الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"

المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Irrigation et drainage

THEME :

Etude d'extension du périmètre Raouraoua (160 ha) à partir de barrage Lekhal, Wilaya de Bouira.

Présenté par :
AISSAOUI Imène

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
RASSOUL Abdelaziz	Professeur	Président
AZIEZ Ouahiba	M.C.B	Examinateur
SAIL Nadhira	M.C.B	Examinateur
BENKACI Ali Tarik	M.C.A	Promoteur

Session Novembre 2025

Dédicaces

Je dédie ce travail :

♥ À ma chère mère, la lumière de ma vie, pour son amour infini, ses prières incessantes et sa force silencieuse.

♥ À mon tendre père, pour sa patience, sa confiance et son soutien sans faille.

♥ À ma sœur Ikram, ma complice et mon refuge.

♥ À mes frères, qui ont toujours su m'apporter leur force et leur humour.

♥ À mes amies, notamment Manal, pour leur amitié sincère, leur écoute et leurs encouragements qui m'ont portée jusqu'au bout.

♥ À tous ceux qui ont partagé avec moi les joies, les doutes et les efforts de ce parcours universitaire.

Ce travail est le fruit de vos encouragements et de vos prières.

Remerciement

Avant tout, je rends grâce à **Allah Tout-Puissant** pour m'avoir donné la force, la patience et la volonté d'achever ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à **Mr. BENKACI**, pour son accompagnement constant, ses précieux conseils et la confiance qu'il m'a accordée tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Ma reconnaissance va également à l'ensemble des enseignants de **l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique**, pour la qualité de leur enseignement et leur dévouement.

J'adresse une pensée toute particulière à **Mme Aziez** et **Mme Mazouzi**, pour leur bienveillance et leur soutien inestimable. Leur geste, à un moment difficile, m'a profondément touchée.

J'ai une reconnaissance spéciale envers **Mme Aziez**, qui m'a accompagnée durant ces trois années avec des conseils du cœur et une attention maternelle qui ont marqué mon parcours.

Ma gratitude s'étend également aux **membres du jury**, pour l'honneur qu'ils me font d'examiner et d'évaluer ce travail, ainsi que pour leurs remarques constructives.

Du fond du cœur, j'exprime tout mon amour et ma reconnaissance à **mes parents**, pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et leurs prières qui m'ont toujours guidée.

Je n'oublie pas **mes amis proches**, en particulier **Manal**, pour son encouragement et sa présence précieuse tout au long de ce parcours.

Enfin, j'adresse mes remerciements à **toutes les personnes** qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet.

الملخص:

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة توسيع النطاق المسقي في منطقة روراوة الواقعة في ولاية البويرة وهي منطقة ذات طابع فلاحي متميز. يتمثل الهدف الرئيسي في تصميم نظام جديد لجلب المياه من أجل زيادة المردود الفلاحي. بدأ تصميم الشبكة بتقييم احتياجات المزروعات من المياه. تلتها دراسة نظام الضخ انطلاقا من سد لكحل مرورا بالقنوات وصولا إلى شبكة التوزيع على مستوى المساحات الزراعية. بعد إجراء الحسابات الهيدروليكية لمختلف أقطار الأنابيب، حصلنا على ضغوط وتدفقات مناسبة، مما سمح لنا باقتراح شبكة سقي بالرش وسقي بالتقطير. سيساهم نظام الإمداد المائي المقترح على المدى المتوسط بتوفير المياه وزيادة الإنتاجية الزراعية.

الكلمات المفتاحية: شبكة الامداد المائي، سد، احتياجات المزروعات من المياه، الموارد المائية، البويرة.

Résumé :

Le but de ce mémoire est l'étude d'extension du périmètre d'irrigation de Raouraoua, situé dans la wilaya de Bouira, une région à forte vocation agricole. L'objectif principal est la projection d'un nouveau système d'adduction afin d'augmenter les rendements agricoles. La conception du réseau a commencé par l'évaluation des besoins en eau des cultures, suivie de l'étude du système de pompage à partir du barrage de Lekhal, depuis les canalisations jusqu'à la distribution de l'eau au niveau des parcelles. Après les calculs hydrauliques des différents diamètres des conduites, nous avons obtenu des pressions et des débits adéquats, permettant de proposer un réseau d'irrigation par l'aspersion et le goutte-à-goutte. Le système d'adduction ainsi projeté contribuera, à moyen terme, à l'économie de l'eau et à l'augmentation de la productivité agricole.

Mots-clés : réseau d'adduction, barrage, besoins en eau des cultures, ressources en eau, Bouira.

Abstract:

The present thesis focuses on the extension study of the Raouraoua irrigation perimeter, located in the wilaya of Bouira, a region with a strong agricultural vocation. The primary objective of this study is to design a novel water conveyance system with the aim of improving water management and enhancing agricultural productivity. The design process was initiated with an assessment of the crop water requirements, followed by an examination of the pumping system from the Lekhal Dam, traversing the pipelines to the distribution network at the plot level. Following the execution of hydraulic calculations for various pipe diameters, the attainment of adequate pressures and flow rates was facilitated. This enabled the formulation of a proposal for a sprinkler and drip irrigation network. The proposed conveyance system is expected to contribute to water savings and increased agricultural productivity in the medium term.

Keywords: conveyance network, dam, crop water requirements, water resources, Bouira

Table des matères

Introduction générale **1**

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles **3**

I.1. Présentation générale de la wilaya de Bouira : 3

I.2. Présentation du périmètre 4

I.3. Aperçu géologique : 5

I.4. Réseau hydrographique : 7

I.5. Géomorphologie et Relief : 7

I.6. Étude climatologique : 8

I.6.1. Choix de la station de référence : 8

I.6.2. Les températures : 8

I.6.3. Études des précipitations : 9

I.6.4 Etude des Pluies mensuelles 9

I.6.5. L'humidité relative : 10

I.6.6. Le vent : 11

I.6.7. L'insolation : 11

I.7. Calcul des indices Agrométéorologiques : 12

I.7.1. Indice d'aridité de Martonne : 12

I.7.2. Quotient Ombrothermique d'Emberger : 12

I.7.3. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen : 13

I.8. Analyse socio-économique : 14

Chapitre II : Ressources en eau - Ressources en sol **17**

II.1. Ressources en sol : 17

II.1.1. Classification des sols : 17

II.1.2. Analyses physico-chimiques des sols : 18

II.1.3. Paramètres hydrodynamiques des sols : 20

II.1.4. Les aptitudes culturales : 20

II.2. Ressources en eau : 21

II.2.1. Ressources en eau souterraine 21

II.2.2. Barrage Lekhal : 22

II.2.3. Qualité de l'eau du barrage Lekhal : 23

II.3. Hydrologie : Calcul de la pluie de projet 26

II.3.1. Choix de la station : 26

II.3.2. Données de précipitation :.....26
II.3.3 Analyse de l'homogénéité de la série pluviométrique : Test de Mood paul Meylan.....28
II.3.4. Ajustement des pluies annuelles 30
II.3.5. Test de fiabilité des ajustements : 31
II.3.6. Détermination de l'année de calcul.....32

Chapitre III : Calcul des besoins en eau des cultures 35
III.1. Besoins en eau des cultures 35
III.1.1. Évaluation des besoins en eau des plantes cultivées : 35
III.1.2. Calcul des besoins en eau : 35
III.1.3. Concept de l'évapotranspiration 36
III.2. Calcul de la Pluie Efficace (Peff) : 39
III.3. Calcul de la Réserve en Eau du Sol : 39
III.4. Choix des Cultures :.....40
III.4.1. Tableau des aptitudes culturales : 40
III.4.2. Cultures choisies :.....41
III.4.3. Répartition des surfaces agricoles : 41
III.4.4. Assolements et rotations :.....42
III.4.5. Cycle végétatif :.....43
III.5. Calcul des besoins en eau de chaque culture :.....44
III.6. Calcul des besoins en eau pour les assolements 1 et 2 : 52
III.7. Évaluation du débit spécifique : 53
III8. Évaluation de débit caractéristique :.....54
III.9. Estimation des volumes d'eau d'irrigation :.....55
III.9.1. Calcul des besoins brut pour les deux assolements : 55
III.9.2. Calcul des volumes :.....56

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution.....59
IV.1. Alimentation en eau du périmètre : 59
IV.2. Organisation du périmètre en sous pression :.....59
IV.2.1. Îlot d'irrigation : 59
IV.2.2. Bornes d'irrigation : 59
IV.3. Calcul hydraulique des bornes : 60
IV.3.1. Choix du diamètre des bornes : 60
IV.3.2. Choix du type des bornes : 60
IV.4. Description de l'aménagement du périmètre de Raouraoua : 62
IV.5. Structure d'un réseau sous pression : 62

IV.6. Etude du système de pompage : 63
IV.6.1. Les turbopompes 63
IV.6.2. Pompes volumétriques : 64
IV.6.3. Calcul du débit caractéristique : 64
IV.6.4. Dimensionnement du système de pompage : 64
IV.7. Dimensionnement du Réservoir de mise en charge : 71
IV.8. Description du réseau d'adduction-distribution : 71
IV.8.1. Choix du type de matériau de la conduite gravitaire : 71
IV.8.2. Dimensionnement du réseau de distribution : 72

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation 78
V.1. Présentation des techniques d'irrigation : 78
V.2. Irrigation de surface : 78
V.2.1. Irrigation par submersion : 78
V.2.2. Irrigation par ruissellement : 79
V.2.3. Avantages et inconvénients de l'irrigation à la surface : 80
V.3. Irrigation par aspersion : 80
V.3.1. Type d'équipements d'irrigation sous pression : 80
V.3.2. Avantages : 82
V.3.3. Inconvénients : 82
V.4. Irrigation localisée ou micro-irrigation : 82
V.4.1. Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée : 83

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle 86
VI.1. Dimensionnement du réseau goutte à goutte : 86
VI.1.1. Calcul des besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée : 86
VI.1.2. Durée d'arrosage 88
VI.1.3. Calculs hydrauliques : 89
VI.2. Dimensionnement du réseau d'aspersion : 91
VI.2.1. Données générales : 91
VI.2.2 Dimensionnement théorique des asperseurs : 92
VI.2.3. Calcul des paramètres d'arrosage : 93
VI.2.4. Calcul du débit d'équipement : 95
VI.2.5. Dimensionnement hydraulique : 95

Chapitre VII : Estimation du coût de projet 99
VII.1. Lot 01 : Réseau d'adduction et de distribution 99
VII.1.1. Travaux réseau d'adduction et de distribution : 99

VII.1.2. Calcul des volumes des travaux liés aux canalisations : 99
VII.1.3. Cout de Canalisation réseau d'adduction-distribution : 102
VII.2. Évaluation du cout des bornes et pièces spéciales : 103
VII.2. Lot 02 : Station de pompage : 103
VII.3. Lot 03 : Réservoir de mise en charge 104
VII.3.1. Calcul des volumes : 104
VII.3.2. Évaluation du cout du réservoir 105

Conclusion générale 107

Référence bibliographique 109

Annexe 111

Liste des figures

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

Figure I.1: Situation géographique de la wilaya de Bouira. 3
Figure I.2: Carte de l'ensemble des périmètres et réseau routière.....4
Figure I.3: Image satellitaire de la zone d'étude de 160 ha située dans le Lot 3 (Raouraoua,1000 ha) (source : Google Earth, date d'imagerie 13/10/2023) 5
Figure I.4: Carte géologique de la région de Raouraoua (Bétier et al, 1952).....6
Figure I.5: Réseau hydrographique du bassin versant Isser 7
Figure I.6 : Répartition des températures moyennes 9
Figure I.7 : Histogramme de la pluie moyenne mensuelle 10
Figure I.8 : Diagramme bioclimatique d'Emberger 13
Figure I.9 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.....14

Chapitre II : Ressources en eau - Ressources en sol

Figure II.1: Triangle des textures des sols. 19
Figure II.2: diagramme de classification des eaux d'irrigation de l'USSL 25
Figure II.3: Evolution des pluies annuelles (mm) 27
Figure II.4 : Courbe d'ajustement des pluies à la loi normale et log-Normale 31

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

Figure IV.1 : Schéma de l'aménagement proposé vers l'extension du périmètre Raouraoua.....63
Figure IV.2 : Bilan total des frais en fonction des diamètres 68

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

Figure V.1 : Cuvettes d'irrigation.....79
Figure V.2 : Irrigation par submersion 79
Figure V.3 : Irrigation par aspersion.....80
Figure V.4 : Irrigation par enrouleur 81
Figure V.5 : Pivot d'irrigation 81
Figure V.6 : Irrigation goutte à goutte de surface.....82
Figure V.7 : schéma d'installation goutte à goutte 83

Liste des tableaux

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

Tableau I-1: Coordonnées de la station météorologique de Sour El Ghozlane 8
Tableau I-2 : Moyennes des températures mensuelles en °C (Sour El Ghozlane,1995-2023) 8
Tableau I-3 : Pluies moyennes mensuelles en mm (Sour El Ghozlane,1995-2023) 9
Tableau I-4 : L'humidité relative moyenne mensuelle % (station Sour El Ghozlane) 10
Tableau I-5 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent 11
Tableau I-6 : Insolation moyenne mensuelle en heures 11
Tableau I-7 : Classification du climat selon de Martonne 12

Chapitre II : Ressources en eau - Ressources en sol

Tableau II-1: Résultats des analyses physico-chimiques (Périmètre de Raouraoua) 18
Tableau II-2 : Caractéristiques hydrodynamiques des sols limono-argileux 20
Tableau II-3: Listes des cultures adaptées au sol. 21
Tableau II-4 : Résultats d'analyse de l'eau de barrage Lekhal. 23
Tableau II-5 : Classification des eaux d'irrigation (USSL, 1954) 24
Tableau II-6 : Caractéristiques de la station météorologiques Sour el ghozlane. 26
Tableau II-7 : Précipitations annuelle de la station de Sour el Ghozlane (1994-2023). 26
Tableau II-8 : Caractéristiques de la série pluviométrique de pluies annuelles 28
Tableau II-9: Résultat de test d'adéquation des deux lois 31
Tableau II-10 : Résultat de l'ajustement à la loi Log Normale. 32
Tableau II-11 : Les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche (80%) 32

Chapitre III : Calcul des besoins en eau des cultures

Tableau III-1 : Evapotranspiration de référence (ETo) de la zone d'étude 38
Tableau III-2 : Pluie efficace 39
Tableau III-3 : aptitudes culturelles de la zone I (bon sol) 41
Tableau III-4 : Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre 42
Tableau III-5 : la rotation proposée pour le périmètre Raouraoua (160 ha) 43
Tableau III-6 : le cycle végétatif des cultures envisagées. 44
Tableau III-7 : Calcul des besoins en eau du Blé. 44
Tableau III-8 : Calcul des besoins en eau du l'orge grain. 45
Tableau III-9 : Calcul des besoins en eau du l'orge vert. 45
Tableau III-10 : Calcul des besoins en eau du la pomme de terre (S). 45
Tableau III-11 : Calcul des besoins en eau du la pomme de terre (AS). 46
Tableau III-12 : Calcul des besoins en eau du l'Oignon. 46
Tableau III-13 : Calcul des besoins en eau du Poireau. 47
Tableau III-14 : Calcul des besoins en eau du l'Ail. 47
Tableau III-15 : Calcul des besoins en eau du Tomate. 47
Tableau III-16 : Calcul des besoins en eau de l'Haricot. 48
Tableau III-17: Calcul des besoins en eau du Laitue. 48
Tableau III-18 : Calcul des besoins en eau du Pois chiche. 49
Tableau III-19 : Calcul des besoins en eau du Pastèque. 49

Tableau III-20 : Calcul des besoins en eau du Melon. 49
Tableau III-21: Calcul des besoins en eau du Betterave.....50
Tableau III-22: Calcul des besoins en eau du la Luzerne. 50
Tableau III-23 : Calcul des besoins en eau de la Vigne. 51
Tableau III-24: Calcul des besoins en eau de l'Olivier. 51
Tableau III-25 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 1 52
Tableau III-26 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2 52
Tableau III-27 : Récapitulatif des besoins brut (m^3/ha) pour l'assolement 1. 55
Tableau III-28 : Récapitulatif des besoins brut (m^3/ha) pour l'assolement 2. 56
Tableau III-29 : Récapitulatif des Volumes (m^3) pour l'assolement 1. 56
Tableau III-30 : Récapitulatif des Volumes (m^3) pour l'assolement 2. 57

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

Tableau IV-1 : Choix du diamètre de la borne. 60
Tableau IV-2 : Calcul des débits des ilots et choix du diamètre et type de bornes 61
Tableau IV-3: Résultats du calcul de la HMT pour les différents diamètres. 66
Tableau IV-4 : Calcul des frais d'exploitation. 67
Tableau IV-5 : Calcul de frais d'investissement.....67
Tableau IV-6: Bilan total des frais et diamètre choisi 68
Tableau IV-7: Résultats de choix de pompe.....69
Tableau IV-8 : Matériaux et coefficients utilisés dans la formule de LECHAPT et CALMON.....73
Tableau IV-9 : Récapitulatif des résultats de dimensionnement du réseau de distribution.....74

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

Tableau V-1 : Avantages et inconvénients de l'irrigation à la surface.....80
Tableau V-2 : Avantage et inconvénients de l'irrigation localisé. 83

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Tableau VI-1: Récapitulatif du réseau d'irrigation goutte à goutte. 91
Tableau VI-2 : Récapitulatif de calcul du réseau d'irrigation par aspersion. 96

Chapitre VII : Estimation du coût de projet

Tableau VII-1: Résultats de calcul des volumes Lot 1 101
Tableau VII-2 : Détails de prix de canalisation 102
Tableau VII-3 : Devis estimatif du coût total de réseau d'adduction et de distribution.....102
Tableau VII-4: Devis quanti tif et estimatif du coût des bornes et pièces d'irrigation. 103
Tableau VII-5 : Estimation du cout du système de pompage.....103

Liste des Planches

Planche 01 : Plan de situation de périmètre Raouraoua wilaya de Bouira.

Planche 02 : Plan d'occupation de sol d'extension du périmètre Raouraoua.

Planche 03 : Tracé en plan du réseau d'adduction- distribution

Planche 04 : Profil en long de la conduite d'adduction refoulement

Planche 05 : Schéma descriptif pour la parcelle irrigué par le système goutte à goutte

Introduction générale

Introduction générale

L'agriculture constitue un secteur stratégique, car elle assure à la fois la sécurité alimentaire et contribue à la croissance économique. En Algérie, elle occupe une place prépondérante dans l'économie nationale. Cependant, les conditions climatiques marquées par une pluviométrie faible et irrégulière, conjuguées aux épisodes de sécheresse, limitent les rendements agricoles. Ces contraintes imposent un recours accru à l'irrigation, solution incontournable pour garantir une production agricole stable et durable.

La wilaya de Bouira, réputée pour son potentiel agricole, offre de vastes périmètres exploitables, notamment la plaine des Arribs. Cependant, l'absence de systèmes d'irrigation performants entrave la valorisation de ces terres.

Pour répondre à ce défi, des projets d'aménagement hydro-agricole deviennent indispensables afin de mobiliser efficacement les ressources disponibles et de sécuriser la production agricole.

Le présent mémoire s'inscrit dans ce cadre et porte sur l'étude d'extension d'un périmètre irrigué de 160 hectares au niveau de la commune de Raouraoua. L'objectif principal est de concevoir un système d'irrigation performant, permettant d'assurer une gestion rationnelle de l'eau et de soutenir la mise en valeur agricole de la zone.

