



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

**Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre d'irrigation
des Arribs secteur N3 (400 ha) à partir du barrage Lakehal
(W. Bouira)**

Présenté par :

BELMOKHTAR Khalil

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms

Grade

Qualité

BOUALEM Salah
SADOUNE Samra
MAZOUZI Sabra
AZIEZ Ouahiba

Professeur
M.C.A
M.A.A
M.C.B

Président
Examinatrice
Examinatrice
Promotrice

Session juillet 2025

DEDICACES

À ma chère mère,

C'est avec une profonde affection et gratitude que je présente ce mémoire. Votre dévouement infatigable a été le moteur qui m'a conduit à ce moment spécial de ma vie. Chère maman, vous êtes mon modèle de vie, ma source d'inspiration constante. J'espère que vous êtes fière des réalisations que j'ai accomplies aujourd'hui. Votre amour incommensurable et votre soutien sans limites ont été les fondations sur lesquelles reposent tous mes succès.

À mon père bien-aimé,

Avec émotion, je clôture ce chapitre académique, chaque succès étant tissé de tes rêves. Tu as toujours cru en moi, été ma lumière. Aujourd'hui, je réalise tes espoirs à travers chaque livre lu, chaque examen réussi, chaque défi surmonté. Ta foi m'a guidé, même sans ta présence physique, je sens ton amour à chaque étape.

À mes chères sœurs,

J'ai toujours été une source de force et de force dans ma carrière. Ce mémoire est dédié à toi en reconnaissance de notre lien indéfectible et de toutes les fois où tu as été mon rocher dans les moments difficiles.

À mes amies,

Ceux qui ont partagé mes rires dans les moments de bonheur et allégé mes peines dans les moments difficiles. Votre amitié est un trésor que je tiens dans le cœur. Ce travail est dédié à chacun de vous.

À la famille BELMOKHTAR et la famille CHERIFI, chacun en son nom, je vous dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu Tout-Puissant pour m'avoir guidé, pardonné mes erreurs et accordé la persévérance nécessaire à l'aboutissement de ce mémoire scientifique.

Je remercie chaleureusement mon encadrante, Madame AZIEZ Ouahiba, pour ses conseils éclairés, son accompagnement rigoureux et son soutien constant, qui ont été essentiels tout au long de ce travail. Ses orientations pertinentes ont su canaliser mes efforts de manière précise et constructive.

Ma reconnaissance s'étend à toutes les personnes qui m'ont soutenu au cours de cette aventure, en particulier Monsieur HADI Mustapha, pour les informations précieuses qu'il m'a fournies, ainsi que Monsieur HADJ SADOK Oussama, pour sa disponibilité, ses conseils judicieux et son aide généreuse.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à Monsieur BENKACI Ali Tarek, dont le soutien précieux et les recommandations avisées m'ont été d'une grande aide.

Mes remerciements vont également à l'ensemble de mes professeurs, qui ont su transmettre leur savoir avec passion et ont contribué à l'enrichissement de mes compétences scientifiques. Je remercie toute personne ayant, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je témoigne ma reconnaissance aux membres du jury pour le temps consacré à l'évaluation de mon travail et pour leurs remarques constructives.

ملخص

ت تعاني الجزائر بصفة عامة وولاية البويرة خصوصا من التناقص المستمر فيما يتعلق بوفرة الموارد المائية وهذا راجع في الأغلب للجفاف والاستغلال اللاعقلاني للمياه وهذا ما ينعكس سلبا على قطاع الزراعة. وعليه فالهدف الرئيسي من هذه المذكرة النهائية هو دراسة وإدارة الموارد المائية المتاحة لتصميم شبكة سقي فعالة لمنطقة عريب، القطاع رقم 3 (400 هكتار)، الواقعة في ولاية البويرة، باستخدام المياه من سد لكحل. وتعتمد هذه الطريقة على تحليل دقيق للبيانات الهيدرولوجية والمناخية والتربة، مما يسمح باختيار المحاصيل ومتطلبات المياه اللازمة لإنشاء نظام سقي مثالي. ويهدف اعتماد تقنيات الري الحديثة (السقي بالرش والسقي بالتنقيط) إلى تحديث نظام التوزيع وتحسين إنتاجية المحاصيل وضمان الربحية المستدامة للمشروع.

الكلمات المفتاحية عين بسام، سد لكحل، الري، الزراعة، المحاصيل.

Résumé

L'Algérie, en général, et la wilaya de Bouira, en particulier, souffrent d'une diminution continue de la disponibilité des ressources en eau, principalement en raison de la sécheresse et de l'exploitation irrationnelle de cette ressource. Cette situation a des répercussions négatives sur le secteur agricole. Ainsi, l'objectif principal de ce mémoire de fin d'études est l'étude et la gestion des ressources en eau disponibles en vue de concevoir un réseau d'irrigation efficace pour la zone des Arribs, secteur n°3 (400 hectares), située dans la wilaya de Bouira, en utilisant les eaux du barrage Lekhal. Cette démarche repose sur une analyse approfondie des données hydrologiques, climatiques et pédologiques, permettant le choix des cultures adaptées et l'estimation des besoins en eau nécessaires pour mettre en place un système d'irrigation optimal. L'adoption de techniques d'irrigation modernes (irrigation par aspersion et irrigation goutte-à-goutte) vise à moderniser le système de distribution, améliorer la productivité des cultures et garantir la rentabilité durable du projet.

Mots clés : Aïn Bessem, barrage Lekhal, irrigation, agriculture, cultures.

Abstract

Algeria in general, and the Bouira province in particular, are experiencing a continuous decline in the availability of water resources. This is mainly due to drought and the irrational exploitation of water, which negatively impacts the agricultural sector. Therefore, the main objective of this final thesis is to study and manage the available water resources in order to design an efficient irrigation network for the Arrib area, sector No. 3 (400 hectares), located in the Bouira province, using water from the Lekhal dam. This approach is based on a thorough analysis of hydrological, climatic, and soil data, allowing for the selection of suitable crops and the estimation of water requirements needed to establish an optimal irrigation system. The adoption of modern irrigation techniques (sprinkler and drip irrigation) aims to modernize the distribution system, improve crop productivity, and ensure the sustainable profitability of the project.

Keywords: Aïn Bessem, Lekhal Dam, irrigation, agriculture, crop.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	i
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Analyse Des Conditions Naturelles.....	2
Introduction.....	2
I.1 Description géographique de la wilaya de Bouira	2
I.2 Présentation de la zone d'étude.....	2
I.3 Situation topographique.....	3
I.4 Situation hydro-morphologique.....	3
I.5 Situation Climatique	3
I.5.1 Précipitation	4
I.5.2 La température	4
I.5.3 Le vent	5
I.5.4 L'humidité relative.....	6
I.5.5 L'isolation.....	7
I.5.6 Le sirocco.....	7
I.5.7 Evaporation.....	8
I.6 Les indices agrométéorologiques.....	8
I.6.1 L'indice d'aridité de Martonne	8
I.6.2 Quotient Ombrothermique d'Emberger.....	9
I.6.3 Indice de Bagnols et Gaussen	10
Conclusion	10
Chapitre II : Les ressources en eau et en sol	11
Introduction.....	11
II.1 Ressources en eau.....	11
II.1.1 Barrage lakehal.....	11
II.1.2 Qualité d'eau de barrage Lakehal.....	11
II.1.3 Classification des eaux d'irrigation	12
II.2 Ressources en sol.....	14
II.2.1 Classification des sols.....	14
II.2.2 Analyse physico-chimique des sols.....	14

II.2.3	La texture de sol	15
II.2.4	Les aptitudes culturales des sols	16
II.3	Etude Hydrologique.....	16
II.3.1	Choix de la station pluviométrique.....	16
II.3.2	Test d'homogénéité	17
II.3.3	Ajustement de la série pluviométrique	18
II.3.4	Choix de la loi d'ajustement.....	20
II.3.5	Détermination de l'année de calcul	21
	Conclusion	22
Chapitre III : Besoins En Eau Des Cultures.....		23
	Introduction.....	23
III.1	Besoins en eau du périmètre.....	23
III.1.1	Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET0)	23
III.1.2	Calcul de la Pluie efficace	25
III.2	Calcul de la réserve en eau du sol.....	26
III.3	Choix des cultures	26
III.3.1	Les cultures proposées.....	26
III.3.2	L'assolement des cultures.....	27
III.4	Calcul de débit spécifique.....	33
III.4.1	Débit caractéristique.....	34
III.4.2	Estimation des volumes d'eau d'irrigation.....	34
	Conclusion	35
Chapitre IV : Étude du Système d'Adduction et de Distribution		36
	Introduction.....	36
IV.1	Réseau d'irrigation	36
IV.1.1	Classification des réseaux d'irrigation	36
IV.2	Organisation du périmètre	36
IV.2.1	Les ilots	37
IV.2.2	Les bornes.....	37
IV.3	Description de l'aménagement du périmètre.....	39
IV.3.1	Conception d'un système de pompage pour l'irrigation.....	39
IV.3.2	Protection contre cavitation	43
IV.3.3	Dimensionnement du réservoir de stockage	44
IV.4	Etude du système d'adduction-distribution (desserte gravitaire)	44
IV.4.1	Choix du matériau des conduits.....	44
IV.4.2	La simulation des pressions et les vitesses	45

Conclusion	52
Chapitre V : Dimensionnement à la Parcelle	53
Introduction.....	53
V.1 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par goutte à goutte	53
V.1.1 Calcul de l'évapotranspiration corrigée	53
V.1.2 Calcul de la dose d'irrigation corrigée :	54
V.1.3 Paramètres d'arrosage.....	54
V.1.4 Calcul hydraulique des rampes et ports-rampes	55
V.1.5 Diamètres des rampes et la ports-rampe	56
V.1.6 Vérification des pertes de charge.....	56
V.1.7 Dimensionnement de la conduite tertiaire	57
V.2 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion	57
V.2.1 Calcul de la dose pratique.....	57
V.2.2 Dimensionnement de l'asperseur	57
V.2.3 Calcul hydraulique des rampes et porte rampe	60
V.2.4 Dimensionnement de la porte rampe	60
Conclusion	61
Chapitre VI : Étude technico-économique	62
Introduction.....	62
VI.1 Les différentes phases de réalisation des réseaux d'adduction et de distribution.....	62
VI.1.1 Excavation des tranchées.....	62
VI.1.2 Mise en place du lit de sable.....	62
VI.1.3 Pose des conduites	62
VI.1.4 Essais de conformité des conduites (pression et joints).....	62
VI.1.5 Opération de remblai de la tranchée	63
VI.1.6 Travaux de nivellement et de compactage.....	63
VI.2 Évaluation des volumes liés aux travaux de terrassement.....	63
VI.2.1 Dimensions des tranchées.....	63
VI.2.2 Détermination des quantités de terrassement	65
VI.3 Estimation de cout total du projet :	66
VI.3.1 Coût de réseau adduction :	66
VI.3.2 Coût de réseau de distribution :	66
VI.3.3 Estimation de coût des volumes de terrassement de réseau de distribution	67
VI.3.4 Coût du bassin de stockage.....	67
VI.3.5 Devis des travaux	68
Conclusion	68

CONCLUSION GENERALE	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	71
Annexe I : Répartition mensuelle et annuelle des pluies	I
Annexe II : Tableau de calcul de Khi carré théorique	II
Annexe III : Coefficient culturaux (Kc).....	III
Annexe IV : Nouvelle gamme des asperseurs de type Perrot.....	IV

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Situation géographique de la wilaya de Bouira	2
Figure I.2. Secteur 3 du périmètre des Arrib (Source : Google Earth, 2025)	3
Figure I.3. Répartition de la pluie moyenne mensuelle (mm)	4
Figure I.4. Variation des températures mensuelles	5
Figure I.5. Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s)	6
Figure I.6. L'humidité relative moyenne mensuelle (%)	6
Figure I.7. Répartition de l'insolation mensuelle	7
Figure I.8. Variation de nombre des jours de sirocco	8
Figure I.9. Diagramme bioclimatique d'Emberger	9
Figure I.10. Le digramme ombrothermique de Gaussen	10
Figure II.1. Diagramme de la classification des eaux d'irrigation de l' USSL (1954)	13
Figure II.2. Analyse texturale des sols étudiés (triangle de texture USDA)	15
Figure II.3. Ajustement graphique à la loi de Gauss	19
Figure II.4. Ajustement graphique a la loi Log-normale	20
Figure IV.5. Bilan des frais en fonction des diamètres.	42
Figure IV.2. Simulation des pressions du réseau.	46
Figure IV.3. Simulation des vitesses du réseau.	47
Figure VI.4. Profil à travers d'une tranchée	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Station météorologique de Ain Bessam	4
Tableau I.2. La précipitation moyenne	4
Tableau I.3. Répartition de la température moyenne mensuelle et annuelle	5
Tableau I.4. Les vitesses moyennes mensuelles du vent	5
Tableau I.5. L'humidité relative moyenne mensuelle (%)	6
Tableau I.6. Insolation mensuelle (h)	7
Tableau I.7. Répartition des jours de sirocco	7
Tableau I.8. Classification climatique selon Martonne	9
Tableau I.9. Moyenne mensuelle des températures et des précipitations	10
Tableau II.3. Résultats des analyses physico-chimiques	15
Tableau II.4. Propriétés hydrodynamiques du sol	16
Tableau II.5. Les caractéristiques de la station pluviométrique « Ain Bessam »	16
Tableau II.6. Test d'homogénéité de la série des précipitations	17
Tableau II.7. Résultats de test de χ^2 de la station pluviométrique Ain Bessam	21
Tableau II.8. La pluie en fonction de la période de retour	22
Tableau II.9. Calcul des précipitations mensuelles pour une fréquence de 80% (mm)	22
Tableau III.1. Evapotranspiration de référence calculée (ET0)	25
Tableau III.2. Calcul de la pluie efficace	25
Tableau III.3. Les cultures retenues pour la région d'Aïn Bessam	27
Tableau III.4. Assolement proposé pour le périmètre	27
Tableau III.5. Calendrier d'occupation des sols	27
Tableau III.6. Besoin en eau de blé	28
Tableau III.7. Besoin en eau de l'orge	28
Tableau III.8. Besoin en eau de l'avoine	29
Tableau III.9. Besoin en eau de pomme de terre	29
Tableau III.10. Besoin en eau du haricot	29
Tableau III.11. Besoin en eau de la carotte	30
Tableau III.12. Besoin en eau d'aubergine	30
Tableau III.13. Besoin en eau d'Ail	30
Tableau III.14. Besoin en eau de laitue	31
Tableau III.15. Besoin en eau de tomate	31
Tableau III.16. Besoin en eau de piment	31

Tableau III.17. Besoin en eau de vigne	32
Tableau III.18. Besoin en eau d'olivier	32
Tableau III.19. Besoin en eau de l'assolement 1	33
Tableau III.20. Besoin en eau de l'assolement 2	33
Tableau III.21. Besoin en eau total	34
Tableau IV.1. Choix du diameter de la borne	37
Tableau IV.2. Calcul des débits des ilots et choix du diamètre et type de bornes	38
Tableau IV.3. Résultats du calcul de la HMT pour les différents diamètres.	40
Tableau IV.4. Calcul de frais d'amortissement.	41
Tableau IV.5. Calcul des frais d'exploitation.	41
Tableau IV.6. Bilan des frais.	42
Tableau IV.7. Choix de nombre des pompes	43
Tableau IV.8. Résultats de calcul hydraulique du réseau	48
Tableau V.1. Récapitulatif du réseau d'irrigation par goutte à goutte	57
Tableau V.2. Récapitulatif du réseau d'irrigation par aspersion	61
Tableau VI.1. Résultats du calcul des dimensions pour différents diamètres.	64
Tableau VI.2. Estimation des différents volumes	66
Tableau VI.3. Quantités de terrassement	66
Tableau VI.4. Cout de réseau de distribution	66
Tableau VI.5. Cout de terrassement de réseau de distribution	67
Tableau VI.6. Cout de terrassement pour le bassin de stockage	67
Tableau VI.7. Devis des travaux	68

INTRODUCTION GENERALE

La superficie irriguée dans le monde dépasse 280 millions d'hectares, mais sa répartition varie fortement selon les continents. Fait intéressant, les pays les plus irrigués ne sont pas nécessairement ceux à climat aride ou semi-aride. Malgré les efforts déployés pour étendre les terres irriguées dans les pays semi-arides, une part importante des terres reste exploitée en culture sèche.

Dans ce contexte, la majorité des zones irriguées en Algérie sont confrontées à un stress hydrique, une situation qui varie selon les régions agricoles, bioclimatiques et pédologiques. L'irrigation non maîtrisée aggrave ce problème, entraînant une dégradation sévère des sols, notamment par la salinisation, ainsi qu'un appauvrissement en amendements organiques. Les précipitations posent également des défis : elles provoquent des inondations, mais en hiver, elles contribuent au remplissage des réservoirs et des nappes phréatiques qui alimentent les stations d'irrigation.

Actuellement, les agriculteurs redoutent que la sécheresse n'affecte leurs cultures et ne menace la sécurité alimentaire du pays. Cette situation pourrait entraîner une baisse importante des rendements agricoles et accentuer la dépendance du secteur. Dans ce contexte, la gestion de l'eau d'irrigation via un réseau d'adduction devient essentielle pour optimiser les ressources hydriques et garantir un certain niveau de sécurité alimentaire.

Notre projet porte sur l'aménagement hydro-agricole et l'irrigation du périmètre les Arrib (secteur 3), situé dans la wilaya de BOUIRA, sur une superficie de 400 hectares. L'objectif principal de ce projet est la mise en place d'un réseau d'irrigation alimenté par le barrage LAKEHAL.

Après une introduction générale, l'étude se poursuivra par l'analyse des conditions naturelles, avant d'aborder le calcul des besoins en eau d'irrigation. Elle se conclura par une évaluation technique et économique du coût total du projet afin d'en assurer la bonne mise en œuvre.

Chapitre I : Analyse Des Conditions Naturelles

Introduction

L'aménagement hydro-agricole du périmètre d'irrigation est influencé par toutes les caractéristiques naturelles de la région, de manière directe ou indirecte. Ce chapitre se concentre sur la définition des différentes situations naturelles de la zone d'étude, à savoir les plaines des Arribs, situées dans la daïra d'Ain Bessam, wilaya de Bouira. Il vise à mieux comprendre les particularités de la zone afin de pouvoir adapter de manière optimale le réseau d'irrigation et ainsi optimiser l'aménagement hydro-agricole.

I.1 Description géographique de la wilaya de Bouira

La wilaya de Bouira se situe dans la région Nord du pays. Elle s'étend sur une superficie de 4456,26 km² représentant 0,19% du territoire national, et se divise en 12 daïras et 45 communes.

La wilaya de Bouira est délimitée par :

- Au Nord, par les wilayas de Boumerdes et de Tizi-Ouzou ;
- A l'Est, par les wilayas de Bejaïa et de Bordj Bou Arreridj ;
- Au Sud, par les wilayas de M'sila et de Médéa ;
- A l'Ouest, par les wilayas de Médéa et de Blida.

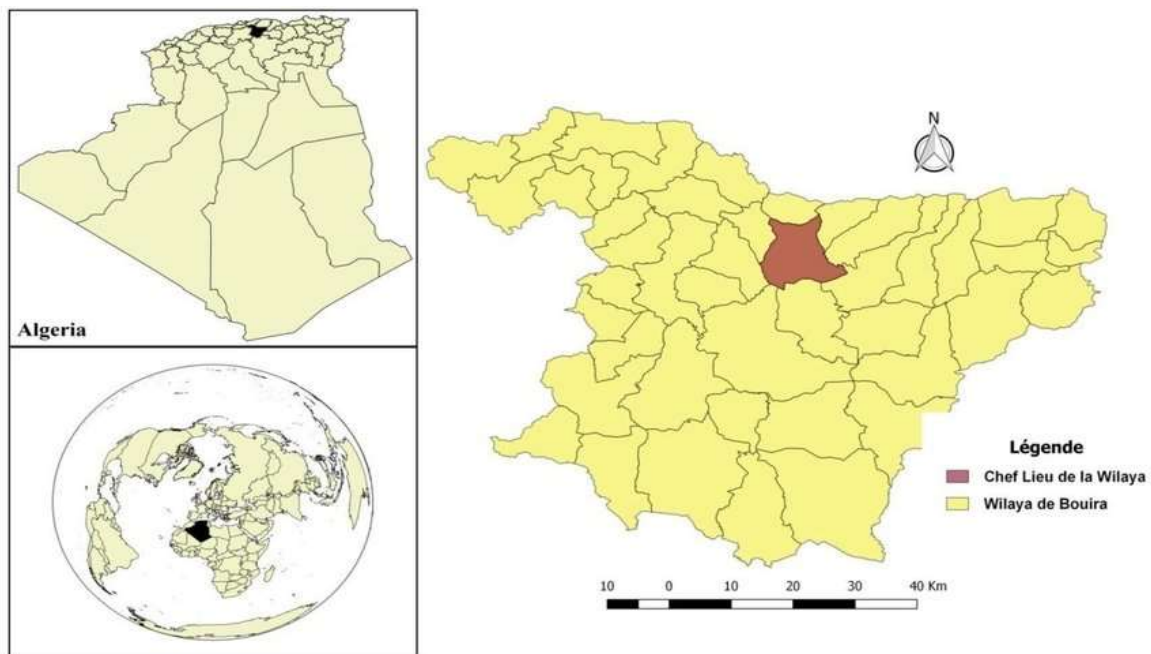


Figure I.1. Situation géographique de la wilaya de Bouira

I.2 Présentation de la zone d'étude

Le périmètre des ARRIBS occupe un plateau situé entre l'Atlas tellien et la chaîne montagneuse de Sour El Ghoulane. Il est caractérisé par des altitudes variant de 600 à 750 mètres. Il s'agit d'une plaine trapézoïdale élargie vers l'Ouest, dont la longueur moyenne est de 10 km et la largeur moyenne de 5 km.

Il est limité au nord par l'oued Bou Djaffer, au Sud par la chaîne de montagnes de Sour El Ghozlane, à l'Est par l'oued Fahem et à l'Ouest par l'oued Kararif.

Le périmètre des Arribs couvre une superficie de 2 200 ha, divisée en trois secteurs :

- Secteur 1 : 300 ha
- Secteur 2 : 1 500 ha
- Secteur 3 : 400 ha

Dans notre mémoire on s'intéresse à l'aménagement de secteur (3) de superficie 400 ha.



Figure I.2. Secteur 3 du périmètre des Arrib (Source : Google Earth, 2025)

I.3 Situation topographique

Les altitudes de la région varient entre 385 et 1029 mètres. Le terrain présente généralement une inclinaison douce, ce qui le rend adapté à l'irrigation, en particulier dans sa partie centrale s'étendant jusqu'à la périphérie. Cependant, cette inclinaison augmente progressivement, atteignant par endroits des valeurs allant de 10 à 12 %, situés à environ 1,5 kilomètre à l'ouest d'Ain-Bessem. Il est important de noter que 15 % de la superficie totale du périmètre présentent des pentes supérieures à 3 %.

