'irrigation par ruissellement

Irriguer par ruissellement se fait en faisant couler une mince couche d'eau sur une pente, le temps qu'il faut pour que le sol soit humidifié jusqu'à une profondeur voulue.

V.2.1.2. L'irrigation par bassin (submersion)

C'est recouvrir le sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse, le temps nécessaire pour qu'elle pénètre à la profondeur utile.

Elle se pratique en terrain plat dans des bassins entourés de diguettes, que l'on remplit sur une hauteur correspondant à la dose d'arrosage.

Le principe de cette technique consiste à créer une nappe épaisse en engorgeant temporairement toute la surface à pente nulle.

Ces bassins doivent être minutieusement aménagés, leurs inconvénients sont l'accumulation des sédiments dans les bassins d'irrigation et la prolifération des algues aux bassins d'irrigation.



V.1 : Irrigation par ruissellement

➤ **Avantages de l'irrigation gravitaire :**

- Faibles coûts d'investissement en équipements
- Aucun besoin de pressuriser l'eau, donc pas de dépenses énergétiques associées
- Possibilité de réaliser un lessivage du sol sans provoquer d'érosion.

➤ **Inconvénients de l'irrigation gravitaire :**

- Durée d'irrigation relativement longue
- Nécessite beaucoup de main-d'œuvre et un bon nivellement du terrain et un entretien régulier de celui-ci
- Pertes d'eau importantes dues à l'infiltration et à l'évaporation.

V.2.2. L'irrigation par aspersion :

Consiste à arroser le sol sous forme de pluies artificielles. Il est constitué d'un réseau de conduites sous pression portant des asperseurs ou des buses, conçu pour projeter des jets ou pulvériser de l'eau sous forme de fines gouttes à la surface du sol.



Figure V.2 : Irrigation par aspersion

➤ **Avantages du système d'irrigation par aspersion**

- Il convient à pratiquement tous les types de sols avec des taux d'infiltration inférieurs à 4 cm/heure.
- Peut irriguer les terrains accidentés. Il n'est pas nécessaire de niveler le terrain.
- L'eau d'irrigation peut être utilisée pour appliquer les engrais, désherbants, et fongicides économiquement.
- Réduction de la consommation d'eau et des coûts de main-d'œuvre.
- Augmentation des rendements des cultures.

➤ **Inconvénients du système d'irrigation par aspersion**

- Coût d'installation initial élevé.
- D'adapte mal aux régions ventées.
- Le système d'irrigation par aspersion ne convient pas aux sols à texture fine.

V.2.3. Irrigation localisée ou micro irrigation

L'irrigation localisée est un système dans lequel l'eau est distribuée en basse pression à partir d'un réseau de conduites à faibles débits.

La micro-irrigation est une méthode d'irrigation utilisée en zone aride car elle réduit au maximum l'utilisation de l'eau et de l'engrais.



Figure V.3 : Irrigation par goutte à goutte

➤ **Avantages :**

- Économie d'eau et bonne efficacité d'irrigation, réduction de la main-d'œuvre ;
- Amélioration de la croissance des cultures grâce à une humidification constante de la zone ; racinaire, et hausse des rendements ;
- Réduction significative de la prolifération des mauvaises herbes ;
- Coûts d'entretien réduits ;
- Système peu sensible aux effets du vent.

➤ **Inconvénients**

- Coût d'équipement initial élevé (matériel spécialisé, système de distribution, etc.)
- Risque d'obstruction des goutteurs en cas d'eau non filtrée ou de dépôts minéraux.

V.3. Choix de la technique d'irrigation

Le choix d'une technique d'irrigation dépend de plusieurs critères et contraintes de chaque type d'arrosage, Une analyse multicritère 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 qui dépend de plusieurs facteurs :

- Le type de cultures à irriguer ;
- Les contraintes économiques (coût d'investissement, de fonctionnement, etc.)
- La topographie du terrain et les dimensions de la parcelle ;
- La nature du sol, notamment sa perméabilité et sa capacité de rétention d'eau ;
- La rentabilité globale de la solution d'irrigation choisie.

V.4. Conclusion

Après exposé des différentes techniques d'irrigation, et en fonction des conditions climatiques de la région étudiée, de la nature du sol, de l'aptitude culturale on peut choisir les techniques d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte. Ces deux techniques présentent des avantages significatifs par rapport à l'irrigation de surface.

L'adoption de systèmes d'irrigation modernes permet une diversification des cultures ainsi qu'une amélioration notable des rendements agricoles, en particulier pour les cultures céréalières.



Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

VI. Dimensionnement à la parcelle

VI.1. Introduction

Un réseau d'irrigation est l'ensemble des équipements qui permettent le transport et la distribution de l'eau d'irrigation dans un périmètre irrigué : l'eau est transportée depuis les bornes d'irrigation jusqu'au point le plus éloigné de la parcelle à travers des réseaux hydrauliques

L'objectif de ce chapitre est de définir le dimensionnement des systèmes d'irrigation par aspersion et goutte à goutte qui ont des avantages en termes d'économie d'eau.

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

Pour concevoir une installation goutte à goutte, on doit préconiser une station de tête à l'entrée de la parcelle qui va régulariser et filtrer l'eau d'irrigation.

Données générales :

Afin de concevoir le réseau d'irrigation par goutte à goutte, nous avons choisi comme modèle la parcelle N°1 dans l'ilot N° 01, qui s'étend sur une superficie de 1.5 hectares et qui possède les caractéristiques suivantes :

- Superficie : 1.5Ha
- Longueur : 100m
- Largeur : 80m

VI.2.1. Choix de culture :

Pour le dimensionnement de réseau d'irrigation au goutte à goutte nous avons choisi comme culture la pomme de terre avec un besoin maximal égal à 138 mm pendant le mois de juin la distance entre les plants sur un même rang est égale à 0.8m, la distance entre les rangs est égale à 1m.

VI.2.2. Choix du réseau d'irrigation :

L'irrigation de la pomme de terre se fait par un système au goutte à goutte qui présente les caractéristiques suivantes :

- Un gouteur par plant ;
- La distance entre les gouteurs est 0.8m ;
- Distance entre rang =1m
- Débit des gouteurs est 2l/h ;

VI.2.3. Calcul de l'évapotranspiration corrigée :

En irrigation localisée l'eau est apportée au pied des cultures directement à la surface du sol, ou à l'intérieure du sol donc l'évaporation directe à partir du sol est réduite, on applique alors à l'ETM un coefficient de réduction K_r qui dépend de la couverture de sol ($C_s=60\%$) pour les plantes adultes.