Pour atteindre cet objectif, nous avons adopté une démarche structurée en deux sections principales :

- ✓ Une première partie consacrée à l'analyse des conditions naturelles et à l'évaluation des ressources en eau et en sol, suivie du calcul des besoins hydriques des cultures.
- ✓ Une seconde partie dédiée à l'étude technique et économique, englobant le dimensionnement du réseau d'adduction-distribution, le dimensionnement à la parcelle, ainsi que l'évaluation des coûts de réalisation et de gestion du projet.

À travers ce travail, nous visons à proposer une solution rationnelle et durable, conciliant performance technique et valorisation optimale des ressources, afin de contribuer à la modernisation agricole de la région et à l'amélioration de sa productivité.

Chapitre I

Analyse des conditions naturelles

Chapitre I : Analyse des Conditions Naturelles

Introduction :

L'étude des conditions naturelles est une étape essentielle d'un aménagement hydro-agricole d'un périmètre en vue d'estimer le potentiel agricole, économique de la région d'étude.

Ce chapitre vise à analyser les conditions géographiques, géologiques, climatiques et hydrographiques de la wilaya de Bouira, en mettant en lumière le périmètre de « Raouaroua ». Cette analyse permettra de mieux comprendre les contraintes et d'évaluer les opportunités de l'aménagement hydro-agricole de ce périmètre.

I.1. Présentation générale de la wilaya de Bouira :

La wilaya de Bouira est située dans le Nord de l'Algérie, couvrant une superficie de 4 454 km² avec une population de 742 855 habitants (RGPH 2024). Elle est subdivisée en 12 daïras et 45 communes. La wilaya est entourée par la grande chaîne du Djurdjura à l'ouest et les monts de Dirah à l'est, avec une ouverture vers la vallée de la Soummam à l'est et les Bibans au Sud-Est.

Elle est délimitée au Nord par les wilayas de Boumerdes et Tizi-Ouzou, au sud M'sila et Média, à l'est Bejaia et Bordj Bou Arreridj et à l'Ouest Blida et Médéa.

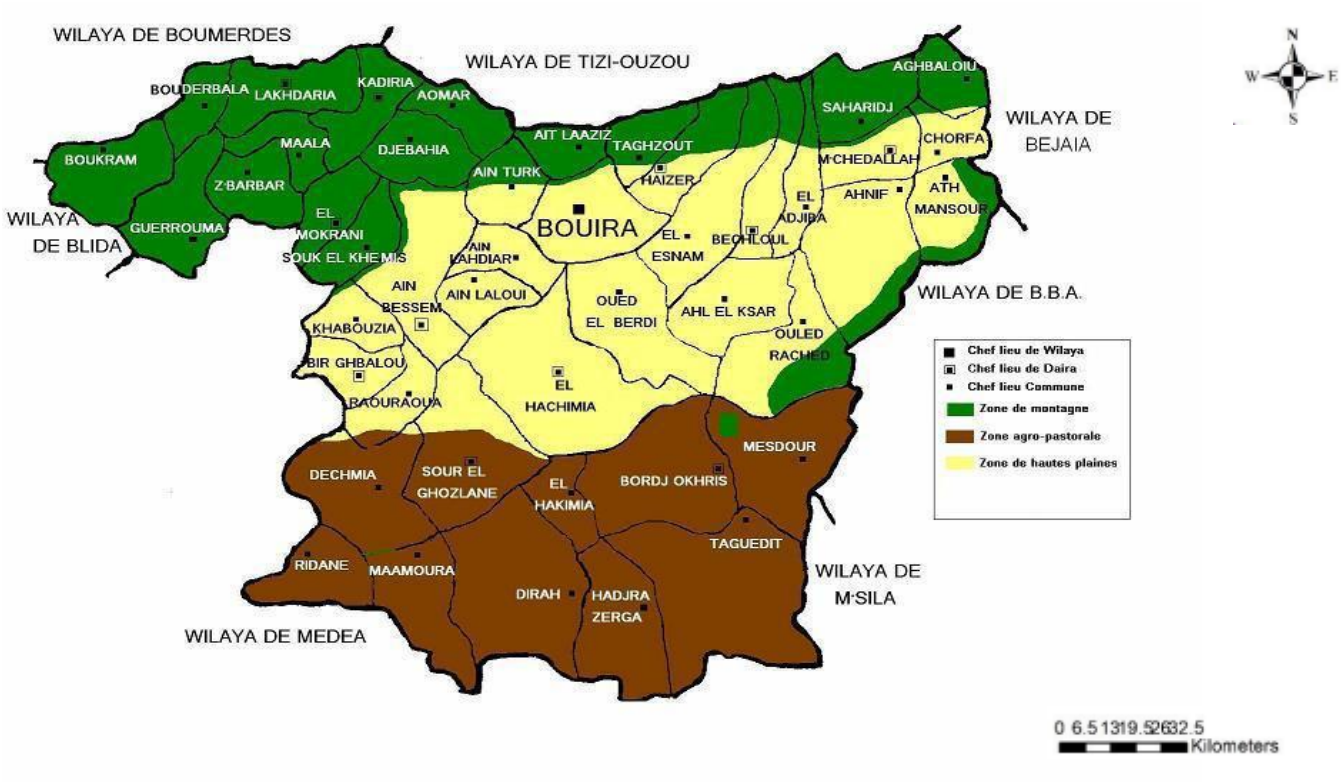


Figure I.1: Situation géographique de la wilaya de Bouira**.**

Cette position géographique confère à la wilaya de Bouira une diversité de paysages, allant des montagnes du Djurdjura aux plaines fertiles de la vallée de la Soummam, en passant par les zones semi-arides du sud.

I.2. Présentation du périmètre

Le périmètre des Arribs, est un des grands périmètres de la wilaya de Bouira, localisé à 7 km à l'ouest du chef-lieu, il s'étend sur 2 238 hectares et concerne les communes d'Ain-Bessem, Bir-Ghabalou et Raouraoua. Récemment, il a fait l'objet d'un projet d'extension de 2 800 hectares subdivisé en 3 lots :

- Lot n°1 au niveau de la commune de Ain Bessam couvrant une superficie brute de 600 Ha.
- Lot n°2 au niveau de la commune de Bir Ghbalou couvrant une superficie brute de 1200Ha.
- Lot n°3 au niveau de la commune de Raouraoua couvrant une superficie brute de 1000Ha limité au Nord Est par le barrage Lakhel, à l'Est par l'oued Faham, à l'Ouest par la CW125 reliant la commune Raouraoua a la commune Ain-Bessem et nord par la localité de Ouled Zidane. Notre zone d'étude, d'une superficie de 160 hectares, est localisée au sein de ce Lot.

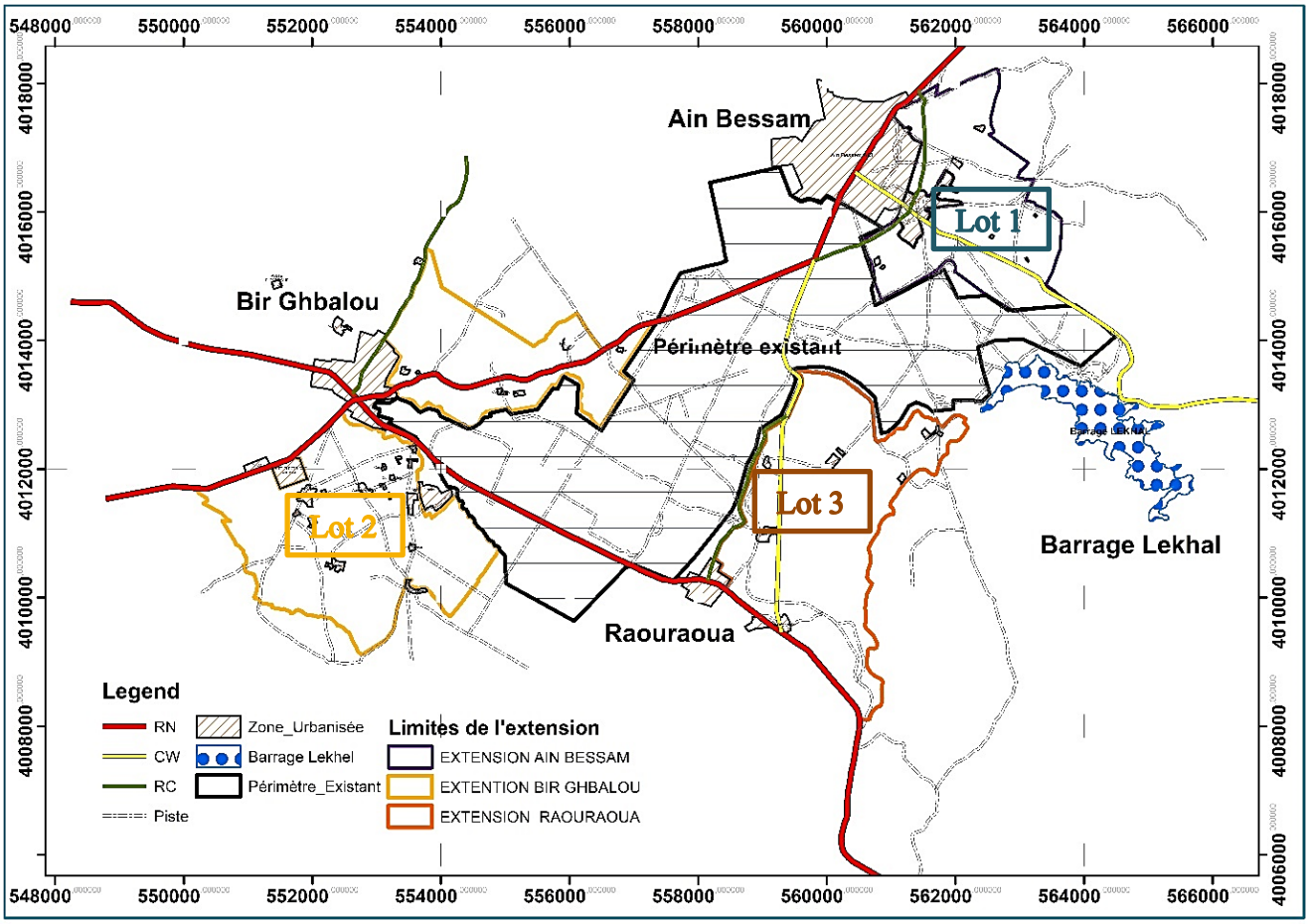


Figure I.2: Carte de l'ensemble des périmètres et réseau routière

Le périmètre projeté, dans son ensemble, est alimenté par le barrage de l'Oued Lekhal, qui assure un volume d'eau régularisé de 18 hm³/an.

Notre étude se concentre plus spécifiquement sur la zone localisée dans le Lot n°3 (Raouraoua), et plus précisément sur une superficie de 160 ha incluse dans ce lot.

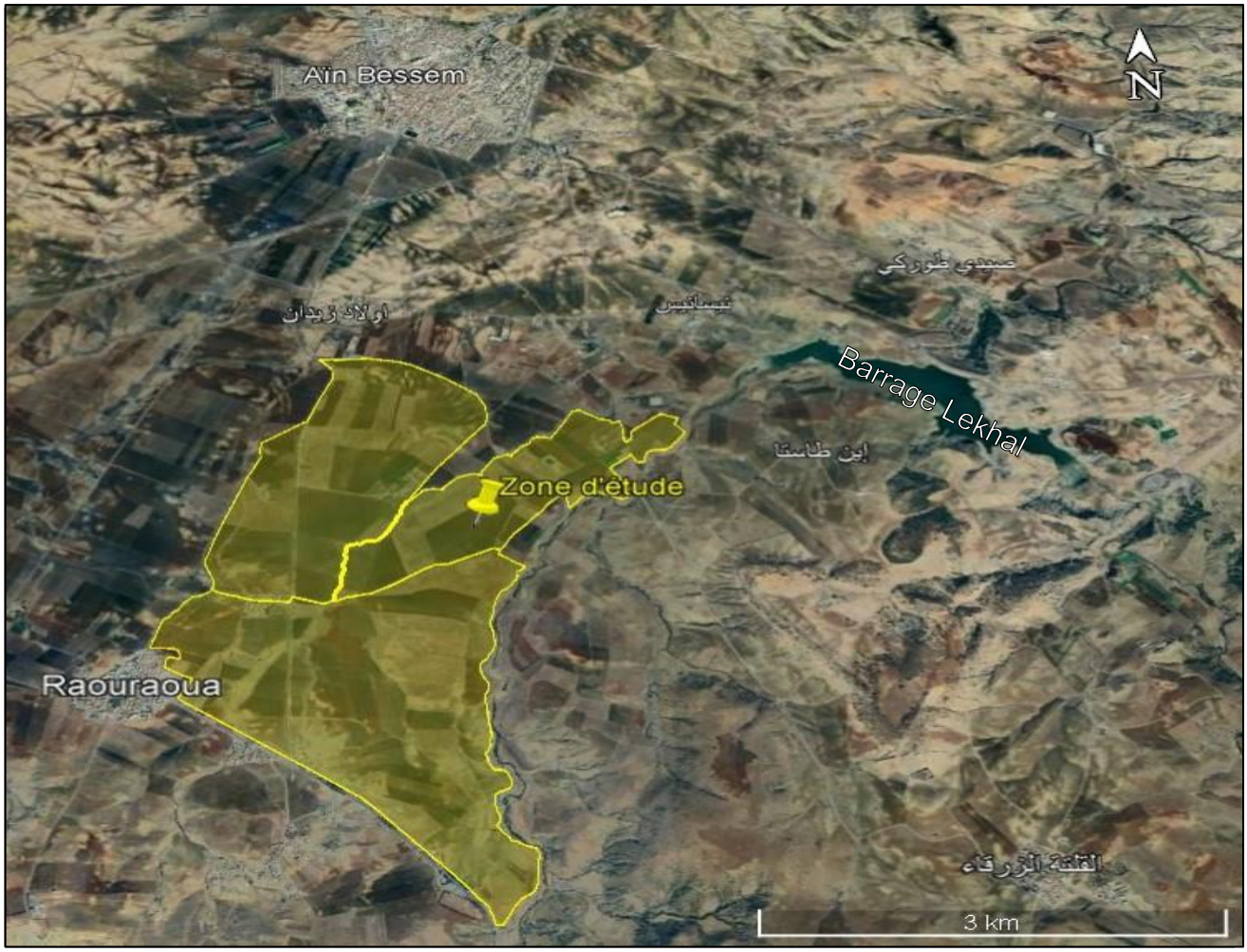
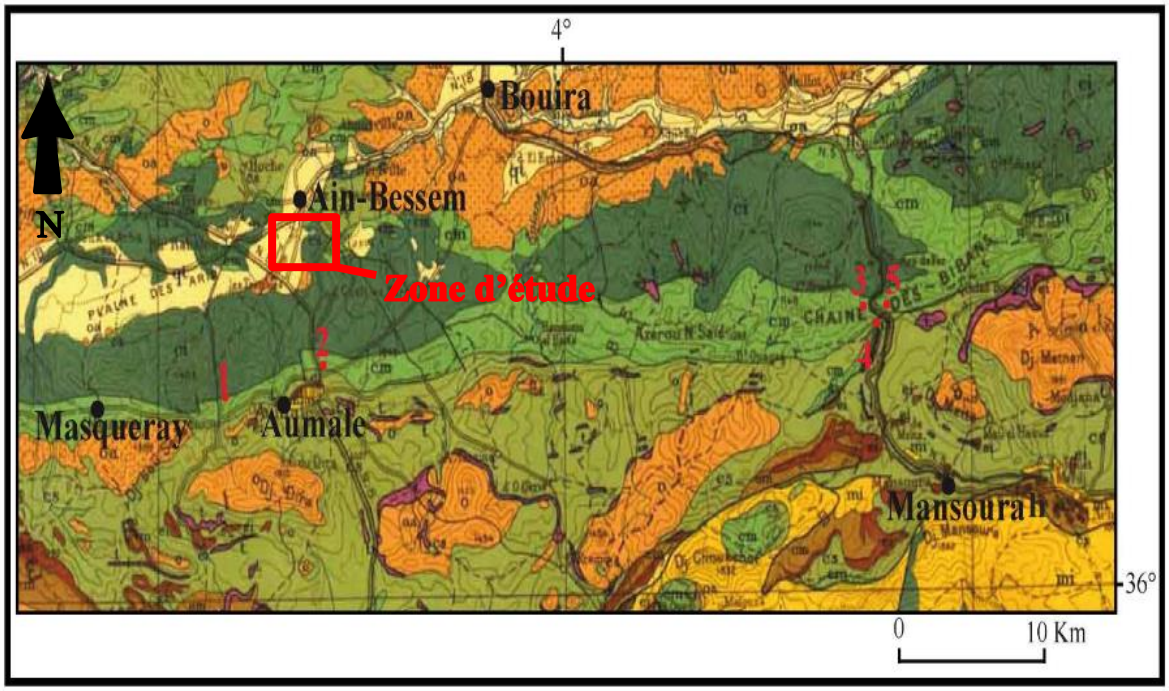


Figure I.3: Image satellitaire de la zone d'étude de 160 ha située dans le Lot 3 (Raouraoua, 1000 ha) (source : Google Earth, date d'imagerie 13/10/2023)

I.3. Aperçu géologique :

La région d'étude se situe à l'ouest des monts des Bibans et est composée de terrains du Quaternaire et du Crétacé. Les couches les plus anciennes, constituées de marnes argileuses, supportent des formations de flysch caractéristiques de la région. La surface est recouverte de sédiments récents, notamment des alluvions dans les oueds et des terrasses successives de galets et d'argile, qui forment un important réservoir d'eau souterraine. Ces caractéristiques géologiques influencent directement l'aménagement hydro-agricole et les projets d'irrigation de la région.



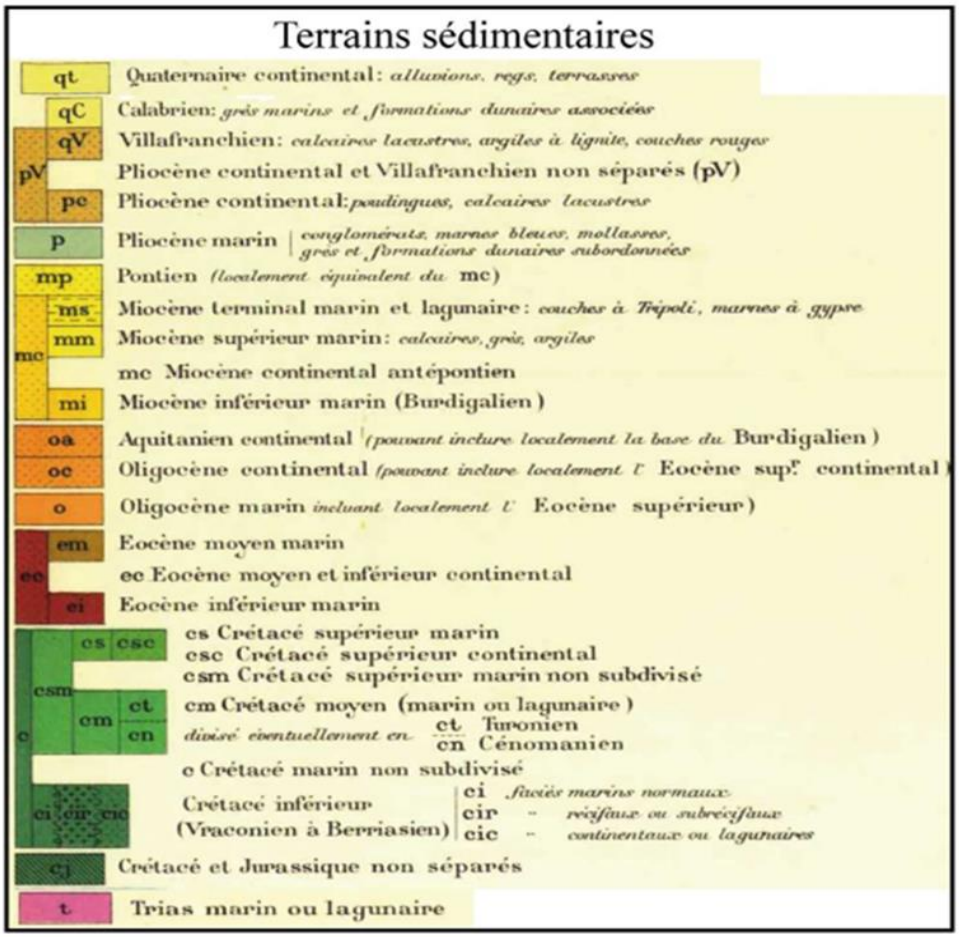


Figure I.4: Carte géologique de la région de Raouraoua (Bétier et al, 1952)

I.4. Réseau hydrographique :

Le périmètre des Arribs se trouve dans le grand bassin hydrographique de l'Isser (code ANRH 09), l'un des principaux bassins versants du pays, et alimenté par l'oued Lekhal qui est le principal cours d'eau de la région, a subi des modifications majeures suite à la construction des barrages de Lekhal et de Tilsdit.