I.4 Situation hydro-morphologique

Sur le plan hydrologique, la plaine des Arribs appartient au bassin versant de la Soummam, ainsi qu'au sous-bassin d'Oued Eddous qui s'étend sur 901,56 km² pour un périmètre de 205,05 km. La ligne de partage des eaux superficielles divise la plaine en deux parties inclinées, l'une au Nord-Est et l'autre au Sud-Ouest.

I.5 Situation Climatique

L'analyse du climat permet d'examiner des facteurs clés tels que les précipitations et la température, qui influencent l'équilibre hydrologique et les besoins en eau des cultures. L'analyse

climatique est réalisée à partir des données de la station météorologique de Ain Bessam, située à proximité de la zone d'étude. Ces données couvrent la période de 1995 à 2024, soit plus de vingt ans. Elles sont obtenues auprès de l'Office Nationale de Météorologie (ONM). Ces informations sont ensuite utilisées dans un cadre répondant aux caractéristiques suivantes :

Tableau I.1. Station météorologique de Ain Bessam

Station	Coordonne UTM		Altitude (m)	Période d'observation	Nombre d'années d'observé
	Latitude	Longitude			
Ain Bessam	36°19' N	0°32 E	748	1995-2024	30

I.5.1 Précipitation

L'analyse des données mensuelles de précipitations permet de comprendre la répartition de la pluviométrie sur l'ensemble de l'année. Les données de précipitations enregistrées au cours de la période 1995-2024 telles que présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.2. La précipitation moyenne

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	AN
P(mm)	40.24	34.91	51.68	64.05	54.82	42.35	46.78	49.73	40.07	11.73	6.34	13.17	457.53

(Source : ONM, Ain Bessam 2024)

Selon le **Tableau I.2**, la région d'Ain Bessam connaît une variabilité pluviométrique toute l'année, ce qui explique que la saison d'été soit marquée par de faibles précipitations, avec des moyennes mensuelles variant entre 6,34 et 13,17 mm. Les autres mois connaissent quant à eux des précipitations abondantes, avec des valeurs allant de 34,91 à 64,05 mm.

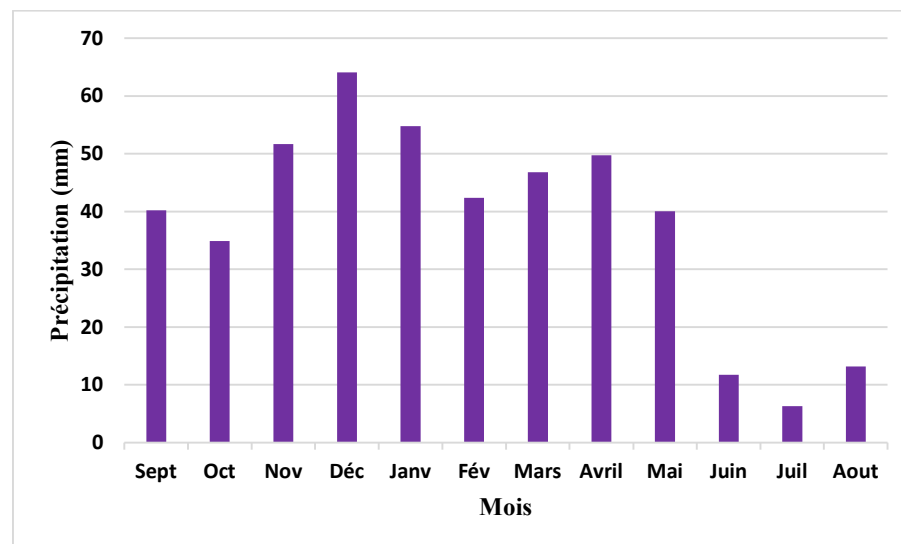


Figure I.3. Répartition de la pluie moyenne mensuelle (mm)

I.5.2 La température

Les températures moyennes mensuelles ont été relevées par la station météorologique de Ain Bessam. Le Tableau ci-dessous présente un récapitulatif des moyennes mensuelles et annuelles.

Tableau I.3. Répartition de la température moyenne mensuelle et annuelle

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	AN
T _{min} (°C)	5.1	4.4	11	12.7	14.1	20.4	21.4	24.3	18	16.5	10.3	6.2	4.4
T _{moy} (°C)	8.1	8.7	12.3	14.4	19.3	24.8	26.9	27.6	22	18.6	12.2	8.7	17
T _{max} (°C)	10.4	11.6	16.1	16.4	23.3	27	29.6	30.8	24.4	21.4	13.7	11.3	30.8

(Source : ONM, Ain Bessam 2024)

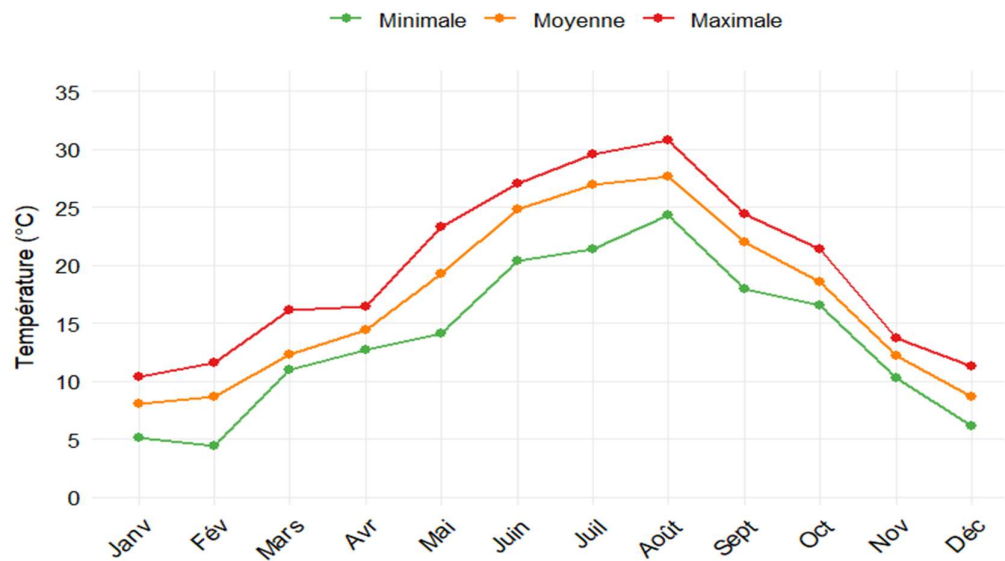


Figure I.4. Variation des températures mensuelles

D'après les données du tableau, la région d'Ain Bessem présente un climat méditerranéen caractérisé par de fortes variations de température tout au long de l'année. La région connaît sa période la plus chaude entre Juin et Août. À l'inverse, la période la plus froide correspond aux mois de Décembre, Janvier et Février.

I.5.3 Le vent

Le vent joue un rôle essentiel dans le climat, influençant le taux d'évaporation de l'eau des plantes, ce qui a un impact sur leur croissance et leur santé. Ces informations présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.4. Les vitesses moyennes mensuelles du vent

Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	AN
V _{moy} (m/s)	3.6	3.5	6.3	4.2	3.7	2.8	3.0	3.0	3.0	2.9	2.6	2.6	3.4

(Source : ONM de Ain Bessam 2024)

La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3.9 m/s et atteint son maximum en mars. Les fluctuations de la vitesse restent relativement stables tout au long de l'année, ce qui est bénéfique pour l'irrigation et la planification.

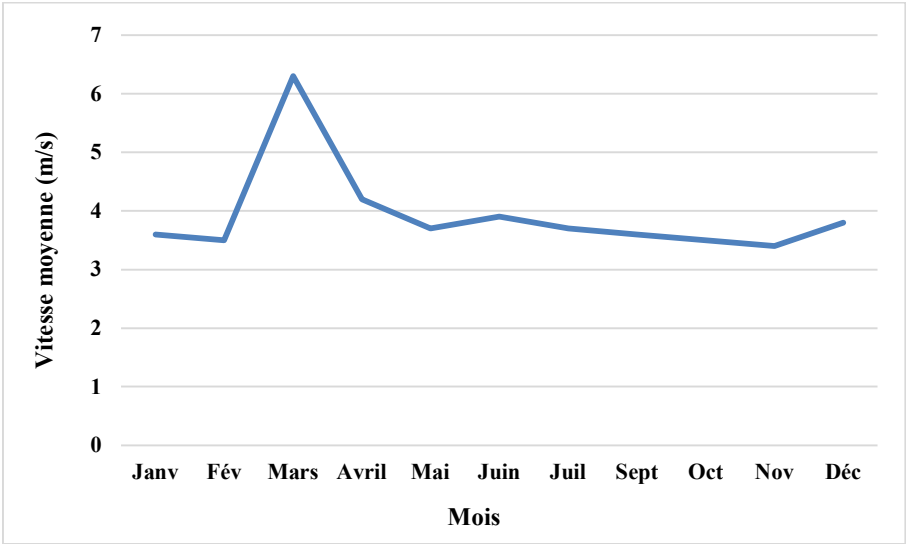


Figure I.5. Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s)

I.5.4 L’humidité relative

L'humidité relative montre combien d'eau en vapeur il y a dans l'air par rapport à ce que l'air peut contenir à une température donnée. Il y a de grandes différences entre l'humidité en hiver et en été dans la région étudiée.

Tableau I.5. L’humidité relative moyenne mensuelle (%)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	AN
HR(%)	72.8	65.6	63.2	58.5	53.3	42.5	36.2	40.0	53.8	59.5	69.9	73.5	57.4

(Source : ONM, Ain Bessam 2024)

Le mois de Décembre et Janvier sont les plus humide, avec un taux d'humidité de 73,5 et 72.8% respectivement, tandis que le mois de Juillet est le plus sec, avec un taux d'humidité de 36.2 %.

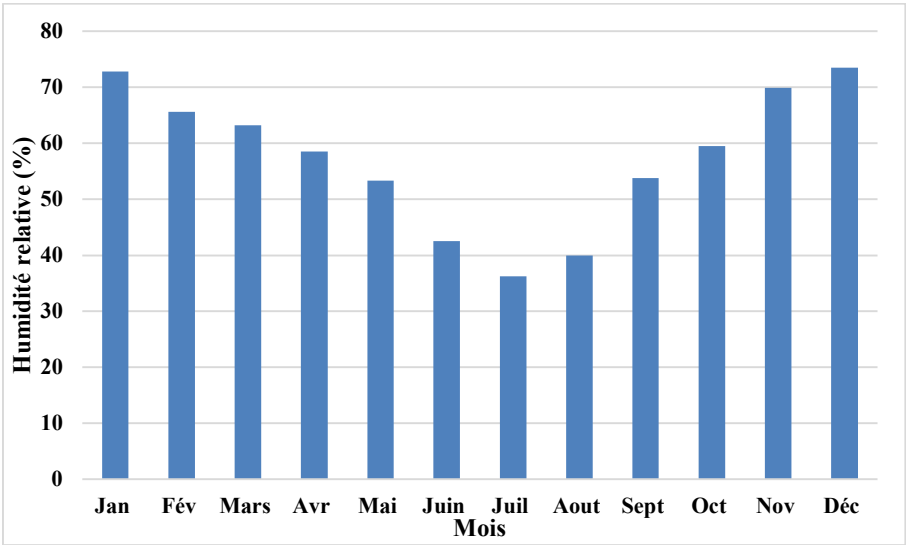


Figure I.6. L’humidité relative moyenne mensuelle (%)

I.5.5 L’isolation

L'insolation, également appelée radiation solaire globale, représente la durée totale mensuelle d'ensoleillement en supposant un ciel sans nuages. Elle est mesurée à l'aide de l'héliographe Campbell et exprimée en heures.

Tableau I.6. Insolation mensuelle (h)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	AN
Insolation (h)	6.5	7.1	7.5	7.7	8.1	8.9	8.6	8.5	7.9	7.6	6.7	5.8	7.6

(Source : ONM, Ain Bessam 2024)

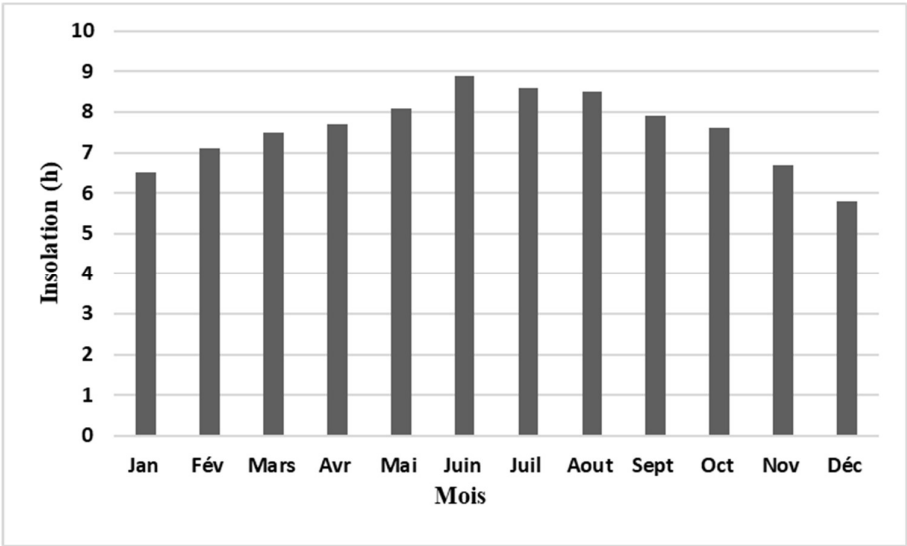


Figure I.7. Répartition de l’insolation mensuelle

La période de l’été est associée aux valeurs d'insolation les plus élevées.

I.5.6 Le sirocco

Le vent du Sud ou sirocco, souffle dès la fin du printemps et durant l’été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l’évapotranspiration des végétaux.

Tableau I.7. Répartition des jours de sirocco

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	AN
N°de jours	0	0	0	0	0	4	5	0	0	0	0	0	9

(Source : ONM, Ain Bessam 2024)

Le sirocco s’étend pour les mois de Juin et Juillet.

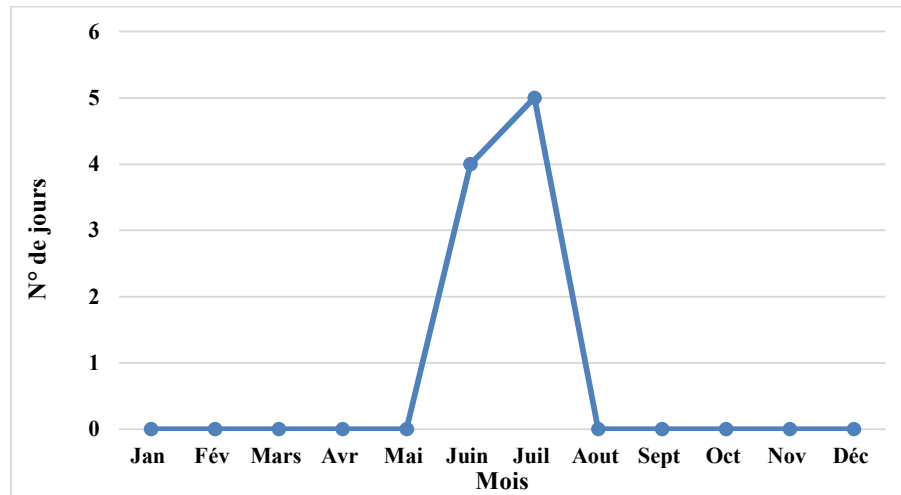


Figure I.8. Variation de nombre des jours de sirocco

I.5.7 Evaporation

Le passage de l'état liquide à l'état de vapeur, appelé évaporation, est un processus graduel qui contribue à la réduction de la température ambiante.

Les mois de Juillet et d'Août sont les plus critiques pour l'évaporation, principalement en raison de la hausse des températures.

I.6 Les indices agrométéorologiques

Pour comprendre le climat et ses effets sur les plantes, il faut tenir compte de deux indices fondamentaux : l'indice de Martonne et le quotient ombrothermique d'Emberger. Ces indices sont largement utilisés pour l'évaluation du climat.

I.6.1 L'indice d'aridité de Martonne

Cet indice donne une idée du niveau de sécheresse de la région, ce qui est essentiel pour comprendre ses implications sur les pratiques d'irrigation. Il constitue un outil précieux pour la planification de la production agricole et la gestion des ressources en eau.

L'indice d'aridité de Martonne s'obtient à l'aide de la relation suivante :

$$IA = \frac{P}{T+10} \quad (I.1)$$

Avec :

- I_A : indice d'aridité de Martonne.
- P : pluie moyenne annuelle en (mm).
- T : température moyenne annuelle en (°C).

Les limites du climat selon l'indice climatique de Martonne sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.8. Classification climatique selon Martonne

Valeur de I	Type d 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

A.N: $I_A = \frac{457.53}{17+10} = 16.94$

Alors : La région d'Ain Bessam se caractérise par un climat sec qui nécessite des pratiques d'irrigation fréquentes.

I.6.2 Quotient Ombrothermique d'Emberger

Cet indice permet de déterminer l'étage bioclimatique et il est calculé par la formule suivante :

$$Q = \frac{P}{M^2 - m^2} \times 2000 \quad (I.1)$$

Avec:

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

Le diagramme bioclimatique d'Emberger est représenté dans la figure suivante :

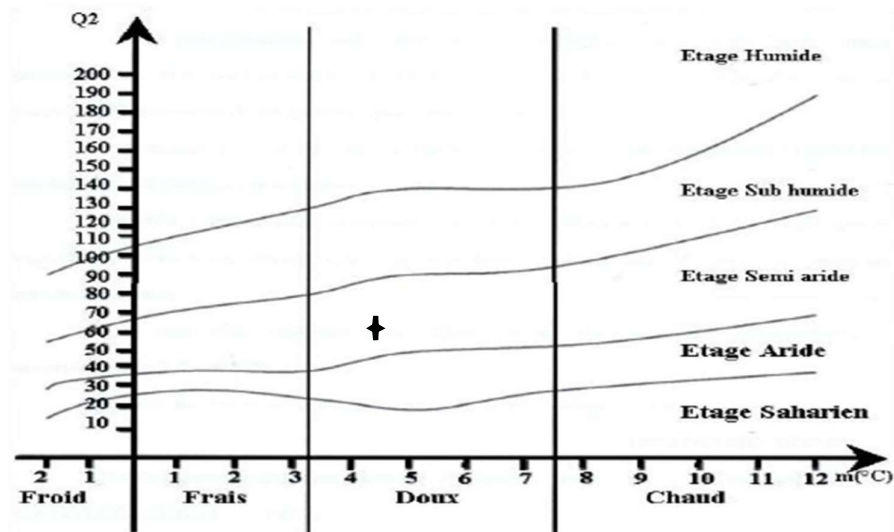


Figure I.9. Diagramme bioclimatique d'Emberger

A.N : $Q = \frac{2000 \times 457.53}{(30.8 + 273.15)^2 - (4.4 + 273.15)^2} = 59.61$

D'après le diagramme bioclimatique d'emberger, on peut dire que le climat de notre région est un climat semi-aride avec hiver doux.

I.6.3 Indice de Bagnols et Gaussen

Le diagramme ombrothermique permet de représenter visuellement les données climatiques, notamment les précipitations et les températures sur une période donnée. Il permet d'identifier les périodes de sécheresse et d'estimer les besoins en irrigation de chaque région. Cette méthode consiste à représenter les mois sur l'axe des abscisses et les précipitations et les températures moyennes sur le même graphique, tout en conservant l'échelle $P = 2T$.

Tableau I.9. Moyenne mensuelle des températures et des précipitations

Mois	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	54.82	42.35	46.78	49.73	40.07	11.73	6.34	13.17	40.24	34.91	51.68	64.05
T _{moy} (°C)	8.1	8.7	12.3	14.4	19.3	24.8	26.9	27.6	22	18.6	12.2	8.7

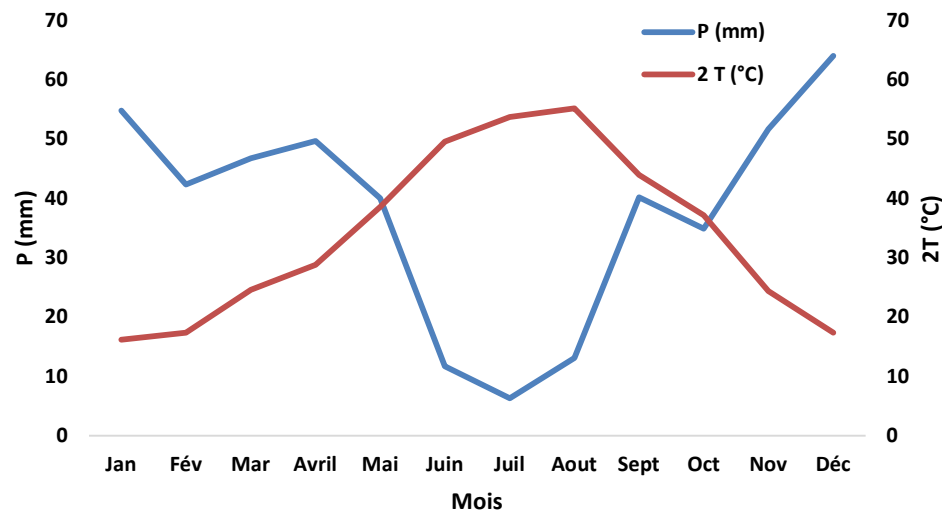


Figure I.10. Le digramme ombrothermique de Gaussen

Selon le graphe ombrothermique de Gaussen la saison humide dans la région de Ain Bessem s'étale durant la période de mi-October à Mai, et la saison sèche du Mai jusqu'à la mi-octobre.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes principalement intéressés à l'analyse des données pluviométriques et climatiques dans le périmètre d'étude. Notre enquête nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La classification climatique de la zone d'étude relève de la catégorie « semi-aride » ;
- La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 457.53 mm ;
- La saison sèche s'étend de Mai jusqu'à Octobre ;
- La température moyenne annuelle est de 17 °C.

Compte tenu de la nature semi-aride de notre zone d'étude et de son importance agricole, l'irrigation est un outil essentiel pour optimiser l'utilisation des ressources, favorisant ainsi un paysage agricole plus productif et durable.

Chapitre II : Les ressources en eau et en sol

Introduction

Les caractéristiques de l'eau et du sol, comme la structure, la texture du sol et la salinité, sont très importantes dans les projets d'irrigation. Elles influencent le choix des cultures adaptées et du système d'irrigation à utiliser, ce qui permet d'améliorer le rendement et la bonne gestion du périmètre irrigué.

Dans ce chapitre, nous allons détailler les propriétés du sol dans notre périmètre étude, ainsi que les caractéristiques de l'eau destinée à l'irrigation.

II.1 Ressources en eau

Les besoins en eau d'irrigation du périmètre des Arribs sont couverts par le barrage Lakehal, dont la capacité totale s'élève à 30 millions de mètres cubes (30 Mm³), avec un volume régularisable de 17 millions de mètres cubes (17 Mm³). En régime de fonctionnement optimal, le périmètre bénéficie d'un quota annuel de 9 millions de mètres cubes (9 Mm³), à condition que le barrage soit entièrement rempli. Ainsi, ce périmètre consomme environ 27 % de la ressource mobilisée en moyenne par an.