K_r peut être calculé par différentes méthodes proposées ci-après :

La formule de Freeman et Garzoli : $K_r = C_s + 0.5(1 - C_s)$ **VI-1**

Dans notre cas on considère un taux de couverture égal à 60% pour les plants adultes,

Donc $K_r=0.7$:

$$ETM_c = ETM_r \times K_r \quad \text{VI-2}$$

$$ETM_c = \frac{138}{30} \times 0.7 = 3.22 \text{ mm/j}$$

VI.2.4. Calcul de la dose d'irrigation corrigée :

La deuxième étape en micro-irrigation, est la détermination d'une fraction ou pourcentage d'humidification du bulbe humide dans la zone racinaire.

$$D_c = RFU \times P = \left(\frac{H_{cc} - H_{pf}}{100} \right) \times Z \times d_a \times y \times P \quad \text{VI-3}$$

Avec :

H_{cc} : humidité à la capacité au champ, ($H_{cc}= 26\%$) ;

H_{pf} : humidité au point de flétrissement, ($H_{pf}= 16\%$) ;

Z : profondeur d'enracinement, ($Z=60\text{Cm}$) ;

d_a : densité apparente de sol, ($d_a= 1.38$)

Y : degré d'extraction de l'eau du sol, ($Y=2/3$)

P : pourcentage de sol humidifié.

$$P = \frac{n \times Spd \times Sh}{Sa \times Sr} \quad \text{VI-4}$$

Tel que :

n : nombre de point de goutteurs par plant, (1 goutteur par plant)

Spd : Distance entre deux distributeurs voisins du même plant, (m) ;

Sh : Largeur de la bande humidifiée, (0.5m) ;

Sa : espacement des plants sur les rangs (0.8m) ;

Sr : écartement entre les rangs de plant, (1m).

On trouve $P = 0.5 \approx 50\%$, donc **Dose corrigée**= 27.60mm

VI.2.5. Calcul de la fréquence d'arrosage :

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

$$Teau = \frac{Dc}{ETMc} \quad \text{VI-5}$$

Teau= 8.57, donc on prend un tour d'eau de 8 jours, 4f/Mois.

VI.2.6. Calcul de la dose réelle et brute :

On peut calculer la dose réelle par la formule suivante :

$$Dréelle = Teau \times ETMc \quad \text{VI-6}$$

A.N : Dréelle= 25.8mm

➤ La dose brute :

La dose brute est calculée par la relation ci-après :

$$D_{brute} = \frac{Dréelle}{Cu \times Eff} \quad \text{VI-7}$$

Avec :

Cu : coefficient d'uniformité des goutteurs, (on prend Cu=90%) ;

Eff : efficience de réseau d'irrigation, (Eff=90%).

Donc : $D_{brute} = 31.8mm$

VI.2.7. Temps d'arrosage :

Le temps d'arrosage est calculé par la formule suivante :

$$Tf = \frac{D_{brute} \times Sd \times Sr}{n \times qg} \quad \text{VI-8}$$

Avec :

Sd : espacement entre les distributeurs ;

Sr : espacement entre les rangs ;

n : nombre des goutteurs ;

qg : débit des goutteurs.

On trouve un temps d'arrosage **Ta= 12h**.

VI.2.8. Calcul hydraulique des rampes et la porte rampe :

VI.2.8.1. Condition de Christensen :

La variation maximale de la pression en fonction de H

$$dq = K \cdot x H^{x-1} \cdot dH \quad \text{VI-9}$$

Ce qui donne (avec q = K. Hx avec x=0.5 (caractéristique du goutteur))

$$\frac{\Delta q}{q} = x \frac{\Delta H}{H(n)} \quad \text{VI-10}$$

Avec :

q(g) : débit des goutteurs ;

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

$$A.N: 0.1 = 0.5 \frac{\Delta H(\max.)}{10} = \Delta H (\max) = 1/0.5 = 2 \text{ mce.}$$

Selon la condition de Christensen :

- ΔH singulière totale est égal à $10\% \times \Delta H_{\max} = 0.2m$;
- Le reste égal à 1.8 qui est les ΔH Linéaire totale;
- Pour les rampes : $\Delta H_{lr} = \frac{2}{3} \times 1.8 = 1.2m$;
- Pour les portes rampes : $\Delta H_{lpr} = \frac{1}{3} \times 1.8 = 0.6m$.

VI.2.8.2. Les débits :

L'estimation des débits de porte rampe et les rampes se fait par les formules suivantes :

$$Qr = Qg \times Ng / \text{rampe} \quad \text{VI-11}$$

$$Qpr = Qr \times Nr \quad \text{VI-12}$$

Avec :

Qr : débit des rampes (l/h) ;

Qg : débit des goutteurs (l/h) ;

Ng/rampe : nombre des goutteurs par rampe ;

Qpr : débit des portes rampes (l/h) ;

Nr : nombre des rampes.

Données :

- La longueur de la rampe est 80m ;
- La longueur de la porte rampe est 100m.

VI.2.8.3. Nombre des plants par rampe :

Le nombre des plants par rampe est calculée selon la formule ci-après :

$$\frac{N_{plants}}{rampe} = \frac{L_r}{E_{plant}} \quad \text{VI-13}$$

Donc : $N_{plant}/rampe = 100$ plants/rampe.

VI.2.8.4. Nombre des goutteurs par rampe :

Le calcul du nombre des goutteurs par rampe se fait par la formule suivante :

$$\frac{N_g}{rampe} = \frac{N_{plants}}{rampe} \times E_g \quad \text{VI-14}$$

Alors il existe 100 goutteurs par rampe.

VI.2.8.5. Nombre des rampes :

Le nombre des rampes se calcule par la formule ci-dessous :

$$N_{rampe} = \frac{L_{pr}}{E_r} \quad \text{VI-15}$$

Donc le nombre de rampes existant sur notre parcelle est 100 rampes.

Ce qui implique :

- $Q_r = N_g \times Q_g$ $Q_r = 100 \times 2 = 200 \text{ l/h} \approx 5.55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{pr} = N_r \times Q_r$ $Q_{pr} = 100 \times 200 = 20000 \text{ l/h} \approx 5.55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$

VI.2.8.6. Diamètre des rampes et la porte rampe :

On peut calculer le diamètre des rampes et celui de la porte rampe par les formules suivantes :

$$\phi r(cal) = \left[\frac{P.d.c(r) \cdot 2.75}{0.478 \cdot Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad \text{VI-16}$$

$$\phi pr(cal) = \left[\frac{P.d.c(pr) \cdot 2.75}{0.478 \cdot Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad \text{VI-17}$$

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 ;

L(pr) : la longueur de porte rampe en m ;

Ør (cal) : le diamètre de rampes ;

Øpr (cal) : le diamètre de porte rampe.