L'irrigation du périmètre des Arribs dépend des quotas d'eau attribués chaque année en fonction du volume stocké dans le barrage de Lekhal. Ce dernier est alimenté par le bassin versant monts de Dirah de 245 km² caractérisé par des terrains imperméables et des pentes marquées (15 à 22 %), ce qui favorise un écoulement rapide et torrentiel des eaux.

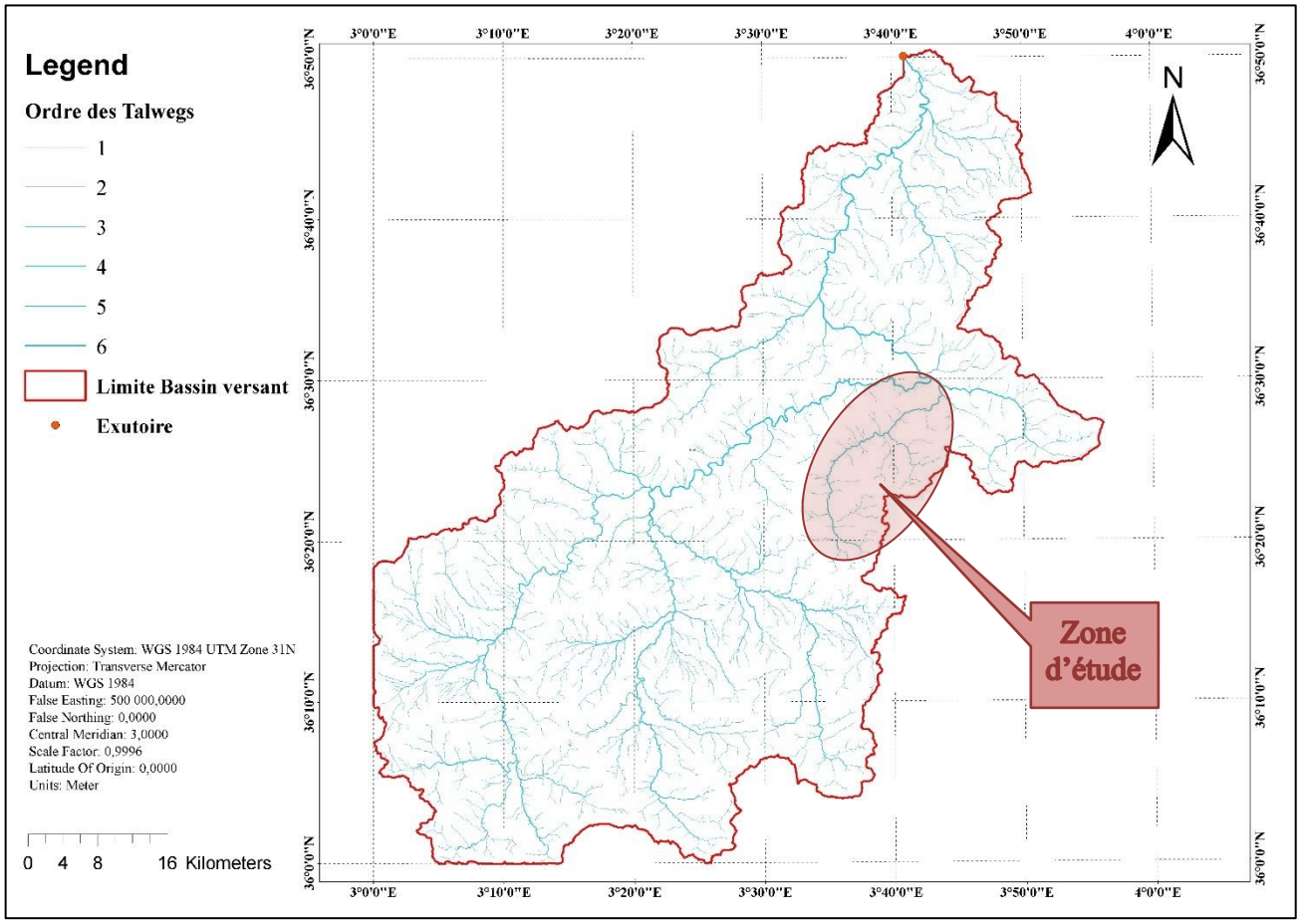


Figure I.5: Réseau hydrographique du bassin versant Isser

I.5. Géomorphologie et Relief :

La plaine de Raouraoua présente un relief contrasté. Elle est majoritairement constituée de terres agricoles fertiles, favorables aux cultures. Le relief varie entre des zones relativement planes au sud, où les pentes sont faibles (<1,5 %), et des collines situées principalement au sud et à l'est de la ville. Ces collines comprennent plusieurs sommets notables, tels que Nouadhir (536 m), Manaâ (768 m) et El-Maâchia (535 m). Cette diversité topographique influence les écoulements hydriques et l'aménagement agricole de la région.

I.6. Étude climatologique :

L'étude climatique est indispensable dans la conception d'un réseau d'irrigation, car elle conditionne les besoins en eau des cultures. Les principaux facteurs à prendre en compte sont la température, la pluviométrie, l'humidité relative et les vents.

I.6.1. Choix de la station de référence :

La sélection des stations pluviométriques pour l'estimation des précipitations dans le bassin versant repose sur des critères tels que l'emplacement géographique et la période d'observation. Dans notre étude, nous avons retenu la station de Sour El Ghozlane comme station de référence, en raison de sa localisation stratégique. Ses principales caractéristiques se résument comme suit :

Tableau I-1: Coordonnées de la station météorologique de Sour El Ghozlane

Nom de la station	Code station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		Latitude Y	Longitude X	
Sour El Ghozlane	**150101**	316.45	590.6	882

(Source ANRH Alger)

I.6.2. Les températures :

L'étude des températures est essentielle pour comprendre les variations thermiques qui influencent l'évapotranspiration, la croissance des cultures et la gestion des ressources en eau. C'est pourquoi nous nous intéressons particulièrement à l'étude des températures maximales et minimales enregistrées sur une période donnée.

Tableau I-2 : Moyennes des températures mensuelles en °C (Sour El Ghozlane,1995-2023)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Tmin °C	1	1	0.8	4.9	5.1	8	14.8	17	14	7	6.1	1.1	6.7
Tmax °C	19	20	21.6	26.5	33.5	38	40.2	40	31	24	22	16	27.7
Tmoy °C	10	10.5	11.2	15.7	19.3	23	27.5	28.5	22.5	15.5	14.05	8.55	17.2

(Source ONM Alger)

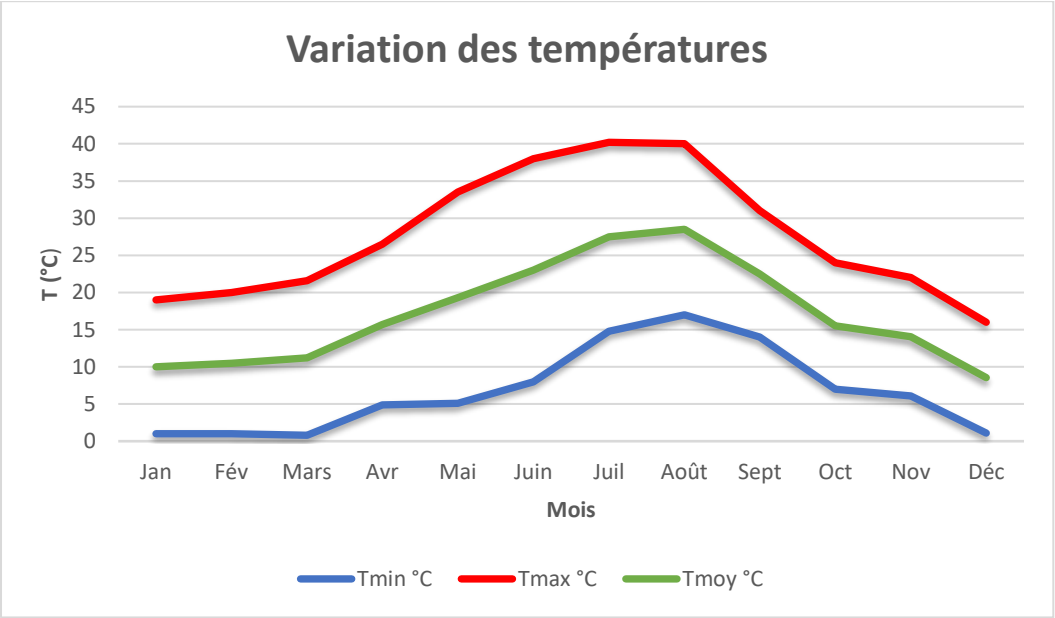


Figure I.6 : Répartition des températures moyennes

D'après le tableau I-2 et la figure I.6, on remarque une forte variation saisonnière des températures de la région, avec des minimales atteignant 0.8°C en mars et des maximales dépassant 40°C en juillet reflétant un climat semi-aride. La température moyenne annuelle est de 17.2°C. Les hivers sont marqués par des températures basses, pouvant impacter la germination des cultures.

I.6.3. Études des précipitations :

L'étude des précipitations est essentielle pour évaluer la disponibilité en eau et concevoir un réseau d'irrigation adapté aux besoins des cultures. Elle permet d'analyser la répartition saisonnière des pluies, leur intensité et leur fréquence afin de détecter d'éventuels déficits pluviométriques.

I.6.4 Etude des Pluies mensuelles

Pour cette étude, nous nous basons sur les données de la station pluviométrique de la station de Sour El Ghozlane couvrant une période de 1995 à 2023, soit une période de 27 ans.

Tableau I-3 : Pluies moyennes mensuelles en mm (Sour El Ghozlane,1995-2023)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Pann
Pluie mm	36.8	35.0	58.6	61.4	60.7	51.6	49.6	49.1	46.2	16.7	3.6	12.9	482.1

(Source ANRHAlger)

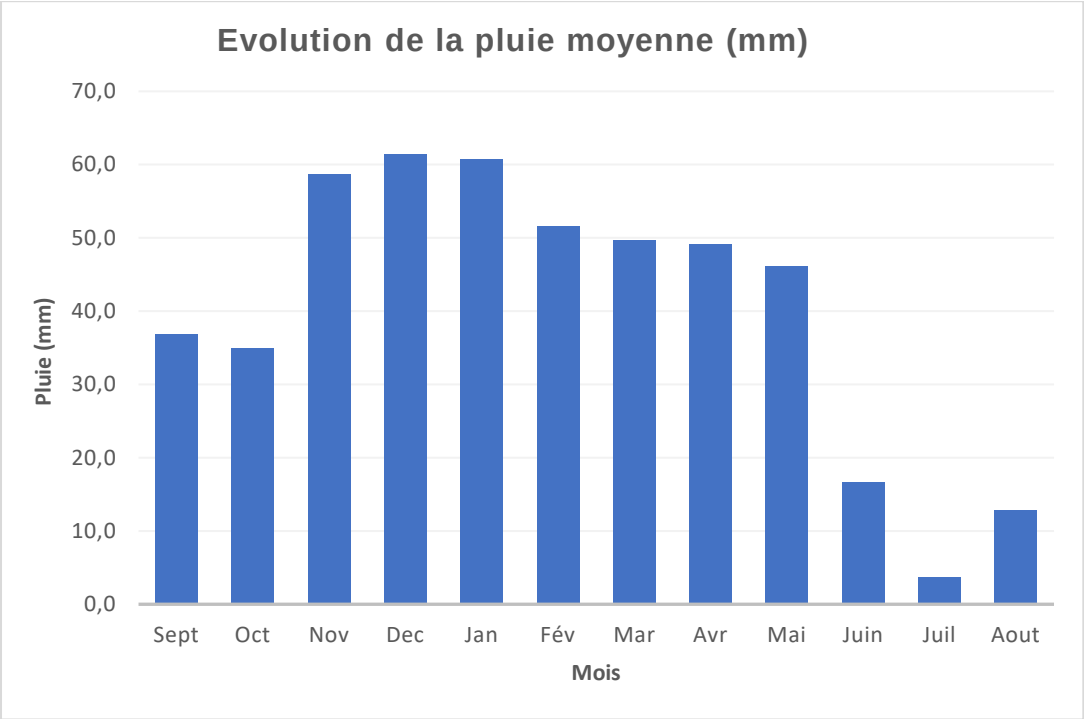


Figure I.7 : Histogramme de la pluie moyenne mensuelle

D'après la figure I.6.3, on observe une répartition inégale des pluies au cours de l'année. La pluviométrie annuelle est de 482,1 mm, avec un maximum en hiver (novembre à janvier), représentant plus de 37 % du total. Décembre est le mois le plus arrosé avec 61,4 mm, tandis que les mois de juillet et Aout sont les plus secs et sont marqués par un déficit hydrique important.

I.6.5. L'humidité relative :

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

Tableau I-4 : L'humidité relative moyenne mensuelle % (station Sour El Ghozlane)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne annuel
Humidité relative %	57	55	66	77	74.0	69.0	79.0	63.0	62.0	60.0	58.0	45.0	61.3

(Source ONM Alger)

Le tableau montre que l'humidité relative moyenne annuelle est de 61.3 %. Elle atteint son maximum en mars (79 %) et décembre (77 %), coïncidant avec les mois les plus humides. À l'inverse, elle est la plus basse en juillet (43 %), période de sécheresse.

I.6.6. Le vent :

L'étude du vent est essentielle pour évaluer son impact sur l'évapotranspiration, et son influence en irrigation par aspersion.

Le tableau I-5 présente les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s).

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

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne annuel
Vent (m/s)	2.1	3.5	3.1	2	3.5	3.4	2.7	2.3	2.6	2.4	2.4	2.4	2.7

(Source ONM Alger)

D'après le tableau I-5, on note des vitesses moyennes du vent qui varient d'un mois à l'autre, tout au long de l'année, avec une moyenne annuelle de 2.7 m/s. Les mois d'octobre (3.7 m/s), janvier (3.5 m/s) et février (3.4 m/s) enregistrent les vitesses les plus élevées, en revanche, les mois de décembre présentent des vents plus faibles.

Le Sirocco : c'est un vent chaud et sec en provenance du Sahara, qui influence considérablement le climat de la région. Le nombre moyen de sirocco varie entre 4 et 5 jours particulièrement durant les mois de juin et de juillet.

I.6.7. L'insolation :

L'insolation représente la durée pendant laquelle une région reçoit un ensoleillement direct. Elle joue un rôle clé dans la croissance des cultures, la photosynthèse et l'évapotranspiration. Une forte insolation favorise le développement des plantes, mais peut aussi accélérer l'évaporation de l'eau du sol et augmenter le stress hydrique.

Tableau I-6 : Insolation moyenne mensuelle en heures

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne annuel
Insolation (h/j)	9.0	8.1	7.6	7.2	7.5	8.2	8.6	9.1	9.5	10.5	10.3	9.5	8.5

(Source ONM Alger)

Le tableau I-7 montre des variations d'insolation saisonnières marquées. Les mois d'été, notamment juin et Juillet (10.5 h/j), enregistrent les valeurs les plus élevées, favorisant une forte évaporation. En revanche, le mois de décembre et Janvier affichent l'ensoleillement le plus faible.

I.7. Calcul des indices Agrométéorologiques :

Le calcul des indices agro-métrologiques permet de connaitre le type de climat et d'évaluer l'impact son impact sur l'agriculture. Deux facteurs essentiels sont pris en compte : la pluviométrie et la température.

I.7.1. Indice d'aridité de Martonne :

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

$$\boldsymbol{I_A = \frac{P}{T + 10}}$$

Avec : I_A: indice climatique.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C)

Dans notre cas, nous avons : $I_A = \frac{481.1}{17.1+10} = 17.73$

Tableau I-7 : Classification du climat selon de Martonne

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

Nous avons 10<I<20 donc, La région de Raouraoua est caractérisée par un climat sec, l'irrigation est souvant indispensable.

I.7.2. Quotient Ombrothermique d'Emberger :

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

$$Q = \frac{1000.P}{\left(\frac{M+m}{2}\right).(M-m)} = \frac{2000.P}{M^2-m^2}$$

Q **:** Quotient pluviométrique d'Emberger

P : Moyenne de précipitation annuelle : 482.1 mm

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en Kelvin : 40.2+273.15 = 313.35

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en Kelvin : 0.8+273.15 = 273.95

T en Kelvin = T en °C + 273,15

Donc : on trouve Q = 41.67

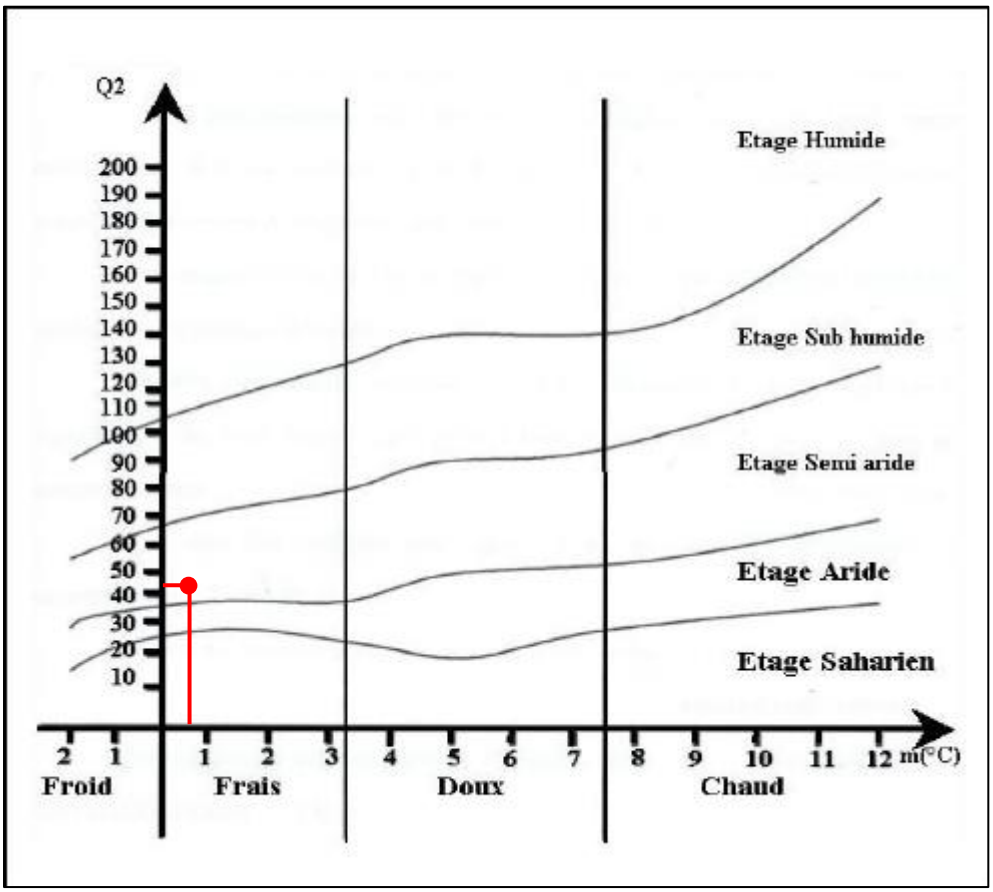


Figure I.8 : Diagramme bioclimatique d'Emberger

D'après la classification, le climat de la région de Sour el Ghozlane est de type semi-aride, avec des hivers frais.