II.1.1 Barrage lakehal

Le barrage est situé à 5 km au sud-est de la ville d'Ain-Bessem et est implanté sur l'oued Lakehal. Il comprend les ouvrages suivants :

- Une digue de 45 m de hauteur ;
- Une crête de 600 m de longueur et 8 m de largeur à la cote 690 m.
- Un évacuateur de crues (trop-plein) ;
- Une vidange de fond de 5 m de diamètre et de 260 m de longueur ;
- Une tour de prise de 35 m de hauteur et 4 m de diamètre sur la galerie de vidange de fond ;

Les caractéristiques de la retenue sont les suivantes :

- Cote de la retenue normale : 684,40 m
- Cote de la retenue minimum : 667,50 m
- Cote de la retenue normale : 684,40 m
- Volume des eaux non utiles (envasement) : 5 millions de m³.
- Volume de la retenue normale : 30 hm³ ;
- Volume régularisable: 17 hm³.

II.1.2 Qualité d'eau de barrage Lakehal

Avant d'utiliser l'eau pour l'irrigation, il est essentiel de procéder à des analyses pour évaluer ses diverses caractéristiques. Ces analyses permettent d'évaluer la qualité de l'eau et de vérifier qu'elle est adaptée à une utilisation agricole. Les résultats des analyses de l'eau provenant du barrage Lakehal sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.1. Résultats d'analyse de l'eau de barrage Lakehal

Paramètre	Résultats
PH	8
Sulfates (SO_4^{2-})	230 mg/l
Carbonates	1 mg/l
Bicarbonates	129 mg/l
Potassium (K^+)	5 mg/l
Sodium (Na^+)	97 mg/l
Calcium (Ca^{++})	71 mg/l
Magnésium (Mg^{++})	42 mg/l
Conductivité à 25°C	1.2 ms/cm

(Source : ANRH Blida, 2025)

II.1.3 Classification des eaux d'irrigation

Il existe plusieurs classifications des eaux selon le but recherché. La classification la plus utilisée est celle de l'USSL (United State Salinity Laboratory, 1954).

II.1.3.1 Classification de USSL 1954

La classification USSL (United States Salinity Laboratory) de 1954 est une méthode de classification des eaux d'irrigation basée sur leur teneur en sels dissous. Cette méthode peut avoir des effets négatifs sur la croissance des plantes et sur la qualité des sols. Cette classification repose sur deux paramètres principaux :

Le taux de salinité : mesuré par la conductivité électrique (CE) de l'eau en décisiemens par mètre (dS/m).

La qualité des eaux est classée en quatre catégories en fonction de sa teneur en sel, exprimée en g/l, ou mesurée directement selon la classification USSL (1954)

Tableau II.2. Classification des eaux d'irrigation (USSL, 1954)

Teneur en sel en g/l	Conductivité électrique en micro mmhos/cm à 25°C	Appréciation
< 0.2	< 250	C1 Eaux faiblement salines
0.2-0.5	250-750	C2 Eaux à salinité moyenne
0.5-1.5	750-2250	C3 Eaux à salinité forte
1.5-3	> 2250	C4 Eaux à très forte salinité

Le taux de sodium : mesuré par la proportion de sodium dans les actions échangeables, exprimée par la valeur de SAR (sodium absorption ration).

▪ Mesure de SAR

Le taux de sodium absorbé est calculé à partir des cations suivants. Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} en (méq/l).

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

Avec :

- Na^+ : sodium en meq/l (97 mg/l = 4.41 meq/l).

- Ca^{2+} : calcium en meq/l (71 mg/l = 3.55 meq/l) ;
- Mg^{2+} : magnésium en meq/l (42 mg/l = 3.82 meq/l).

$$\text{A.N : SAR} = \frac{4.41}{\sqrt{\frac{3.55+3.82}{2}}} = 2.3 \text{ meq/l}$$

Tableau II.3. Classification des eaux d'irrigation selon leur valeur de SAR

Classe	SAR	Degré de risque
S1	$\text{SAR} \leq 10$	Alcalinisation faible
S2	$10 < \text{SAR} \leq 18$	Moyenne d'alcalinisation
S3	$18 < \text{SAR} \leq 26$	Risque d'alcalinité élevé
S4	$\text{SAR} > 26$	Très fort risque d'alcalinisation

On a : $\text{CE} = 1.2$ et $\text{SAR} = 2.3$

En utilisant le diagramme d'USSSL 1954 suivant :

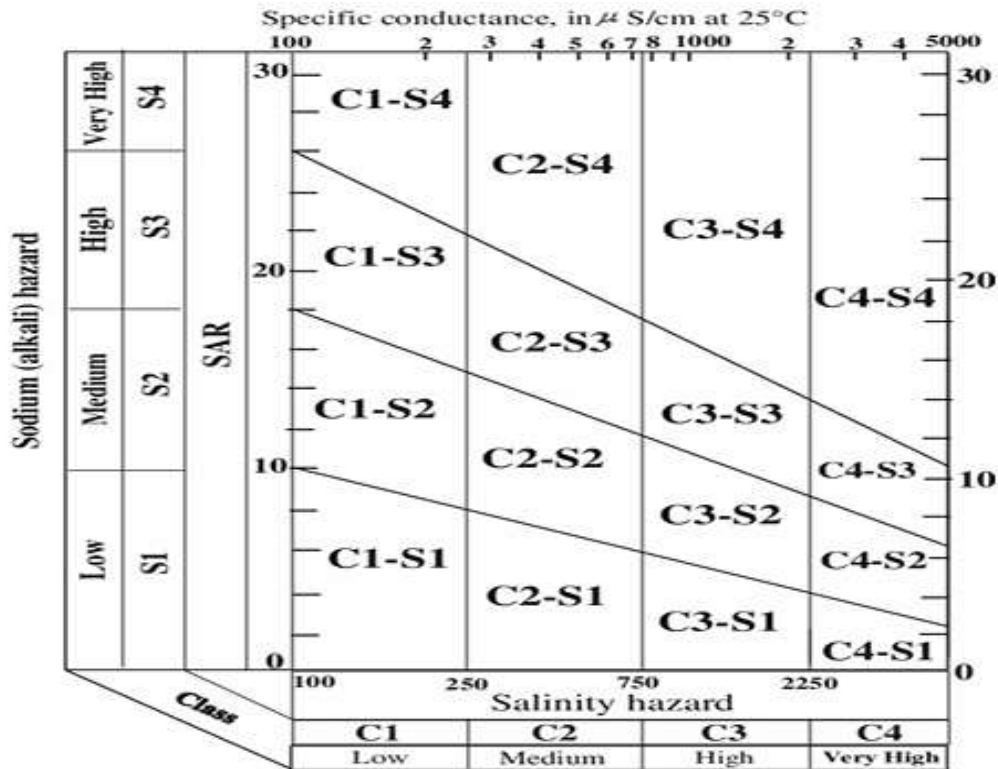


Figure II.1. Diagramme de la classification des eaux d'irrigation de l'USSSL (1954)

■ Interprétation

Selon le diagramme, la classe des eaux de provenant du barrage Lakehal est la classe **C3-S1** : une eau de qualité moyenne à médiocre qui doit être utilisée avec précaution.

II.2 Ressources en sol

La partie pédologique joue un rôle essentiel dans l'étude d'aménagement hydro-agricole. En effet, le sol est le support physique des cultures. Les propriétés du sol et leur répartition influencent le choix des cultures, leur localisation ainsi que le système d'irrigation optimal.

L'étude des ressources en sol a pour but de répertorier toutes leurs caractéristiques ayant un impact sur les cultures, afin d'exploiter au mieux leurs capacités et d'obtenir le meilleur rendement possible.

Concernant l'irrigation, plusieurs critères doivent être pris en compte, notamment :

- La profondeur du sol, qui détermine l'épaisseur des horizons accessibles aux racines et donc la quantité d'eau disponible ;
- La texture du sol, ainsi que sa granulométrie et la présence de cailloux, affectent sa capacité de rétention d'eau.
- Les propriétés chimiques (pH, conductivité électrique, rapport d'adsorption du sodium) sont cruciales pour déterminer les cultures adaptées à la zone d'irrigation.

À partir de ces critères et selon leur intensité, une classification a été proposée par le Bureau d'étude de "Reclamation United States Department of the Interior's" en 1953, par la suite adoptée et recommandée par la FAO en 1979. Cette classification est utilisée pour les sols du périmètre des Arribs.

II.2.1 Classification des sols

Cette classe est caractérisée par une terrasse très nette formée d'alluvions récentes ou anciennes, fines ou moyennes, provenant des oueds Lakehal et Eddous.

Classification :

- Classe : sol peu évolué
- Sous classe : non climatique
- Groupe : d'apports alluviaux
- Sous-groupe : modaux
- Groupe : d'apports alluviaux et colluviaux
- Sous-groupe : vertique/hydromorphe

II.2.2 Analyse physico-chimique des sols

L'analyse physico-chimique des sols constitue une étude détaillée des propriétés physiques et chimiques du sol, englobant la granulométrie, la matière organique, les réserves minérales, le complexe absorbant et la solution du sol. Les résultats obtenus pour notre périmètre d'étude ont mis en évidence la présence de diverses caractéristiques tout au long de la plaine, comme illustré dans les tableaux suivants.

Tableau II.3. Résultats des analyses physico-chimiques

Horizon		H1	H2	H3
Profondeur prélèvement des échantillons (cm)		0-38	38-69	69-95
Granulomètre	Argile (%)	34.20	35.7	43.1
	Limon fin (%)	26.4	22.1	18.6
	Limon grossier (%)	15.4	15.6	10.8
	Sable fin (%)	8.8	9.9	10.2
	Sable grossier (%)	14.9	15.7	16.5
Matière organique	Matière organique (%)	1.2	0.6	0.3
	Carbone C (%°)	7.2	3.3	1.6
	Azote N (%°)	0.7	0.3	0.2
	C/N	10.3	11	8
Solution de sol	PH	8.01	8.05	8.1
	CE ms	0.3	0.32	0.4
Reserve minéral	CaCO ₃ total (%)	9.8	12.6	16.4
	CaCO ₃ actif (%)	5.4	6.1	7.9
	P ₂ O ₅ total (%°)	1.3	0.1	0.1
	P ₂ O ₅ Assimilable (ppm)	72	19	12

(Source : ONID, Ain Bessam 2025)

II.2.3 La texture de sol

Pour caractériser la texture du sol, l'outil de référence en agronomie est le triangle des textures, qui classe le sol en fonction des proportions relatives de sable, de limon et d'argile.

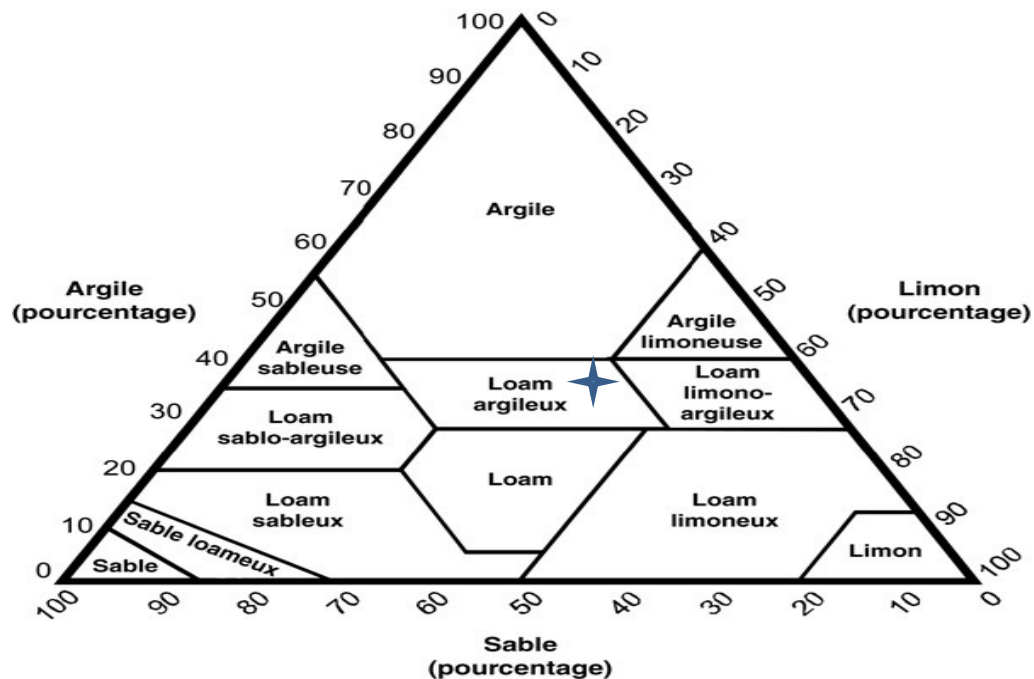


Figure II.2. Triangle de texture des sols USDA

Selon le triangle de texture de l'USDA illustré ci-dessus, notre sol a une texture limoneuse argileuse.

Les propriétés hydrodynamiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.4. Propriétés hydrodynamiques du sol

Texture	Limono-argileuse
Densité apparent Da en (g/cm³)	1.42
Perméabilité K en (m/s)	3x10 ⁻⁵
Humidité à la capacité au champ Hcc en (%)	27
Humidité au point de flétrissement Hpf en (%)	15
Porosité en (%)	40

II.2.4 Les aptitudes culturales des sols

L'évaluation des aptitudes culturales permet d'estimer la capacité d'un sol à favoriser le développement optimal des cultures agricoles. Elle repose sur plusieurs facteurs, tels que la structure, la profondeur, la fertilité, la teneur en matières organiques, ainsi que le drainage et la capacité de rétention d'eau du sol. Ces éléments influent sur la productivité des sols et leur capacité à soutenir différents types de cultures.

Notre sol adaptée toutes les cultures

Maraichères : pomme de terre, carotte, tomate, ail, courgette....

Céréalières : blé, l'orge

Fourragères : avoine

II.3 Etude Hydrologique

L'analyse hydrologique est très importante pour les projets d'irrigation et de drainage. Elle permet de mieux comprendre les niveaux de précipitations selon leur fréquence. Cela est essentiel pour notre projet d'aménagement hydro-agricole, car cela nous aide à bien connaître les régimes de pluie et à choisir les bonnes stratégies pour gérer l'eau. Une bonne estimation des précipitations est nécessaire pour assurer une disponibilité continue de l'eau.

II.3.1 Choix de la station pluviométrique

Le choix des stations pluviométriques pour estimer les précipitations dans le bassin versant s'est basé sur deux critères principaux : leur emplacement géographique et la durée des données disponibles. Ces critères permettent d'assurer une bonne représentation des conditions de pluie dans la zone étudiée.

L'emplacement des stations est très important, car il permet de couvrir tout le bassin et de prendre en compte les différences de précipitations d'un endroit à un autre. Il est donc essentiel de choisir des stations bien réparties pour avoir une vision complète de la situation pluviométrique.

Les caractéristiques de la station pluviométrique sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau II.5. Les caractéristiques de la station pluviométrique « Ain Bessam »

Nom de la station	Coordonnées UTM		Altitude (m)	Période d'observation	N° d'années
	Latitude	Longitude			
Ain Bessam	30°19' N	0°32' E	748	1995-2024	30

La série des précipitations moyennes mensuelles et interannuelle de la période 1995-2024 est présentée dans l'annexe I.

II.3.2 Test d'homogénéité

Pour vérifier l'homogénéité des séries pluviométriques, le test de Wilcoxon est utilisé. La méthode utilisée pour effectuer cette vérification est décrite ci-dessous :

1. Diviser la série complète en deux sous-séries, dénommées X et Y, où N_1 et N_2 représentent les tailles respectives de ces deux sous-séries, typiquement avec $N_1 > N_2$.
2. Ensuite, former la série Y de l'union X en classant la série pluviométrique originale par ordre décroissant. À ce stade, chaque valeur de la série pluviométrique classée se voit attribuer un rang et il est spécifié à quelle sous-série elle appartient.

Wilcoxon a démontré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Touaibia, 2004) si la relation suivante est satisfaite.

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad (II.1)$$

Où : W_x : Somme des rangs des sous-séries

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

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

Les résultats du test de Wilcoxon sont détaillés ci-dessous :

Tableau II.6. Test d'homogénéité de la série des précipitations

X	Y	X U Y	Série d'origine	Rang
591	840.8	259.5	Y	1
319.2	621.3	281.6	X	2
485.2	358.9	287.8	X	3
487.3	567.2	292.9	X	4
307.15	509.6	307.15	X	5
310.3	440.2	310.3	X	6
608.8	553.4	319.2	X	7
436.05	594	358.9	Y	8
281.6	659.9	375.1	Y	9
500.1	444	396.9	Y	10
423.9	502.4	407.7	Y	11
292.9	396.9	420.7	Y	12
443.2	407.7	423.9	X	13
287.8	420.7	436.05	X	14
	259.5	440.2	Y	15
	375.1	443.2	X	16
		444	Y	17
		485.2	X	18
		487.3	X	19
		500.1	X	20
		502.4	Y	21
		509.6	Y	22

X	Y	X U Y	Série d'origine	Rang
		553.4	Y	23
		567.2	Y	24
		591	X	25
		594	Y	26
		608.8	X	27
		621.3	Y	28
		659.9	Y	29
		840.8	Y	30

D'après la répartition du tableau ci-dessus, on obtient les résultats suivants :

- $N_1 = 14$
- $N_2 = 16$
- $W_{\min} = 169.35$
- $W_x = 179$
- $W_{\max} = 264.65$

Alors :

$$169.35 < W_x < 264.65$$

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

II.3.3 Ajustement de la série pluviométrique

Lors de l'analyse des données de précipitations annuelles, il est courant de les ajuster afin de les rendre comparables, différentes lois statistiques afin de déterminer celle qui offre le meilleur ajustement possible. Parmi les lois d'ajustement les plus couramment utilisées pour les précipitations annuelles, on trouve :

- Loi de Gauss ou loi normale.
- Loi de Galton ou loi Log-normale.

Le processus d'ajustement comprend les étapes suivantes :

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant ou décroissant, selon que l'on travaille avec la fréquence de dépassement ou de non-dépassement ;
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées ;
- Calculer la fréquence expérimentale à l'aide d'une formule empirique ;
- Calculer les caractéristiques empiriques de l'échantillon, à savoir : la moyenne, l'écart type ou le coefficient de variation, le coefficient d'asymétrie s'il existe, etc. ;
- Reporter les points sur le papier à probabilité approprié à chaque loi ;
- Tracer la droite ou la courbe théorique correspondante ;
- Lire ou calculer la valeur extrême (quantile) ;
- Tester l'adéquation de la loi d'ajustement.

II.3.3.1 L'ajustement par la loi de Gauss

Une variable suit une **distribution normale** lorsque sa fonction de répartition est donnée par l'expression suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (II.3)$$

Où u est la **variable réduite de Gauss**, définie par :

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (II.4)$$

La transformation inverse $x = \bar{x} + \sigma u$ est l'équation de la droite de Henry sur un papier à probabilité gaussienne.

L'une des particularités de la loi normale est que son paramètre de tendance centrale, noté $\bar{x}$ représente à la fois la moyenne, le mode et la médiane. Le paramètre de dispersion est l'écart type σ qui correspond à la racine carrée de la variance.

La fonction de densité de probabilité de la loi normale est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (II.5)$$

Le résultat d'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles à la loi normale par HYFRAN est donné par la figure suivante :

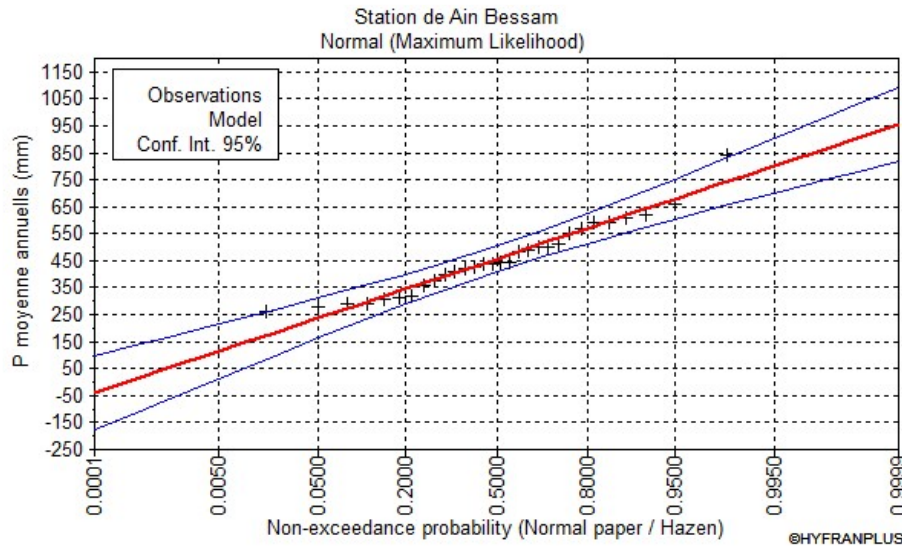


Figure II.3. Ajustement graphique à la loi de Gauss

II.3.3.2 Ajustement à la loi Log-normale

On dit qu'une variable aléatoire X suit une distribution log-normale lorsque la variable transformée $y = \ln X$ suit une loi normale. Cette distribution, parfois appelée loi de Galton, résulte d'une transformation de la loi normale qui la rend asymétrique.

La fonction de répartition de la loi log-normale est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (II.6)$$

Avec la valeur réduite u est donnée par :

$$u = \frac{\ln x - \ln \bar{x}}{\sigma_{\ln x}} \quad (II.7)$$

L'équation de la variable réduite, présentée sous la forme : $\ln x = \ln \bar{x} + \sigma_{\ln x} u$, correspond à l'équation d'une droite tracée sur un papier Gaussologique (ou Gauss-logarithmique), c'est-à-dire un graphique dont l'axe des abscisses est en échelle gaussienne (réduite) et l'axe des ordonnées en échelle logarithmique.

Le résultat d'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles à la loi log-normale par HYFRAN est donné par la figure suivante :

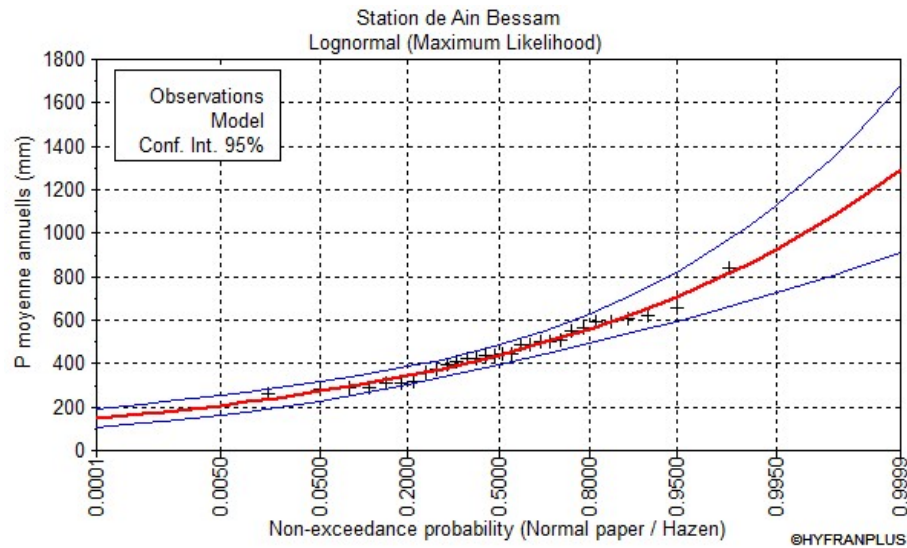


Figure II.4. Ajustement graphique à la loi Log-normale

II.3.4 Choix de la loi d'ajustement

Il existe toujours un écart, plus ou moins important, entre les fréquences expérimentales des données observées et celles calculées à partir d'une fonction de répartition théorique. L'ajustement graphique constitue une première étape dans le choix d'une loi d'ajustement, mais elle reste insuffisante pour prendre une décision définitive quant à la validité de cette loi.