Alors :

- $\phi r(cal) = 11.80\text{mm}$ $\phi r(normalisé) = 16\text{mm}$
- $\phi pr(cal) = 78\text{mm}$ $\phi pr(normalisé) = 90\text{mm}$

VI.2.8.7. Vérification des pertes de charge :

En utilisant la formule de Hazen-Williams ci-après pour calculer les pertes de charge

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_{Hw}} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852} \quad \text{VI-18}$$

On trouve :

- $\Delta H(r) = 0.66 \text{ m}$
- $\Delta H(pr) = 1.07 \text{ m}$

VI.2.9. Dimensionnement de la conduite tertiaire :

Afin de dimensionner la conduite tertiaire on utilise la relation ci-dessous :

$$Dct = \sqrt{\frac{4 \times Qct}{\pi \times Vadm}} \quad \text{VI-19}$$

Avec :

Dct : diamètre de la conduite tertiaire en m ;

Qct : débit de la conduite tertiaire en m³/s

Qcsl=Qpr*Npr = 20000*1 =20000 L/h = 5.55*10⁻³ m³/s

Vadm : vitesse admissible égal à 1.05 m/s

On trouve :

- Dct(calc) = 82mm Dct(normalisé) = 90mm

Tableau VI-1: Récapitulatif de réseau d'irrigation au goutte à goutte.

Conduites	La rampe	Porte rampe	C. tertiaire
Longueur(m)	80	120	10
Diamètre(mm)	16	90	90
Débit (m³/s)	5.55×10 ⁻⁵	5.55×10 ⁻³	5.55×10 ⁻³
Pertes de charge(m)	0.66	1.07	0.09

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.

$$P(m) = 10 + 0.19 + 0.35 + 0.057 = 10.6 \text{ m.}$$

Les pertes de charges ainsi que la pression calculée est de l'ordre de 1.1 bars ce qui est largement suffisant pour effectuer le système goutte à goutte dans cette parcelle.

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

VI.3.1. Choix de parcelle :

Pour dimensionner un réseau d'irrigation par aspersion, nous avons choisi comme modèle la parcelle N°3 dans l'ilot N° 13, qui s'étend sur une superficie de 1.2 hectares et qui possède les caractéristiques suivantes :

- Surface : 1.2 ha
- Longueur : ≈ 120 m
- Largeur : ≈ 90m

- Alimentation en eau : Borne B13.
- Pression disponible à la borne : 1.9 bars
- Perméabilité du sol : 8mm/h.
- Densité apparente de sol : 1.38.

VI.3.2. Choix de la culture :

Nous avons choisi la culture de l'orge grain et cela vu ses avantages économiques et agronomiques. L'orge exige un apport d'eau durant les mois de Décembre à juin avec un besoin net de pointe durant le mois de juin qui est égal à **128.84 mm/mois**.

Remarque : le temps de travail est 22heurs par jour durant 26 jours par mois.

VI.3.3. Calcul de la dose pratique :

Elle est calculée comme suit :

$$RFU = \left(\frac{H_{cc} - H_{pf}}{100} \right) \times Z \times da \times y \quad \text{VI-20}$$

Avec :

Y: degré de tarissement : égal à 2/3.

da: densité apparente : égale à 1. 38

Z: profondeur d'enracinement mm (60 cm pour le l'orge).

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

Hpf : humidité au point de flétrissement (16%).

$$A.N : RFU = \frac{(26-16)}{100} \times 0.6 \times 1.38 \times \frac{2}{3}$$

$$RFU = 55.20 \text{ mm}$$

VI.3.4. Dimensionnement de l'asperseur :

VI.3.4.1. Choix du diamètre de la buse :

La détermination du diamètre de la buse des asperseurs se base sur la condition que la pluviométrie de ce dernier doit être inférieure à la perméabilité de sol qui est égale à 8mm/h.

D'après la fiche technique d'un arroseur de type Perrot le diamètre de la buse normalisé le plus proche est **de 4.5 mm**.

VI.3.4.2. Calcul de la portée du jet (L)

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

$$L = 3 \cdot d^{0.5} \cdot H^{0.25}$$

VI-21

Avec :

d : le diamètre de la buse (mm)

H : pression à la buse (m)

$$L = 3 \cdot 4.5^{0.5} \cdot 25^{0.25} = 14.23 \text{ m on prend } L = 15 \text{ m}$$

VI.3.4.3. Calcul des écartements:

D'après la vitesse moyenne de vent de la région qui est égale à 10.44 km/h ; le vent est faible donc les écartements sont calculés par les relations suivantes :

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

$$E_l = 1.2 \times L = 1.2 \times 15 = 18 \text{ m.}$$

Tel que :

E_a : est la distance entre les asperseurs de la même rampe.

E_l : est la distance entre les rampes.

L'écartement final du réseau d'irrigation par aspersion est : **12 x 18 m.**

VI.3.4.4. Vérification de la pluviométrie de la buse :

La pluviométrie de la buse est le rapport du débit de la buse sur l'écartement :

$$NH = \frac{q_{asp}}{E_a \cdot E_l}$$

VI-22

Avec

$$q_{asp} = 0.95 \times \frac{\pi \cdot d^2}{4} \times \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$q_{asp} = 0.92 \times \frac{\pi \cdot (4.5 \cdot 10^{-3})^2}{4} \times \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 25}$$

$$q_{asp} = 0.0032 \text{ m}^3/\text{s} = 1.17 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$NH = \frac{1.17}{12 \cdot 18} = 6.1 \text{ mm/h donc inférieure à } K, \text{ ce qui est conforme.}$$

VI.3.5. Détermination des paramètres d'arrosage :**VI.3.5.1. Calcul du tour d'eau :**

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

$$T_{eau} = \frac{Dose_{RFU} \times N_j}{Bmp} \quad \text{VI-23}$$

Bmp : le besoin net du mois de pointe de la culture choisi «l'orge» qui est égale à 128.84mm.

Nj : le nombre de jours de travail par mois égale à 26 jours.

AN : Teau= 10 jours, donc le nombre d'irrigation par mois égale à 3 fois/mois.

VI.3.5.2. Calcul de la Dose réelle et de la dose brute :

C'est la quantité d'eau théorique doit être apportée dans une fois d'irrigation :

$$Dr = \frac{Bmp}{\text{Nombre d'irrigation par mois}} \quad \text{VI-24}$$

$$Dr = \frac{128.84}{3} = 45.9 \text{ mm /moin}$$

VI.3.5.3. Dose brute :

La dose brute c'est la quantité d'eau doit être réellement ramené à la parcelle en tenir compte des pertes en eau. La valeur de la dose brute est calculée par la relation suivante :

$$D_{brute} = \frac{D_r}{eff} \quad \text{VI-25}$$

Avec :

Eff : est l'efficience de l'aspersion qui est égale à 75%

Donc la dose brute = 61.2mm.