I.7.3. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen :

L'indice de Bagnouls et Gaussen permet de classifier le climat en évaluant les périodes biologiquement sèches d'une région. Il repose sur deux facteurs essentiels : la pluviométrie en (mm) et la température en (°C). Son diagramme ombrothermique confronte ces deux paramètres en les représentant sur une double échelle. Un mois est considéré comme sec lorsque le total mensuel des précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle ($P \leq 2T$). Graphiquement, cela correspond aux mois où la courbe pluviométrique est située en dessous de la courbe des températures.

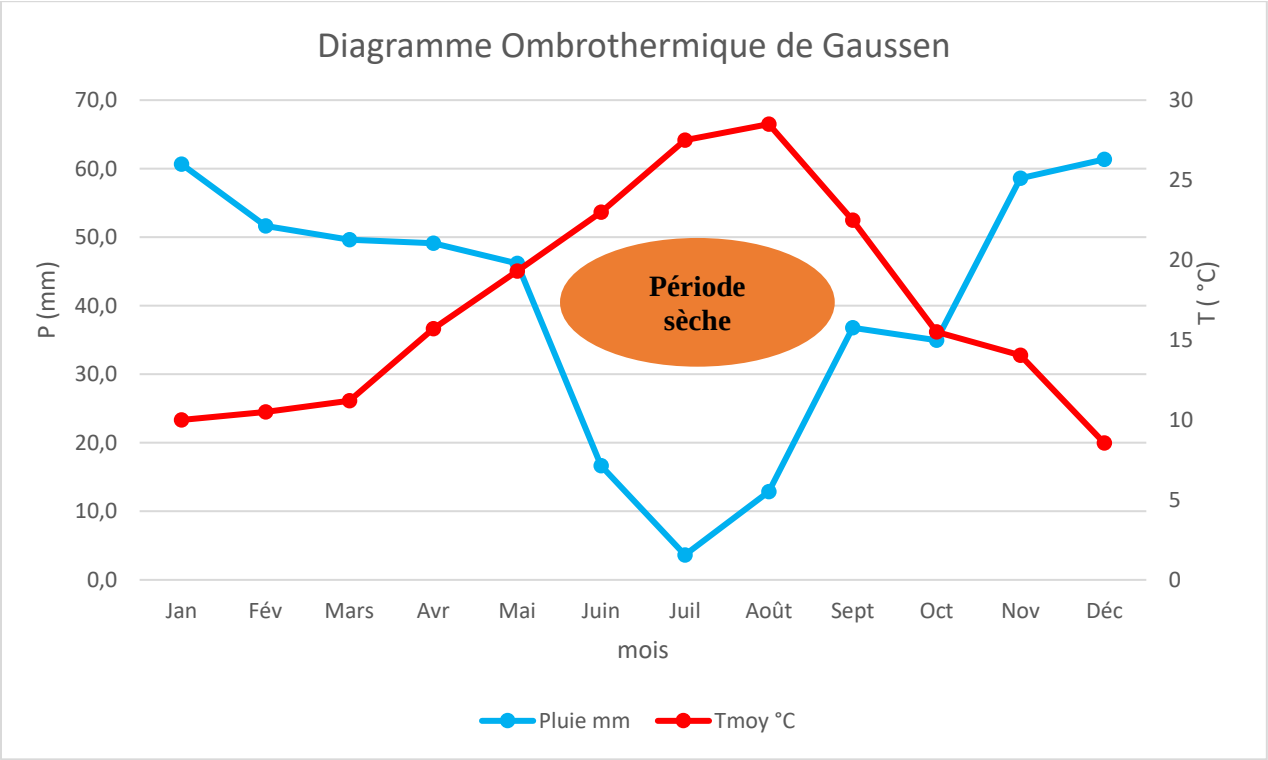


Figure I.9 : Diagramme ombrothermique de Gaussen**.**

Description du graphe : D'après la figure I.9, la saison sèche s'étend du mois de mai jusqu'à octobre, En revanche, la saison humide couvre la période de novembre à avril.

I.8. Analyse socio-économique :

➢ **Analyse actuelle :**

a) Démographie et main-d'œuvre :

La commune de Raouraoua compte environ 10 550 habitants en 2022, avec un taux de croissance de 6,8 %. La population, majoritairement rurale et jeune, constitue une main-d'œuvre agricole abondante, mais le taux de chômage élevé traduit une faible diversification économique et un recours limité aux activités para-agricoles.

b) Structure foncière :

Le foncier agricole de Raouraoua se compose majoritairement d'exploitations collectives (EAC), occupant 82 % de la superficie totale (environ 823 ha), et de petites exploitations privées représentant 18 % des terres, réparties sur des parcelles de moins de 20 ha. Cette structure met en évidence un déséquilibre dans l'organisation agricole, où les petites exploitations familiales, aux moyens limités, coexistent avec de grandes exploitations collectives mieux équipées.

c) Production agricole et mode d'irrigation :

L'agriculture locale repose sur les céréales (blé dur, orge), les fourrages et l'élevage ovin extensif. Les rendements atteignent environ 17 qx/ha pour le blé dur et l'orge, contre 200 qx/ha pour la pomme de terre, illustrant un potentiel maraîcher élevé. Toutefois, près de 85 % des agriculteurs pratiquent encore une agriculture pluviale, dépendante des pluies et vulnérable aux sécheresses.

d) Économie et rentabilité :

Les cultures céréalières offrent des marges modestes, tandis que les maraîchères, comme la pomme de terre, assurent une marge nette d'environ 460 000 DA/ha. Ces écarts soulignent le sous-potentiel du périmètre et la nécessité de moderniser les pratiques agricoles pour améliorer la rentabilité et la stabilité des revenus.

- **Contraintes et potentialités :**

Les principales contraintes concernent la sécheresse estivale, l'irrégularité des pluies, le manque de moyens techniques et le vieillissement des agriculteurs. En revanche, la région bénéficie de sols fertiles, d'une main-d'œuvre expérimentée, de la proximité du barrage de Lekhal et d'une bonne accessibilité routière, offrant de réelles perspectives de développement agricole.

- **Situation future après projet :**

La mise en place du réseau d'irrigation collectif permettra une meilleure exploitation des terres, une hausse des rendements et une diversification des cultures vers le maraîchage, les fourrages et l'arboriculture. Ce projet contribuera à réduire le chômage rural, stabiliser les revenus agricoles et moderniser durablement l'agriculture dans le périmètre de Raouraoua.

Conclusion :

Lors d'un aménagement hydro-agricole, il est primordial de bien connaître les conditions naturelles d'un périmètre afin d'adapter le système d'irrigation aux spécificités du milieu.

Ce chapitre nous a permis d'étudier la situation géographique, géologique et climatique de la région de Raouraoua.

L'analyse des paramètres agro-météorologiques confirme que la région est soumise à un climat semi-aride, avec une saison sèche de mai à septembre et une période relativement froide de novembre à avril, mais caractérisée par une insuffisance de pluies.

Enfin, l'analyse socio-économique a montré que le périmètre de Raouraoua possède un fort potentiel agricole mais encore sous-exploité.

L'extension du périmètre nécessite ainsi une gestion rationnelle des ressources en eau afin d'améliorer les rendements et d'assurer un développement durable, d'où l'importance d'une projection d'un réseau d'irrigation moderne et efficient.

Chapitre II

Ressources en eau – Ressources en sols

Chapitre II : Ressources en eau - Ressources en sol

Introduction :

L'étude des ressources en sol permet d'identifier leur nature, leur composition physico-chimique et leur aptitude culturale, afin d'optimiser leur exploitation et d'améliorer les rendements agricoles.

De même, l'analyse des ressources en eau, notamment la disponibilité et la quantité, la qualité et la classification des eaux d'irrigation, est un facteur clé pour assurer une gestion durable et adaptée aux besoins des cultures.

À travers cette étude, nous chercherons à évaluer ces ressources et à proposer des solutions adaptées pour une meilleure gestion des terres et de l'eau.

II.1. Ressources en sol :

II.1.1. Classification des sols :

L'inventaire pédologique réalisé suit la classification de la CPCS (France 1970), adoptée par l'ANRH Algérie. Cette classification, permet d'analyser les sols à différents niveaux : les unités supérieures (classe, sous-classe, groupe, sous-groupe) et les unités inférieures (famille et série).

Le périmètre de Raouraoua faisant partie des plaines des Arribs, présente deux classes de sols: les sols calcimagnésiques, et les sols riches en sesquioxydes de fer : au niveau de la superficie choisie pour notre étude, on trouve en majorité les sols à sesquioxydes de fer.

II.1.1.1. Classe des sols à sesquioxydes de fer :

Les sols à sesquioxydes de fer sont des sols riches en oxydes et hydroxydes de fer, leurs caractéristiques sont résumées par le profil suivant :

<u>Profil N° 1 :</u>

Caractéristique morphologique :

- Classe : Sols à sesquioxydes de fer.
- Sous classe : sols rouges formés sous climat de type Méditerranée.
- Groupe : sols rouges non lessivés.
- Sous-groupe : Modaux avec ou sans horizon calcique.
- Famille : sur grés
- Situation : Ouest du périmètre.
- Pente : 0-3 % Sud-Nord.
- Occupation du sol : Grandes cultures.

Description des horizons du profil :

0 – 45 cm : sec, couleur 2,5YR4/4, texture limono-argileuse, structure polyédrique fine, pas de charge, nombreuses racines fines, bonne activité biologique, matière organique directement décelable, poreux, friable, effervescence nulle à Hcl, transition diffuse.

45 – 82 cm : sec, couleur 2,5YR4/6, texture limono argileuse, structure polyédrique moyenne, pas de charge, pas de racines, activité biologique nulle, matière organique non directement décelable, porosité moyenne, peu compact, effervescence nulle à Hcl, transition peu nette

80 – 110 cm : sec, couleur 5YR4/6, texture argileuse, structure polyédrique moyenne à grossière, présence d'environ 3% de cailloux de grés, pas de racines, activité biologique nulle, matière organique non directement décelable, faible porosité, compact, faible effervescence à HCl, transition nette

II.1.2. Analyses physico-chimiques des sols :

Les résultats des analyses physico-chimiques du périmètre de Raouraoua sont présentés dans le tableau II.1 :

Tableau II-1: Résultats des analyses physico-chimiques (Périmètre de Raouraoua)

Horizons		**H1**	**H2**	**H3**	**Total**
Profondeur de prélèvement des échantillons (cm)		**0-40**	**40-80**	**80-110**	**Moyenne**
Granulométrie	Argile %	32.7	35.5	45.8	38
	Limon fin %	18.9	25.7	16.3	33.8
	Limon grossier %	13	16.1	11.4	
	Sable fin %	15.6	9.8	10.6	27.63
	Sable grossier %	19.7	12	15.2	
Matière organique	Matière organique %	1.0	0.4	0.1	0.5
	Carbone C ‰	5.6	2.4	0.4	2.8
	Azote N ‰	0.5	0.6	1.3	0.8

	C/N	10.2	4.2	0.3	4.9
Solution de sol	PH	7.35	7.35	7.45	7.38
	CE ms	0.3	0.38	0.54	0.4
Réserves minérales	$CaCO_3$ TOTAL %	3	5	7	5
	$CaCO_3$ ACTIF %	1.3	2.6	3.4	2.4
	P_2O_5 TOTAL %°	3.5	1.2	0.9	1.86

(Source ONID Alger)

II.1.2.1. Analyse de la texture de sol :

La texture du sol est définie par la proportion relative de sable, de limon et d'argile dans un sol particulier. Pour notre cas, le triangle des textures de sols est le suivant :

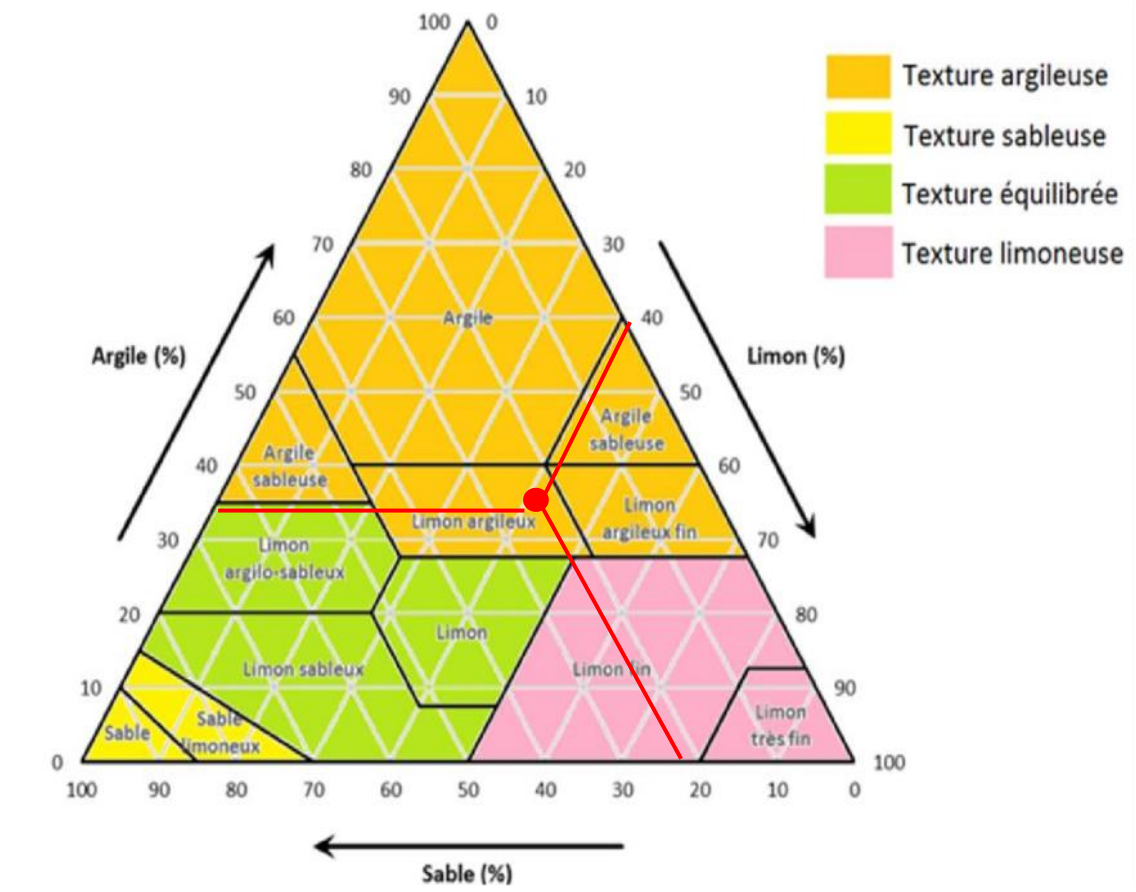


Figure II.1: Triangle des textures des sols.

Le sol est classé comme un sol limono-argileux, offrant une bonne rétention d'eau La teneur en Matière organique est faible, on observe une présence de calcaire, dont la teneur augmente avec la profondeur, la conductivité électrique de la solution du sol est faible, ce qui prouve que c'est un sol non salin.

II.1.3. Paramètres hydrodynamiques des sols :

Les propriétés hydrodynamiques des sols d'extension de Raouraoua sont données dans le tableau suivant :

Tableau II-2 : Caractéristiques hydrodynamiques des sols limono-argileux**.**

Paramètre	Valeur moyenne
Texture	Limono-argileux
Densité apparente Da (g/cm^3)	1.3-1.45
Perméabilité K en m/s	7-10 mm/h
Humidité à la capacité au champ H_{pf} (%)	27
Humidité point de flétrissement H_{cc}(%)	16

(Source ONID Alger)

II.1.4. Les aptitudes culturales :

L'étude de l'aptitude culturale des sols a pour but d'évaluer leur capacité à soutenir la croissance des cultures dans des conditions optimales. Elle repose sur l'analyse des propriétés pédologiques du sol ainsi que l'identification des facteurs limitants, tels que la profondeur utile, la texture, la salinité et la présence d'inclusions grossières.

L'analyse détaillée de ces paramètres dans le périmètre Raouraoua a permis de définir le tableau suivant :

Tableau II-3: Listes des cultures adaptées au sol.

N°	Arboriculture	N°	Culture maraichères	N°	Cultures céréalières et fourragères
1	Olivier	1	Pomme de terre	1	Blé tendre
2	Figuier	2	Courgette	2	Blé dur
3	Vigne	3	Tomate	3	Orge
4	Grenadier	4	Haricot	4	Avoine
5	Amandier	5	Carotte	5	Sorgho
6	Abricotier	6	Piment-Poivron	6	Luzerne
7	Pommier	7	Oignon	7	
8	Poirier et Prunier	8	Melon-Pastèque		
N°	Industrielles	N°	Légumineuses		
1	Betterave sucrière	1	Fèves et Petits pois		
2	Tournesol	2	Pois chiche		
3		3	Lentilles		

(Source ONID Alger)

Interprétations :

Les sols du périmètre de Raouraoua, par sa fertilité et ses caractéristiques physiques ne présentent pas de restriction, plusieurs cultures peuvent être exploitées sans aucun problème.

II.2. Ressources en eau :

Avant d'entamer toute étude de projet d'aménagement hydro-agricole, il est essentiel de localiser et quantifier les ressources en eau disponibles pour l'irrigation.

Dans le cas du périmètre de Raouraoua, deux types de ressources sont identifiés : les eaux souterraines et les eaux de surface issues du barrage Lekhal.

II.2.1. Ressources en eau souterraine

La zone des Arribs est alimentée par une nappe phréatique couvrant plus de 15 km², répartie principalement comme suit :

- Environ 3/5 sur la commune de Bir Ghbalou.
- 1/5 sur la commune de Raouraoua.
- 1/5 sur la commune de Aïn Bessem.

Cette répartition traduit une importance variable du potentiel souterrain selon les communes : la partie située à Bir Ghbalou concentre la majorité des réserves exploitables, tandis que la portion

affleurant sur Raouraoua demeure moins étendue et moins productive, ce qui limite sa mobilisation pour notre périmètre.

La profondeur de la nappe est généralement inférieure à 15 m, ce qui la situe suffisamment loin de la zone racinaire pour ne pas modifier le profil pédologique, ni provoquer des phénomènes de remontée capillaire ou de lessivage.

En parallèle, plusieurs forages existants sont déjà exploités au niveau du périmètre. Cependant, leur vocation principale demeure l'alimentation en eau potable (AEP) des populations locales.

Du point de vue de la qualité, ces eaux présentent des caractéristiques globalement bonnes et conformes aux normes de potabilité, ce qui en fait une ressource fiable pour l'usage domestique.

En revanche, concernant la quantité, leur contribution éventuelle à l'irrigation n'est pas conseillée pour plusieurs raisons :

- Les débits disponibles sont faibles, adaptés prioritairement à l'AEP
- Une exploitation accrue risquerait d'entraîner une dépression de la nappe
- La partie de la nappe située sur Raouraoua est moins développée, limitant encore davantage le volume mobilisable.