Ainsi, pour évaluer objectivement la qualité de l'ajustement, il est nécessaire de recourir à un test statistique d'adéquation. Ce test permet de comparer plusieurs lois théoriques afin de retenir celle qui s'éloigne le moins de la distribution empirique, autrement dit, le meilleur ajustement possible (Touaibia, 2015).

Parmi les différents tests disponibles, le test du khi carré (χ^2) est le plus couramment utilisé à cette fin.

II.3.4.1 Ajustement graphique visuelle

Les figures II.3 et II.4 présentent les graphiques des résultats obtenus à l'aide du logiciel Hyfran-Plus. Elles illustrent la comparaison entre les probabilités empiriques et théoriques pour les distributions de Gauss et log-normale.

Cependant, l'analyse visuelle à elle seule ne permet pas de déterminer la loi qui offre le meilleur ajustement. C'est pourquoi il est nécessaire de compléter cette première évaluation par une analyse statistique plus approfondie.

II.3.4.2 Test d'adéquation de (χ^2)

Le but d'un test d'adéquation est de vérifier si le modèle statistique choisi est cohérent avec les données observées. Autrement dit, il s'agit de déterminer si les observations peuvent raisonnablement être supposées issues d'une loi théorique donnée.

Le test du khi carré (χ^2) est l'un des tests les plus couramment utilisés à cette fin (**Touaibia, 2015**). Il permet de comparer la distribution empirique d'un échantillon à une distribution théorique, pour un seuil de signification α , généralement fixé à 5 %.

Le nombre de degrés de liberté est donné par la relation :

$$\gamma = k - 1 - m \quad (II.8)$$

La variable aléatoire χ^2 , dont la distribution a été étudiée par Pearson, est définie par la formule suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(ni - ni')^2}{ni'} \quad (II.9)$$

où :

- ni est le nombre d'observations dans la classe i ;
- ni' est le nombre théorique d'observations dans cette classe.

Ce test n'est valable que si chaque ni' est supérieur à 5.

On compare $\chi^2_{\text{calculé}}$ avec la valeur tabulée (théorique), $\chi^2_{\text{théorique}}$ en fonction du nombre de degré de liberté et du seuil de signification α et γ représentée dans l'annexe n° 02.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } \chi^2_{\text{calculé}} \leq \chi^2_{\text{théorique}} : \text{la loi d'ajustement sera retenue.} \\ \text{Si } \chi^2_{\text{calculé}} \geq \chi^2_{\text{théorique}} \text{ théorique on rejette l'hypothèse nulle.} \end{array} \right.$$

Les résultats obtenus par le test de khi carré ont été faits par logiciel Hyfran-plus et sont représentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau II.7. Résultats de test de χ^2 de la station pluviométrique Ain Bessam

Loi de distribution	Degrés de liberté	Nombre des classes	$\chi^2_{\text{calculé}}$	$\chi^2_{\text{théorique}}$
Gauss	4	7	1.27	9.48
Log-normale	4	7	5.47	9.48

Ainsi, nous avons retenu **la loi de Gauss** comme la meilleure loi d'ajustement, car elle présente la plus petite valeur du khi carré calculé, indiquant une meilleure adéquation entre les données observées et la loi théorique.

II.3.5 Détermination de l'année de calcul

Puisque la loi normale est la plus adaptée pour représenter la distribution des pluies, nous l'avons choisie pour estimer la pluviométrie moyenne annuelle de la région, avec une probabilité de 80 %.

Tableau II.8. La pluie en fonction de la période de retour

Période de retour (T)	Fréquence au non dépassement	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
10	0.9	629	33.2	564 - 694
5	0.8	570	28.6	514 - 626
2	0.5	458	24.4	410 - 505
1.25	0.2	345	28.6	289 - 401

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

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}} \quad (II.10)$$

Tableau II.9. Calcul des précipitations mensuelles pour une fréquence de 80% (mm)

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	An
P (mm)	40.2	34.9	51.7	64.1	54.8	42.4	47	49.7	40.07	11.73	6.34	13.17	457.53
P _{80%}	30.2	26.2	38.8	48	41.1	31.8	35	37.3	30.05	8.8	4.76	9.88	343.15

Conclusion

L'étude des ressources en eau et en sol du périmètre des Arribs a permis de mieux comprendre les conditions naturelles qui influencent la réussite des projets d'irrigation.

- L'eau du barrage Lakehal présente une qualité satisfaisante pour l'irrigation, avec une salinité forte (C3-S1) et un faible risque d'alcalinisation.
- Du côté des sols, la classe du périmètre est : peu évolué. Leur texture est principalement limono-argileuse, ce qui leur donne un bon potentiel pour l'agriculture.
- Après examen des ajustements obtenus, il ressort que la loi normale s'ajuste bien la série des précipitations annuelles.

Chapitre III : Besoins En Eau Des Cultures

Introduction

Le calcul des besoins en eau des cultures est un processus essentiel pour déterminer la quantité d'eau dont elles ont besoin afin de garantir une croissance et un rendement optimaux, tout en évitant le gaspillage d'eau et la dégradation de la qualité du sol. Il s'agit généralement d'utiliser des modèles mathématiques et des données météorologiques pour estimer le volume d'eau dont une culture spécifique a besoin à un moment donné. Comprendre les besoins en eau des cultures permet aux agriculteurs et aux gestionnaires de l'eau d'élaborer des stratégies et de mettre en œuvre des techniques d'irrigation efficaces pour garantir des rendements optimaux, tout en préservant les ressources en eau et en réduisant les coûts.

III.1 Besoins en eau du périmètre

La détermination de ces besoins est une étape essentielle pour une irrigation efficace et durable des cultures. Ce calcul prend en compte différents facteurs, notamment la superficie cultivée, le type de culture, les précipitations, la qualité du sol et les techniques d'irrigation. Des outils et des modèles sont utilisés pour estimer la quantité d'eau dont chaque culture a besoin. Le calcul des volumes d'eau à appliquer par irrigation implique la réalisation d'un bilan hydrique pour chaque stade végétatif pendant des périodes spécifiques.

L'évapotranspiration potentielle de référence (ET0) :

$$Bi = ETMi - (Peff + RFUi - 1) \quad (III.1)$$

Avec, ETMi: est la valeur de l'évapotranspiration maximale en mm, elle est égale à :

$$ETM = ET0 \times K_c \quad (III.2)$$

- Kc: Le coefficient de culture de la culture considérée ;
- Peff : Pluie efficace;
- RFU: Réserve facilement utilisable.

III.1.1 Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET0)

L'évapotranspiration de référence (ET0) correspond à la quantité d'eau évaporée et transpirée par une culture de référence dans des conditions climatiques standardisées, en tenant compte de la température, de l'humidité de l'air, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire. Les données relatives à l'ET0 permettent de planifier et d'ajuster l'irrigation en fonction des besoins des cultures, dans le but de maximiser le rendement tout en minimisant les pertes d'eau et les dépenses d'irrigation.

III.1.1.1 Méthodes directes

Les méthodes directes comprennent l'évapotranspiration et l'approche par lysimètre. Cette méthode consiste à construire un réservoir lysimétrique rempli de terre et planté d'une culture intercalaire. Équipé d'un système de drainage, il recueille l'eau qui s'écoule à travers le sol. Bien que très précise, cette méthode est coûteuse et nécessite un suivi régulier.

III.1.1.2 Méthodes indirectes

Ces approches permettent de calculer l'ET₀ à l'aide de formules basées sur des paramètres climatiques. Plusieurs formules de calcul sont disponibles, notamment :

- **La formule de Turc (1960)** : cette méthode permet d'estimer l'ET₀ à partir des données de température et d'humidité de l'air.
- **Formule de Thornthwaite (1955)** : L'ET₀ est estimé à partir des seules données de température, en supposant que le taux d'évaporation dépend principalement de la chaleur disponible.
- **Formule de Blaney-Criddle (1959)** : cette méthode permet d'estimer l'ET₀ à partir des données de température et d'humidité relative. Elle est souvent utilisée dans les régions où les données météorologiques sont limitées.
- **La formule de Penman**, ou formule du bilan énergétique (1948) : L'ET₀ est calculé à partir des données relatives à la température, à l'humidité de l'air, à la vitesse du vent et au rayonnement solaire. Cette formule est considérée comme la méthode standard de calcul de l'ET₀.
- **La méthode de Doorenbos et Pruitt (1977)** de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) estime l'ET₀ à partir des données de température, d'humidité de l'air, de vitesse du vent et de radiation solaire. Elle est couramment appliquée dans les contextes de cultures irriguées.

Dans notre contexte, nous utilisons la formule modifiée de **Penman-Monteith**.

III.1.1.3 La Formule de Penman et Monteith Modifiée

En 1948, Penman et Monteith ont collaboré à la conception d'une équation de bilan énergétique utilisant une approche de transfert de masse. S'appuyant sur des données climatologiques telles que l'insolation, la température, l'humidité et la vitesse du vent, ils ont formulé une équation permettant de calculer l'évapotranspiration d'une surface d'eau libre. Par la suite, la formule modifiée de Penman-Monteith s'est imposée comme la méthode prédominante d'estimation de l'évapotranspiration et est largement approuvée par la FAO. Cette formule est élaborée comme suit :

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta(R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (III.3)$$

Avec:

- (ET_0) représente l'évapotranspiration de référence.
- (Δ) est la pente de la courbe de pression de vapeur saturante.
- (R_n) est le rayonnement net (in MJ/m²/ day).
- (G) est la densité du flux thermique du sol (in MJ/m²/ day).
- (γ) est la constante psychrométrique (in kPa/ °C).
- (T) est la température de l'air (in °C).
- (u_2) est la vitesse du vent à 2 mètres au-dessus du sol (in m/s).
- (e_s) et (e_a) sont respectivement la pression de vapeur saturante et la pression de vapeur réelle.

Nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour calculer l'évapotranspiration de référence selon la méthode Penman-Monteith. Les données mensuelles fournies au logiciel sont les suivantes :

- **Température** : températures minimales et maximales mensuelles.
- **Humidité de l'air** : humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- **Insolation** : mesurée en heures d'ensoleillement.

- **Vitesse du vent** : vitesse du vent, exprimée en mètres par seconde (m/s).

Les données d'évapotranspiration de référence (ET₀), dérivées du logiciel CROPWAT, sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1. Evapotranspiration de référence calculée (ET₀)

ET ₀ Penman-Monteith par mois - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\ET ₀ MFE.PEM						
Pays alger		Station Ain Bessem				
Altitude	748 m.	Latitude	36.19 °N	Longitude	0.32 °E	
Mois	Temp Moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ET ₀ mm/mois
Janvier	8.1	73	3.6	6.5	10.2	45.53
Février	8.7	66	3.5	7.1	13.1	56.29
Mars	12.3	63	6.3	7.5	16.6	102.71
Avril	14.4	59	4.2	7.7	19.5	116.46
Mai	19.3	53	3.7	8.1	21.6	157.11
Juin	24.8	43	2.8	8.9	23.2	187.66
Juillet	26.9	44	3.0	8.6	22.5	205.55
Août	27.6	55	3.0	8.5	21.1	187.09
Septembre	22.0	54	3.0	7.9	17.9	142.08
Octobre	18.6	60	2.9	7.6	14.4	105.39
Novembre	12.2	70	2.6	6.7	10.8	56.04
Décembre	8.7	74	2.6	5.8	8.9	39.29
Moyenne	17.0	60	3.4	7.6	16.6	1401.19

III.1.2 Calcul de la Pluie efficace

Les précipitations effectives sont la quantité de pluie absorbée par le sol et disponible pour les plantes. Il s'agit donc de la différence entre la quantité totale de pluie qui tombe sur une zone et la quantité de pluie perdue par ruissellement ou évaporation. Dans notre cas, nous nous sommes référés à la méthode du pourcentage fixe, détaillée comme suit :

Dans le cadre de notre étude, nous avons adopté la méthode du pourcentage fixe, dont les principes sont détaillés comme suit :

$$P_{eff} = A \times P_{80\%} \quad (III.4)$$

Avec A : Le coefficient de pertes dans notre cas est égal à 0,8.

Tableau III.2. Calcul de la pluie efficace

Mois	P_{moy} (mm/mois)	$P_{80\%}$ (mm/mois)	P_{eff} (mm/mois)
Jan	40.24	30.18	24.14
Fév	34.91	26.18	20.94
Mars	51.68	38.76	31.01
Avr	64.05	48.04	38.43
Mai	54.82	41.12	32.90
Juin	42.35	31.76	25.41
Juil	46.78	35.09	28.07

Aout	49.73	37.30	29.84
Sept	40.07	30.05	24.04
Oct	11.73	8.80	7.04
Nov	6.34	4.76	3.81
Déc	13.17	9.88	7.90

III.2 Calcul 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 cultures. Cette quantité, appelée réserve en eau du sol, correspond à l'eau que les plantes peuvent puiser pour assurer leur croissance. Elle est généralement exprimée comme le produit d'un coefficient K et de la réserve facilement utilisable (RFU).

La réserve facilement utilisable (RFU) est définie comme la quantité d'eau contenue dans la tranche de sol situé entre le point de ressuyage (ou capacité au champ) et le point de flétrissement. Elle se calcule selon la formule suivante :

$$RFU = Y \times (H_{cc} - H_{pf}) \times Da \times Z \quad (III.5)$$

- Hcc : Humidité à la capacité au champ
- Hpf : Humidité au point de flétrissement
- Y: Coefficient qui dépend de la nature du sol :
- Da : Densité apparente du sol ;
- Z : Profondeur racinaire.

Dans notre cas, la réserve en eau du sol du mois i-1 est égal à :

$$RFU_{i-1} = k \times RFU \quad (III.6)$$

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

III.3 Choix des cultures

Le choix des cultures à cultiver dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- La situation géographique naturelle de l'exploitation agricole ;
- Sa position économique par rapport aux marchés et aux infrastructures ;
- La prise en compte du contexte économique actuel ;
- Et l'utilisation optimale des ressources et des potentialités propres à l'exploitation.

III.3.1 Les cultures proposées

La région de Aïn Bessem se caractérise par une tradition agricole fortement orientée vers les cultures céréalières, les cultures fourragères et le maraîchage. Ce contexte justifie que le choix des cultures pour cette zone repose prioritairement sur ces types de production, tout en envisageant l'introduction d'autres cultures afin d'assurer la diversification et la durabilité de l'agriculture locale.

Les cultures retenues pour la région de Aïn Bessem sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.3. Les cultures retenues pour la région d'Aïn Bessam

Type de culture	Surface occupé en %	Surface occupé en Ha
Céréalicultures	40	160
Maraichages	30	120
L'arboricultures	15	60
Els cultures fourragères	15	60
Totale	100	400

III.3.2 L'assolement des cultures

L'assolement des cultures est une stratégie agricole qui consiste à planifier la rotation des cultures sur une période donnée. Cette méthode vise plusieurs objectifs fondamentaux : préserver et améliorer la fertilité des sols, limiter la prolifération des maladies et des ravageurs, et optimiser les rendements agricoles. En respectant un calendrier de rotation adapté, les agriculteurs peuvent tirer le meilleur parti des ressources du sol, tout en réduisant les risques phytosanitaires et en favorisant une agriculture durable et productive.

Tableau III.4. Assolement proposé pour le périmètre

Assolement 1	Assolement 2
Blé	Pomme de terre
Orge	Blé
Avions	Orge
Pomme de terre	Carotte
Ail	Tomate
Laitue	Piment
Aubergine	Ail
Piment	Haricot
Vigne	Vigne
Olivier	Olivier

III.3.2.1 Les cycles végétatifs des cultures

Le cycle végétatif des plantes correspond à l'ensemble des étapes de leur développement, depuis la germination jusqu'à la formation des graines ou des fruits. Ce cycle varie selon le type de plante et les conditions climatiques et du sol. Pour les cultures choisies dans le secteur N3 du périmètre des Arribs, les cycles végétatifs ont été définis en fonction des besoins spécifiques de chaque culture, ainsi que des caractéristiques du sol et du climat local. Les détails de ces cycles sont présentés dans le Tableau III.5.

III.3.2.2 Estimation des besoins en eau des cultures

Le calcul des besoins nets des cultures se fait par la formule suivante :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + RFU_{i-1}) \quad (III.7)$$

- B_i : Besoins en eau d'irrigation (mm).
- ETM : Evapotranspiration (mm/mois).
- P_{eff} : Pluie efficace.
- RFU : Il s'agit de l'eau facilement disponible pour les cultures. Dans cette approche, elle représente l'humidité du sol du mois précédent accessible aux cultures.

Tableau III.5. Calendrier d'occupation des sols

Culture	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé			←								→	
Orge			←								→	
Avions			←								→	
P.D.T (as)							←				→	
P.D.T (s)	←				→							
Haricot	←					→						
Carotte						←					→	
Aubergine								←				→
Ali	←				→							
Laitue						←					→	
Tomate							←				→	
Piment						←			→			
Vigne	←	→					←					→
Olivier	←											→

Tableau III.6. Besoin en eau de blé

Mois	P _{80%}	P _{eff}	ET ₀	Z	RFU	RS _{i-1}	K _c	ETM	B _{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39	0.00	0.00	0.00	0.30	31.62	24.58
Nov	4.76	3.81	56.04	0.30	34.08	22.72	0.40	22.42	0
Déc	9.88	7.90	39.29	0.50	56.80	48.00	0.60	23.57	0
Jan	30.18	24.14	45.53	0.60	68.16	57.60	0.85	38.70	0
Fév	26.18	20.94	56.29	0.60	68.16	68.16	0.95	53.48	0
Mars	38.76	31.01	102.71	0.60	68.16	45.44	1.00	102.71	26.26
Avr	48.04	38.43	116.46	0.60	68.16	34.08	0.95	110.64	38.13
Mai	41.12	32.90	157.11	0.80	90.88	30.29	0.85	133.54	70.35
Juin	31.76	25.41	187.66	0.80	90.88	0.00	0.50	93.83	68.42
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.7. Besoin en eau de l'orge

Mois	P _{80%}	P _{eff}	ET ₀	Z	RFU	RS _{i-1}	K _c	ETM	B _{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						

Oct	8.8	7.04	105.39						
Nov	4.76	3.81	56.04	0.30	34.08	22.72	0.40	22.42	0
Déc	9.88	7.90	39.29	0.50	56.80	56.80	0.65	25.54	0
Jan	30.18	24.14	45.53	0.60	68.16	68.16	0.90	40.98	0
Fév	26.18	20.94	56.29	0.60	68.16	68.16	0.90	50.66	0
Mars	38.76	31.01	102.71	0.60	68.16	45.44	0.90	92.44	15.99
Avr	48.04	38.43	116.46	0.70	79.52	39.76	0.85	98.99	20.80
Mai	41.12	32.90	157.11	0.80	90.88	30.29	0.80	125.69	62.50
Juin	31.76	25.41	187.66	0.80	90.88	0.00	0.50	93.83	68.42
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.8. Besoin en eau de l'avoine

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	K_c	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39						
Nov	4.76	3.81	56.04	0.20	22.72	15.15	0.30	16.81	0
Déc	9.88	7.90	39.29	0.30	34.08	34.08	0.50	19.65	0
Jan	30.18	24.14	45.53	0.40	45.44	45.44	0.50	22.77	0
Fév	26.18	20.94	56.29	0.60	68.16	68.16	0.75	42.22	0
Mars	38.76	31.01	102.71	0.60	68.16	45.44	1.10	112.98	36.53
Avr	48.04	38.43	116.46	0.70	79.52	39.76	1.10	128.11	49.91
Mai	41.12	32.90	157.11	0.80	90.88	30.29	1.13	177.53	114.34
Juin	31.76	25.41	187.66	0.90	102.24	0.00	1.05	197.04	171.64
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.9. Besoin en eau de pomme de terre

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	K_c	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39	0.40	45.44	15.15	0.50	52.70	30.51
Nov	4.76	3.81	56.04	0.60	68.16	45.44	0.70	39.23	0
Déc	9.88	7.90	39.29	0.60	68.16	68.16	1.00	39.29	0
Jan	30.18	24.14	45.53	0.60	68.16	68.16	0.75	34.15	0
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71						
Avr	48.04	38.43	116.46						
Mai	41.12	32.90	157.11						
Juin	31.76	25.41	187.66						
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.10. Besoin en eau du haricot

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	K_c	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08	0.70	79.52		0.90	127.87	103.83
Oct	8.8	7.04	105.39	0.70	79.52	26.51	0.85	89.58	56.03

Nov	4.76	3.81	56.04						
Déc	9.88	7.90	39.29						
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71						
Avr	48.04	38.43	116.46						
Mai	41.12	32.90	157.11						
Juin	31.76	25.41	187.66	0.50	56.80	0	0.50	93.83	68.42
Juil	35.09	28.07	205.55	0.50	56.80	0	0.65	133.61	105.54
Aout	37.3	29.84	187.09	0.70	79.52	0	0.95	177.74	147.90

Tableau III.11. Besoin en eau de la carotte

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	Kc	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08	0.20	22.72	0.00	0.50	71.04	47.00
Oct	8.8	7.04	105.39	0.40	45.44	15.15	0.80	84.31	62.13
Nov	4.76	3.81	56.04	0.50	56.80	56.80	1.05	58.84	0
Déc	9.88	7.90	39.29	0.60	68.16	68.16	0.75	29.47	0
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71						
Avr	48.04	38.43	116.46						
Mai	41.12	32.90	157.11						
Juin	31.76	25.41	187.66						
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.12. Besoin en eau d'aubergine

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	Kc	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39						
Nov	4.76	3.81	56.04						
Déc	9.88	7.90	39.29						
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71						
Avr	48.04	38.43	116.46	0.30	34.08	17.04	0.50	58.23	2.76
Mai	41.12	32.90	157.11	0.40	45.44	15.15	0.60	94.27	46.22
Juin	31.76	25.41	187.66	0.60	68.16	0.00	1.00	187.66	162.25
Juil	35.09	28.07	205.55	0.60	68.16	0.00	0.60	123.33	95.26
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.13. Besoin en eau d'Ail