VI.3.5.4. 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 :

$$T_{temps d'arrosage} = \frac{D_{brute}}{P_{asp}} \quad \text{VI-26}$$

$$\text{Temps d'arrosage} = \frac{61.2}{6.6} = 10h$$

Donc on pourra adopter deux positions par jour pour un asperseur, sans dépasser 22 heures

VI.3.5.5. Débit d'équipement :

$$Q_{eq} = \frac{S(ha) \times B(mm) \times 10}{T \times n \times Nj \times eff} \quad \text{VI-27}$$

Tel que :

Q_{eq} : débit d'équipement en m³/h.

S : Surface de parcelle en ha.

Bmp : besoin net de mois de point de mois de la culture choisi.

T : Tour d'eau en heures.

N : nombre de position d'un asperseur par jour.

Eff : efficacité d'irrigation par aspersion.

$$Q_{eq} = \frac{1.2 \times 128.84 \times 10}{10 \times 2 \times 26 \times 0.75} = 4.24 \text{ m}^3/\text{h}$$

VI.3.6. Calcul hydraulique des rampes et porte rampe :**VI.3.6.1. Calcul la longueur de la rampe :**

Les asperseurs sont installés à distance de Ea sur deux de l'extrémité de la parcelle qui nous donne :

$$Lr = \text{Largeur de terrain} - \frac{Ea}{2} \quad \text{VI-28}$$

l : longueur de la rampe en m.

: Écartement entre asperseurs dans la même rampe en m.

Donc : $Lr = 90 - 6 = 84 \text{ m}$

VI.3.6.2. Nombre des asperseurs par rampe :

C'est le rapport entre la longueur de la rampe et l'écartement entre asperseurs :

$$N_{asp/rampe} = \frac{Lr}{Ea} \quad \text{VI-29}$$

$$N_{asp/rampe} = \frac{84}{12} = 7 \text{ asperseurs/rampe}$$

VI.3.6.3. Nombre des rampes :

$$N_{rampe} = \frac{L_{port rampe}}{El} = \frac{120}{18} = 6.67 \approx 7 \text{ rampe}$$

VI.3.6.4. Débit de la rampe :

$$Q_r = q_{asp} \times N_{asp/rampe}$$

VI-30

$$Q_r = 1.16 \times 7 = 9.94 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0023 \text{ m}^3/\text{s}$$

VI.3.6.5. Diamètre de la rampe :

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

VI-31

Avec

V : vitesse de l'écoulement à travers la rampe Ou : $V \leq V_{ADM}$; $V_{adm} = [0.5 \text{ _ } 2.5] \text{ m/s}$

On suppose V égale à 1.25 m/s.

$$\text{Donc : } D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0023}{\pi \cdot 1.25}} = 0.043 \text{ m}$$

Donc le diamètre de la rampe normalisé = 50mm

VI.3.7. Dimensionnement de la porte rampe**VI.3.7.1. Longueur de la porte rampe :**

$$L_{pr} = \text{Longueur de terrain} - \frac{EI}{2}$$

VI-32

$$L_{pr} = 120 - \frac{18}{2} = 111$$

VI.3.7.2. Débit de la porte rampe :

Le débit du porte rampe se calcule comme suit :

$$Q_{pr} = Q_r \times N_{rampe}$$

VI-33

$$Q_{pr} = 0.0023 \times 1 = 0.0023 \text{ m}^3/\text{s}.$$

VI.3.7.3. Diamètre de la porte rampe :

$$D_{pr} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{pr}}{\pi \cdot V}}$$

VI-34

$$D_{pr} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0023}{\pi \cdot 1.25}} = 0.048 \text{ m}$$

On prend le diamètre normalisé à 63mm pour minimiser les pertes de charges.

VI.3.7.4. Calcul des pertes de charge

Selon les règles de Christiansen les pertes de charge sont divisées comme suit :

- 10% de perte de charge singulière et 90% de perte de charge linéaire.
- 2/3 des pertes de charge linéaire sont dans les rampes.
- 1/3 des pertes de charge linéaire sont dans le porte rampe.

En appliquant la relation de Hazen-Williams on a :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{CH_w}\right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852} \quad \text{VI-35}$$

Ou

- ΔH = Perte de charge unitaires (m/m)
- Q : Débit de la conduite en m³/s
- CH : coefficient équivaut à 140.

Pour la rampe on a : L=84m, D= 50mm, Q= 0.0023 m³/s

ΔH rampe= 2.6m.

Pour le port rampe on a : L=111m, D= 63mm, Q= 0.023 m³/s

ΔH port rampe= 1.12m.

VI.3.7.5. Dimensionnement de la conduite tertiaire :

On applique l'équation de continuité qui donne :

$$D_{ct} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ct}}{\pi \cdot V_{adm}}} \quad \text{VI-36}$$

Tel que :

- D_{ct} : diamètre de la conduite tertiaire en m.
- Q_{ct} : débit de la conduite tertiaire en m³/s (égale à 0.0023m³ /s).
- V_{adm} : Vitesse admissible égale à 1.25 m/s

Alors : la conduite tertiaire a un diamètre de 63mm.

Tableau VI.2 : Récapitulatif de réseau d'irrigation au aspersion.

Conduites	La rampe	Porte rampe	C. tertiaire
Longueur(m)	84	111	10
Diamètre(mm)	50	63	63
Débit (m ³ /s)	0.0023	0.0023	0.0023
Pertes de charge(m)	2.6	1.12	0.1

On remarque que les pertes de charges totales sont de 4.2m, soit 18% de la pression de service 2.5 bars, donc l'installation du réseau d'aspersion est conforme.

VI.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé deux techniques d'irrigation et dimensionné pour les cultures de pomme de terre et l'orge grain : l'irrigation par aspersion et le système goutte à goutte.

Les calculs hydrauliques ont été faits en se basant sur la règle de Christiansen ce qui nous a permis de dimensionner les conduites en respectant des pertes de charges minimales. L'introduction de ces deux techniques va permettre d'augmenter les rendements des cultures en optimisant la gestion de la ressource en eau.



Chapitre VII : Analyse Technico-Economique

VII. Analyse Technico-Économique

VII.1. Introduction :

Avant de réaliser un projet d'irrigation, il est indispensable d'estimer le coût global de ce projet ainsi que de calculer le prix de revient par hectare. Cette estimation repose sur la détermination des quantités nécessaires de l'ensemble des équipements et matériaux, ainsi que des différentes interventions à réaliser sur le terrain.

Dans le cadre de ce projet, les lots de travaux considérés sont les suivants :

- **Réseau de distribution** : installation des canalisations et des dispositifs d'irrigation adaptés aux parcelles concernées.
- **Conduite d'adduction** : mise en place des conduites principales assurant l'alimentation en eau du réseau.
- **Travaux divers** : opérations complémentaires sur le site, incluant les terrassements, les aménagements de terrain et les raccordements nécessaires au bon fonctionnement du système. L'ensemble de ces éléments permet d'établir une estimation détaillée des coûts d'investissement requis pour la mise en œuvre du projet.