Ainsi, le potentiel d'irrigation par ces forages reste limité et ils ne représentent pas une ressource durable pour l'irrigation du périmètre de 160 ha.

II.2.2. Barrage Lekhal :

La ressource la plus fiable, durable et disponible pour l'irrigation du périmètre de Raouraoua est Le barrage de Lekhal, situé sur l'Oued Lekhal (Bouira), il est destiné à l'alimentation en eau potable des régions de Ain-Bessem et Sour -el Ghozlane, ainsi qu'à l'irrigation des plaines des Arribs. La retenue créée par le barrage a une capacité utile de 30 hm3, permettant la régularisation annuelle de 25.5 hm3.

Le barrage, en terre hétérogène, est composé d'un noyau argileux incliné vers l'aval. Il est encadré en amont par une recharge en tout venant/ballast et à l'aval par un filtre, un drain et une recharge en tout venant.

Il comprend les ouvrages suivants :

- Une digue de terre hétérogène à noyau argileux
- Une crête de : 690 m NGA et de largeur : 8 m
- Une vidange de fond de 05 m et de 260 m de longueur

- Une tour de prise avec règle limnométrique de 35 m de hauteur et 4 m de diamètre sur la galerie de vidange de fond.
- Evacuateur de crue de type Creager et des piles

Les caractéristiques de la retenue de barrage sont les suivantes :

- Côte de la retenue normale : 675,00 m
- Cote des plus hautes eaux (PHE) : 684,40 m
- Volume des eaux non utiles (Envasement) : environ 5 millions de m³
- Volume de la retenue normale : 30 hm³
- Volume régularisable : 18 hm³/an

II.2.3. Qualité de l'eau du barrage Lekhal :

L'analyse de la qualité de l'eau est une étape essentielle dans la planification d'un projet hydro-agricole, car elle permet de déterminer la compatibilité de l'eau avec les cultures envisagées et les systèmes d'irrigation. On peut évaluer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du barrage Lekhal en se basant sur les principaux paramètres de qualité suivants :

- La salinité
- L'alcalinité

Les résultats des analyses de l'eau provenant du barrage Lekhal sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-4 : Résultats d'analyse de l'eau de barrage Lekhal.

Elément	Moyenne (mg/l)
Calcium Ca^{2+}	92
Magnésium Mg^{+}	39
Sodium Na^{+}	101
Potassium K^{+}	10
Chlorures Cl^{-}	142
Sulfates SO^{2-}	283

Bicarbonates HCO_3^-	144
pH	8
CE (µ/cm)	1280

(Source ANRH Blida)

II.2.3.1. Risque de Salinité :

La salinité représente la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle est généralement exprimée en dS/m, mS/cm, ou mmhos/cm. Une eau trop saline affecte la capacité d'absorption de l'eau par les plantes (stress osmotique). La qualité des eaux est classée en quatre (04) catégories en fonction de sa teneur en sel, ou par la mesure directe de la conductivité électrique selon la classification USSL, (1954)

Tableau II-5 : Classification des eaux d'irrigation (USSL, 1954)

Teneur en sel (g/L)	Conductivité éléctrique mmhos/cm	Appréciation
<0.2	<0.25	C1 Eaux faiblement salines
0.2-0.5	0.25-0.75	C2 Eaux à salinité moyenne
0.5-1.5	0.75-2.25	C3 Eaux à salinité forte
1.5-3	>2.25	C4 Eaux à très forte salinité

II.2.3.2. Risque d'alcalinité :

Plus une eau est riche en sodium (Na+), plus elle favorise la dispersion des particules d'argile, qui détériore la structure du sol, en le rendant plus compact et moins perméable. Le degré d'alcalinité d'une eau d'irrigation est souvent exprimé à travers le SAR (Sodium Adsorption Ratio ou Rapport d'Adsorption du Sodium). Cet indice permet d'évaluer la concentration relative du sodium (Na^+) par rapport aux ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+})

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

En appliquant les valeurs mesurées :

$$SAR = \frac{101 * 0.0435}{\sqrt{\frac{92\times0.0499+39\times0.0823}{2}}} = 2.22\ Meq/L$$

Cette valeur indique un risque faible d'alcalinité, et l'eau peut être utilisée sans danger majeur pour la structure du sol, avec des cultures modérément tolérantes.

II.2.3.3. Classification USSL finale :

Selon le diagramme de l'USSL (Figure II.2), notre est classé en C3-S1 :

- C3 : Salinité forte → nécessite un bon drainage et des cultures tolérantes.
- S1 : Risque sodique faible → aucun impact important sur la structure du sol.

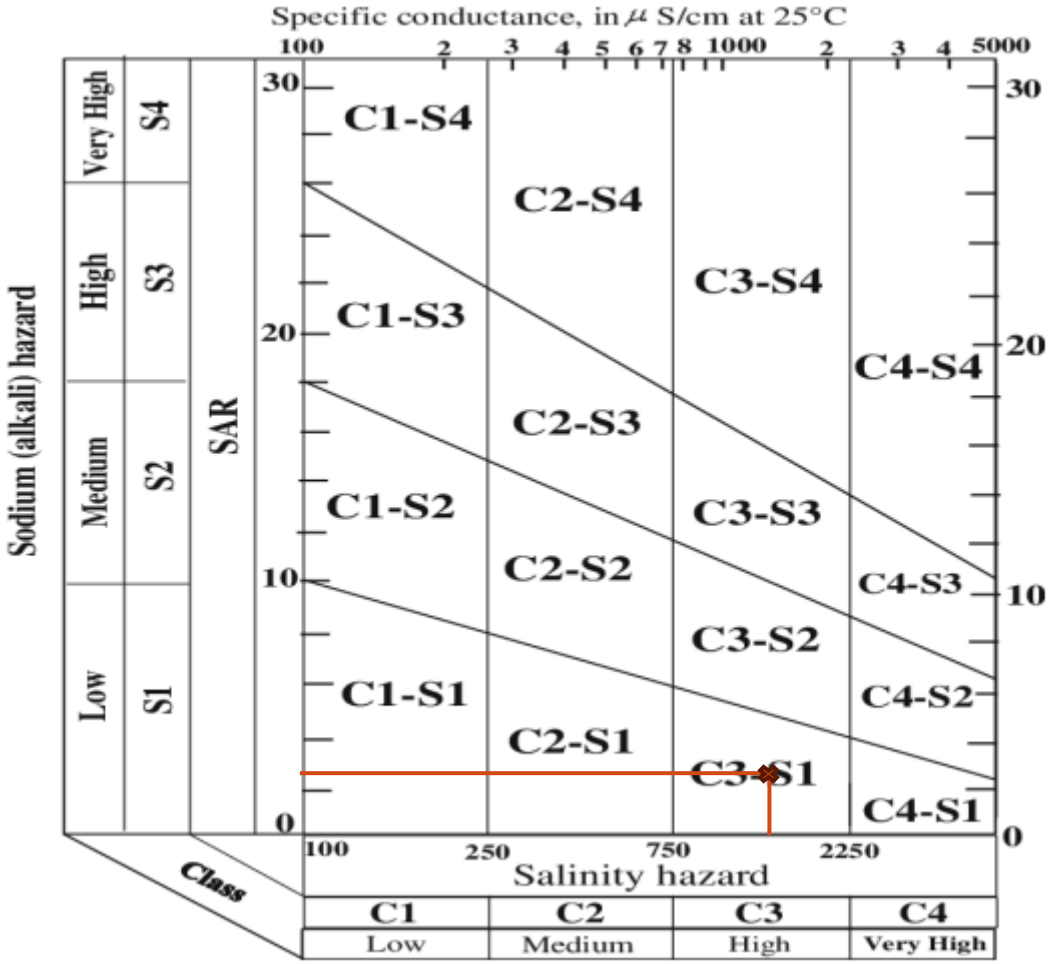


Figure II.2: diagramme de classification des eaux d'irrigation de l'USSL

<u>Résultat</u> : L'eau du barrage Lekhal présente une salinite de 1280 mmhos/cm, et avec un SAR faible, donc aucun risque de toxicité pour les cultures courantes. Elle est adaptée à l'irrigation, même pour les plantes modérément sensibles aux sels.

II.3. Hydrologie : Calcul de la pluie de projet

Le calcul de l'apport pluviométrique constitue une étape essentielle dans la planification d'un projet d'irrigation durable. Il permet d'estimer la quantité d'eau naturellement disponible pour les cultures, ce qui aide à optimiser la gestion des ressources en eau.

II.3.1. Choix de la station :

L'observation des précipitations des plaines des Arribs se fait par la station météorologique la plus proche à savoir la station de Sour el Ghozlane qui présente les caractéristiques suivantes :

Tableau II-6 : Caractéristiques de la station météorologiques Sour el ghozlane.

Nom de la station	Code station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		Latitude Y	Longitude X	
Sour El Ghozlane	**150101**	316.45	590.6	882

(Source ANRH Alger)

II.3.2. Données de précipitation :

Les données pluviométriques de la station de Sour el Ghozlane de la durée de 1994 -2023 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II-7 : Précipitations annuelle de la station de Sour el Ghozlane (1994-2023).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG
1994-1995	12,6	57,9	8,9	25	58,5	93,5	26,6	68,3	50,8	13,4	14,8	8,5
1995-1996	20,1	13,1	23	40,4	33,9	14,2	10,5	59,7	22,1	19,6	3,5	24,5
1996-1997	47,6	59,5	71,3	47,5	11,9	57,4	16,9	44,6	133,9	4,5	0	4
1997-1998	45,8	43,6	83,1	41,3	42,3	28,2	90,9	0	33,7	4,1	0	10,9
1998-1999	38,7	16,2	25,5	132,2	3,4	1,3	12,7	26,6	34	0,3	0	2
1999-2000	33	81,8	34,8	53,4	148,6	25,3	5	49	8	2,5	0	2,1
2000-2001	78,1	3,6	10,3	12	22,7	26,8	14,5	14,1	20,4	0,5	7,5	77,3
2001-2002	21,1	10,5	136,3	186,8	205,4	88,2	7,7	103,4	16	13,6	10,2	40,9
2002-2003	60,4	67,8	40,7	123,1	72,6	16,1	38,7	59	131,7	4	3,2	4,5
2003-2004	48,5	23,4	35,3	84,7	26	57,7	28,5	21,6	10,5	10,5	11,3	3,8
2004-2005	17,8	66,8	41,2	91,5	116	61,1	30,3	58,9	69,6	12,7	4,6	2,7
2005-2006	34,2	0	29	56,5	6	54,3	178,6	100,2	24,1	18,2	0	7,5
2006-2007	65,8	82,4	72,8	39,1	11,6	17,5	20,2	31,1	66,9	24,6	5,7	2,5
2007-2008	78,5	36,9	53,8	60,1	97,1	23,9	74,9	90	20,8	2,5	1	13,9

2008-2009	106,1	9,8	103	63,6	42	86	61,8	23,1	45,7	19,8	0	32,7
2009-2010	6,1	63,3	91,9	30,3	37,7	116,4	60,9	116,2	100,7	25,9	0	10,5
2010-2011	3	42,8	57,1	36,7	33,6	103,6	67,6	77	25,1	2,2	8	11,8
2011-2012	6,9	35,7	67,5	13,7	98,9	112,7	52,3	55,5	61,4	2	7,5	19,5
2012-2013	48	6,7	66,3	48,5	44,3	50,7	138,3	4	33,7	86,8	0,1	0
2013-2014	29,6	6,4	113,7	130,8	78,7	118	46,2	1,5	29,5	14,2	0	13,3
2014-2015	48,6	50,5	36,5	0	41,2	65,5	100,3	45,9	62,4	0	0	0
2015-2016	19,5	44,2	33,4	60,7	187,1	23,4	14,7	16,4	2	20,8	5	21,6
2016-2017	17,4	6,5	66,3	61,5	32,5	33,7	97,6	104,3	64,7	45	0	15,4
2017-2018	32,1	72,7	81,5	68,5	135,6	28,7	34,9	34,2	33,6	18,4	14	9,1
2018-2019	72,4	35,4	86,5	63,7	42,1	0	79,5	71,9	20	18	0	6
2019-2020	11	13	38	84,9	15	20,8	38	17,3	36,3	17	3,7	20
2020-2021	33,3	9,8	69,9	51,3	12	23,3	56,5	101,3	21,3	0	0	2
2021-2022	28,2	44,8	31,7	20,3	73,5	13,5	7	5,5	122,6	82,1	0	4
2022-2023	2,5	8,5	90,8	51,3	29,3	135,4	27,3	23,9	38,3	0	5,5	2,2

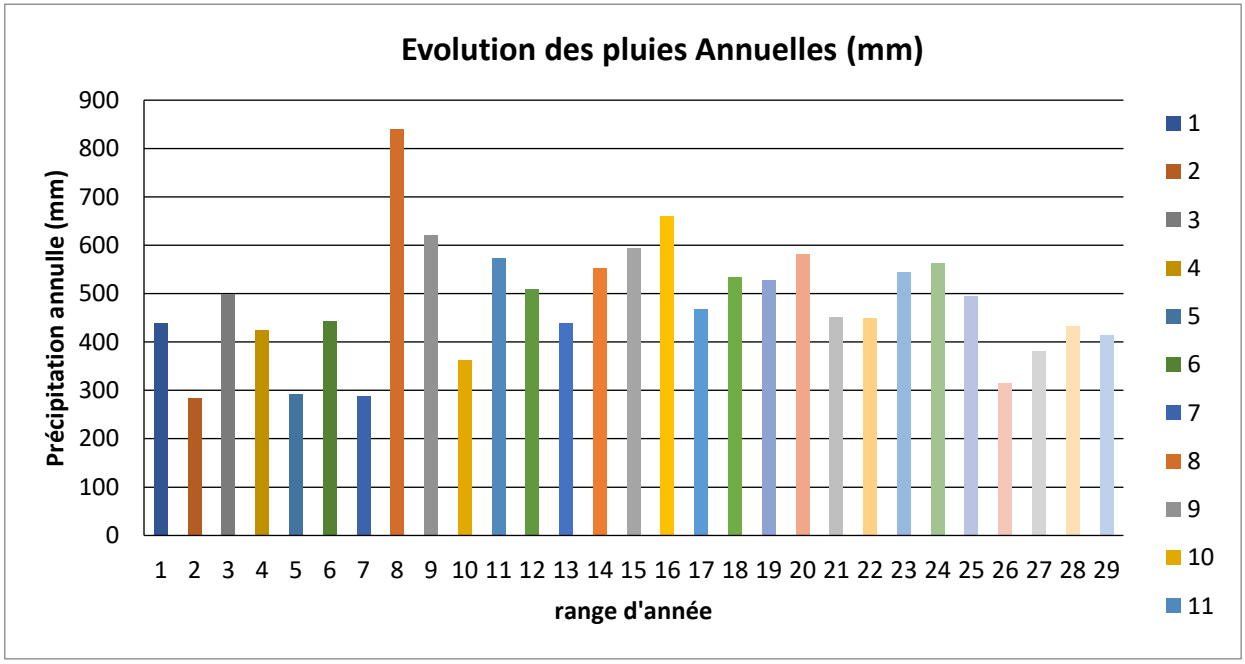


Figure II.3: Evolution des pluies annuelles (mm)

La série des pluies moyennes annuelles de la station météorologique de Sour el Ghozlane a les caractéristiques suivantes :

✓ **Moyenne arithmétique ($\bar{X}$)** :

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

Où Xi : représente les valeurs annuelles de pluie

n : le nombre d'années de la série

✓ **Écart-type (σ)** :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Cette formule permet de mesurer la dispersion des valeurs autour de la moyenne.

- **Coefficient de variation (CV)** :

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

Il traduit la variabilité relative des précipitations d'une année à l'autre.

Tableau II-8 : Caractéristiques de la série pluviométrique de pluies annuelles

Paramètre	Résultat
Moyenne	482.1
Ecart-type	121.6
Coefficient de variation	0.25
Pmin (mm)	284.6
Pmax (mm)	840.10

II.3.3 Analyse de l'homogénéité de la série pluviométrique : Test de Mood paul Meylan

Avant d'exploiter une série pluviométrique pour des calculs hydrologiques, il est indispensable de vérifier sa stabilité statistique dans le temps.

Le test de Mood, proposé par Paul Meylan, permet d'évaluer l'homogénéité de la série en examinant la répartition des données autour de la médiane.

Procédure du test :

1. Classer les valeurs par ordre croissant et déterminer la médiane M.
2. Remplacer chaque valeur de xi dans la série non classé par un signe :
   - ✓ (+) si xi > M
   - ✓ (–) si xi < M
3. Déterminer :
   - ✓ **Ns** : nombre total de séries successives de mêmes signes
   - ✓ **Ts** : taille de la plus grande série de mêmes signes
4. Conditions d'acceptation de l'homogénéité :

$$1/2\ (N + 1 - 1.96\sqrt{N-1}) < Ns < 1/2(N + 1 + 1.96\sqrt{N-1})$$

$$Ts < 3.3\ (\log(N) + 1)$$

Si les deux conditions sont satisfaites, la série est considérée comme homogène et donc exploitable pour le dimensionnement hydrologique.

Application :

1. Calcul de la Médiane :

La médiane est la valeur centrale de la série une fois les données classées par ordre croissant.

Dans notre cas, la série comporte **N = 29 valeurs** (nombre impair).

Ainsi, la médiane correspond à la valeur située au **rang** $\frac{(N+1)}{2} = \frac{(29+1)}{2} = \mathbf{15}$, soit la **15e valeur** dans la série ordonnée.

Après classement, la valeur obtenue à ce rang est : **M = 468,5 mm**

2. Calcul de Ns et Ts à partir de la série des données ordonnées :

$$\boldsymbol{N_s = 11 \quad et \quad T_s = 7}$$

3. Vérification des conditions :

Condition 1 : $N_s \min = \frac{1}{2}\left(N + 1 - 1.96\sqrt{N-1}\right) = 9.81$

$N_s \max = \frac{1}{2}\left(N + 1 + 1.96\sqrt{N-1}\right) = 20.18$

→ $N_s^{min} = 9.81 <$ **Ns = 11** $< N_s^{max} = 20.18$

Condition 2 : $T_s = 3.3 \times (log(N) + 1) = 8.12$

→ $\mathbf{T_s = 7} < 8.12$

Conclusion :

Les deux conditions du test de Mood sont satisfaites : donc la série annuelle est homogène.

II.3.4. Ajustement des pluies annuelles

II.4.4.1. Ajustement selon la loi normale :

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

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

X : valeur observée

$\bar{\boldsymbol{x}}$: moyenne arithmétique des précipitations

σ : écart-type de la série

$\boldsymbol{u}$: variable réduite de Gauss, calculée comme suit $u = \frac{X-\bar{x}}{\sigma}$

II.3.4.2. Ajustement selon la loi log-normale :

L'ajustement par la loi log-normale consiste à transformer les données statistiques des précipitations annuelles vers une nouvelle échelle, à savoir l'échelle logarithmique.

La relation de la droite de Galton s'écrit comme suit :

$$ln(X_{p\%}) = \overline{ln(X)} + \delta_{Ln} \times U_{p\%}$$

Avec :

$\boldsymbol{X_{p\%}}$: précipitation probable au niveau de probabilité p%

$\overline{\boldsymbol{ln(X)}}$: moyenne arithmétique des logarithmes des précipitations observées.