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	Kc	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39	0.40	45.44	15.15	0.50	52.70	30.51
Nov	4.76	3.81	56.04	0.40	45.44	30.29	0.75	42.03	7.93
Déc	9.88	7.90	39.29	0.40	45.44	45.44	0.95	37.33	0
Jan	30.18	24.14	45.53	0.40	45.44	45.44	0.95	43.25	0

Fév	26.18	20.94	56.29	0.40	45.44	45.44	0.70	39.40	0
Mars	38.76	31.01	102.71						
Avr	48.04	38.43	116.46						
Mai	41.12	32.90	157.11						
Juin	31.76	25.41	187.66						
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.14. Besoin en eau de laitue

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	Kc	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08	0.25	28.40	0.00	1.00	142.08	118.04
Oct	8.8	7.04	105.39	0.30	34.08	11.36	0.90	94.85	76.45
Nov	4.76	3.81	56.04						
Déc	9.88	7.90	39.29						
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71						
Avr	48.04	38.43	116.46						
Mai	41.12	32.90	157.11						
Juin	31.76	25.41	187.66						
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09	0.10	11.36	0.00	0.80	149.67	119.83

Tableau III.15. Besoin en eau de tomate

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	Kc	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39						
Nov	4.76	3.81	56.04						
Déc	9.88	7.90	39.29						
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71	0.70	79.52	53.01	0.50	51.36	0
Avr	48.04	38.43	116.46	0.90	102.24	51.12	0.85	98.99	9.44
Mai	41.12	32.90	157.11	1.00	113.60	37.87	0.90	141.40	70.64
Juin	31.76	25.41	187.66	1.00	113.60	0.00	0.95	178.28	152.87
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.16. Besoin en eau de piment

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	Kc	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08						
Oct	8.8	7.04	105.39						
Nov	4.76	3.81	56.04						
Déc	9.88	7.90	39.29						
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29						
Mars	38.76	31.01	102.71	0.50	56.80	37.87	0.40	41.08	-27.79

Avr	48.04	38.43	116.46	0.60	68.16	34.08	0.70	81.52	9.01
Mai	41.12	32.90	157.11	0.75	85.20	28.40	0.90	141.40	80.10
Juin	31.76	25.41	187.66	1.00	113.60	0.00	1.00	187.66	162.25
Juil	35.09	28.07	205.55						
Aout	37.3	29.84	187.09						

Tableau III.17. Besoin en eau de vigne

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	K_c	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08	0.80	90.88		0.80	113.66	89.62
Oct	8.8	7.04	105.39						
Nov	4.76	3.81	56.04						
Déc	9.88	7.90	39.29						
Jan	30.18	24.14	45.53						
Fév	26.18	20.94	56.29	0.80	90.88	90.88	0.40	22.52	0
Mars	38.76	31.01	102.71	0.80	90.88	60.59	0.50	51.36	0
Avr	48.04	38.43	116.46	0.80	90.88	45.44	0.60	69.88	0
Mai	41.12	32.90	157.11	0.80	90.88	30.29	0.70	109.98	46.79
Juin	31.76	25.41	187.66	0.80	90.88		0.90	168.89	143.49
Juil	35.09	28.07	205.55	0.80	90.88		0.90	185.00	156.92
Aout	37.3	29.84	187.09	0.80	90.88		0.90	168.38	138.54

Tableau III.18. Besoin en eau d'olivier

Mois	P_{80%}	P_{eff}	ET₀	Z	RFU	RS_{i-1}	K_c	ETM	B_{net}
Sept	30.05	24.04	142.08	1.50	170.40		0.85	120.77	96.73
Oct	8.8	7.04	105.39	1.50	170.40	56.80	0.85	89.58	25.74
Nov	4.76	3.81	56.04	1.50	170.40	113.60	0.75	42.03	0
Déc	9.88	7.90	39.29	1.50	170.40	170.40	0.65	25.54	0
Jan	30.18	24.14	45.53	1.50	170.40	170.40	0.65	29.59	0
Fév	26.18	20.94	56.29	1.50	170.40	170.40	0.65	36.59	0
Mars	38.76	31.01	102.71	1.50	170.40	113.60	0.65	66.76	0
Avr	48.04	38.43	116.46	1.50	170.40	85.20	0.65	75.70	0
Mai	41.12	32.90	157.11	1.50	170.40	56.80	0.65	102.12	12.43
Juin	31.76	25.41	187.66	1.50	170.40		0.85	159.51	134.10
Juil	35.09	28.07	205.55	1.50	170.40		0.85	174.72	146.65
Aout	37.3	29.84	187.09	1.50	170.40		0.85	159.03	129.19

Tableau III.19. Besoin en eau de l'assolement 1

Mois	Blé	Orge	Avoine	Pomme de terre	Ail	Laitue	Aubergine	Piment	Vigne	Olivier	Total
Sept						118.04			89.62	96.73	304.39
Oct	24.58			30.51	30.51	76.45				25.74	187.79
Nov	0	0	0	0	7.93					0	7.93
Déc	0	0	0	0	0					0	0
Jan	0	0	0	0	0					0	0
Fév	0	0	0		0				0	0	0
Mars	26.26	15.99	36.53					0	0	0	78.78
Avr	38.13	20.8	49.91				2.76	9.01	0	0	120.61
Mai	70.35	62.5	114.34				46.22	80.1	46.79	12.43	432.73
Juin	68.42	68.42	171.64				162.25	162.25	143.49	134.1	910.57
Juil							95.26		156.92	146.65	398.83
Aout						119.83			138.54	129.19	387.56

Tableau III.20. Besoin en eau de l'assolement 2

Mois	Pomme de terre	Blé	Orge	Carotte	Tomate	Ail	Piment	Hari-cot	Vigne	Olivier	Total
Sept				47.00				103.83	89.62	96.73	337.18
Oct	30.51	24.58		62.13		30.51		56.03		25.74	229.5
Nov	0	0	0	0		7.93				0	7.93
Déc	0	0	0	0		0				0	0
Jan	0	0	0			0				0	0
Fév		0	0			0			0	0	0
Mars		26.26	15.99		0		0		0	0	42.25
Avr		38.13	20.8		9.44		9.01		0	0	77.38
Mai		70.35	62.5		70.64		80.1		46.79	12.43	342.81
Juin		68.42	68.42		152.87		162.25	68.42	143.49	134.10	797.97
Juil								105.54	156.92	146.65	409.11
Aout								147.90	138.54	129.19	415.63

III.4 Calcul de débit spécifique

Les débits spécifiques sont définis sur la base des besoins en eau de chaque culture évaluée précédemment à partir de la répartition des cultures. La dose d'irrigation de la consommation de pointe est fournie sous la forme d'un débit continu fourni 24 heures sur 24 pour répondre aux besoins de consommation mensuels.

$$Q_s = \frac{B_{net} \times 10 \times 1000}{N_i \times N_j \times 3600 \times E_f} \quad (III.8)$$

Avec :

- B_{net} : besoin net du mois de pointe en (mm/mois) ;
- N_i : nombre des heures d'irrigation = 22 h ;
- N_j : nombre de jours du mois de pointe=30 jours ;
- K : Efficience d'irrigation que nous avons estimée à 75% ;

Si le débit spécifique obtenu dépasse **1,5 l/s/ha**, cela peut entraîner un **surdimensionnement** des conduites de refoulement ou à écoulement gravitaire. Pour éviter ce problème, nous avons estimé le débit spécifique en adoptant l'approche suivante :

Nous considérons le débit spécifique de la culture la plus exigeante pendant le mois de pointe.

Dans notre cas, nous avons calculé les besoins en eau pour **l'assolement 1**. Le mois de pointe est **juin**, avec un besoin net (**Bnet**) de **910,57 mm/mois**, ce qui donne un débit spécifique :

$$q_s = 5,11 \text{ l/s/ha} > 1,5 \text{ l/s/ha}$$

La culture la plus exigeante de notre assolement pendant ce mois est **l'avoine**, avec :

$$B_{\text{net}} = 171.64 \text{ mm/mois} \Rightarrow q_s = 0,96 \text{ l/s/ha} \approx 1 \text{ l/s/ha}$$

Ce choix permet de dimensionner les conduites de manière plus réaliste et économique, tout en couvrant les besoins hydriques critiques.

III.4.1 Débit caractéristique

Le calcul du débit caractéristique permet de définir le débit maximal que le système de distribution devra fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile, comme le montre la formule suivante :

$$Q_{\text{car}} = q_s \times S \quad (\text{III.9})$$

- q_s : débit spécifique de mois de pointe en (l/s/ha)
- S : la superficie irriguée (400 ha)

$$\text{Donc : } Q_{\text{car}} = q_s \times S = 1 \times 400 = 400 \text{ l/s} = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

Le volume estimé des besoins en eau est obtenu en multipliant les **besoins bruts en eau** de la culture (exprimés en m³/ha) par la **surface cultivée** correspondante.

Les résultats de ces estimations sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.21. Besoin en eau total

Culture	Surface (ha)	Besoins nets (mm)	Besoin bruts (m ³ /ha)	Volume d'eau (m ³)
Blé	80	227.7	3036.0	242 880
Orge	80	167.7	2236.0	178 880
Avoine	60	372.4	4965.3	297 920
Pomme de terre	50	30.5	406.7	203 33
Ail	15	38.4	512.0	768 0
Laitue	30	314.3	4190.7	125 720
Aubergine	10	306.5	4086.7	408 66
Piment	15	251.4	3352.0	502 80
Vigne	30	575.4	7672.0	230 160
Olivier	30	544.8	7264.0	217 920
Totale	400			141 264 0

Le volume d'eau stocké dans le barrage est de 30 Hm³, alors que le besoin total du périmètre est de 1 412 640 m³, soit 1,42 Hm³. On remarque donc que le barrage est capable de satisfaire les besoins de notre périmètre sans problème.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la méthode Penman pour estimer les besoins en eau de chaque culture. Cette méthode nous a permis de quantifier la quantité d'eau évaporée du sol et transpirée par les plantes, tout en prenant en compte divers paramètres climatiques, ainsi que les volumes nécessaires pour le mois de pointe et pour l'ensemble de l'année. Les résultats obtenus montrent que le volume d'eau disponible dans le barrage est suffisant pour assurer l'irrigation de l'ensemble du périmètre étudié.

Chapitre IV : Étude du Système d'Adduction et de Distribution

Introduction

L'aménagement d'un périmètre d'irrigation nécessite avant tout une gestion efficace et rationnelle du système, ainsi qu'une organisation appropriée. Un réseau d'irrigation se compose de l'ensemble des structures, composants et dispositifs qui assurent la distribution et la répartition de l'eau vers chaque parcelle agricole.

Dans ce chapitre, nous allons étudier en détail les éléments du réseau d'irrigation du périmètre des Arribs, ainsi que leur dimensionnement.

IV.1 Réseau d'irrigation

Un réseau d'irrigation se compose généralement de trois types d'équipements :

- **Structures de transport** : il s'agit du premier type d'équipement chargé d'acheminer l'eau d'irrigation depuis le point de prise d'eau jusqu'aux périmètres desservis. Conçues pour traiter de grands volumes d'eau, allant de quelques mètres cubes à plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde, ces structures couvrent de longues distances. Elles comprennent des structures linéaires telles que canaux, ainsi que des structures ponctuelles telles que des aqueducs, des siphons et des régulateurs.
- **Réseaux de distribution** : ce réseau est chargé de distribuer l'eau acheminée par les structures de transport à l'intérieur du périmètre, en l'acheminant vers les prises d'irrigation individuelles de chaque agriculteur. En général, ces réseaux ont une structure ramifiée afin d'assurer une distribution efficace et équitable de l'eau vers les différentes parcelles agricoles.
- **Irrigation par parcelle** : elle consiste à appliquer l'eau d'irrigation acheminée vers les prises d'eau du réseau. Chaque parcelle irriguée est une unité de terrain dotée d'une prise d'eau individuelle sur le réseau de distribution, distincte des parcelles cadastrales ou culturales. L'équipement utilisé varie en fonction de la technique d'irrigation adoptée : irrigation de surface, irrigation par aspersion ou irrigation localisée.

IV.1.1 Classification des réseaux d'irrigation

- **Réseaux gravitaires** : Ces réseaux sont constitués d'un canal principal présentant une très légère pente qui suit approximativement les courbes de niveau du terrain. Cette conception permet à l'eau de s'écouler naturellement sous l'effet de la gravité.
- **Réseaux sous pression** : Ces réseaux sont choisis lorsque le terrain présente des variations de niveau importantes. L'objectif principal de ces systèmes est de fournir de l'eau à des pressions appropriées. Les réseaux sous pression sont généralement classés en deux types : les réseaux en grille et les réseaux ramifiés.
- **Réseaux mixtes** : Ces réseaux sont utilisés lorsque certaines zones du système gravitaire sont alimentées par pompage. Ils combinent les avantages des systèmes gravitaires et sous pression pour répondre aux besoins spécifiques d'irrigation de terrains variés.

IV.2 Organisation du périmètre

Dans le périmètre des arribs, nous avons divisé le secteur de 400 hectares en 45 îlots, avec des superficies variantes entre 1 et 58 hectares.

IV.2.1 Les ilots

Un îlot d'irrigation est une unité hydro-agricole constituée de plusieurs parcelles, qui est alimentée par une borne d'irrigation.

Pour bien organiser le périmètre d'irrigation en ilots, il faut que la division en ilots se fait en fonction des facteurs suivants :

- La topographie de périmètre.
- Les facteurs technico-économiques de réseau d'irrigation.
- Les facteurs organisationnels.
- Le foncier.

IV.2.2 Les bornes

La borne d'irrigation est l'organe hydraulique destiné à assurer la livraison de l'eau, à partir des réseaux collectifs des distributions sous pression.

IV.2.2.1 Rôle et fonction de la borne d'irrigation

La Borne doit remplir les fonctions générales suivantes :

- Etablir ou interrompre la fourniture d'eau sans coup de bélier,
- Compter les volumes distribués par la prise,
- Réguler la pression,
- Régler et Limiter le débit des prises d'eau.

IV.2.2.2 Calcul hydraulique des bornes

Le débit de chaque borne est calculé comme suite :

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

Avec :

- Q_b : débit de chaque îlot (l/s) ;
- q_s : Débit spécifique (l/s/ha) ;
- S_i : Superficie de l'îlot (ha).

IV.2.2.3 Choix du diamètre et du type des bornes

Les diamètres des bornes d'irrigation dépendent principalement des débits exigés pour chaque îlot comme il est défini dans le tableau suivant :

Tableau IV.1. Choix du diamètre de la borne

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

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

- Pour les ilots qui ont un nombre de parcelles entre [4-8], et dont la superficie est inférieure à 15ha, on prend la borne à quatre prises (Borne de type A4) ;

- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie est inférieure à 15 ha, on prend la borne à deux prises (borne de type A2) ;
- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie dépasse 15 ha, on prend la borne à deux prises (Borne de type B) ;
- Pour les grands ilots on prend des bornes de type C ;

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

N° Ilot	Surface (ha)	Débit(l/s)	Type de borne
1	12	12	A4
2	3	3	A2
3	3	3	A2
4	11	11	A2
5	1	1	A2
6	16	16	B
7	7	7	A2
8	26	26	C
9	14	14	A4
10	3	3	A2
11	16	16	B
12	9	9	A2
13	9	9	A4
14	1	1	A2
15	1	1	A2
16	3	3	A2
17	2	2	A2
18	2	2	A2
19	5	5	A2
20	10	10	A2
21	16	16	B
22	10	10	A2
23	2	2	A2
24	2	2	A2
25	16	16	B
26	16	16	B
27	20	20	C
28	2	2	A2
29	4	4	A2
30	4	4	A2
31	3.5	3.5	A2
32	2.5	2.5	A2
33	2	2	A2
34	20	20	C
35	12	12	A4
36	1	1	A2
37	2	2	A2
38	2	2	A2
39	5	5	A2
40	4	4	A2
41	3	3	A2

42	5	5	A2
43	58	58	C
44	32	32	C
45	2	2	A2

IV.3 Description de l'aménagement du périmètre

IV.3.1 Conception d'un système de pompage pour l'irrigation

Les pompes sont des dispositifs mécaniques conçus pour aspirer un liquide en un point donné et le refouler vers un autre. Elles sont essentielles pour déplacer des fluides, qu'il s'agisse d'eau, de gaz ou de tout autre liquide, au sein de divers systèmes.

Leur fonctionnement repose sur la création d'un déplacement mécanique qui génère une différence de pression. Cette différence permet au fluide de circuler d'un endroit à un autre. Les principes de la physique, notamment ceux liés à la dynamique des fluides et aux lois de la pression, sont au cœur de leur utilisation.

Il existe plusieurs types de pompes, adaptés à des applications diverses. Parmi les plus courantes, on trouve :

- **Les pompes centrifuges**, qui utilisent la force centrifuge pour déplacer le liquide ;
- **Les pompes volumétriques**, qui déplacent une quantité fixe de fluide à chaque cycle ;
- **Les pompes à engrenages**, qui sont souvent utilisées pour des fluides visqueux ou lubrifiants.

Chaque type de pompe présente des caractéristiques, des avantages et des limites spécifiques selon le contexte d'utilisation.

IV.3.1.1 Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation

La hauteur manométrique totale est donnée par la formule :

$$HMT = (H_a + H_{ref}) + \Delta H + Pr \quad (IV.2)$$

Avec :

- HMT : la Hauteur Manométrique Totale en (m).
- H_a : hauteur d'aspiration.
- H_{ref} : hauteur de refoulement (m).
- H_g : Hauteur géométrique en (m) = hauteur d'aspiration + hauteur de refoulement.
- J : perte de charge fonction de la longueur du tuyau, des accessoires (vannes, coudes).
- Pr : Pression résiduelle (mCE) pression à la sortie du tube de refoulement (0.5-1m).

IV.3.1.2 Calcul de la hauteur géométrique H_g

Cote station de pompage : 663 m

La cote de bassin : $H_b = 765$ m

Alors $H_g = 765 - 663 = 102$ m

IV.3.1.3 Calcul des pertes de charge totales

Pertes de charge linéaires :

Pour déterminer les pertes des charges linéaires on utilise la formule suivante d'Hazan Williams :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{Ch} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852} \quad (IV.3)$$

- ΔH : Perte de charge en m.
- Ch: Coefficient de Hazan-Williams
- L : longueur de la conduite en m, L=2905.4 m
- D : diamètre en m.
- Q : le débit en m³/s.
- **Calcul des pertes de charge singulière**

$$\Delta H_s = 0.1 \times \Delta H_L \quad (IV.4)$$

- **Les pertes de charge totale**

$$\Delta H_T = \Delta H_L + \Delta H_s \quad (IV.5)$$

IV.3.1.4 Calcul du débit à refouler

$$\begin{aligned} Q &= qs \times S_{total} \\ Q &= 1 \times 400 = 400 \text{ l/s} \end{aligned} \quad (IV.6)$$

$$Q_{ref} = Q \times 1.05 = 0.4 \times 1.05 = 0.42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calcul du diamètre

$$D = 1.5 \sqrt[3]{Q_{ref}} = 1.5 \sqrt[3]{0.4} = 0.648 = 648 \text{ mm}$$

Tableau IV.3. Résultats du calcul de la HMT pour les différents diamètres.

Débit (m ³ /s)	Di- amètre (mm)	V (m/s)	Longueur (m)	ΔH_L (m)	ΔH_s (m)	ΔH_T (m)	HMT (m)
0.42	500	2.139	2905.40	22.13	2.213	24.343	126.34
0.42	600	1.485	2905.40	9.11	0.911	10.021	112.02
0.42	630	1.347	2905.40	7.18	0.718	7.898	109.89
0.42	700	1.091	2905.40	4.30	0.430	4.73	106.73
0.42	800	0.836	2905.40	2.24	0.224	2.464	104.46

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

IV.3.1.5 Calcul des frais d'amortissement

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

$$F = Prc \times A \quad (IV.7)$$

Avec :

- Prc : prix de la conduite (DA).
- A : Amortissement annuel, est donné par la formule suivante :

$$A = \frac{i}{1 - (i + 1)^n} \quad (IV.8)$$

- i : Taux intérêt ; i=8 % ;
- n : Durée de l'amortissement de la conduite, n=30ans

$$A.N : A = \frac{0.08}{1-(0.08+1)^{30}} = 0.0888$$

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4. Calcul de frais d'amortissement.

Diamètre (mm)	Prix de pose (DA)	Prix de ml (DA)	Linéaire (m)	Amortissement	Frais d'amortissement
500	880	9300	2905.4	0.088	260 277 3
600	950	12000	2905.4	0.088	331 099 3
700	1100	15700	2905.4	0.088	429 534 3
800	3500	25000	2905.4	0.088	728 674 3

IV.3.1.6 Calcul des frais d'exploitation

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

$$F_{exp} = E \times e \quad (IV.9)$$

- F_{exp} : frais d'exploitation (DA) ;
- E : énergie totale dépensée par la pompe (KWH) ;
- e : prix unitaire d'un KWH imposé par la SONLEGAZ. (e= 4.67 DA)

IV.3.1.7 Puissance absorbée par la pompe

La puissance absorbée par la pompe peut être exprimée par la relation suivante :

$$P = \frac{\rho \times g \times Q \times HMT}{\eta} \quad (IV.10)$$

Avec :

- η : Rendement de la pompe en pourcentage ($\eta = 75\%$)
- Q : Débit refoulé par la pompe en mètres cubes par seconde (m^3/s)
- g : Accélération due à la pesanteur ($9,81 m/s^2$)
- ρ : Masse volumique de l'eau (kg/m^3)

IV.3.1.8 Énergie utilisée par la pompe

L'énergie utilisée par la pompe est calculée de la façon suivante :

$$E = P \times t \times 365 \quad (IV.11)$$

Avec :

- t : c'est le temps de pompage par jour en (heure); est de 22 heures
- P : puissance de la pompe en (kW).

Tableau IV.5. Calcul des frais d'exploitation.

Diamètre (mm)	HMT (m)	Puissance (kW)	Energie (kw/an)	Frais d'exploitation (DA)
500	126.34	694.08	557 344 5	260 279 90
600	112.02	615.40	494 165	230 775 07
700	106.73	586.33	470 824 5	219 875 05
800	104.46	573.88	460 828 3	215 206 86

IV.3.1.9 Bilan des frais:

Le calcul des frais d'exploitation et d'amortissement aide à choisir le diamètre le plus économique pour la conduite de refoulement :

Tableau IV.6. Bilan des frais.

Diamètre (mm)	Frais d'exploitation (DA)	Frais d'amortissement (DA)	D'amortissement + D'exploitation (DA)
500	260 279 90	260 277 3	286 307 64
600	230 775 07	331 099 3	263 885 01
700	219 875 05	429 534 3	262 828 49
800	215 206 86	728 674 3	288 074 29

Le graphique suivant présente une évaluation technico-économique visant à déterminer le diamètre le plus optimal en fonction des coûts et des performances.