VII.2. Les phases de réalisation des réseaux d'adduction et de distribution :

Il s'agit de l'ensemble des étapes pratiques à respecter pour l'implantation des conduites du réseau d'adduction et de distribution, visant à assurer une mise en œuvre conforme aux normes techniques, à minimiser les impacts environnementaux et à garantir la sécurité des travaux. Ces travaux comprennent :

VII.2.1. Excavation de la tranchée :

L'excavation de la tranchée est une opération de terrassement qui implique la création d'excavations dans le sol. Ces excavations sont réalisées à l'aide d'une pelle hydraulique, et les déblais sont déposés à côté de la tranchée. L'autre côté de la tranchée est réservé pour le bardage des conduites.

VII.2.2. Pose du lit de sable:

Dans ce cas, on doit poser un lit de sable au fond de la tranchée. Dans notre cas, ce lit de sable a une épaisseur de 14 cm.

VII.2.3. Installation des conduites :

Avant l'emplacement des conduites dans la tranchée, une sélection est effectuée pour éliminer celles qui ont subi des chocs. Les conduites sont ensuite descendues avec précaution au fond de la fouille à l'aide d'un engin de levage approprié. Durant cette opération, l'alignement des tuyaux est contrôlé en permanence afin d'assurer une parfaite continuité et de prévenir toute difficulté lors des opérations d'assemblage.

VII.2.4. Essai de pression et de joints :

Afin d'assurer la fiabilité et l'étanchéité du réseau, un essai de pression est réalisé sur les conduites et les assemblages avant toute opération de remblaiement. Cet essai consiste à remplir la conduite d'eau et à appliquer une pression d'essai équivalente à 1,8 fois la pression de service prévue en exploitation. La durée de l'épreuve est fixée à 30 minutes, durant lesquelles la variation de pression ne doit pas excéder 0,2 bar.

VII.2.5. Remblayage de la tranchée :

Le remblayage est une opération de terrassement qui consiste à recouvrir la conduite posée en réutilisant les matériaux extraits lors de l'excavation.

VII.2.6. Nivellement et compactage :

Après l'opération de remblayage, le terrain est nivelé en répartissant uniformément les matériaux en couche. Cette étape est suivie d'un compactage destiné à accroître la densité du sol afin de limiter les risques de tassements différés.

VII.2.7. Volumes de terrassement :**A. Dimensions des tranchées :****VII.2.7.1. Largeur de fond de la tranchée :**

La largeur de la tranchée sera déterminée en fonction du diamètre de la conduite, en laissant un La largeur d'ouverture de la tranchée est obtenue par la formule :

$$B = D + 0.6$$

VII-1

Avec :
- B : Largeur de la tranchée (m).
- D : Diamètre de la conduite (m).

VII.2.7.2. Profondeur de la tranchée:

La profondeur de la conduite doit être choisie de manière à faciliter la réalisation des branchements particuliers, en essayant d'évitant toute interférence avec d'autres conduites.

La profondeur de la tranchée est obtenue par la formule :

$$\mathbf{Htr = e + D + h}$$

VII-2

Avec:

- Htr : Profondeur de la tranchée (m).
- e : Hauteur du lit de pose (m),=15 cm de sable
- D : Diamètre de la conduite (m).
- h : La hauteur du remblai au-dessus de la conduite (m).

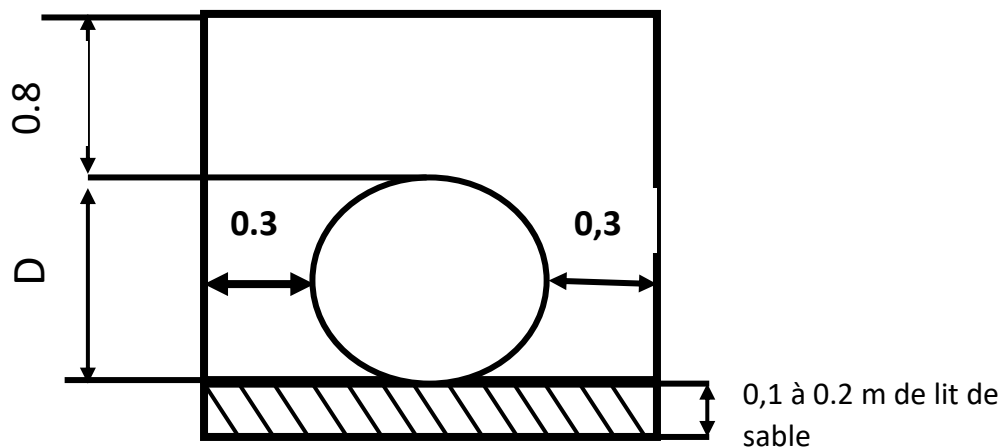


Figure VII.1: Profil à travers d'une tranchée

VII.2.7.3. Section de la tranchée :

Les sections des tranchées sont :

$$\mathbf{Str = Htr \times B}$$

VII-3

Avec :

- Htr : Profondeur total de la tranchée (m).
- B : Largeur du fond de la tranchée (m).

VII.2.7.4. Volume de la tranchée:

Le volume d'une tranchée est calculé par la relation suivante:

$$\mathbf{Vtr = Str \times L}$$

Avec:

- Vtr : Volume du déblai (m3).
- Str : La section de la tranchée (m2).
- L : Longueur de la tranchée (m).

Les résultats des calculs sont résumés comme suit :

Tableau VII-1: Résultats de calcul des dimensions de différents diamètres.

Diamètre (mm)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Section (m2)	Longueur(m)	Volume (m3)
	D+0.6				
63	0.66	1.56	1.04	524.42	543.44
75	0.68	1.58	1.06	386.24	410.62
90	0.69	1.59	1.10	836.91	918.17
110	0.71	1.61	1.14	149.24	170.60
125	0.73	1.63	1.18	252.34	297.29
160	0.76	1.66	1.26	589.62	743.86
200	0.80	1.70	1.36	296.75	403.58
225	0.83	1.73	1.42	174.63	248.52
250	0.85	1.75	1.49	516.76	768.68
315	0.92	1.82	1.66	260.77	433.07
400	1.00	1.90	1.90	1684.77	3201.06

VII.2.8. Calcul des volumes de terrassement :**VII.2.8.1. Volume de déblai :**

Le déblai d'une tranchée représente les matériaux excavés ou enlevés du sol pour créer l'espace nécessaire pour la pose de conduites , il est calculé comme suit:

$$V_{\text{déblai}} = V_{\text{tr}} = B \times \text{Htr} \times L$$

VII-5

Avec:

B: largeur de tronçon (m).

Htr: profondeur de tronçon (m).

L: longueur de tronçon (m).