$\boldsymbol{\delta_{Ln}}$: écart-type (ou variance logarithmique) des données transformées. Sa valeur est calculée par :

$$\delta_{Ln} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\ln(X_i) - \overline{\ln(X)}\right)^2} \qquad (si\ n < 30)$$

$$\delta_{Ln} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\ln(X_i) - \overline{\ln(X)}\right)^2} \qquad (si\ n \geq 30)$$

$\boldsymbol{U_{p\%}}$: variable réduite de Gauss. C'est un quantile standard correspondant à une probabilité p%. Elle se détermine en appliquant la fonction inverse de la loi normale à une probabilité p%, soit via des tables statistiques, ou directement par des logiciels spécialisés comme HYFRAN.

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel HYFRAN, qui a permis d'obtenir les courbes d'ajustement correspondant aux deux lois (normale et log-normale), ainsi que la position des quantiles associés aux différentes périodes de retour. Les résultats graphiques issus du logiciel sont présentés dans la figure ci-après.

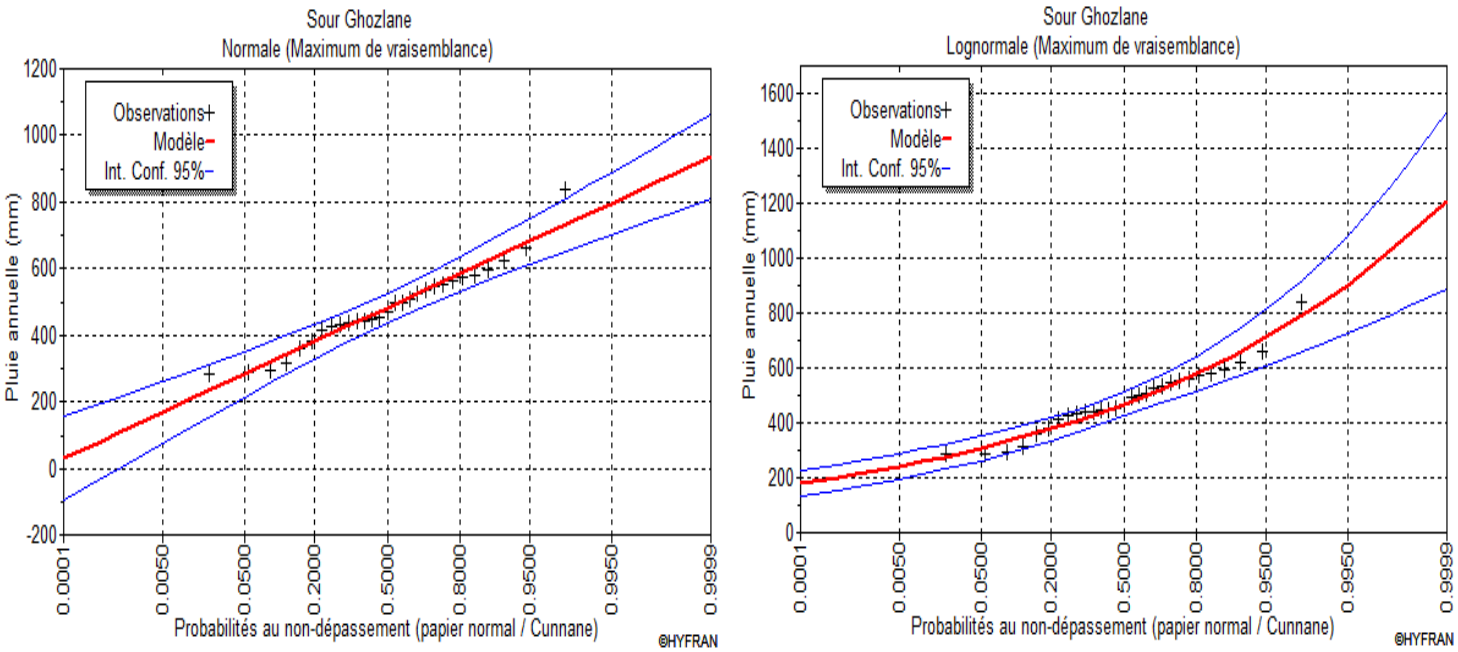


Figure II.4 : Courbe d'ajustement des pluies à la loi normale et log-Normale

II.3.5. Test de fiabilité des ajustements :

Pour évaluer la qualité des ajustements, un test du Khi-deux (χ^2) a été appliqué avec un niveau de confiance de 95 % (α = 5 %). Ce test permet de comparer les valeurs observées aux valeurs théoriques fournies par les lois ajustées, et de valider la pertinence du modèle statistique utilisé.
Les résultats sont présentés dans le tableau II.15 :

Tableau II-9: Résultat de test d'adéquation des deux lois

Paramètre	La loi normal	La loi lognormal
KHI carré χ^2 calculé	5.52	3.59
χ^2 théorique	9.49	9.49
Observation	χ^2 *calculé* < χ^2 théorique Condition vérifiée	χ^2 *calculé* < χ^2 théorique Condition vérifiée

Interprétation des résultats :

Les deux lois normale et log-normale présentent un ajustement adéquat puisque les valeurs calculées sont inférieures à la valeur critique ($\chi^2 = 9.49$). Cependant, la loi log normale présente une valeur de χ^2 plus faible ($\chi^2 = 3.59$) que la loi normale ($\chi^2 = 5.52$), ce qui indique un meilleur ajustement des données.

Les résultats issus de l'ajustement sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II-10 : Résultat de l'ajustement à la loi Log Normale.

Période de retour T(ans)	Fréquence au non dépassement	Quantile XT (mm)	Intervalle de confiance
2	0.5	467	424-511
1.25	0.8	377	336-418

II.3.6. Détermination de l'année de calcul

Après avoir validé que la loi lognormale est celle qui s'ajuste le mieux à nos données de précipitations, nous allons l'utiliser pour déterminer les précipitations mensuelles moyennes de fréquence 80%, correspondant à quatre années sur cinq. Cela revient à estimer les précipitations attendues dans une année relativement sèche.

La précipitation mensuelle moyenne de fréquence 80 % se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Pmoy 80\% de chaque mois} = \text{Pmoy de chaque mois} \times \frac{\text{Pluie (80\%) annuelle}}{\text{Pluie (50\%) annuelle}}$$

D'où $\frac{P80\%}{P50\%} = 0.8$

Les résultats de calcul de l'année de précipitations de probabilité à fréquence de 80% sont comme suit :

Tableau II-11 : Les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche (80%)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
$P_{moy.i}$	36,8	35,0	58,6	61,4	60,7	51,6	49,6	49,1	46,2	16,7	3,6	12,9
$P_{80\%}$ (mm)	29,68	28,22	47,25	49,51	48,95	41,61	40,00	39,59	37,26	13,47	2,90	10,40

Conclusion :

L'étude combinée des ressources en sol et en eau du périmètre de Raouraoua a mis en évidence un potentiel agricole important.

La texture limono-argileuse est bénéfique pour la rétention d'eau, l'analyse chimique montre un sol neutre, non salin, relativement faible en matière organique et en phosphore, ce qui suggère l'importance d'amendements pour améliorer sa fertilité.

Concernant les ressources en eau, le barrage Lekhal constitue la source principale. Son eau présente une salinité modérée à forte (C3), mais un faible risque sodique (S1), la rendant adaptée à l'irrigation.

Enfin, l'analyse pluviométrique et l'ajustement statistique par la loi log-normale ont permis de déterminer les pluies moyennes mensuelles de fréquence 80 %, base essentielle pour la planification des besoins en irrigation dans les conditions climatiques locales.

Ces résultats seront essentiels pour la suite de l'étude, notamment pour concevoir un système d'aménagement hydro-agricole performant, durable et adapté aux réalités du périmètre étudié.

Chapitre III

Calcul des besoins en eau des cultures

Chapitre III : Calcul des besoins en eau des cultures

Introduction :

L'estimation des besoins en eau constitue une étape clé dans la mise en œuvre d'un projet d'aménagement hydro-agricole. Elle intervient après le choix des cultures à développer dans le périmètre et permet de définir les apports nécessaires pour combler les manques en eau au niveau du sol. En effet, les plantes perdent continuellement de l'eau par transpiration, à laquelle s'ajoute l'évaporation de la surface du sol. Ce phénomène global, appelé évapotranspiration, représente la base du calcul des besoins en irrigation.

Ce dernier repose sur l'utilisation de données climatiques et des caractéristiques propres aux cultures, afin de déterminer la quantité d'eau à apporter pour couvrir les besoins hydriques des plantes.

Ce chapitre est donc consacré à l'estimation des besoins en eau des cultures envisagées, en tenant compte des conditions climatiques locales et des caractéristiques pédologiques du périmètre.

III.1. Besoins en eau des cultures

III.1.1. Évaluation des besoins en eau des plantes cultivées :

L'évaluation des besoins en eau d'une culture repose sur l'estimation de la quantité d'eau nécessaire pour maintenir une humidité optimale dans le sol, assurant ainsi le développement et le rendement maximal des plantes sans contrainte hydrique. Cela inclut :

- ✓ L'identification des caractéristiques de chaque culture
- ✓ La détermination de l'évapotranspiration maximale (ETM) à partir de l'évapotranspiration de référence (ET_0)
- ✓ La prise en compte des conditions climatiques locales et des caractéristiques du sol.

III.1.2. Calcul des besoins en eau :

Les besoins en eau représentent la quantité d'eau additionnelle à fournir par irrigation pour compenser l'insuffisance des précipitations naturelles. Avant d'évaluer ces besoins, il est essentiel de prendre en compte plusieurs paramètres liés aux plantes, au climat, ainsi qu'aux caractéristiques du sol de la région concernée.

La formule utilisée pour le calcul est :

$$\boldsymbol{Bi = ETM_i - (P_{eff} + RFU_{i-1})}$$

Avec :

- **B_i** : besoins nets en irrigation,
- **ETM_i** : évapotranspiration maximale au mois *i*, donnée par la formule :

$$ETM = ET_0 \times Kc$$

- **Kc** : coefficient cultural propre à chaque culture,
- **P_{eff}** : précipitation efficace,
- **RFU_{i-1}** : réserve facilement utilisable du mois précédent.

III.1.3. Concept de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration correspond à la somme de deux processus : l'évaporation de l'eau à partir du sol et la transpiration des plantes. L'eau perdue par ces mécanismes doit être compensée par l'irrigation ou les précipitations pour maintenir un bon état hydrique de la culture.

➢ Quelle est la différence entre ETP, ET_0 et ETM ?

<u>Évapotranspiration potentiel ETP :</u>

L'évapotranspiration potentielle (ETP) désigne la quantité maximale d'eau qui pourrait être évaporée et transpirée par une surface végétale dense et bien irriguée, dans des conditions idéales, lorsque le seul facteur limitant est l'énergie climatique (ensoleillement, température, vent, humidité).

Elle donne une idée du besoin climatique en eau pour une végétation sans contrainte hydrique.

<u>Évapotranspiration de référence ET0 :</u>

L'évapotranspiration de référence (ET_0) est une valeur standardisée de l'ETP. Elle est calculée pour une surface de gazon court (8 à 15 cm), dense, uniformément développée, bien irriguée, et en conditions climatiques standards.

Elle est utilisée pour estimer l'évapotranspiration maximale des cultures (ETM)

<u>Évapotranspiration maximale ETM :</u>

L'évapotranspiration maximale (ETM) est la quantité d'eau réellement évaporée et transpirée par une culture spécifique, en tenant compte de son type, de son stade de croissance, et les conditions optimales d'humidité du sol.

Elle représente la base de calcul des besoins en eau réels d'une culture spécifique bien irriguée, calculée par la formule :

$$ETM = ET0 \times Kc$$

Avec Kc = coefficient cultural.

- Comment obtenir l'ET_0 ?

Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'ET_0, regroupées en deux grandes catégories :

- **Méthodes directes :**

  Lysimètre : Il s'agit d'un dispositif contenant du sol cultivé, utilisé pour mesurer les pertes en eau par évapotranspiration à partir de la différence entre les apports en eau et les écoulements.

  Bac d'évaporation : Ce dispositif mesure l'évaporation d'une surface d'eau libre. La valeur obtenue est ensuite corrigée par un coefficient pour estimer l'évapotranspiration des cultures environnantes.

- **Méthodes indirectes :**

  Ces méthodes reposent sur des équations empiriques ou physiques intégrant les paramètres climatiques (température, humidité, ensoleillement, vent). Les formules les plus utilisées sont : Prinstley-Taylor, Makkink, Turc, Hargreaves, Blaney-Criddle, Thornthwaite, Penman, et surtout la formule de Penman-Monteith modifiée.

Vu la complexité des mesures directes et en l'absence d'équipements de terrain, nous avons opté pour la méthode indirecte, en utilisant la formule de Penman-Monteith modifiée, reconnue pour sa précision dans diverses zones climatiques :

Formule de Penman-Monteith modifiée :

Développée en 1948, cette formule repose sur le bilan énergétique combiné à la théorie des transferts de masse. Elle permet d'estimer l'évapotranspiration en utilisant des données climatiques telles que le rayonnement solaire, la température, l'humidité et la vitesse du vent. Aujourd'hui, elle est la méthode de référence pour le calcul de l'ET_0.

La formule s'écrit comme suit :

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

Où :

ET_0 : évapotranspiration de référence (mm/jour)

Rn : rayonnement net à la surface de la culture (MJ/m²/jour)

G : flux de chaleur dans le sol (MJ/m²/jour)

T : température moyenne de l'air à 2 m (°C)

U_2 : vitesse du vent à 2 m (m/s)

e_s : pression de vapeur saturante (kPa)

e_a : pression de vapeur réelle (kPa)

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante (kPa/°C)

γ : constante psychrométrique (kPa/°C)

Nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_0) en appliquant la formule de Penman-Monteith.

Les données mensuelles introduites dans le logiciel sont les suivantes :

- ✓ Températures : moyenne mensuelles (°C)
- ✓ Humidité de l'air : humidité relative exprimée en pourcentage (%)
- ✓ Durée d'ensoleillement journalier : nombre d'heures de soleil par jour
- ✓ Vitesse du vent : mesurée en mètres par seconde (m/s)

Les résultats obtenus à partir du logiciel sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-1 : Evapotranspiration de référence (ETo) de la zone d'étude

Mois	T °C	H(%)	V (m/s)	Iins (H)	Radiation MJ/m². J	ETo mm/mois
Janvier	10	74	3,5	7,5	10,9	47,01
Février	10,5	69	3,4	8,2	14,1	58,84
Mars	11,2	79	2,7	8,6	17,8	69,42
Avril	15,7	63	2,3	9,1	21,3	109,27
Mai	19,3	62	2,6	9,5	23,5	142,86
Juin	23	60	2,4	10,5	25,5	162,58
Juillet	27,5	58	2,4	10,3	24,9	187,95
Août	28,5	54	2,4	9,5	22,4	187,32

Septembre	22,5	57	2,1	9	19,2	133,87
Octobre	15,5	55	3,5	8,1	14,8	106,38
Novembre	14,1	66	3,1	7,6	11,5	66,62
Décembre	8,6	77	2	7,2	9,9	33,47

III.2. Calcul de la Pluie Efficace (Peff) :

La pluie efficace représente la partie des précipitations totales qui est réellement utilisable par les cultures après déduction des pertes dues au ruissellement, à la percolation profonde et à l'évaporation. Elle joue un rôle essentiel dans l'estimation des besoins net d'irrigation.

Il existe plusieurs méthodes d'estimation de la pluie efficace, mais dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour la méthode du pourcentage, décrite comme suit :

$$\text{Pluie}_{\text{efficace}} = A \times \text{Pluie}_{\text{totale}}$$

A : coefficient d'efficacité estimé à 0,7

Tableau III-2 : Pluie efficace

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P80% (mm)	29,71	28,25	47,31	49,57	49,00	41,66	40,04	39,64	37,30	13,48	2,91	10,41
Peff	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7	26,1	9,4	2,0	7,3

III.3. Calcul de la Réserve en Eau du Sol :

La réserve utile en eau du sol représente la quantité d'eau accessible aux plantes entre le point de ressuyage (capacité au champ) et le point de flétrissement permanent (HPF). Lorsque l'humidité du sol s'approche du HPF, l'eau devient difficilement absorbable par les plantes.

La réserve facilement utilisable (RFU) correspondant à la fraction de l'eau du sol facilement absorbée par les racines sans stress hydrique. Elle peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$RFU = (HCC - HPF) \times Da \times Z \times Y$$

Avec :

- ✓ **HCC** : humidité à la capacité au champ (27 %)
- ✓ **HPF** : humidité au point de flétrissement (16 %)
- ✓ **D_a** : densité apparente du sol (1,4 g/cm³)

- ✓ **Z** : profondeur d'enracinement (en mm)
- ✓ **Y** : coefficient de disponibilité de l'eau selon le type de culture :
  - ➢ **Y = 2/3** : cultures en générale
  - ➢ **Y = 1/3** : cultures sensibles (ex. : pastèque)

La réserve utile du mois précédent (i-1) est ensuite ajustée selon le coefficient k, qui dépend de l'état de la réserve (pleine, partielle ou nulle). :

$$RFU_{i-1} = k \times RFU$$

Avec :

k : coefficient de restitution de la réserve (valeur entre 0-1, selon le niveau de restitution d'eau du sol en début de mois suivant)

III.4. Choix des Cultures :

Le choix des cultures pour un projet hydro-agricole doit prendre en compte à la fois les caractéristiques agro-climatiques de la région, les propriétés du sol, ainsi que les besoins du marché local et régional. Afin d'assurer la rentabilité économique du projet.

Cette sélection repose sur l'équilibre entre plusieurs critères essentiels :

- Les conditions climatiques (température, précipitations)
- La qualité et la disponibilité de l'eau d'irrigation ;
- La qualité du sol et son aptitude à la culture
- La disponibilité des ressources de production (semences, intrants agricoles, main d'œuvre, équipement)
- La demande commerciale, en lien avec les profils et les pratiques des agriculteurs locaux.

III.4.1. Tableau des aptitudes culturales :

L'évaluation des aptitudes culturales repose sur l'analyse pédologique et agronomique de la zone. Le tableau ci-dessous présente les cultures adaptées en fonction de la qualité du sol, selon la carte des aptitudes cultural présenté au chapitre précédant l'extension de 160 ha se situe dans la zone I :

Tableau III-3 : aptitudes culturelles de la zone I (bon sol)

Cultures	Bon sol pour	Moyens sols pour
Céréaliculture	Blé dur – blé tendre – orge – mais	
Légumineuses	Fèves – petit poids	Pois chiche – lentille
Maraichères	Pomme de terre – courgette – tomate – haricot – laitue – piment – poivron – épinard – aubergine – gombo – ail – oignon – poireau – pastèque – melon – choux	Carotte – navet – concombre – artichaut – fraisier
Arboriculture	Olivier – amandier – grenadier – figuier – vigne – abricotier – pécher – agrume	Poirier – pommier – prunier – framboisier
Fourragères	Sorgho – Bersim – Ray Grass– Luzerne – Vesce Avoine	Fétuque – trèfle
Industrielles	Betterave – Tournesol – Tabac	cotton – Lin

Source ONID

III.4.2. Cultures choisies :

Pour les 160 hectares de notre périmètre on a sélectionné les cultures suivantes :

- Céréales : Blé dur, Orge grain.
- Cultures maraîchères : Pomme de terre, Tomate, Pastèque, Melon, Haricot, Ail, Oignon, poireau, Laitue.
- Légumineuses : pois chiche
- Cultures fourragères : Luzerne.
- Cultures industrielles : Betterave.
- Arboriculture : Olivier, vigne.

III.4.3. Répartition des surfaces agricoles :

La répartition des cultures respecte les proportions présentées dans le tableau suivante :

Tableau III-4 : Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du périmètre

Type de culture	Céréales	Maraîchage (incluant légumineuses et industrielles)	Arboriculture	Fourragère	Total
Surface occupée en (%)	40	45	10	5	100
Surface occupée en (ha)	64	72	16	8	160

III.4.4. Assolements et rotations :

Pour garantir la durabilité du système agricole, éviter l'appauvrissement du sol et limiter les risques de maladies ou d'épuisement des ressources, il est essentiel de planifier un assolement adapté et d'appliquer une rotation culturale efficace.