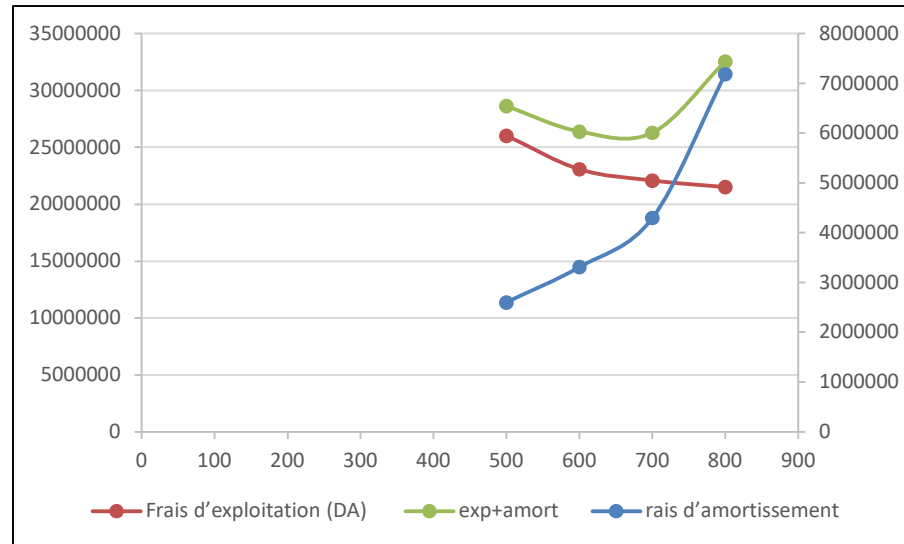


Figure IV.5. Bilan des frais en fonction des diamètres.

D'après l'étude technico-économique précédente le diamètre économique dans notre cas est :

D= 700 mm, ce qui implique que notre conduite refoule un débit de $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un HMT égale à 106.73m.

IV.3.1.10 Choix de nombre et de type de pompe

IV.3.1.11 Critères de choix du nombre de pompage :

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

IV.3.1.12 Choix du type de pompes

- Assure Q et HMT.
- Nombre minimal de pompes.
- Meilleur rendement.
- Puissance absorbée minimale.
- (NPSH) r minimale.
- Encombrement réduit pour répondre à une construction économique du bâtiment.

IV.3.1.13 Choix de nombre des pompes

D'après l'étude économiques précédente, on a fixé que :

- Le débit à refouler est : $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$
- La hauteur manométrique totale est de 106.73m .

A partir de logiciel « Caprari » on va déterminer le type, les caractéristiques, ainsi que le nombre des pompes nécessaires pour notre station de pompage

Tableau IV.7. Choix de nombre des pompes

Nombre des pompes	Débit de-mandé	HMT de-mandé	Type de pompe	Q de pompe	HMT de pompe	Puis-sance (kw)	η (%)	NPSH (m)
1	420	107	-	-	-	-	-	-
2	210	107	-	-	-	-	-	-
3	140	107	-	-	-	-	-	-
4	105	107	PM150	106	106	154	71.4	6.73
5	84	107	PM125	87.6	107	117	79.1	3.59
6	70	107	PM150	77.4	108	107	77.9	2.78
7	60	107	PM150	63.4	109	86.1	77.1	2.25

À partir de critères de choix du nombre de pompes, on a choisi 5 pompes de types PM150. Donc le système de pompage utilisé à l'irrigation de notre secteur composé 5 pompes avec 2 pompes de secours.

IV.3.2 Protection contre cavitation

Pour prévenir la cavitation, il est nécessaire que le NPSH disponible ($NPSH_d$) soit supérieur au NPSH requis ($NPSH_r$)

$$NPSH_d < NPSH_r \quad (\text{IV. 12})$$

- $NPSH_r$: Pression minimale d'aspiration requise, spécifiée par le fabricant.
- $NPSH_d$: Pression minimale d'aspiration requise, déterminée par l'installateur.

Le $NPSH_d$ peut être calculé par la relation suivante :

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\rho g} - ZE - \Delta H_{asp} - \frac{P_v}{\rho g} - \frac{V_{asp}^2}{2g} \quad (\text{IV. 13})$$

- $\frac{P_{atm}}{\rho g}$: La pression atmosphérique à la station de pompage en m.c.e de 10,33 mètres de haut.
- ZE : la différence de dénivelé entre le niveau de pompage et la bride d'entrée de la pompe.

- P_v : en m.c.e, pour la plupart des installations, est en fonction de la température ambiante. Avec une température d'eau comprise entre 15°C et 20°C, il est recommandé de prendre une valeur de $P_v = 20$ hPa, ce qui correspond à une valeur de $\frac{P_v}{\rho g} = 0.24$.
- V (m/s) : vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration.
- ΔH_{asp} : perte de charge à l'aspiration. Les pertes de charges linéaires sont utilisées pour la conduite d'aspiration. 4m/1000m.

Longueur = 4m, donc ΔH apparente = 0,016m.

AN: On a 5 pompes qui implique que le débit d'aspiration se divise en 5 parties ;

Donc on trouve : $D = \sqrt[4]{Q} = \sqrt[4]{0.08} = 0.283 \text{ m}$

Après la normalisation $D = 315 \text{ mm}$. Alors: $V = 1.03 \text{ m/s}$.

$$NPSHd = 10.33 - 0.24 - 2 - 0.016 - \frac{1.03^2}{2 \times 9.81} = 8.02 > 3.59 + 0.5$$

Donc la condition est vérifiée.

IV.3.3 Dimensionnement du réservoir de stockage

Le volume de l'ouvrage de stockage est donné comme suivant :

$$V_{\text{réservoir}} = Q_{\text{forcé}} \times T_{nf} \quad (\text{IV. 14})$$

Avec :

- $V_{\text{réservoir}}$: volume de réservoir, qui dans notre cas est rectangulaire en m^3 .
- $Q_{\text{forcé}}$: débit forcé en m^3/h
- T_{nf} : temps de non-fonctionnement, égale à 1 h

$$\text{A.N : } V_{\text{réservoir}} = 0.42 \times 3600 \times 1 = 1512 \text{ m}^3$$

On prend un volume de 1500 m^3 et on fixe la hauteur de réservoir égale à 4 m.

Les caractéristiques du réservoir de stockage sont les suivantes :

- Volume de 1500 m^3 ,
- Hauteur de 4m,
- La longueur 20m
- La largeur 18.75 m

IV.4 Etude du système d'adduction-distribution (desserte gravitaire)

L'alimentation des îlots du périmètre s'effectue par un système gravitaire, acheminant l'eau depuis le réservoir de stockage jusqu'au point le plus éloigné du périmètre. Ce réseau est constitué de conduites dont le matériau doit être sélectionné en fonction de divers paramètres techniques et environnementaux.

IV.4.1 Choix du matériau des conduits

- Le choix des matériaux utilisés dépend de :

- La pression supportée,
- L'érosion des sols,
- Le coût et disponibilité du marché,

Nous avons opté pour des conduites en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) en raison de leurs caractéristiques techniques exceptionnelles. Ces conduites sont capables de supporter des pressions élevées et offrent une résistance accrue aux chocs, à l'écrasement et aux déplacements du terrain. Elles s'adaptent à diverses conditions de service grâce à leur flexibilité, ce qui les rend particulièrement adaptées aux environnements exigeants.

IV.4.1.1 Calculs hydrauliques

Le calcul hydraulique consiste à dimensionner un réseau en déterminant les diamètres et matériaux des conduites, les cotes piézométriques des nœuds et des bornes, ainsi que les pressions associées.

L'estimation des diamètres des conduites est faite selon la formule de continuité de type Chezy :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1.25}} \quad (\text{IV. 15})$$

— Les pertes de charges linéaires sont calculées selon la formule de Hazen Williams :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{Ch} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852} \quad (\text{IV. 16})$$

— Cote piézométrique :

- Cote piézométrique aval = Cote piézométrique amont – perte de charge.
- Pression = Cote piézométrique – Cote terrain.

IV.4.2 La simulation des pressions et les vitesses

La simulation des pressions et des vitesses a été réalisée à l'aide du logiciel EPANET. Elle permet de vérifier le bon fonctionnement du réseau, notamment en identifiant d'éventuelles anomalies comme les surpressions ou vitesses excessives.

Les résultats des simulations pour les pressions et les vitesses sont présentés dans les figures suivantes :

IV.4.2.1 Les pressions

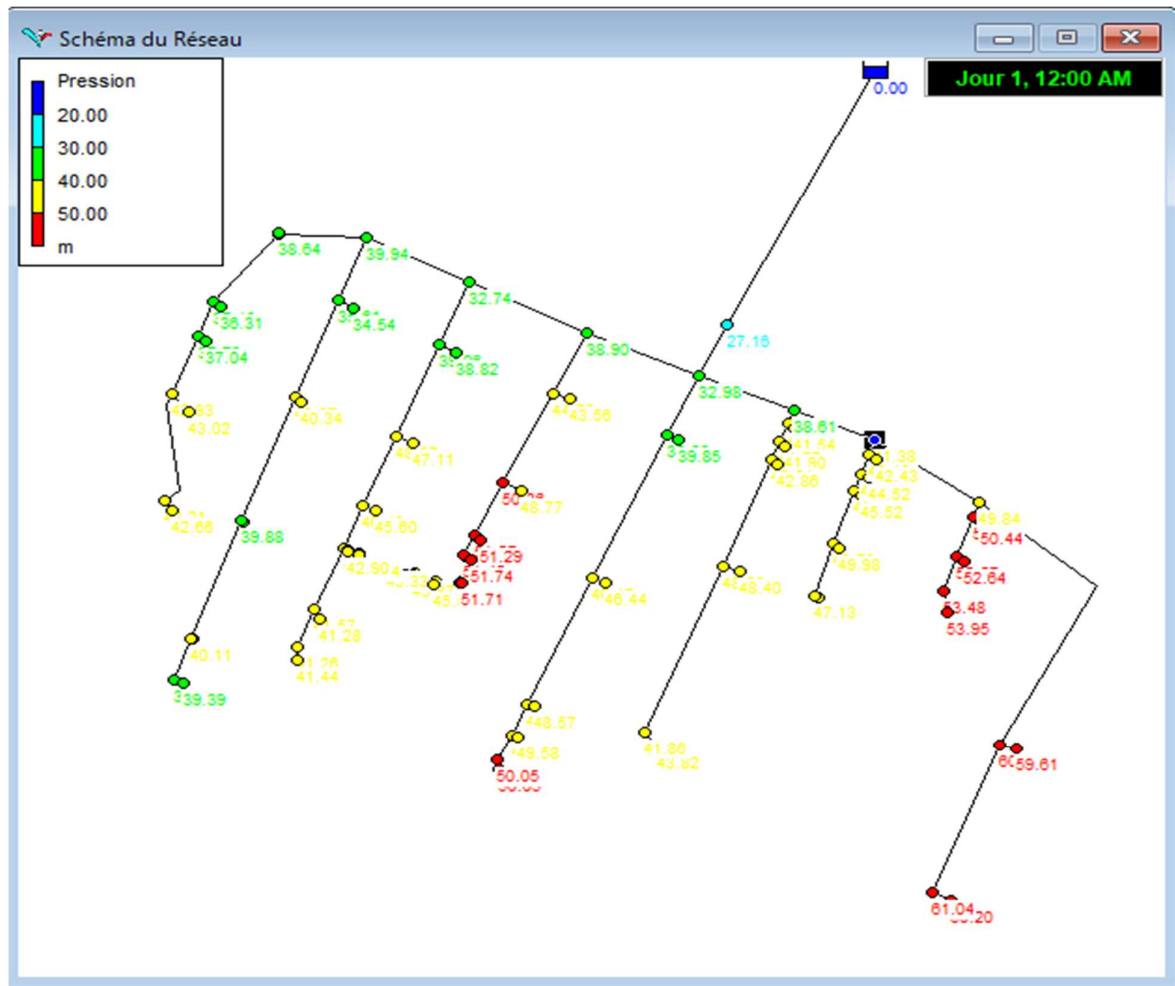


Figure IV.2. Simulation des pressions du réseau.

IV.4.2.2 Les vitesses

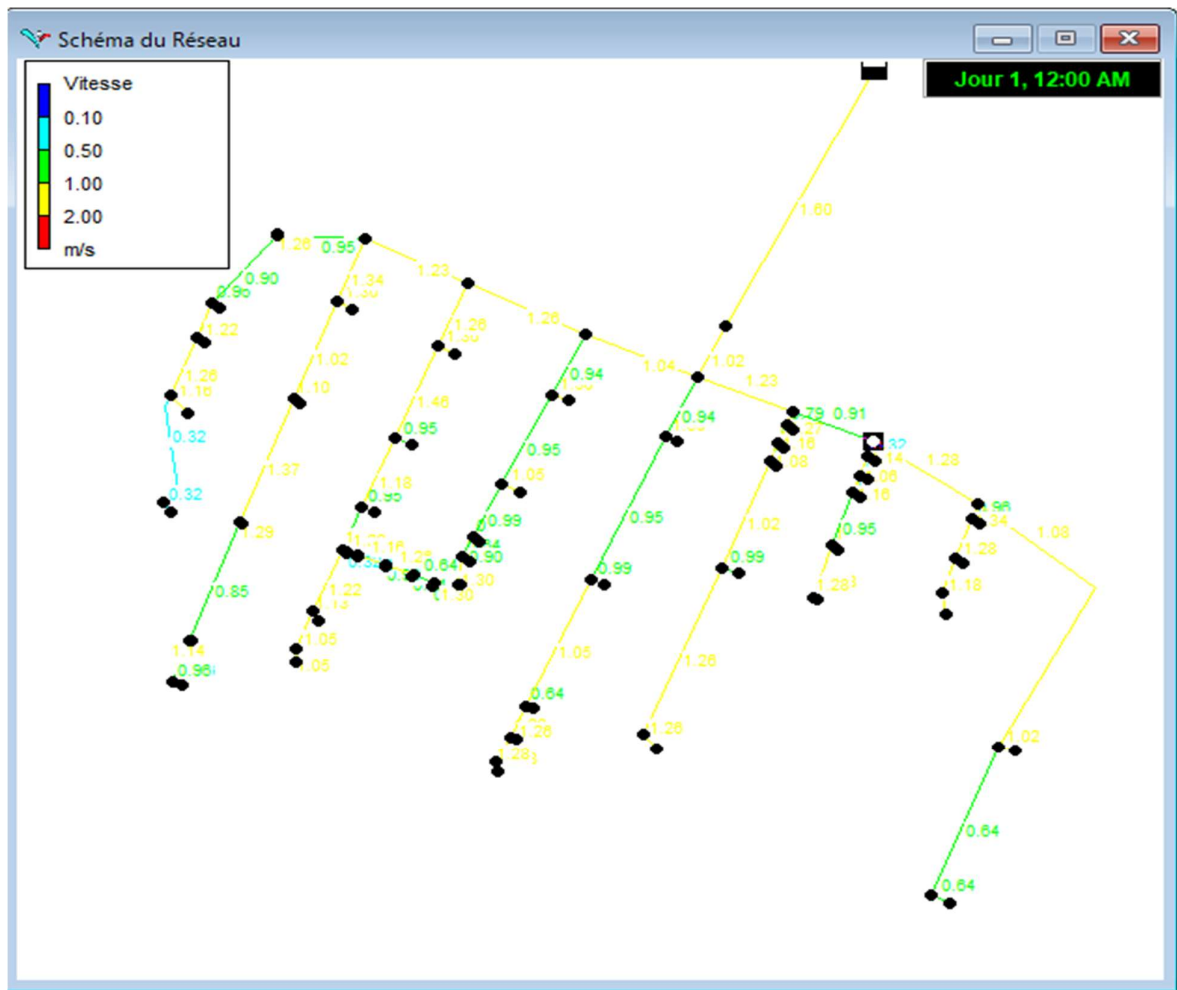


Figure IV.3. Simulation des vitesses du réseau.

Les résultats de calcul sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV.8. Résultats de calcul hydraulique du réseau

N°du trancon	L (m)	Q (l/s)	Dcalculé (m)	Dnormalisé	V (m/s)	ΔH (m)	ΔH_T	C _{T.amant} (m)	C _{T.aval} (m)	C _{pamont} (m)	C _{paval} (m)	P _{pamont} (m)	P _{paval} (m)
BR-ST	860.3	400	0.632	710	1.3	0.95	1.04	765.00	736	765	763.96	0	27.16
STN1	160.9	400	0.632	710	1.3	0.18	0.19	736.00	730	763.16	762.97	27.16	32.98
N1-R1	203.3	46	0.214	250	1.21	0.66	0.72	730.00	723.5	762.98	762.26	32.98	38.83
R1-B1	35.8	16	0.126	125	1.68	0.48	0.53	723.50	722	762.33	761.8	38.83	39.85
R1-R2	497.5	30	0.173	200	1.23	2.16	2.38	723.50	714	762.33	759.95	38.83	46.17
R2-B2	38	20	0.141	160	1.28	0.23	0.25	714.00	713.5	760.17	759.92	46.17	46.44
R2-R3	423.3	10	0.1	110	1.36	4.41	4.86	714.00	707.5	760.17	755.31	46.17	48.25
R3-B3	22.4	2	0.045	63	0.83	0.18	0.2	707.50	707	755.75	755.55	48.25	48.57
R3-R4	109.9	8	0.089	90	1.62	2.01	2.22	707.50	704.5	755.75	753.53	48.25	49.23
R4-B4	22.6	4	0.063	63	1.66	0.65	0.72	704.50	703.5	753.73	753.01	49.23	49.58
R4-R5	92.8	4	0.063	63	1.66	2.68	2.94	704.50	701	753.73	750.79	49.23	50.05
R5-B5	34.7	4	0.063	63	1.66	1	1.1	701.00	700	751.05	749.95	50.05	50.05
N1-N2	334.3	200	0.447	500	1.31	0.56	0.62	730.00	723.5	762.98	762.36	32.98	38.9
N2-R6	211.5	46	0.214	250	1.21	0.68	0.75	723.50	717	762.4	761.65	38.9	44.72
R6-B6	49.4	16	0.126	125	1.68	0.66	0.73	717.00	717.5	761.72	760.99	44.72	43.56
R6-R7	312.5	30	0.173	200	1.23	1.36	1.49	717.00	710	761.72	760.23	44.72	50.36
R7-B7	56.4	10	0.1	110	1.36	0.59	0.65	710.00	711	760.36	759.71	50.36	48.77
R7-R8	179.7	20	0.141	160	1.28	1.09	1.2	710.00	708	760.36	759.16	50.36	51.27
R8-B8	21.9	2	0.045	63	0.83	0.18	0.19	708.00	707.8	759.27	759.08	51.27	51.29
R8-R9	70	18	0.134	160	1.15	0.35	0.38	708.00	707.5	759.27	758.89	51.27	51.42
R9-B9	21.8	2	0.045	63	0.83	0.17	0.19	707.50	707	758.92	758.73	51.42	51.74
R9-R10	43.3	16	0.126	125	1.68	0.58	0.64	707.50	706.5	758.92	758.28	51.42	51.84
R10-B10	46.8	16	0.126	125	1.68	0.62	0.69	706.50	706	758.34	757.65	51.84	51.71
N2-N3	361.7	154	0.392	400	1.58	1.11	1.22	723.50	728.5	762.4	761.18	38.9	32.74
N3-R11	209.3	58	0.241	250	1.52	1.04	1.14	728.50	721	761.24	760.1	32.74	39.06
R11-B11	55.6	16	0.126	125	1.68	0.74	0.82	721.00	720.5	760.06	759.24	39.06	38.82
R11-R12	312.3	42	0.205	200	1.72	2.53	2.78	721.00	708.5	760.06	757.28	39.06	48.57

R12-B12	53.5	9	0.095	110	1.22	0.46	0.5	708.50	709.5	757.07	756.57	48.57	47.11
R12-R13	236.1	33	0.182	200	1.35	1.22	1.34	708.50	710	757.07	755.73	48.57	46.43
R13-B13	37.9	9	0.095	110	1.22	0.32	0.36	710.00	710.5	756.43	756.07	46.43	45.6
R13-R14	143.3	24	0.155	160	1.54	1.22	1.34	710.00	713	756.43	755.09	46.43	43.05
R14-R15	14.4	9	0.095	125	0.94	0.07	0.07	713.00	713.2	756.05	755.98	43.05	42.72
R15-B14	5.1	1	0.032	63	0.42	0.01	0.01	713.20	713	755.92	755.91	42.72	42.9
R15-R16	31.8	8	0.089	110	1.09	0.22	0.24	713.20	712.8	755.92	755.68	42.72	42.65
R16-B15	5.7	1	0.032	63	0.42	0.01	0.01	712.80	711.5	755.45	755.44	42.65	43.94
R16-R17	82.2	7	0.084	110	0.95	0.44	0.49	711.50	711.2	754.15	753.66	42.65	43.23
R17-B16	5.5	3	0.055	63	1.25	0.09	0.1	711.20	711	754.43	754.33	43.23	43.33
R17-R18	82.3	4	0.063	90	0.81	0.42	0.46	711.50	708.5	754.73	754.27	43.23	44.42
R18-B17	5.3	2	0.045	63	0.83	0.04	0.05	708.50	709	752.92	752.87	44.42	43.87
R18-R19	65.7	2	0.045	63	0.83	0.52	0.58	708.50	707	752.92	752.34	44.42	45.39
R19-B18	5.3	2	0.045	63	0.83	0.04	0.05	707.00	706.8	752.39	752.34	45.39	45.55
R14-R20	208.6	15	0.122	125	1.57	2.47	2.72	713.00	712	756.05	753.33	43.05	41.57
R20-B19	31.6	5	0.071	75	1.46	0.59	0.65	712.00	711.7	753.57	752.92	41.57	41.28
R20-R21	125.9	10	0.1	110	1.36	1.31	1.44	712.00	711	753.57	752.13	41.57	41.26
R21-B20	40	10	0.1	110	1.36	0.42	0.46	711.00	710.4	752.26	751.8	41.26	41.44
N3-N4	317.1	96	0.31	315	1.59	1.3	1.43	728.50	720	761.24	759.81	32.74	39.94
N4-R22	211.1	66	0.257	250	1.73	1.33	1.46	720.00	723	759.94	758.48	39.94	35.61
R22-B21	49.6	16	0.126	125	1.68	0.66	0.73	723.00	723.4	758.61	757.88	35.61	34.54
R22-R23	329.4	50	0.224	250	1.31	1.24	1.37	723.00	717	758.61	757.24	35.61	40.37
R23-B22	22.7	7	0.084	90	1.42	0.33	0.36	717.00	716.7	757.37	757.01	40.37	40.34
R23-R24	411.8	43	0.207	200	1.76	3.48	3.83	717.00	714	757.37	753.54	40.37	39.88
R24-B23	5	26	0.161	160	1.67	0.05	0.05	714.00	714.3	753.88	753.83	39.88	39.53
R24-R25	394.9	17	0.13	160	1.09	1.77	1.95	714.00	712	753.88	751.93	39.88	40.11
R25-B24	4.9	14	0.118	125	1.47	0.05	0.06	712.00	711.4	752.11	752.05	40.11	40.66
R25-R26	137.4	3	0.055	63	1.25	2.33	2.56	712.00	710.8	752.11	749.55	40.11	38.98
R26-B25	5	3	0.055	63	1.25	0.08	0.09	710.80	710.3	749.78	749.69	38.98	39.39
N4-R27	242.5	30	0.173	200	1.23	1.05	1.16	720.00	720.5	759.94	758.78	39.94	39
R27-B26	4.7	12	0.11	110	1.63	0.07	0.07	720.50	720.8	759.5	759.43	39	38.64