VII.2.8.2. Volume de lit de sable:

Le lit de sable est une couche horizontale de sable utilisée pour fournir une base stable et il est calculé par la relation:

$$V_{\text{ls}} = e \times B \times L$$

VII-6

Avec:

Vls: volume de lit de sable (m3).

E: épaisseur de la couche de lit de sable (m).

B: largeur de tronçon (m).

L: longueur de tronçon (m).

VII.2.8.3. Volume occupé par la conduite :

Il est calculé à l'aide de relation suivante:

$$V_{con} = S_{con} \times L = \frac{\pi \times D^2}{4} \cdot L \quad \text{VII-7}$$

Avec:

V_{con} : volume occupé par la conduite (m³).

S_{con} : section de la conduite(m).

L : longueur de tronçon (m).

D : diamètre extérieur de la conduite(m).

VII.2.8.4. Volume de remblai:

Le remblai représente la quantité de terre nécessaire pour remplir une tranchée et la ramener à son niveau initial. Ce volume est calculé par la relation:

$$V_{rem} = V_{déblai} - (V_{ls} + V_{con}) \quad \text{VII-8}$$

Avec:

V_{rem} : volume de remblai en (m³).

$V_{déblai}$: volume de déblai en (m³).

V_{ls} : volume de lit de sable (m³).

V_{con} : volume occupé par la conduite (m³).

VII.2.8.5. Volume de remblai excédentaire:

C'est la quantité de sol en excès après avoir rempli les tranchées et elle est calculée par la formule suivante:

$$V_{exc} = V_f - V_{rem} \quad \text{VII-9}$$

Avec : V_{exc} : volume de sol excédentaire en (m³).

V_{rem} : Volume de remblai en (m³) .

V_f : volume foisonné en (m³).

Sachant que: $V_f = V_{déblai} \times K_f$

K_f : coefficient de foisonnement.

Tableau VII-2: Coefficients de foisonnement pour différente nature de sol.

Type de sol	K_f
Sables , matériaux fins	1.08-1.17
Limons argileux	1.14-1.28
Argile	1.25-1.3

on prend $K_f = 1.28$.

Tableau VII-3: Résultats de calcul des volumes de terrassement .

Diamètre (mm)	Vdeblai (m3)	Vsable (m3)	Vcon (m3)	Vrem (m3)	Vf (m3)	Vexc (m3)
63	543.44	34.77	25.94	482.74	695.60	212.87
75	410.62	26.07	22.74	361.81	525.60	163.79
90	918.17	57.75	59.13	801.30	1175.26	373.96
110	170.60	10.60	12.89	147.11	218.36	71.25
125	297.29	18.29	24.76	254.23	380.53	126.30
160	743.86	44.81	74.06	625.00	952.15	327.15
200	403.58	23.74	46.59	333.25	516.58	183.33
225	248.52	14.41	30.84	203.27	318.11	114.84
250	768.68	43.92	101.41	623.34	983.91	360.57
315	433.07	23.86	64.48	344.72	554.33	209.60
400	3201.06	168.48	529.02	2503.57	4097.36	1593.79

VII.2.9. Coût du réseau de distribution:

C'est l'ensemble des conduites en PEHD avec des diamètres varient entre 65mm et 400 mm , ainsi que les bornes de distribution des eaux d'irrigation.

Tableau VII-4: Estimation de coût des volumes de terrassement de réseau de distribution.

Désignation de travaux	unité	Quantité	prix unitaire	Montant(DA)
Déblai	m3	8259.1	450.0	3716590.5
Lit de sable	m3	703.2	2600.0	1828338.2
Remblai	m3	6995.9	350.0	2448556.6
Déblai excedenature	m3	2064.8	400.0	825909.0
			Total	8819394.30
			TVA 19%	1675684.92
			MontantvTTC	10495079.22

VII.2.9.1. Evaluation des prix de pose des conduites :

Les coûts de pose des conduites de distribution sont présentés en détail dans le tableau VII.3.

Tableau VII-5: Estimation des coûts de mise en place des conduites.

Diamètre	Linéaire	Matériau	Prix/ML	Montant (DA)
65	422.77	PEHD	618.46	261466.3342
75	386.24	PEHD	851.27	328794.5248
90	879.71	PEHD	1212.85	1066956.274
110	149.24	PEHD	1775.25	264938.31
125	51.88	PEHD	2295.18	119073.9384
160	589.62	PEHD	3628.45	2139406.689
200	296.75	PEHD	5607.91	1664147.293
225	174.63	PEHD	7030.23	1227689.065
250	516.80	PEHD	8546.08	4416614.144
315	260.78	PEHD	13405.23	3495815.879
400	2380.31	Fonte	21363.77	50852395.37
			Total (HT)	65837297.82
			TVA 19%	12509086.59
			Total TTC	78346384.41

VII.2.9.2. Estimation du coût des pièces spéciales

Les prix des pièces spéciales sont détaillés dans le tableau VII.4

Tableau VII-6: Estimation du coût des pièces spéciales.

Pièce	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Borne A2	19	13400	254600
Birne A4	10	2400	24000
Té	16	1190	19040
Vanne de sectionnement	3	21700	65100
Vanne	15	12790	191850
coude 45°	8	1200	9600
coude 90°	4	1280	5120
		Prix total (HT)	569310
		TVA 19%	108168.9
		Total TTC	677478.9

VII.2.10. Coût total du projet:

C'est la somme de toutes les opérations d'investissements calculées précédemment.

Tableau VII-7: Estimation de coût totale de projet

Désignation de travaux	Montant TTC (DA)
Réseau distribution	10495 079.2
pièces spéciales	677 478.9
de pose des conduites	78 346 384.4
Total	89 518 942.5

VII.3. Conclusion

L'organisation du chantier et l'estimation du cout total du projet d'irrigation est une phase importante, dans un aménagement hydro-agricole, puisqu'elle permet d'évaluer le projet et de prévoir sa rentabilité à long terme.

Après calcul de toutes les opérations et travaux nécessaires, on voit que le coût de la projection du réseau d'irrigation et l'adduction localisée est évalué à 89 518 942.52 DA.

L'aménagement du périmètre reste économiquement rentable sur le long terme.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif fondamental de cette étude est l'aménagement hydro-agricole du périmètre d'El-Abadia qui est localisé dans la wilaya de Ain defla d'une superficie de 160 ha, le périmètre présente des potentialités pédologique et agronomiques qui sont propices à l'irrigation.

Après le choix des cultures ou nous nous sommes basés sur les cultures maraichères et céréalières, nous avons estimé les besoins en eau de chaque ilot qui est une phase importante dans la conception d'un système d'adduction et d'irrigation.

En ce qui concerne le réseau d'adduction, nous avons projeté un réseau à partir de la retenue de Boukalli, et une distribution gravitaire vers les parcelles après choix d'un tracé économique les pressions obtenues sont satisfaisantes, entre 1.5 et 3.8 bars.