III.4.4.1. Définition de l'assolement :

L'assolement est la division des terres d'une exploitation agricole en parties distinctes, appelées soles ou pies, consacrées chacune à une culture donnée pendant une saison culturale. On peut ainsi avoir des rotations biennales, triennales…. etc.

III.4.4.2. Définition de la rotation culturale :

La rotation culturale est la succession dans le temps de cultures différentes sur une même parcelle. Elle vise à :

- ✓ La réduction des maladies et ravageurs en alternant les cultures, elle perturbe le cycle des nuisibles et limite la prolifération des adventices.
- ✓ L'amélioration de la structure du sol par la diversité des systèmes racinaires qui permet un meilleur ameublissement du sol et réduit le risque de compactage.
- ✓ L'enrichissement du sol par l'introduction de légumineuses contribue à l'apport d'azote naturel par fixation symbiotique.
- ✓ Meilleure valorisation des résidus ; la diversité des cultures améliore la qualité de la matière organique.
- ✓ Répartition du travail agricole ; l'alternance de cultures permet une planification plus équilibrée des tâches en exploitant les deux saisons agricoles.

III.4.4.3. Assolements et rotations proposés :

Pour notre cas on a choisi une rotation biennale, les deux assolements proposés sont détaillés comme suit :

Tableau III-5 : la rotation proposée pour le périmètre Raouraoua (160 ha)

Total (ha)	Assolement 1	Surface occupée	Assolement 2	Surface occupée
64	Blé	32	Orge en vert	32
	Orge grain	32	Blé	32
72	Pomme de terre (S)	12	Pois chiche	12
	Tomate	8	Ail	8
	Oignon	12	Pastèque	12
	Melon	12	Poireau	12
	Laitue	8	Melon/pastèque	8
	Haricot	12	Pomme de terre (AS)	12
	Betterave	8	Tomate	8
8	Luzerne	8	Luzerne	8
16	Olivier	8	Olivier	8
	Vigne	8	Vigne	8

III.4.5. Cycle végétatif :

Le cycle végétatif des cultures envisagées est détaillé dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-6 : le cycle végétatif des cultures envisagées.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé												
Orge grain												
Orge en vert												
Pomme de terre (AS)												
Pomme de terre (S)												
Oignon												
Poireau												
Ail												
Tomate												
Haricot												
Laitue												
Pois chiche												
Pastèque												
Melon												
Betterave												
Luzerne												
Vigne												
Olivier												

III.5. Calcul des besoins en eau de chaque culture :

- **Estimation des besoins des céréales :**

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

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc		0,4	0,7	0,9	1,0	1,1	1,0	0,8	0,5	0,5		
ETM		42,6	46,6	28,4	44,7	61,8	65,9	82,0	64,3	81,3		
Z(m)		0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
RFU (mm)		10,3	30,8	51,3	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6		
RS_{i-1} (mm)		0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
B_{net} (mm)		33,1	34,3	21,2	23,9	42,0	32,8	47,3	30,0	52,1		

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

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc		0,4	0,7	0,9	1,0	1,1	1,0	0,8	0,5	0,5		
ETM		42,6	46,6	28,4	44,7	61,8	65,9	82,0	64,3	81,3		
Z(m)		0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
RFU (mm)		10,3	30,8	51,3	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6		
RS_{i-1} (mm)		0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
B_{net} (mm)		33,11	34,33	21,16	23,86	42,00	32,83	47,26	29,99	52,13		

Tableau III-9 : Calcul des besoins en eau du l'orge vert.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc			0,5	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8	0,7			
ETM			33,3	25,1	42,3	53,0	65,9	82,0	100,0			
Z(m)			0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6			
RFU (mm)			51,3	51,3	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6			
RS_{i-1} (mm)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
B_{net} (mm)			31,3	17,8	21,5	33,2	32,8	47,3	65,7			

- **Estimation des besoins des cultures maraichères et légumineuses :**

Tableau III-10 : Calcul des besoins en eau du la pomme de terre (S).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,5	0,7	1,0	0,6								
ETM	66,9	74,5	66,6	20,1								

Z(m)	0,2	0,4	0,6	0,6								
RFU (mm)	20,5	41,1	61,6	61,6								
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0								
B_{net} (mm)	40,8	65,0	64,6	12,8								

Tableau III-11 : Calcul des besoins en eau du la pomme de terre (AS).

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc						0,3	0,4	0,5	0,5			
ETM						14,7	27,8	54,6	71,4			
Z(m)						0,2	0,4	0,6	0,6			
RFU (mm)						20,5	41,1	56,5	56,5			
RS_{i-1} (mm)						0,0	6,8	13,7	0,0			
B_{net} (mm)								6,2	37,1			

Tableau III-12 : Calcul des besoins en eau du l'Oignon.

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc		0,5	0,8	1,0	1,0							
ETM		53,2	50,0	31,8	44,7							
Z(m)		0,3	0,5	0,5	0,5							
RFU (mm)		30,8	51,3	51,3	51,3							
RS_{i-1} (mm)		0,0	0,0	0,0	0,0							
B_{net} (mm)		43,8	47,9	24,5	23,9							

Tableau III-13 : Calcul des besoins en eau du Poireau.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,5	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9						
ETM	66,9	74,5	56,6	31,8	44,7	50,0						
Z(m)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5						
RFU (mm)	20,5	30,8	41,1	51,3	51,3	51,3						
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
B_{net} (mm)	40,8	65,0	54,6	24,5	23,9	30,2						

Tableau III-14 : Calcul des besoins en eau du l'Ail.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc		0,5	0,8	1,0	1,0							
ETM		53,2	50,0	31,8	44,7							
Z(m)		0,3	0,5	0,5	0,5							
RFU (mm)		30,8	51,3	51,3	51,3							
RS_{i-1} (mm)		0,0	0,0	0,0	0,0							
B_{net} (mm)		43,8	47,9	24,5	23,9							

Tableau III-15 : Calcul des besoins en eau du Tomate.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc							0,5	0,8	1,2	1,1	0,7	

ETM							34,7	87,4	164,3	178,8	131,6	
Z(m)							0,3	0,8	1,0	1,0	1,0	
RFU (mm)							30,8	82,1	102,7	102,7	102,7	
RS_{i-1} (mm)							0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	
B_{net} (mm)							1,6	42,5	130,0	149,7	103,5	

Tableau III-16 : Calcul des besoins en eau de l'Haricot.

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,9	0,9								0,5	0,7	1,1
ETM	120,5	90,4								73,2	122,2	196,7
Z(m)	1,0	1,0								0,5	0,6	0,8
RFU (mm)	102,7	102,7								51,3	61,6	82,1
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0								0,0	0,0	0,0
B_{net} (mm)	94,4	81,0								44,0	94,1	168,9

Tableau III-17: Calcul des besoins en eau du Laitue.

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,5	0,7	1,0	0,8								
ETM	66,9	74,5	63,3	26,8								
Z(m)	0,2	0,3	0,4	0,4								
RFU (mm)	20,5	30,8	41,1	41,1								
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0								
B_{net} (mm)	40,8	65,0	61,3	19,5								

Tableau III-18 : Calcul des besoins en eau du Pois chiche.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc		0,3	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9	0,7	0,3		
ETM		31,9	26,6	23,4	40,0	55,9	69,4	92,9	100,0	48,8		
Z(m)		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4		
RFU (mm)		20,5	25,7	35,9	46,2	56,5	61,6	56,5	51,3	41,1		
RS_{i-1} (mm)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
B_{net} (mm)		22,5	24,6	16,1	19,2	36,1	36,3	58,2	65,7	19,6		

Tableau III-19 : Calcul des besoins en eau du Pastèque**.**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc								0,4	0,7	1,1	0,9	
ETM								43,7	100,0	178,8	159,8	
Z(m)								0,3	0,5	0,7	0,7	
RFU (mm)								15,4	25,7	35,9	35,9	
RS_{i-1} (mm)								0,0	5,1	0,0	0,0	
B_{net} (mm)								9,0	60,6	149,7	131,7	

Tableau III-20 : Calcul des besoins en eau du Melon.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc								0,4	0,7	1,1	0,9	
ETM								43,7	100,0	178,8	159,8	

Z(m)								0,3	0,5	0,6	0,6	
RFU (mm)								12,8	23,1	30,8	30,8	
RS_{i-1} (mm)								0,0	4,3	0,0	0,0	
B_{net} (mm)								9,0	61,4	149,7	131,7	

Tableau III-21: Calcul des besoins en eau du Betterave.

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc								0,5	0,8	1,0	1,0	0,5
ETM								54,6	114,3	162,6	178,6	93,7
Z(m)								0,4	0,7	0,7	0,7	0,7
RFU (mm)								41,1	71,9	71,9	71,9	71,9
RS_{i-1} (mm)								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B_{net} (mm)								19,9	80,0	133,4	150,5	65,9

- **Estimation des besoins des cultures fourragère :**

Tableau III-22: Calcul des besoins en eau du la Luzerne.

Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	0,9	0,7
ETM	87,0	69,1	46,6	26,8	42,3	55,9	72,9	114,7	164,3	195,1	169,2	131,1
Z(m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
RFU (mm)	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B_{net} (mm)	60,9	59,7	44,6	19,5	21,5	36,1	39,8	80,0	130,0	165,9	141,1	103,4

- **Estimation des besoins de l'arboriculture :**

Tableau III-23 : Calcul des besoins en eau de la Vigne.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,7	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,9	0,9
ETM	87,0	58,5	16,7	8,4	11,8	14,7	17,4	49,2	71,4	113,8	159,8	159,2
Z(m)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
RFU (mm)	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3	128,3
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	42,8	64,2	64,2	64,2	0,0	0,0	0,0	0,0
B_{net} (mm)	60,9	49,1	14,6	1,1					37,1	84,6	131,7	131,5

Tableau III-24: Calcul des besoins en eau de l'Olivier.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P80%	37,3	13,5	2,9	10,4	29,7	28,3	47,3	49,6	49,0	41,7	40,0	39,6
Peff	26,1	9,4	2,0	7,3	20,8	19,8	33,1	34,7	34,3	29,2	28,0	27,7
ET0	133,9	106,4	66,6	33,5	47,0	58,8	69,4	109,3	142,9	162,6	188,0	187,3
Kc	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8
ETM	107,1	74,5	46,6	16,7	23,5	29,4	34,7	54,6	107,1	121,9	150,4	149,9
Z(m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
RFU (mm)	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0
RS_{i-1} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B_{net} (mm)	81,0	65,0	44,6	9,4	2,7	9,6	1,6		72,8	92,8	122,3	122,1

III.6. Calcul des besoins en eau pour les assolements 1 et 2 :

Tableau III-25 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 1

Mois / Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé		33,1	34,3	21,2	23,9	42	32,8	47,3	30	52,1		
Orge grain		33,1	34,3	21,2	23,9	42	32,8	47,3	30	52,1		
Pomme de terre (S)	40,8	65	64,6	12,8								
Oignon		43,8	47,9	24,5	23,9							
Tomate							1,6	42,5	130	149,7	103,5	
Haricot	94,4	81								44	94,1	168,9
Laitue	40,8	65	61,3	19,5								
Melon								9	61,4	149,7	131,7	
Betterave								19,9	80	133,4	150,5	65,9
Luzerne	60,9	59,7	44,6	19,5	21,5	36,1	39,8	80	130	165,9	141,1	103,4
Vigne	60,9	49,1	14,6	1,1					37,1	84,7	131,7	131,5
Olivier	81	65	44,6	9,5	2,7	9,6	1,6		72,8	92,8	122,3	122,1
Totale	378,8	494,8	346,3	129,1	95,8	129,8	108,6	246,0	571,3	924,4	875,1	591,8

Tableau III-26 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement 2

Mois / Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé		33,1	34,3	21,2	23,9	42,0	32,8	47,3	30,0	52,1		
Orge vert			31,3	17,8	21,5	33,2	32,8	47,3	65,7			
Pomme de terre (AS)								6,3	37,1			
Poireau	40,8	65,0	54,6	24,5	23,9	30,2						
Ail		43,8	47,9	24,5	23,9							
Tomate							1,6	42,5	130,0	149,7	103,5	

Pois chiche		22,5	24,6	16,1	19,2	36,1	36,3	58,2	65,7	19,6		
Pastèque								9,0	60,6	149,7	131,7	
Melon								9,0	61,4	149,7	131,7	
Luzerne	60,9	59,7	44,6	19,5	21,5	36,1	39,8	80,0	130,0	165,9	141,1	103,4
Vigne	60,9	49,1	14,6	1,1					37,1	84,7	131,7	131,5
Olivier	81,0	65,0	44,6	9,5	2,7	9,6	1,6		72,8	92,8	122,3	122,1
Totale	243,6	338,2	296,6	134,1	136,5	187,3	144,9	299,5	690,5	864,1	762,2	357,0

III.7. Évaluation du débit spécifique :

Le débit spécifique représente la quantité d'eau d'irrigation nécessaire pour satisfaire les besoins en eau des cultures durant le mois le plus exigeant. Il est exprimé en litres par seconde et par hectare (l/s/ha).

Ce débit tient compte des pertes dans le système d'irrigation à travers l'introduction d'un coefficient d'efficacité globale (Ef). Il s'agit donc d'un paramètre essentiel pour concevoir un réseau d'irrigation capable de répondre à la demande maximale du périmètre.

Le débit spécifique est calculé à partir des besoins nets totale des cultures, évalués pour chaque mois du l'année d'assolement. Les besoins nets mensuel sont alors convertis en des débits fictifs continus, disponible généralement 22 à 24 heures par jour, afin d'assurer une irrigation suffisante.

Il est calculé selon la formule suivante :

$$q_{spécifique} = q_{fictif\ continue}^{max} = \frac{Bes_{irr\ net}(max) \times 10 \times 10^3}{N \times T \times 3600 \times Ef}$$

Qs : Débit spécifique (l/s/ha)

Bes $_{irr\ net}$ (max) : Besoin net en eau au mois de pointe (mm/mois)

T : Nombre d'heures d'irrigation par jour (souvent 22 ou 24 h)

T : Nombre de jours dans le mois (généralement 30)

Ef : Coefficient d'efficience globale (habituellement 0.75)

<u>Remarque</u> : Lorsque le débit spécifique dépasse 1.5 l/s/ha, il peut entraîner un surdimensionnement du réseau d'irrigation. Dans ce cas, on peut prendre le débit spécifique maximal d'une culture représentative du mois de pointe, comme référence.

Pour notre cas :

Le besoin net mensuel maximum se trouve au mois de juin de l'assolement 1 : Besoin net (max) = 924,4 mm

Calcul du débit spécifique :

$$q_{spécifique} = \frac{924.4 \times 10 \times 10^3}{30 \times 22 \times 3600 \times 0.75} = 5.19 \gg 1.5 \ l/s/ha$$

Le débit est donc trop élevé, ce qui peut entraîner un surdimensionnement du réseau.

➞ On prend alors le besoin net mensuel de la culture la plus exigeante, et non pas la somme des besoins de toutes les cultures.

La culture la plus exigeante est la luzerne, dont le besoin net mensuel maximal se trouve également au mois de juin :

Besoin net (luzerne) = 165,94 mm

Application numérique :

$$q_{spécifique} = \frac{165.94 \times 10 \times 10^3}{30 \times 22 \times 3600 \times 0.75} = 0.95 < 1.5 \ l/s/ha$$

On prend: Qs = 1 l/s/ha.

III8. Évaluation de débit caractéristique :

Le débit caractéristique est le débit global que le système d'irrigation devra fournir pour irriguer l'ensemble du périmètre agricole durant le mois de pointe. Il est obtenu en multipliant le débit spécifique retenu par la surface agricole utile.

$$Q_C = qs \times S$$

Avec :

Qc : Débit caractéristique (l/s)

qs : Débit spécifique (l/s/ha)

S : Superficies Agricole utile (ha)

➞ Q_{car} = qs×S= 1 *160 = 160 l/s = 0.16 m^3/s

III.9. Estimation des volumes d'eau d'irrigation :

L'estimation des volumes totaux d'eau nécessaires à l'irrigation est une étape essentielle dans la planification d'un projet hydro-agricole. Elle permet d'évaluer les quantités à stocker dans le réservoir, de planifier les lâchers d'eau et d'élaborer un calendrier d'arrosage cohérent avec les besoins des cultures.

Les volumes à fournir mensuellement (en m³) sont donc calculés à partir des besoins bruts mensuels (en m3/ha) selon la formule :

$$\text{Bes}_{\text{irr}}\,\text{brut} = \frac{\text{Bes}_{irr}\ \text{net} \times 10}{Ef}$$

$$V = \text{Bes}_{\text{irr brut}} \times \text{S}$$

Avec :V : volume d'eau à fournir (m³),

Bes $_{irr}$ brut : besoin brut mensuel (m^3/ha)

Bes $_{irr}$ net : Besoin net mensuel (mm)

S : surface cultivée concernée (ha),

Ef : efficacité du système d'irrigation (0,75).

III.9.1. Calcul des besoins brut pour les deux assolements :

Tableau III-27 : Récapitulatif des besoins brut (m^3/ha) pour l'assolement 1.

Mois / Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé	0,0	441,5	457,8	282,1	318,2	560,1	437,8	630,1	399,8	695,1	0,0	0,0
Orge grain	0,0	441,5	457,8	282,1	318,2	560,1	437,8	630,1	399,8	695,1	0,0	0,0
Pomme de terre (S)	544,4	867,1	861,1	170,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Oignon	0,0	583,4	639,1	326,8	318,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tomate	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	566,0	1733,2	1995,7	1380,5	0,0
Haricot	1258,3	1079,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	586,7	1255,2	2252,5
Laitue	544,4	867,1	816,7	259,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Melon	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	120,2	819,0	1995,7	1756,4	0,0
Betterave	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	265,8	1066,5	1779,0	2007,0	878,9
Luzerne	812,1	796,1	594,7	259,8	286,9	481,6	530,4	1067,2	1733,2	2212,5	1881,7	1378,4
Vigne	812,1	654,3	194,9	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	495,1	1128,6	1756,4	1753,0
Olivier	1079,9	867,1	594,7	125,9	36,1	128,6	21,3	0,0	971,3	1237,0	1631,1	1628,1
Totale	5051,1	6597,8	4616,8	1721,5	1277,5	1730,3	1448,5	3279,3	7617,7	12325,4	11668,2	7890,9

Tableau III-28 : Récapitulatif des besoins brut (m^3/ha) pour l'assolement 2.

Mois / Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé	0,0	441,5	457,8	282,1	318,2	560,1	437,8	630,1	399,8	695,1	0,0	0,0
Orge vert	0,0	0,0	417,0	237,5	286,9	442,4	437,8	630,1	876,0	0,0	0,0	0,0
Pomme de terre (AS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	495,1	0,0	0,0	0,0
Poireau	544,4	867,1	727,9	326,8	318,2	403,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ail	0,0	583,4	639,1	326,8	318,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tomate	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	566,0	1733,2	1995,7	1380,5	0,0
Pois Chiche	0,0	299,7	328,2	215,2	255,5	481,6	484,1	775,8	876,0	261,5	0,0	0,0
Pastèque	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	120,2	807,6	1995,7	1756,4	0,0
Melon	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	120,2	819,0	1995,7	1756,4	0,0
Luzerne	812,1	796,1	594,7	259,8	286,9	481,6	530,4	1067,2	1733,2	2212,5	1881,7	1378,4
Vigne	812,1	654,3	194,9	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	495,1	1128,6	1756,4	1753,0
Olivier	1079,9	867,1	594,7	125,9	36,1	128,6	21,3	0,0	971,3	1237,0	1631,1	1628,1
Totale	3248,4	4509,1	3954,2	1788,5	1819,9	2497,3	1932,6	3992,7	9206,1	11521,9	10162,4	4759,5

III.9.2. Calcul des volumes :

Tableau III-29 : Récapitulatif des Volumes (m^3) pour l'assolement 1.