R27-R28	281.8	18	0.134	160	1.15	1.41	1.55	720.50	721	759.5	757.95	39	37.1
R28-B27	23	3	0.055	63	1.25	0.39	0.43	721.00	721.4	758.1	757.67	37.1	36.31
R28-R29	115.2	15	0.122	125	1.57	1.37	1.5	721.00	719	758.1	756.6	37.1	37.73
R29-B28	23.1	3	0.055	63	1.25	0.39	0.43	719.00	719.3	756.73	756.3	37.73	37.04
R29-R30	191.5	12	0.11	110	1.63	2.8	3.08	719.00	711	756.73	753.65	37.73	42.93
R30-B29	72.8	11	0.105	110	1.5	0.91	1	711.00	710	753.93	752.93	42.93	43.02
R30-R31	321	1	0.032	63	0.42	0.71	0.78	711.00	711	753.93	753.15	42.93	42.21
R31-B30	25.2	1	0.032	63	0.42	0.06	0.06	711.00	710.5	753.21	753.15	42.21	42.66
N1-N5	285.8	154	0.392	400	1.58	0.88	0.97	730.00	723.5	762.98	762.01	32.98	38.61
N5-R32	46	40	0.2	200	1.64	0.34	0.37	723.50	720.5	762.11	761.74	38.61	41.27
R32-B31	23.1	3.5	0.059	75	1.02	0.22	0.25	720.50	720	761.77	761.52	41.27	41.54
R32-R33	63.3	36.5	0.191	200	1.5	0.4	0.43	720.50	719.6	761.77	761.34	41.27	41.77
R33-B32	22.6	2.5	0.05	63	1.04	0.27	0.3	719.60	719.2	761.37	761.07	41.77	41.9
R33-R34	60.7	34	0.184	200	1.4	0.33	0.37	719.60	718.5	761.37	761	41.77	42.54
R34-B33	22.7	2	0.045	63	0.83	0.18	0.2	718.50	718	761.04	760.84	42.54	42.86
R34-R35	357.1	32	0.179	200	1.31	1.75	1.92	718.50	711	761.04	759.12	42.54	48.29
R35-B34	48	20	0.141	160	1.28	0.29	0.32	711.00	710.6	759.29	758.97	48.29	48.4
R35-R36	542.2	12	0.11	125	1.26	4.25	4.68	711.00	709.5	759.29	754.61	48.29	41.86
R36-B35	71.1	12	0.11	110	1.63	1.04	1.14	709.50	706.5	751.36	750.22	41.86	43.82
N5-N6	242.8	114	0.338	400	1.17	0.43	0.47	723.50	720.3	762.11	761.64	38.61	41.38
N6-R37	47.3	14	0.118	125	1.47	0.49	0.54	720.30	719	761.68	761.14	41.38	42.19
R37-B36	23.3	1	0.032	63	0.42	0.05	0.06	719.00	718.7	761.19	761.13	42.19	42.43
R37-R38	64.1	13	0.114	125	1.36	0.58	0.64	719.00	716.5	761.19	760.55	42.19	44.1
R38-B37	23.3	2	0.045	75	0.58	0.08	0.09	716.50	716	760.6	760.51	44.1	44.52
R38-R39	56.2	11	0.105	110	1.5	0.7	0.77	716.50	714.8	760.6	759.83	44.1	45.1
R39-B38	23.2	2	0.045	63	0.83	0.19	0.2	714.80	714.2	759.9	759.7	45.1	45.52
R39-R40	174.9	9	0.095	110	1.22	1.5	1.65	714.80	708.7	759.9	758.25	45.1	49.7
R40-B39	22.6	5	0.071	75	1.46	0.42	0.46	708.70	708	758.4	757.94	49.7	49.98
R40-R41	168.4	4	0.063	75	1.17	2.08	2.29	708.70	706.4	758.4	756.11	49.7	47.13
R41-B40	22.3	4	0.063	63	1.66	0.64	0.71	706.40	706	753.53	752.82	47.13	46.89

N6-N7	348.8	100	0.316	315	1.65	1.54	1.69	720.30	710.3	761.68	759.99	41.38	49.84
N7-R42	48.4	66	0.257	250	1.73	0.31	0.34	710.30	709.5	760.14	759.8	49.84	50.33
R42-B41	22.9	3	0.055	63	1.25	0.39	0.43	709.50	709	759.83	759.4	50.33	50.44
R42-R43	132.4	63	0.251	250	1.65	0.77	0.84	709.50	706.5	759.83	758.99	50.33	52.57
R43-B42	22.6	5	0.071	75	1.46	0.42	0.46	706.50	706	759.07	758.61	52.57	52.64
R43-R44	117.5	58	0.241	250	1.52	0.58	0.64	706.50	705	759.07	758.43	52.57	53.48
R44-B43	66.7	58	0.241	250	1.52	0.33	0.36	705.00	704.2	758.48	758.12	53.48	53.95
N7-R45	913.3	34	0.184	250	0.89	1.69	1.85	710.30	695	760.14	758.29	49.84	60.14
R45-B44	46.7	32	0.179	200	1.31	0.23	0.25	695.00	695.3	755.14	754.89	60.14	59.61
R45-R46	512.5	2	0.045	75	0.58	1.75	1.93	695.00	690	755.14	753.21	60.14	61.04
R46-B45	17.7	2	0.045	63	0.83	0.14	0.16	690.00	690.7	751.04	750.88	61.04	60.2

Conclusion

Le réseau d'adduction et de distribution est l'un des éléments clés d'un système d'irrigation dans un périmètre donné. Dans ce cadre, nous avons opté pour une solution d'adduction qui repose sur un système de pompage depuis le barrage de Lakehal jusqu'à un réservoir de stockage. La conduite de refoulement, d'un diamètre de 700 mm, alimente un réservoir d'une capacité de 1 500 m³, implanté à une altitude de 765 mètres.

Pour alimenter les parcelles réparties sur les 45 îlots, nous avons retenu des conduites en polyéthylène haute densité (PEHD) pour le réseau d'adduction et de distribution.

Les pressions calculées dans le réseau sont globalement satisfaisantes, variant entre 2,7 et 6 bars. Toutefois, afin de préserver l'intégrité des conduites face aux surpressions éventuelles, certains points seront équipés de dispositifs brise-charges pour limiter les pressions excédant 7 bars.

Chapitre V : Dimensionnement à la Parcelle

Introduction

L'irrigation d'une parcelle repose sur l'acheminement et l'utilisation de l'eau via les prises du réseau de distribution. Une parcelle d'irrigation correspond à une unité de surface dotée d'une prise individuelle permettant à l'exploitant de gérer son approvisionnement en eau. Les équipements et aménagements mis en place varient en fonction de la méthode d'irrigation choisie, parmi lesquelles on compte l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée.

Ce chapitre a pour objectif de dimensionner un réseau d'aspersion et un réseau goutte à goutte.

V.1 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par goutte à goutte

- **Choix de la culture :** Nous avons choisi la pratique de l'irrigation pour la culture de l'olivier, culture céréalière qui présente des avantages notables tant sur le plan agronomique qu'économique.
- **Choix des parcelles de l'îlot :** Le réseau d'irrigation par goutte à goutte est mis en place sur la parcelle P1 (îlot N2), d'une superficie de 1.2 hectares. La parcelle est alimentée par la borne (B-27) et les pressions calculées pour cette borne sont de l'ordre de 3.6 bars. Ces valeurs de pression sont largement suffisantes pour assurer l'alimentation en eau de la parcelle.

- Longueur L : 120 m ;
- Largeur b : 100 m ;
- Texture : Argile limoneuse ;
- Efficacité de l'irrigation E_{as} : 75% ;
- Temps de travail : 20 heures par jour et 26 jours par mois ;
- Débits des goutteurs égale à 4 l/h ;
- Besoins de pointe : 146.65 mm/mois pour le mois de pointe (juin) ;
- Perméabilité du sol K : 5 mm/h ;
- Espacement entre les goutteurs : 1.5 – 2m.
- Espacement entre les arbres et entre les rangées : 4m / 4m
- Nombre des goutteurs pour chacun arbre : 2 goutteurs

V.1.1 Calcul de l'évapotranspiration corrigée

En micro-irrigation, l'eau est apportée de manière localisée à une petite portion du sol, à proximité des plantes. Cette technique implique l'utilisation d'un coefficient de réduction, K_r , appliqué à l'évapotranspiration maximale (ETM). L'évapotranspiration modifiée (ETM_r) est donc calculée comme suit :

$$ETM_c = ETM \times K_r \quad (V.1)$$

Diverses formules permettent de calculer K_r qui sont :

- **KELLER et KARMELI (1974)**

$$K_r = \frac{C_s}{0.85} \quad (V.2)$$

- **La formule de FREEMAN et GARZOLI**

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s) \quad (V.3)$$

• **La formule de Decroix (CTGREF)**

$$K_r = 0.1 + C_s \quad (V.4)$$

On prévoit un taux de couverture égale à 60% (pour les arbres adultes) donc on prend $K_r = 0.80$
Selon **la formule de Freeman et Garzoli**

$$\text{Donc : } ETM_c = ETM \times 0.8 = 0.8 \times \frac{146.65}{30} = 3.9 \approx \mathbf{4 \text{ mm/j}}$$

V.1.2 Calcul de la dose d'irrigation corrigée :

La dose d'irrigation corrigée peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$RFU = Y \times (H_{cc} - H_{pf}) \times Da \times Z \quad (V.5)$$

Tel que :

- H_{cc} : Humidité à la capacité au champ ($H_{cc} = 27\%$);
- H_{pf} : Humidité au point de flétrissement ($H_{pf} = 15\%$);
- Y : Coefficient qui dépend de la nature du sol ($Y = 2/3$);
- Da : Densité apparente du sol ($D = 1.42 \text{ m}$);
- Z : Profondeur racinaire ($Z = 1.5 \text{ m}$).
- P : Pourcentage du sol humidifié.

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

$$P = \frac{n \times Spd \times Sh}{Sa \times Sr} \quad (V.6)$$

- n : Nombre de point de distribution par arbre (2 par arbre)
- Spd : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre (1m)
- Sh : Largeur de la bande humidifiée (1m)
- Sr : Écartement entre rangs d'arbre (4m)
- Sa : espacement des arbres sur les rangs (4m)

$$A. N : P = 0.13 = 13\%$$

$$\text{Dose corrigée} = 22.15 \text{ mm}$$

V.1.3 Paramètres d'arrosage

V.1.3.1 Fréquence d'arrosage

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

$$Tr = \frac{Dose_{corrigée}}{ETM_c} \quad (V.7)$$

$$Tr = \frac{22.15}{4} = 5.55$$

Donc on prend une fréquence de 6 jours.

V.1.3.2 La dose réelle

La dose réelle est calculée par la formule suivant :

$$D_{réelle} = Tr \times ETM_c \quad (V.8)$$

$$D_{réelle} = 6 \times 4 = 24 \text{ mm}$$

V.1.3.3 La dose brute

La dose brute calculée par la relation suivante :

$$D_{brute} = \frac{D_{réelle}}{Cu \times Eff} \quad (V.9)$$

- Cu : coefficient d'uniformité : Cu = 90%
- Eff : efficience du réseau d'irrigation : Eff = 90%

Donc : $D_{brute} = 29.63 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$

V.1.3.4 Temps d'arrosage

Le temps d'arrosage calculé par :

$$Tf = \frac{D_{brute} \times Sd \times Sr}{n \times qg} \quad (V.10)$$

Avec :

- Sd : Espacement entre les distributeurs.
- Sr : Espacement entre les rangs.
- n : le nombre des goutteurs.
- qg : Débit des goutteurs

Alors : Tf = 15 heures / jour

V.1.4 Calcul hydraulique des rampes et ports-rampes

V.1.4.1 Condition de Christensen

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

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\% \quad (V.11)$$

Avec :

- Δq : variation du débit entre goutteurs.
- q : débit des goutteurs.
- $\Delta H_{signulière} = 10\% \times \Delta H_{max} = 0.2 \text{ m}$ et $\Delta H_{linéaire total} = 1.8 \text{ m}$
- Pour les rampes : $\Delta H_{linéaire} = \frac{2}{3} \times 1.8 = 1.2 \text{ m}$
- Pour les ports rampes : $\Delta H_{linéaire} = \frac{1}{3} \times 1.8 = 0.6 \text{ m}$

V.1.4.2 Les débits

$$Q_r = Q_g \times N_{g/rampe} \quad (V.12)$$

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r \quad (V.13)$$

Avec :

- Q_r : débit de la rampe (l/h)
- Q_{pr} : débit du porte rampe (l/h)
- Q_g : débit du goutteur (l/h)

- N_r : nombre de rampes
- $N_{g/rampe}$: nombre de goutteurs

On a :

- La longueur de la rampe est de : 100m
- La longueur de la porte rampe est de : 120 m

- **Nombre des arbres par rampe**

$$N_{arbre/rampe} = \frac{l_r}{E_r} = \frac{100}{4} = 25 \text{ arbres} \quad (V.14)$$

On trouve 25 arbres par rampes.

- **Nombre des goutteurs par rampe**

$$N_{g/rampe} = N_{g/rampe} \times 2 = 25 \times 2 = 50 \text{ goutteurs} \quad (V.15)$$

Il existe 50 goutteurs par rampe.

- **Nombres des rampes**

$$N_r = \frac{L_{terrain}}{E_a} = \frac{120}{4} = 30 \text{ rampes} \quad (V.16)$$

Alors :

$$Q_r = Q_g \times N_{g/rampe} = 4 \times 50 = 200 \text{ l/h} = 5.55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r = 200 \times 30 = 6000 \text{ l/h} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

V.1.5 Diamètres des rampes et la ports-rampe

D'après la formule de perte de charge de Hazen-Williams :

$$\phi_r = \left[\frac{pdc.r \times 2.75}{0.478 \times Q_r^{1.75} \times L_r} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad (V.17)$$

$\phi_r = 12.4 \text{ mm}$, Le diamètre normalise sera DN = 16 mm

$$\phi_{pr} = \left[\frac{pdc.r \times 2.75}{0.478 \times Q_{pr}^{1.75} \times L_{pr}} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad (V.18)$$

$\phi_{pr} = 58.6 \text{ mm}$, Le diamètre normalisé sera DN = 63 mm

V.1.6 Vérification des pertes de charge

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{Ch} \right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852} \quad (V.19)$$

Alors :

- Pour les rampes : $\Delta H_r = 0.95$
- Pour les ports-rampes : $\Delta H_{pr} = 0.79$
- $\Delta H_{pr} + \Delta H_r = 1.74 < 1.8$ donc la condition vérifiée.

V.1.7 Dimensionnement de la conduite tertiaire

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1.15 m/s tel que :

$$D_{ct} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad (V.20)$$

Alors : $D_{ct} = 43$ mm, le normalisé $DN_{ct} = 63$ mm

Tableau V.1. Récapitulatif du réseau d'irrigation par goutte à goutte

Conduite	Rampe	Ports-rampe	Tertiaire
Longueur	100	120	20
Diamètre	16	63	63
Débit	$5.55 \times 10^{(-5)}$	0.00167	0.00167
Vitesse	0.28	0.38	0.53
Pert de charge	0.95	0.78	0.13

V.2 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion

Pour concevoir un réseau d'irrigation par aspersion nous avons choisi la parcelle N1 dans l'ilot N 32, qui s'étend sur une superficie de 1.1 hectare et qui possède les caractéristiques suivantes :

- Surface : 1.1 ha ;
- Longueur : 110 m ;
- Largeur : 100m ;
- La culture : Avoine son besoin de point est 171.64 mm ;
- Alimentation en eau : Borne (B-32) ;
- Pression disponible à la borne : 4.2 bars ;
- Perméabilité du sol : 10 mm/h ;
- Densité apparente de sol : 1.42 ;

V.2.1 Calcul de la dose pratique

$$RFU = Y \times (H_{cc} - H_{pf}) \times Da \times Z \quad (V.21)$$

- Y : degré de tarissement : égal à 2/3
- Da : densité apparente : égale à 1.42
- Z : profondeur d'enracinement mm (60 cm)
- H_{cc}: humidité à la capacité au champ (27%)
- H_{pf} : humidité au point de flétrissement (15%)

$$A.N : RFU = (0.27 - 0.15) \times 1.42 \times \left(\frac{2}{3}\right) \times 600 = 68.16 \text{ mm}$$

V.2.2 Dimensionnement de l'asperseur

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 10mm/h.

On pose que la pluviométrie de la buse est égale à la perméabilité de sol c'est-à dire :

$P=K = 10\text{mm/h}$ avec

$$P = \frac{1.5d}{1.04} \quad (V.22)$$

Nous avons choisi le diamètre 4.8mm sous une pression de 2.5 bars qui nous donne un porté théorique de 15.4 m en se référant à la nouvelle fiche technique de l'asperseur de type Pierrot (actualisé).

V.2.2.1 Calcul de la portée

La portée des asperseurs correspond à la distance maximale sur laquelle un asperseur peut projeter de l'eau. Elle est généralement calculée à l'aide de la formule empirique suivante :

$$L = 3 \times d^{0.5} \times H^{0.25} \quad (V.23)$$

Avec :

- d : diamètre de la buse en mm.
- H: pression à la buse en m.

$$\text{A.N : } L = 3 \times 4.8^{0.5} \times 25^{0.25} = 14.69 \approx 15\text{m}$$

V.2.2.2 Calcul des écartements

D'après la vitesse moyenne de vent de la région qui est égale à 12.24 km/h ; le vent est faible donc les écartements sont calculés par les relations suivantes :

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

- Ea : est la distance entre les asperseurs de la même rampe.

$$El = 1.2 \times L = 1.2 \times 15 = 18\text{m} ;$$

- El : est la distance entre les rampes.

L'écartement final du réseau d'irrigation par aspersion est : 12x18 m.

V.2.2.3 Vérification de la pluviométrie de la buse

$$P_{asp} = \frac{q_{asp}}{Ea \times El} \quad (V.24)$$

Avec :

$$q_{asp} = 0.95 \times \frac{\pi d^2}{4} \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (V.25)$$

$$\text{Alors : } P_{asp} = \frac{0.95 \times \frac{\pi (4.8 \times 10^{-3})^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 25}}{12 \times 18} = 6.34 \text{ mm/h} < 10 \text{ mm/h}$$

V.2.2.4 Paramètres d'arrosage

• Tours d'eau

$$T_{eau} = \frac{RFU \times Nj}{Bp} \quad (V.26)$$

Avec :

- RFU : égale à 68.16 mm
- Nj : le nombre de jours de travail par mois égale 26 jours.
- Bp : besoin de moins de point égale 171.64 mm.

$$A.N: Teau = \frac{68.16 \times 26}{171.64} = 10.24 \approx 10 \text{ jours}$$

Donc le nombre d'irrigation par mois égale 3 fois/mois.

• Dose réelle

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

$$D_{réelle} = \frac{Bp}{\text{nombre d'irrigation par mois}} \quad (V.27)$$

$$= \frac{171.64}{3} = 57.21 \text{ mm}$$

• Dose brute

Elle est définie comme la quantité d'eau qui doit effectivement être apportée à la parcelle, en tenant compte des pertes en eau. Elle est déterminée à partir de la formule suivante :

$$D_{brut} = \frac{D_{réelle}}{Eff} \quad (V.28)$$

Avec : eff : est l'efficacité de l'aspersion qui est égale à 75%

$$A.N: D_{brute} = \frac{57.21}{0.75} = 76.28 \text{ mm}$$

Temps d'arrosage :

$$T = \frac{D_{brute}}{P_{asp}} \quad (V.29)$$

$$A.N: T = \frac{76.28}{6.34} = 12 \text{ h}$$

Donc on adopte 2 positions par jour pour chaque asperseur.

• Débit d'équipement

$$Q_{éq} = \frac{S \times Bp \times 10}{T \times n \times Nj \times Eff} \quad (V.30)$$

Avec :

- Q_{éq} : débit d'équipement en m³/h.
- S : surface de la parcelle en ha.
- Bp : besoin net de mois de point de la culture choisie.
- T : tours d'eau.
- n : nombre de positions d'un asperseur par jour.
- Eff : efficacité d'irrigation par aspersion.

$$A.N: Q_{éq} = \frac{1.1 \times 171.64 \times 10}{10 \times 2 \times 26 \times 0.75} = 4.84 \text{ m}^3/\text{h}$$

V.2.3 Calcul hydraulique des rampes et porte rampe

- La longueur de la rampe

A.N : $L_r = 100 - 12/2 = 94 \text{ m}$

- Nombre des asperseurs par rampe

$$N_{asp/rampe} = \frac{L_r}{Ea} \quad (V.31)$$

$N_{asp/rampe} = \frac{94}{12}$, Donc on prend 7 asperseurs.

- Nombre des rampes

Une seule rampe.

- Débit de la rampe

$$Q_r = q_{asp} \times N_{asp/rampe} \quad (V.32)$$

A.N: $Q_r = 1.37 \times 7 = 9.59 \text{ m}^3/h = 0.0027 \text{ m}^3/s$

- Diamètre de la rampe

$$Dr = \sqrt{\frac{4 \times Q_r}{\pi \times V}} \quad (V.33)$$

Avec : V : vitesse admissible égale à 1.5 m/s

A.N: $Dr = \sqrt{\frac{4 \times 0.0027}{\pi \times 1.5}} = 0.048 \text{ m} = 48 \text{ mm}$

On prend un diamètre normalisé de 63 mm.

V.2.4 Dimensionnement de la porte rampe

V.2.4.1 La Longueur de la porte rampe

$$\begin{aligned} L_{pr} &= \text{largeur de terrain} - \frac{El}{2} \\ &= 110 - \frac{18}{2} = 101 \text{ m} \end{aligned} \quad (V.34)$$

V.2.4.2 Débit de la porte rampe :

$$\begin{aligned} Q_{pr} &= Q_r \times N_{rampe} \\ Q_{pr} &= 0.0025 \times 1 = 0.0025 \text{ m}^3/s \end{aligned} \quad (V.35)$$

Diamètre de la porte rampe

$$D_{pr} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{pr}}{\pi \times V}} \quad (V.36)$$

A.N: $Dr = \sqrt{\frac{4 \times 0.0027}{\pi \times 1.5}} = 0.048 \text{ m} = 48 \text{ mm}$

On le normalise à 63 mm pour minimiser les pertes de charges.