Pour le réseau à la parcelle, nous avons étudié le dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion pour l'orge et le système goutte à goutte pour la pomme de terre qui sont des cultures a haute valeur ajoutée, et cela vu une meilleure gestion de la ressource en eau et une meilleure conservation du sol.

Au final, cet aménagement vise à améliorer l'ensemble des facteurs socio-économiques de la région. L'objectif principal est de garantir une couverture hydraulique homogène du périmètre irrigué, assurant ainsi une alimentation adéquate de toute la superficie cultivable. Cette maîtrise de l'irrigation permet d'améliorer les rendements agricoles, contribuant ainsi au développement socio-économique local.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

- Touaibia, Benina. (2001). Les retenues [polycopie pédagogique]. ENSH.
- Etude des crues dans le bassin du Cheliff « Hallouz, Faiza, Meddi Mohamed, Sadeuk, Abdel Kader »
- Climat data for cities world wide
- KABLI Sarah ;Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre de Haut Isser wilaya de Mede
- TALBI Karima ;Etude d'extension du périmètre des ARRIBS (200ha) à partir du barrage de LAKEHAL (W. BOUIRA)
- Irrigation efficiency in the Large Irrigated Perimeters: case of Upper Cheliff perimeter (northwestern Algeria) “Hallouz, Faiza, Meddi, Mohamed , Cherfaoui, Hamid” (2021)

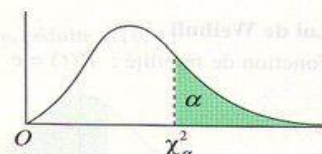
ANNEXES

ANNEXE 01:Tableau de distribution de khi carré (loi de K. Pearson)

Table de distribution de χ^2 (loi de K. Pearson)

La table donne la probabilité α , en fonction du nombre de degrés de liberté ν , pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée χ^2_α .

$$\alpha = P(\chi^2 \geq \chi^2_\alpha)$$



ν	$\alpha = 0,990$	$\alpha = 0,975$	$\alpha = 0,950$	$\alpha = 0,900$	$\alpha = 0,100$	$\alpha = 0,050$	$\alpha = 0,025$	$\alpha = 0,010$	$\alpha = 0,001$
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

Quand ν est supérieur à 30, on utilise la table de la loi normale (table de l'écart réduit) avec :

$$t = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2\nu - 1}$$

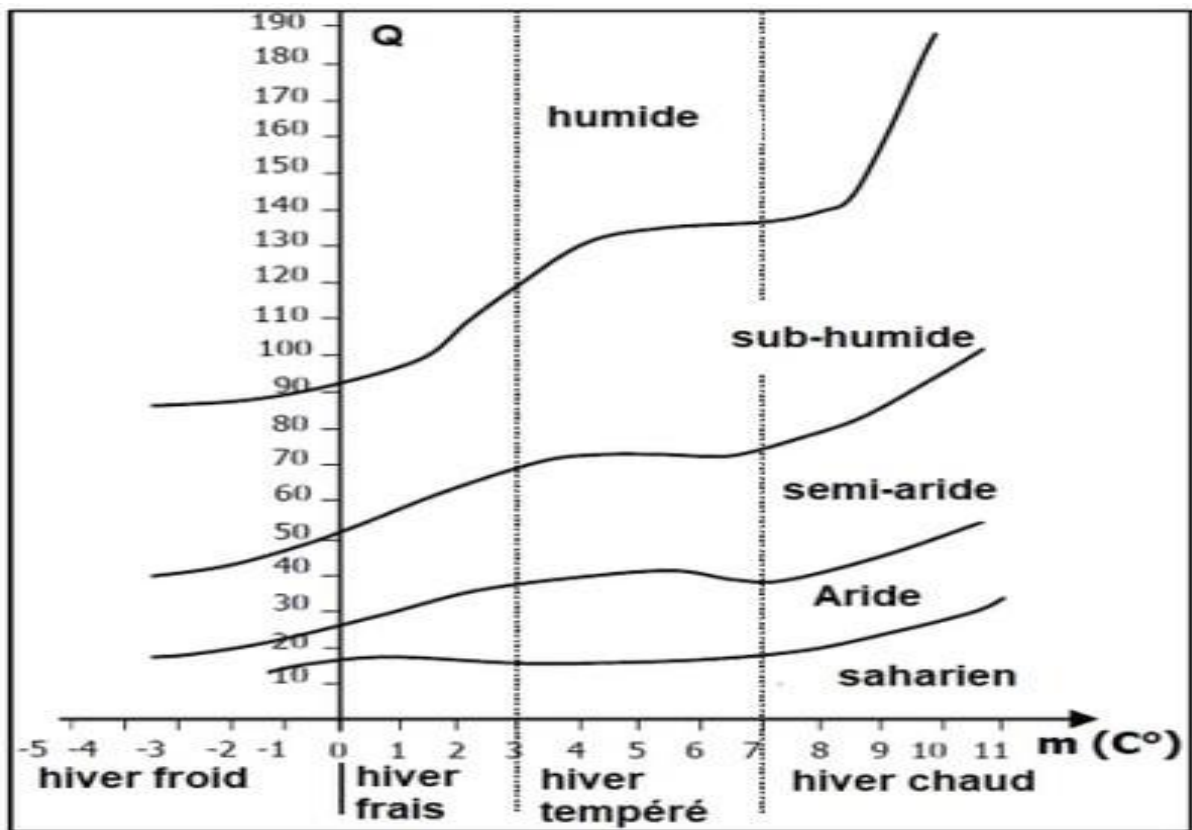
ANNEXE 02 :Valeur Du Coefficient Cultural Kc En Fonction Du Stade De Croissance De Différentes Cultures Annuelles