V.2.4.3 Vérification des pertes de charge de la rampe et la porte rampe

En appliquant la relation de Hazen-Williams on a :

$$- \text{ Pour les rampes : } \Delta H_r = \left(\frac{3.592}{Ch} \right)^{1.852} \times \frac{L}{Dr^{4.87}} \times Qr^{1.852} \quad (V.37)$$

$$- \text{ Pour les ports rampes : } \Delta H_{pr} = \left(\frac{3.592}{Ch} \right)^{1.852} \times \frac{L}{Dpr^{4.87}} \times Qpr^{1.852} \quad (V.38)$$

V.2.4.4 Dimensionnement de la conduite tertiaire

$$D_{ct} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{ct}}{\pi \times V}} \quad (V.39)$$

Tel que :

- D_{ct} : diamètre de la conduite tertiaire en m.
- Q_{ct} : débit de la conduite tertiaire en m³/s.
- V : Vitesse admissible égale à 1.5 m/s.

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

Tableau V.2. Récapitulatif du réseau d'irrigation par aspersion

Conduite	Longueur (m)	Débit (m ³ /s)	Diamètre (mm)	V (m/s)	Pertes de charge (m)
Rampe	100	0.0027	63	0.87	1.59
Ports-rampe	110	0.0027	63	0.87	1.75
Tertiaire	20	0.0027	63	0.87	0.32

Conclusion

Dans cette section, nous avons examiné la méthodologie de dimensionnement d'un système d'irrigation par aspersion dédié à la culture de l'avoine, ainsi qu'un système d'irrigation goutte à goutte adapté à la culture de l'olivier. L'adoption de ces deux systèmes poursuit un double objectif : d'une part, la préservation des ressources en eau destinées à l'irrigation, et d'autre part, l'amélioration des rendements agricoles.

Chapitre VI : Étude technico-économique

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons défini une stratégie d'intervention pour le projet d'aménagement hydro-agricole du périmètre concerné. L'objectif principal est d'atteindre des résultats performants en termes de rapidité d'exécution, de qualité des travaux et de maîtrise des coûts. Pour y parvenir, l'accent est mis sur l'organisation du chantier, considérée comme un élément central de la planification et de la bonne conduite des opérations.

VI.1 Les différentes phases de réalisation des réseaux d'adduction et de distribution

Il s'agit de l'ensemble des étapes pratiques à suivre pour l'implantation des conduites du réseau d'adduction et de distribution. Celles-ci visent à garantir une installation conforme aux normes, tout en minimisant les impacts environnementaux et en assurant la sécurité du chantier. Les principales étapes sont les suivantes :

VI.1.1 Excavation des tranchées

L'excavation est une opération de terrassement qui consiste à creuser le sol afin de former des tranchées. Cette tâche est effectuée à l'aide d'une pelle hydraulique, et les matériaux excavés sont déposés d'un côté de la tranchée. L'autre côté est réservé au stockage provisoire des conduites, en attendant qu'elles soient mises en place.

VI.1.2 Mise en place du lit de sable

Cette étape consiste à aménager un lit de sable au fond de la tranchée afin de soutenir la pose des conduites. Dans notre cas, ce lit fait 20 cm d'épaisseur.

VI.1.3 Pose des conduites

Avant la mise en place des conduites dans la fouille, une opération de tri est réalisée pour écarter celles qui présentent des défauts ou ont subi des chocs. Les conduites sélectionnées sont ensuite descendues avec précaution au fond de la tranchée à l'aide d'un engin de levage. Un contrôle régulier de l'alignement est effectué durant toute cette opération afin d'assurer une pose correcte et de prévenir tout problème lors du raccordement.

VI.1.4 Essais de conformité des conduites (pression et joints)

Afin de garantir la sécurité du réseau, un essai de pression est réalisé sur les conduites et leurs joints avant le début des opérations de remblaiement. Cet essai consiste à remplir la conduite avec de l'eau et à y appliquer une pression équivalente à 1,8 fois la pression de service en exploitation. L'épreuve dure environ 30 minutes, au cours desquelles la variation de pression ne doit pas dépasser 0,2 bar. Les descentes de câbles, effectuées avec précaution au fond de la tranchée à l'aide d'un engin de levage, sont ensuite contrôlées. Un contrôle régulier de l'alignement est effectué durant toute cette opération afin d'assurer une pose correcte et de prévenir tout problème lors du raccordement.

VI.1.5 Opération de remblai de la tranchée

Le remblayage est une opération de terrassement qui consiste à recouvrir les conduites à l'aide des matériaux extraits lors de l'excavation.

VI.1.6 Travaux de nivellement et de compactage

Une fois le remblayage terminé, le nivellement est effectué en étalant les matériaux en excès sous forme de monticules. Cette opération est suivie d'un compactage visant à augmenter la densité du sol et à prévenir les tassements différés.

VI.2 Évaluation des volumes liés aux travaux de terrassement**VI.2.1 Dimensions des tranchées****VI.2.1.1 Largeur de fond de la tranchée**

La largeur de la tranchée est déterminée en fonction du diamètre de la conduite, en laissant un espace suffisant de chaque côté pour faciliter la pose. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$B = D + 0.6 \quad (VI.1)$$

Avec :

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

VI.2.1.2 Profondeur de la tranchée

Elle est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$H_{tr} = e + D + h \quad (VI.2)$$

Avec :

- H_{tr} : Profondeur de la tranchée (m).
- e : Hauteur du lit de pose (m).
- D : Diamètre de la conduite (m).
- h : La hauteur du remblai au-dessus de la conduite (m).

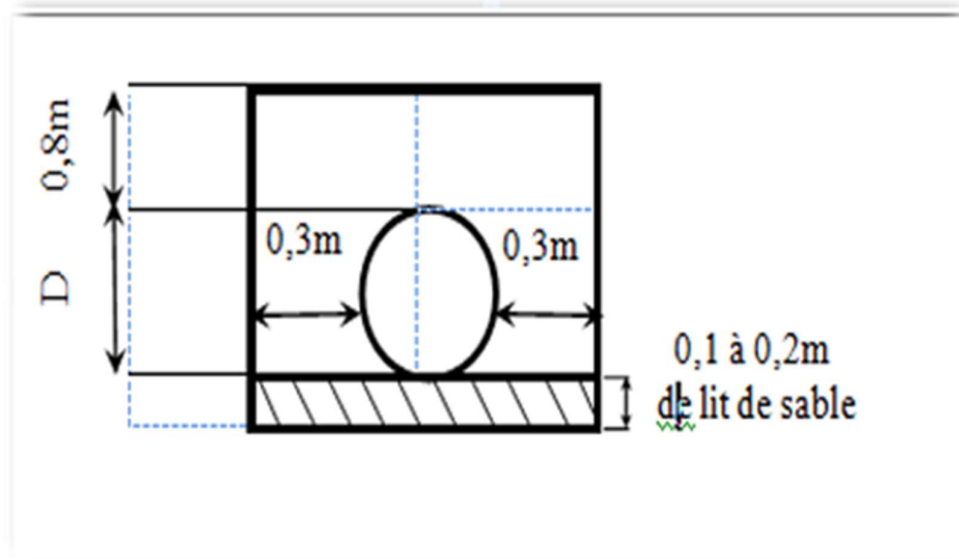


Figure VI.4. Profil à travers d'une tranchée

VI.2.1.3 Section de la tranchée

Les sections des tranchées sont :

$$S_{tr} = H_{tr} \times B \quad (VI.3)$$

Avec :

- H_{tr} : Profondeur total de la tranchée (m).
- B : Largeur du fond de la tranchée (m).

VI.2.1.4 Calcul du volume de la tranchée

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

$$V_{tr} = S_{tr} \times L \quad (VI.4)$$

- V_{tr} : Volume du déblai (m³).
- S_{tr} : La section de la tranchée (m²).
- L : Longueur de la tranchée

Tableau VI.1. Résultats du calcul des dimensions pour différents diamètres.

Diameter (mm)	B (m)	Htr (m)	Str (m ²)	Vtr (m ³)
63	0.663	1.663	1.103	1100.797
75	0.675	1.675	1.131	909.197
90	0.69	1.69	1.166	250.634
110	0.71	1.71	1.214	1726.522
125	0.725	1.725	1.251	1597.479
160	0.76	1.76	1.338	1552.592
200	0.8	1.8	1.440	3724.506
250	0.85	1.85	1.573	3841.528
315	0.915	1.915	1.752	1166.716
400	1	2	2.000	1780.685
500	1.1	2.1	2.310	772.344
710	1.31	2.31	3.026	3090.083

VI.2.2 Détermination des quantités de terrassement

VI.2.2.1 Volume de déblai

Le déblai d'une tranchée correspond au volume de matériaux extraits du sol afin d'y créer l'espace nécessaire à la pose des conduites. Ce volume est calculé selon la formule suivante :

$$V_{\text{déblai}} = V_{\text{tr}} = B \times H_{\text{tr}} \times L \quad (\text{VI.5})$$

Avec :

- B : largeur de tronçon (m).
- H_{tr} : profondeur de tronçon (m).
- L : longueur de tronçon (m).

VI.2.2.2 Volume de lit de sable

Le lit de sable constitue une couche horizontale servant de base stable pour la pose des conduites. Son volume est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$V_{\text{ls}} = e \times B \times L \quad (\text{VI.6})$$

Avec :

- V_{ls} : volume de lit de sable (m^3).
- e : épaisseur de la couche de lit de sable (m).
- B : largeur de tronçon (m).
- L : longueur de tronçon (m).

VI.2.2.3 Volume de la conduite installée

Il est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$V_{\text{conduite}} = S_{\text{conduite}} \times L = \frac{\pi D^2}{4} \times L \quad (\text{VI.7})$$

Avec :

- V_{conduite} : volume occupé par la conduite (m^3) ;
- S_{conduite} : section de la conduite (m) ;
- L : longueur de tronçon (m) ;
- D : diamètre extérieur de la conduite (m).

VI.2.2.4 Volume de remblai

Le remblai correspond à la quantité de terre nécessaire pour combler la tranchée et rétablir le terrain à son niveau initial. Ce volume peut être déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$V_{\text{remblai}} = V_{\text{déblai}} - (V_{\text{ls}} + V_{\text{conduite}}) \quad (\text{VI.8})$$

Avec :

- V_{remblai} : volume de remblai en (m^3) ;
- $V_{\text{déblai}}$: volume de déblai en (m^3) ;
- V_{ls} : volume de lit de sable (m^3) ;

- $V_{conduite}$: volume occupé par la conduite (m^3).

Tableau VI.2. Estimation des différents volumes

Diamètre mm	$V_{déblai}(m^3)$	$V_{ls}(m^3)$	$V_{conduite}(m^3)$	$V_{remblai}(m^3)$
63	1100.79	132.38	3.11	965.29
75	909.19	108.56	3.55	797.08
90	250.63	29.66	1.36	219.60
110	1726.52	201.93	13.50	1511.08
125	1597.47	185.21	15.66	1396.59
160	1552.59	176.43	23.32	1352.83
200	3724.50	413.83	81.21	3229.45
250	3841.52	415.30	119.85	3306.37
315	1166.71	121.85	51.86	993.002
400	1780.68	178.06	111.82	1490.79
500	772.34	73.55	65.61	633.17
710	3090.03	267.54	404.08	2418.45

VI.3 Estimation de cout total du projet :

VI.3.1 Coût de réseau adduction :

Le réseau d'adduction de notre projet est composé d'une seule conduite de 700 mm de diamètre en fonte d'une longueur de 2 904,5 m.

Tableau VI.3. Quantités de terrassement

Designation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Conduite	ml	2904.50	15,700.00	45,600,650.00
Déblai	m^3	6418.95	450.00	2,888,525.25
Lit de sable	m^3	755.17	1,200.00	906,204.00
Remblai	m^3	4546.00	300.00	1,363,800.00
Total				50,759,179.30
TVA (19%)				9,644,244.06
Montant TTC				60,403,423.30

VI.3.2 Coût de réseau de distribution :

C'est l'ensemble des conduites en PEHD avec des diamètres varient entre 63 et 710 mm.

Tableau VI.4. Cout de réseau de distribution

Diamètre (mm)	Unité	Quantité (m^3)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
63	ml	998	495	493,976
75	ml	804	681	547,673
90	ml	215	970	208,513
110	ml	1422	1,420	2,019,666
125	ml	1277	1,836	2,345,307
160	ml	1161	2,903	3,369,234

200	ml	2587	4,486	11,603,887
250	ml	2443	6,837	16,701,775
315	ml	666	10,724	7,140,162
400	ml	890	17,091	15,216,132
500	ml	334	26,611	8,895,945
710	ml	1021	42,111	42,999,052
Les bornes d'irrigation	45	100,000	4,500,000	
			Total (DA)	116,041,322
			TVA (19%)	22,047,851
			Montant TTC	138,089,173

VI.3.3 Estimation de coût des volumes de terrassement de réseau de distribution

Tableau VI.5. Cout de terrassement de réseau de distribution

Désignation des travaux	Unité	Quantité (m ³)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai	m ³	21513.08	450.00	9,680,886.90
Lit de sable	m ³	2304.34	1,200.00	2,765,204.40
Remblai	m ³	18313.75	300.00	5,494,125.90
			Total	17,940,217.20
			TVA (19%)	3,408,641.27
			Montant TTC (DA)	21,348,858.50

VI.3.4 Coût du bassin de stockage

Le bassin de stockage de notre projet présente les dimensions suivantes :

- Volume : 1500 m³.
- Longueur : 20 m
- Largeur : 18.75 m
- Hauteur : 4 m

Tableau VI.6. Cout de terrassement pour le bassin de stockage

Designation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Déblai	m ³	570	450	256,500.00
Remblai	m ³	288	300	86,400.00
Béton armé	m ³	270	1,500	405,000.00
Aménagement extérieur	-	-	1,640,000	8,216,420.00
			Total	8,964,320.00
			TVA (19%)	1,703,220.00
			Montant TTC	10,667,540.00

VI.3.5 Devis des travaux**Tableau VI.7.** Devis des travaux

Travaux	Montant TTC (DA)
Réseau adduction	60,403,423.30
Réseau de distribution	159,438,031.60
Bassin de stockage	10,667,540.00
Prix total	230,508,994.90

Conclusion

L'analyse économique joue un rôle fondamental dans l'appréciation de la viabilité des projets d'aménagement hydro-agricole. Elle met en lumière l'importance d'une évaluation rigoureuse des coûts afin d'optimiser la planification des ressources. Une gestion financière maîtrisée constitue un facteur déterminant pour la réussite du projet, tout en favorisant un développement agricole durable et en améliorant les conditions de vie des agriculteurs.

Le coût total du projet d'aménagement du secteur 3 de périmètre les Arrib est arrêté à la somme de **230,508,994.90** DA.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons étudié les différentes composantes du projet d'irrigation et réalisé les analyses nécessaires du système d'irrigation en vue de l'aménagement d'un secteur de 400 hectares, en utilisant l'eau provenant du barrage Lakehal.

Les recherches menées sur le climat de la région confirment un climat semi-aride, caractérisé par une période sèche de plus de sept mois. Cette situation souligne l'importance cruciale de l'irrigation pour assurer un niveau de rendement agricole acceptable. Le sol est de type limono-argileux et offre des conditions favorables à la culture maraîchère, céréalière et arboricole, avec une bonne capacité de rétention et d'infiltration de l'eau.

Pour affiner les moyennes annuelles de précipitations enregistrées à la station de Ain Bassam, il est recommandé d'utiliser le test de Wilcoxon, afin d'obtenir des résultats plus précis et fiables.

L'étude des besoins en eau des cultures s'est révélée essentielle pour la conception d'un réseau d'irrigation économique. La disponibilité brute annuelle en eau d'irrigation, issue du barrage de lakehal, est estimée à environ 1,42 hm³.

Sur la base du débit disponible, le réseau de distribution a été dimensionné de manière à répondre efficacement aux besoins en irrigation. Il comprend 45 îlots, chacun étant desservi par une borne d'irrigation, et est constitué de canalisations dont les diamètres varient entre 63 mm et 710 mm. Les vérifications hydrauliques effectuées ont permis d'obtenir des vitesses d'écoulement comprises entre 0,8 m/s et 1,6 m/s, ainsi que des pressions en sortie situées entre 2,8 bars et 6 bars, garantissant ainsi un fonctionnement optimal du système. Ces valeurs sont conformes aux normes techniques et valides pour tous les types de systèmes d'irrigation.

Le choix de la méthode d'irrigation a été déterminé selon la nature des cultures : le goutte-à-goutte a été retenu pour les cultures arboricoles et maraîchères, tandis que l'aspersion est préconisée pour les cultures céréalières.

Enfin, une analyse approfondie de la gestion du projet a été menée, répondant aux exigences techniques et budgétaires. Elle a permis d'estimer le coût global de réalisation du projet à **230,508,994.90 dinars algériens (DA)**.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ferradji, S. (2014). *Etude de réhabilitation du périmètre d'irrigation les Arribs (w. Bouira)*.

Talbi, K. (2023). *Etude d'extension du périmètre des Arribs (200ha) à partir du barrage de Lakehal (w. Bouira)*.

Rahal Bedreddine Boudlal Lyes. (2019). *Contribution à l'étude de faisabilité d'un périmètre d'irrigation (le cas du plateau d'El Asnam, 2400 ha)*.

Touaibia, B. (2004). *Manuel pratique d'hydrologie*.

United States Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (Agriculture Handbook No. 60)*. U.S. Government Printing Office.

Annexe I : Répartition mensuelle et annuelle des pluies

Année	Jan	Fév	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
1995	23.9	20.3	62.2	92.4	15.6	22.4	17.4	42.1	23.7	16.6	24	230.4	591
1996	38	0	38.4	58.5	52.1	0	68	0.9	29.2	19.2	0	14.9	319.2
1997	29.9	112.4	104.2	36.3	32.8	6.5	0	8.8	12	25.5	38.2	78.6	485.2
1998	81.3	8.9	61.5	111.1	107	17.1	8.5	2.1	5.9	66	11.8	6.1	487.3
1999	15	23.6	15.65	25.3	38.4	7	3	11.2	14.4	40.3	81	32.3	307.15
2000	5.6	46	1.7	44.8	8.1	0.7	0.1	18.2	68.2	14.4	18.5	84	310.3
2001	170.2	39.3	101.9	18.9	3.5	17.6	0	36.2	91.3	61.8	32.1	36	608.8
2002	58.5	93.5	26.6	68.3	50.8	12.4	13.05	8.5	12.6	57.9	8.9	25	436.05
2003	33.9	14.2	10.5	56.7	22.1	19.6	3.5	24.5	20.1	13.1	23	40.4	281.6
2004	11.9	57.4	16.9	45.6	133.9	4.5	0	4	47.6	59.5	71.3	47.5	500.1
2005	42.3	28.2	90.9	0	33.7	4.1	0	10.9	45.8	43.6	83.1	41.3	423.9
2006	3.4	1.3	12.7	26.6	34	0.3	0	2	38.7	16.2	25.5	132.2	292.9
2007	148.3	25.3	5.0.0	49	8	2.5	0	2.1	33	81.8	34.8	53.4	443.2
2008	22.7	26.8	14.5	14.1	20.4	0.5	7.5	77.3	78.1	3.6	10.3	12	287.8
2009	205.1	88.2	7.7	105.4	16	13.6	10.2	40.9	21.1	10.5	136.3	185.8	840.8
2010	72.1	16.1	38.7	59	131.7	4	3.2	4.5	60.4	67.8	40.7	123.1	621.3
2011	26	57.7	25.3	21.6	10.5	10.5	11.6	3.8	48.5	23.4	35.3	84.7	358.9
2012	116	61.1	30.3	58.9	69.6	12.7	4.6	2.7	17.8	60.8	41.2	91.5	567.2
2013	6	54.3	178.6	101.2	24.1	18.2	0	7.5	34.2	0	29	56.5	509.6
2014	11.6	17.5	20.2	31.1	66.9	24.6	5.7	2.5	65.8	82.4	72.8	39.1	440.2
2015	97.1	23.9	74.9	90	20.8	2.5	1	13.9	78.5	36.9	53.8	60.1	553.4
2016	42	86	62.2	23.1	45.7	19.8	0	32.7	106.1	9.8	103	63.6	594
2017	37.7	116.4	60.9	116.2	100.7	25.9	0	10.5	6.1	63.3	91.9	30.3	659.9
2018	35.2	38.8	97	0.6	9.4	56.5	0.4	2.9	37.4	18.3	38	109.5	444
2019	125.9	21.1	41.4	38.6	26.1	15	11.6	3.7	57.3	28.3	96.9	36.5	502.4
2020	37.9	0	71.5	70.3	30.6	6.5	0	7.3	21.8	12.4	53.5	85.1	396.9
2021	26.2	20.4	38.9	4.8	38.9	25.2	10	5.8	35	7.3	102.5	49	407.7
2022	11.8	30.3	61.2	101.8	29.4	1	10.3	6.5	37	76.3	37.3	17.8	420.7
2023	68.3	21	12.4	3.5	0.5	0	0	0.3	1	3.8	98.8	49.9	259.5
2024	40.9	120.5	24.6	18.3	21	0.8	0.8	0.9	58.6	26.6	57	5.1	375.1

Annexe II : Tableau de calcul de Khi carré théorique



α				
d.d.l.	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999
2	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900
3	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
9	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614
13	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
18	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540

Annexe III : Coefficient culturaux (Kc)

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

Source : Source : Bulletin FAO d'irrigation et drainage n°33 tableau 18.

Annexe IV : Nouvelle gamme des asperseurs de type Perrot

Diamètres des buses	P (bar) 2,5	P (bar) 3,0	P (bar) 3,5	P (bar) 4,0	P (bar) 4,5	P (bar) 2,5 	P (bar) 2,5 	P (bar) 3,0 	P (bar) 3,0 	P (bar) 3,5 	P (bar) 3,5 	P (bar) 4,0 	P (bar) 4,0 	P (bar) 4,5 	
mm	Portée en m					Distances entre arroseurs									
4,2	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
4,5	15,0	15,4	15,8	16,3	16,9	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
4,8	15,4	15,8	16,2	16,6	17,0	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
5,0	15,8	15,9	16,3	16,7	17,3	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
5,2	16,0	16,4	16,6	16,8	17,4	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
6,0	16,4	16,5	16,7	17,2	17,6	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
7,0**	16,8	17,0	17,2	17,3	17,8	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
ZB 22/ZB 22W	Consommation d'eau					Précipitations									
	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
4,2	0,99	1,09	1,17	1,26	1,33	2,3	3,1	2,5	3,4	2,7	3,6	2,9	3,9	3,1	4,1
4,5	1,14	1,25	1,35	1,44	1,53	2,6	3,5	2,9	3,9	3,1	4,2	3,3	4,4	3,5	4,7
4,8	1,30	1,42	1,53	1,64	1,74	3,0	4,0	3,3	4,4	3,5	4,7	3,8	5,1	4,0	5,4
5,0	1,41	1,54	1,66	1,78	1,89	3,3	4,4	3,6	4,8	3,8	5,1	4,1	5,5	4,4	5,8
5,2	1,52	1,67	1,80	1,92	2,04	3,5	4,7	3,9	5,2	4,2	5,6	4,4	5,9	4,7	6,3
6,0	1,89	2,07	2,24	2,39	2,54	4,7	6,3	5,1	6,9	5,6	7,4	5,9	7,9	6,3	8,4
7,0**	2,53	2,77	2,99	3,19	3,39	6,4	8,5	7,0	9,3	7,5	10,1	8,1	10,8	8,6	11,4