ANNEXE 1

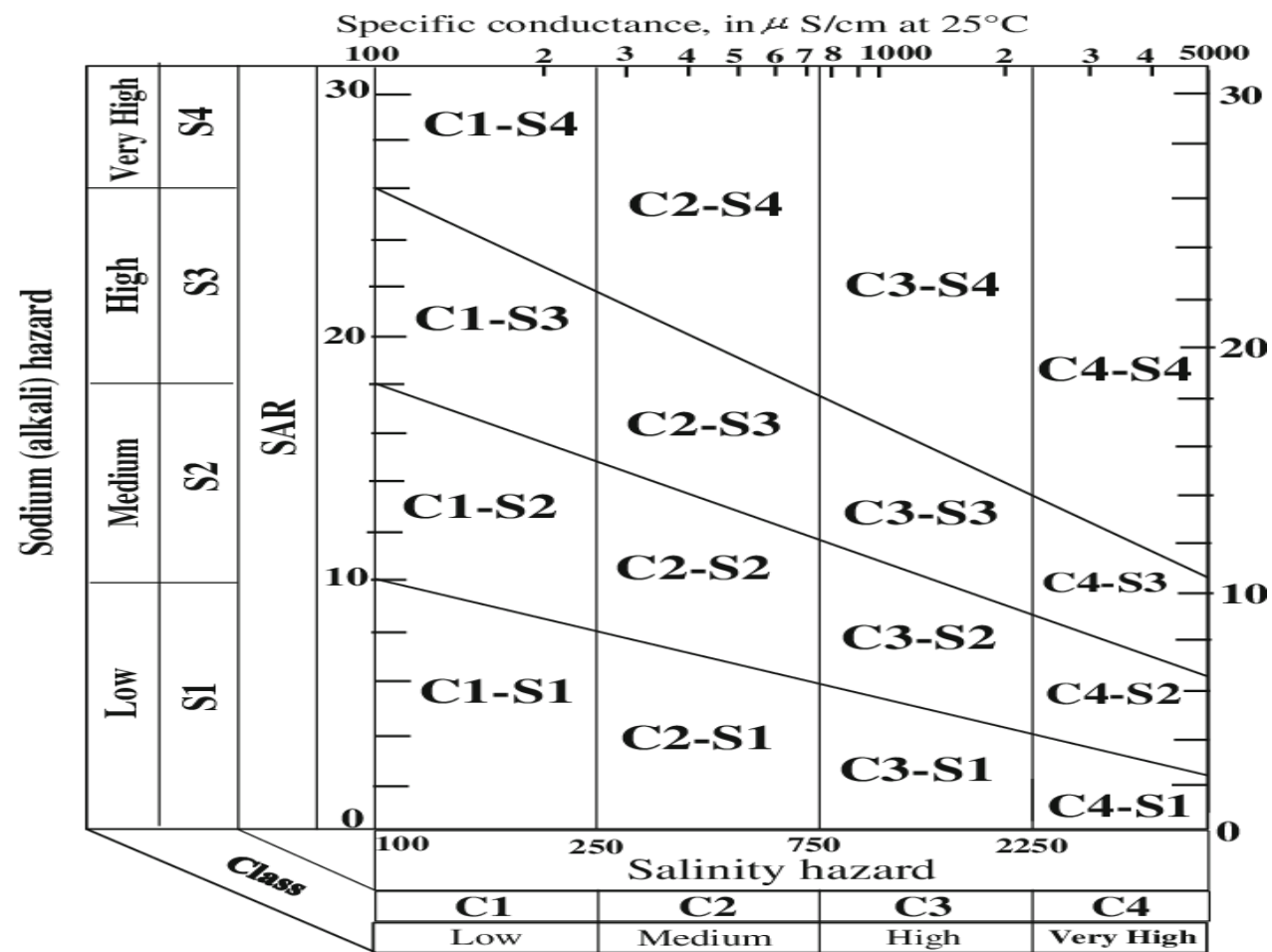
Coefficients culturels pour divers stades de croissance

	Stade de Croissance			
	Initial	Développement	Mi-saison	Tardif
Agrume	0.75	0.75	0.75	0.75
Arachide	0.40	0.78	1.15	0.60
Banane	1.00	1.00	1.00	1.00
Betterave sucrière	0.35	0.78	1.20	0.70
Blé	0.40	0.78	1.15	0.30
Cacao	1.00	1.00	1.00	1.00
Café	1.00	1.00	1.00	1.00
Canne à sucre	1.00	1.00	1.00	1.00
Caoutchouc	1.00	1.00	1.00	1.00
Coton	0.35	0.78	1.20	0.60
Colza	0.35	0.73	1.10	0.35
Cultures oléagineuses	0.35	0.75	1.15	0.35
Fibres textiles	0.35	0.68	1.00	0.60
Fourrage	0.40	0.70	1.00	0.90
Fruit	0.75	0.75	0.75	0.75
Légumes	0.60	0.85	1.10	0.90
Légumes secs	0.40	0.78	1.15	0.55
Mais	0.30	0.75	1.20	0.60
Manioc	0.60	0.85	1.10	0.90
Millet	0.30	0.65	1.00	0.30
Noix de coco	1.00	1.00	1.00	1.00
Orge	0.30	0.73	1.15	0.25
Palme	1.00	1.00	1.00	1.00
Patate douce	1.00	1.00	1.00	1.00
Plantain	1.00	1.00	1.00	1.00
Pomme de terre	0.50	0.83	1.15	0.75
Riz	1.20	1.15	1.10	0.80
Sésame	0.35	0.73	1.10	0.25
Soja	0.40	0.78	1.15	0.50
Sorgho	0.30	0.70	1.10	0.55
Tabac	0.50	0.85	1.20	0.80
Thé	1.05	1.05	1.05	1.05
Autres racines	1.00	1.00	1.00	1.00
Autres céréales	1.00	1.00	1.00	1.00
Tournesol	0.35	0.73	1.10	0.35

ANNEXE 03:Diagramme bioclimatique d'Emberger



ANNEXES 4 : Diagramme USSL 1954 de classification des eaux



ANNEXES 05

Tableau 1: L'analyse des profils au laboratoire.

Horizons		H1	H2	H3
Profondeur de prélèvement des échantillons (cm)		0-	35-	80-
Granulométrie	Argile %	35,	32,	30,
	Limon fin %	18,	18,	20.
	Limon grossier %	9.5	12.	11.
	Sable fin %	20.	18.	26.
	Sable grossier %	16.	18.	10.
Matière organique	Matière organique %	1,4	0,5	0,3
	Carbone C ‰	8,5	3,3	2,3
	Azote N ‰	0,7	0,6	0,6
	C/N	11,	5,2	3,4
Réserve minérales	CaCO ₃ Total %	12,	22,	21,
	CaCO ₃ Actif %	2	2	2
	P205 Total ‰	39,	39,	34,
	K20 Total ‰	39,	39,	34,
Complexe absorbant	Ca ⁺⁺ en méq /100 g	22,	16,	16,
	Mg ⁺⁺ en méq /100 g	4,1	5,1	5,2
	K ⁺ en méq /100 g	1,1	0,3	0,4
	Na ⁺ en méq /100 g	1,5	2,0	1,3

Tableau 2: Les caractéristiques de la retenue de boukali :

Dénomination	Unité	quantité
Hauteur de la digue	m	15.5
Volume mort	M.m3	0.29
Volume utile	M.m3	0.835
Volume au niveau normal de la retenue	M.m3	1.13
Cote de fond	m	100.5
Cote au niveau mort (NVM)	m	106
Cote au niveau normal de retenue	m	112.9
Cde plus hautes eaux (NPHE)	m	114.3
Cote de la crête	m	116
Largeur de déversoir	m	35
Débit évacué	m3 /s	180.95
D. C de vidange	mm	500