Culture	Surface (ha)	Bes $_{irr}$ brut (m^3/ha)	Volume (m^3)
Blé	32	4222,4	135117,6
Orge grain	32	4222,4	135117,6
Pomme de terre (S)	12	2443,1	29317,5
Oignon	12	1867,4	22408,7
Tomate	8	5696,7	45573,4
Haricot	12	6432,6	77190,7
Laitue	8	2488,0	19903,7
Melon	12	4691,2	56294,7
Betterave	8	5997,1	47976,9
Luzerne	8	12034,4	96275,0
Vigne	8	6808,8	54470,2
Olivier	8	8320,9	66567,4
Totale	160	65225,0	786213,4

Le volume total des besoins en eau de notre périmètre pour l'assolement 1 est égale à 786215 m^3/an.

Tableau III-30 : Récapitulatif des Volumes (m^3) pour l'assolement 2.

Culture	Surface (ha)	Bes $_{irr}$ brut (m^3/ha)	Volume (m^3)
Blé	32	4222,4	135117,6
Orge vert	32	3327,6	106483,2
Pomme de terre (AS)	12	578,4	6940,5
Poireau	12	3187,4	38248,9
Ail	8	1867,4	14939,1
Tomate	8	5696,7	45573,4
Pois Chiche	12	3977,6	47730,6
Pastèque	12	4679,8	56157,8
Melon	8	4691,2	37529,8
Luzerne	8	12034,4	96275,0
Vigne	8	6808,8	54470,2
Olivier	8	8320,9	66567,4
Totale	160	59392,5	706033,5

Le volume total des besoins en eau de notre périmètre pour l'assolement 2 est égale à 706034 m^3/an.

L'assolement le plus exigeant est l'assolement 1

Donc Les besoins en eau de notre périmètre sont évalués à près de 800 000 m3/an

Conclusion :

Le choix des cultures et l'estimation précise de leurs besoins en eau représentent une étape fondamentale dans tout projet d'aménagement hydro-agricole.

Ce chapitre nous a permis de définir les cultures les plus adaptées aux caractéristiques pédoclimatiques du périmètre de Raouraoua, puis de calculer leurs besoins hydriques mensuels.

Sur cette base, nous avons déterminé le débit spécifique, exprimé en l/s/ha, en tenant compte du mois de consommation maximale (juin) de la culture la plus exigeante (la luzerne), puis on a calculé le débit caractéristique du périmètre.

Enfin, nous avons estimé le volume total d'eau nécessaire à l'irrigation, de l'ordre de 800 000 m^3/an.

Ces résultats confirment que le volume régularisable réservé à l'irrigation de la plaine des Arribs, issu du barrage Lekhal (10,2 hm^3), est largement suffisant pour couvrir les besoins du périmètre étudié (160 ha), tout en assurant une marge de sécurité confortable.

Cette analyse constitue donc une base solide pour dimensionner le réseau d'irrigation de manière rationnelle et durable.

Chapitre IV

Etude de système d'adduction - distribution

Chapitre IV : Etude du système d'adduction-distribution

Introduction :

L'étude du système d'adduction-distribution vise à concevoir un réseau d'irrigation performant, assurant l'acheminement de l'eau depuis sa source principale jusqu'aux différentes parcelles agricoles du périmètre de Raouraoua. Ce réseau doit garantir une distribution homogène et suffisante, en prenant en considération les besoins en eau estimés pour chaque culture, les pertes éventuelles, ainsi que les contraintes techniques et topographiques.

Ce chapitre aborde le dimensionnement des principaux ouvrages composant le système : les structures d'adduction, de pompage, de stockage, ainsi que le réseau de distribution gravitaire.

IV.1. Alimentation en eau du périmètre :

L'irrigation du périmètre de Raouraoua se fera à partir du barrage Lekhal, situé à 5 km au sud-est de la ville d'Aïn Bessam, dans la wilaya de Bouira. Ce barrage constitue la principale source d'eau du projet. Il a été conçu pour stocker et régulariser les volumes nécessaires à l'irrigation de la plaine des Arribs, dont le périmètre concerné par notre étude.

IV.2. Organisation du périmètre en sous pression :

L'organisation d'un périmètre irrigué en sous pression est la première contrainte dans l'aménagement hydro-agricole. Dans ce cas, le périmètre sera discrétisé en unités appelées îlots d'irrigation, reliées entre elles par un réseau de distribution sous pression, desservi via des bornes d'irrigation.

IV.2.1. Îlot d'irrigation :

Un îlot d'irrigation est une unité hydro-agricole constituée d'un regroupement de parcelles, alimentée par une borne d'irrigation commune.

IV.2.2. Bornes d'irrigation :

La borne d'irrigation est un organe hydraulique essentiel du réseau sous pression. Elle assure l'alimentation des parcelles en eau sous pression depuis le réseau collectif. Chaque borne est conçue pour:

- ✓ Limiter et réguler le débit en fonction de la superficie irriguée de l'îlot ;
- ✓ Réguler la pression pour assurer une distribution uniforme ;
- ✓ Encaisser les surpressions accidentelles ;
- ✓ Assurer le comptage de l'eau livrée.

IV.3. Calcul hydraulique des bornes :

Le calcul du débit pour chaque borne est nécessaire afin de fournir un apport optimal à chaque îlot, en fonction des besoins en eau des cultures envisagées. Ainsi, le débit de la borne est directement lié à la superficie de l'îlot ainsi qu'au débit spécifique du périmètre. Il s'exprime selon la formule suivante :

$$Q_b = q_s \times S_{ilot}$$

Q_b : débit à la borne (l/s)

q_s : débit spécifique, dans notre cas **Q_s =1 l/s/ha** ;

S_{ilot} : surface desservie par la borne (ha)

IV.3.1. Choix du diamètre des bornes :

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

Tableau IV-1 : Choix du diamètre de la borne.

Débit de l'ilot	Φ de la borne
Q ≤ 40 m3/h	Φ = 65 mm – 80 mm
40 m3/h < Q ≤ 80 m3/h	Φ = 100 mm
80 m3/h < Q ≤ 120 m3/h	Φ = 100 mm – 150 mm

IV.3.2. Choix du type des bornes :

Le choix de la borne dépend de la surface généralement on admet :

- Pour les ilots où le nombre de parcelle = 2 et la surface < 5 ha on prend la borne a deux prises (borne type A2 D65)
- Pour les ilots où le nombre de parcelle = 4 – 8 avec une surface entre 5 et 20 ha on prend la borne a quatre prises (borne type A4 D80)
- Pour les ilots où le nombre de parcelle = 2 et la surface de chaque une dépasse 20 ha et ≤ 50 ha on prend la borne a deux prises (borne type B2 D100)
- Pour de grands ilots à grand parcelle > 50 ha on prévoit des bornes de type C adaptée à des débits allant jusqu'à Q ≤ 120 m³/h

Le tableau IV.2 présente la configuration retenue des bornes d'irrigation pour le périmètre de Raouraoua :

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

N° Ilot	Superficie (ha)	Débit (l/s)	Diamètre de la borne (mm)	Type de borne	Bec de sortie
1	5	5	65	A2	DN65
					DN65
2	7,4	7,4	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
3	3,1	3,1	65	A2	DN65
					DN65
4	7,1	7,1	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
5	6,7	6,7	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
6	5,3	5,3	65	A2	DN65
					DN65
7	2,6	2,6	65	A2	DN65
					DN65
8	2,5	2,5	65	A2	DN65
					DN65
9	8,2	8,2	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
10	6,6	6,6	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
11	6,8	6,8	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
12	4,8	4,8	65	A2	DN65
					DN65
13	13	13	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
14	10,5	10,5	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
15	4,9	4,9	65	A2	DN65

					DN65
16	8,9	8,9	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
17	16,6	16,6	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
18	8,9	8,9	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
19	12,3	12,3	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
20	5,5	5,5	65	A2	DN65
					DN65
21	13,3	13,3	80	A4	DN65
					DN65
					DN65
					DN65
Total	160				

Pour l'alimentation de notre périmètre, on aura besoin de 21 bornes d'irrigation.

IV.4. Description de l'aménagement du périmètre de Raouraoua :

Le périmètre de Raouraoua se trouve à une altitude moyenne de 704 m, alors que la station de pompage du barrage est positionnée à une cote de 675 m. Cette configuration topographique implique un écart de niveau entre la source et la zone à irriguer, ce qui conditionnera le choix du mode d'acheminement de l'eau vers les parcelles. Pour cela on opte pour une variante avec deux systèmes :

- ✓ Système par pompage (refoulement) : un système de pompage est indispensable pour acheminer l'eau vers un réservoir de stockage situé à une cote de 750 m.
- ✓ Adduction-distribution : depuis le réservoir où l'eau sera redistribuée gravitairement et sous pression jusqu'aux parcelles.

IV.5. Structure d'un réseau sous pression :

Dans notre cas, les composants essentiels d'un réseau sous pression sont :

- ✓ Une station de pompage et conduite de refoulement
- ✓ Un réservoir de mise en charge
- ✓ Une conduite principale, des canalisations secondaires ou de distribution
- ✓ Des prises parcelles ou bornes d'irrigation

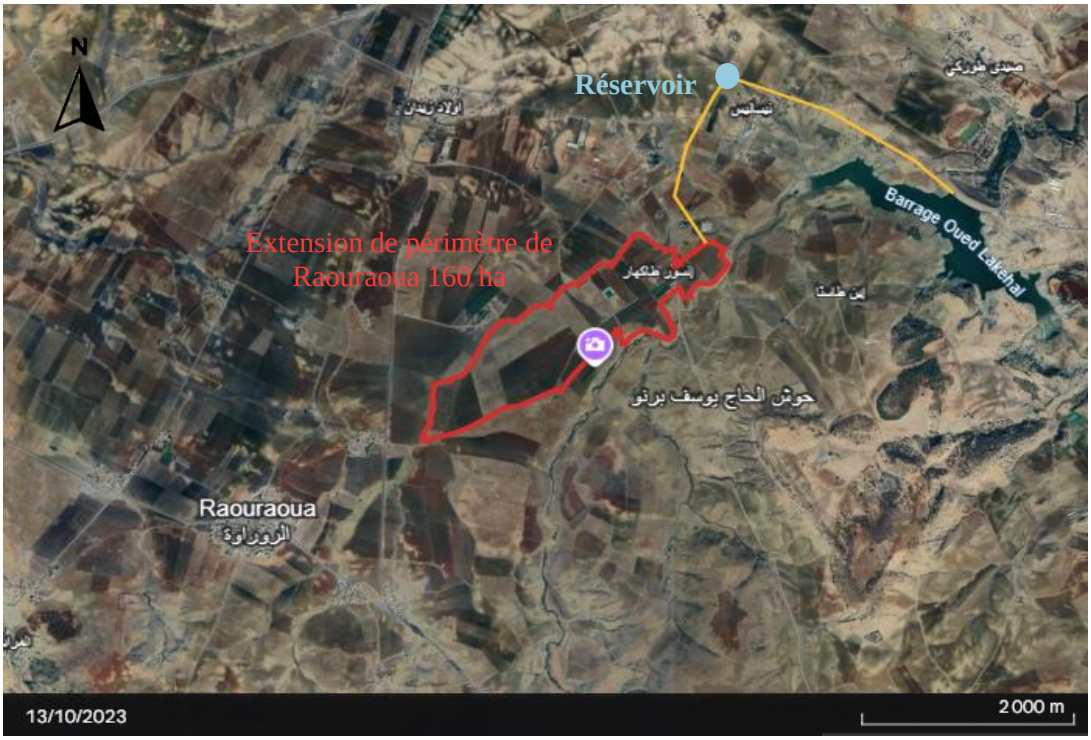


Figure IV.1 : Schéma de l'aménagement proposé vers l'extension du périmètre Raouraoua

IV.6. Etude du système de pompage :

Les pompes sont classées selon le mode de déplacement du fluide, on distingue deux grandes familles :

- Les turbopompes : le liquide est déplacé par la force centrifuge générée par un rotor. Ce type comprend principalement les pompes centrifuges, très répandues en irrigation, eau potable et assainissement.
- Les pompes volumétriques : le fluide est déplacé par volume, soit par translation (pompes alternatives), soit par rotation (pompes rotatives). Elles sont couramment utilisées en industrie (pétrolière, agroalimentaire…).

IV.6.1. Les turbopompes

Principe de fonctionnement :

Dans une turbopompe, le liquide entre par l'oreillard et est mis en mouvement par la roue en rotation, actionnée par un moteur électrique.

Ce mouvement confère au fluide une énergie cinétique, le projetant vers la périphérie. Cela crée une dépression à l'entrée, permettant l'aspiration continue du liquide. Le diffuseur guide ensuite le fluide vers la volute, puis vers l'orifice de refoulement, où se forme une pression appelée hauteur manométrique de refoulement.

Les turbopompes se divisent en trois grands types selon la direction de l'écoulement à la sortie de la roue :

- Les pompes centrifuges (à écoulement radial)
- Les pompes hélico-centrifuges (à écoulement semi-axial)
- Les pompes à hélices (à écoulement axial)

IV.6.2. Pompes volumétriques :

Les pompes volumétriques sont des dispositifs qui transforment l'énergie en augmentant la pression d'un liquide de manière périodique. Leur principe repose sur la variation successive d'un volume à travers des ouvertures d'admission (aspiration) et de refoulement, ce qui permet d'élever le liquide en pression à l'aide d'éléments mécaniques de déplacement. Les pompes alternatives à piston sont un exemple de pompes volumétriques.

IV.6.3. Calcul du débit caractéristique :

$$Q_C = q_S \times S_t$$

Q_c : débit Caractéristique (m^3/s)

q_s : débit spécifique (l/s/ha)

S_t : surface total (ha)

→ $Q_C = q_S \times S_t = 1 \times 160 = 160$ l/s $= 0.16$ m^3/s

IV.6.4. Dimensionnement du système de pompage :

IV.6.4.1. Calcul de la hauteur manométrique totale :

$$HMT = Hg + \Delta H + Pr$$

HMT : Hauteur manométrique totale (m)

Hg : Hauteur géométrique (m)

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

IV.6.4.2. Calcul de la hauteur Géométrique :

$$H_g = C_R - C_b$$

Hg : Hauteur géométrique (m)

Cb : Cote de bâche d'eau d'aspiration = 675 m

Cr : Cote de réservoir = 750 m

→ $H_g = C_R - C_b = 750 - 675 = 75$ m

IV.6.4.3. Calcul des pertes de charges Totales :

a) Pertes de charges linéaires :

Les pertes des charges linéaires sont calculées par la formule de Darcy-Wrisbach.

$$\Delta H_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

ΔH_L : perte de charge linéaire

L : longueur de la conduite (en m) = 1800 m

D: diamètre intérieur de la conduite (en m)

V : vitesse moyenne de l'eau dans la conduite (en m/s)

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

f : coefficient de frottement de Darcy (sans unité) estimée par la formule de Blasius:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

Re : nombre de Reynolds : $Re = \frac{V.D}{\mu}$

μ : viscosité cinématique de l'eau $\mu_{eau} = 10^{-6}$

b) Les pertes de charge singulière :

Les pertes de charge singulière sont estimées à 10% des pertes de charge linéaire :

$$\Delta H_S = 0.1 \times \Delta H_L$$

c) Les pertes de charge totale :

$$\Delta H_T = 1.1 \times \Delta H_L$$

- Calcul de débit à refouler :

On appelle le débit à refouler le débit forcé, il est calculé par la formule suivante :

$$Q_F = Q_C \times \alpha$$

Q_c : débit Caractéristique (m^3/s) = 0.16

α : égale à 1.05

→ $Q_F = Q_C \times \alpha = 1.05 \times 0.16 = 0.168$ m^3/s

- Calcul de diamètre approximatif :

Dans une première étape, on peut estimer un diamètre approximatif en utilisant la formule empirique de Bonin :

$$D_{app} = \sqrt{Q}$$

Q : débit en m^3/s, pour l'étude de pompage on utilise le débit forcée Q_F

→ $D_{app} = \sqrt{Q_F} = \sqrt{0.168} = 0.41\ m = 410\ mm$

Ce résultat indique que le diamètre optimal se situerait dans une plage de 400 mm à 500 mm. Toutefois, pour un choix plus précis et économiquement optimisé, une analyse technico-économique plus large est réalisée, en considérant un intervalle de diamètres standards compris entre 300 mm et 700 mm.

- Les résultats de calcul des pertes de charge total, Hg et HMT pour les divers diamètres de la conduite de refoulement :

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

Débit	Diamètre (mm)	V (m/s)	Longueur	Re	f	ΔH linéaire	ΔH singulière	ΔH totale	HMT (m)
0,168	300	2,38	1800	713014,1	0,0109	18,81	1,88091	20,69	96,19
	400	1,34		534760,6	0,0117	4,80	0,479633	5,28	80,78
	500	0,86		427808,5	0,0124	1,66	0,166183	1,83	77,33
	600	0,59		356507,1	0,0129	0,70	0,0699	0,77	76,27
	700	0,44		305577,5	0,0135	0,34	0,033611	0,37	75,87

IV.6.4.4. Calcul de diamètre de la conduite de refoulement :

Le choix du diamètre de la conduite de refoulement est essentiel pour garantir un débit optimal tout en limitant les pertes de charge et les coûts d'exploitation. Ce choix se fait par une démarche d'optimisation technico-économique, tenant compte à la fois des frais d'exploitation et des frais d'amortissement annuel de l'investissement en considérant un intervalle de diamètres standards compris entre 300 mm et 700 mm.

a) Calcul des frais d'exploitation :

Les frais d'exploitation représentent essentiellement le coût de l'énergie électrique nécessaire pour assurer le pompage à travers la conduite.

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

F_{exp} : frais d'exploitation (DA/an)

e : coût de l'énergie (DA/kWh)

E : Énergie totale dépensée par la pompe (kWh/an)

$$E = P \times t \times 365$$

t : temps de pompage par jours = 22 heurs

P : Puissance absorbé par la pompe (kW)

$$P = \frac{\rho g \times Q \times HMT \times 10^{-3}}{\eta}$$

η : Rendement de la pompe en pourcentage (η = 77%)

Q : Débit refoulé par la pompe (m^3/s)

g : Accélération due à la pesanteur (9,81 m/s^2)

ρ : Masse volumique de l'eau (kg/m^3)

Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-4 : Calcul des frais d'exploitation.

Diamètre (mm)	HMT	P(kW)	E(kWh/an)	F_{exp} (DA)
300	96,19	205,8815947	1653229,2	**7720580,39**
400	80,78	172,8899316	1388306,2	**6483389,72**
500	77,33	165,5100654	1329045,8	**6206644,00**
600	76,27	163,2431738	1310842,7	**6121635,34**
700	75,87	162,3887861	1303982	**6089595,72**

b) Calcul des frais d'amortissement :

$$F_{inv} = Pr_T \times A$$

Pr_T : prix total de la conduite (DA) calculé comme suit :

$$Pr_T = (Pc + Pp) \times L$$

Pp : prix de pose de conduite (stockage + transport + pose)

Pc : prix de la conduite en ml

L : longueur de la conduite de refoulement (m)

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

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

A : frais d'amortissement (Da).

i : Taux d'annuité ; i = 8%.

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

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

Tableau IV-5 : Calcul de frais d'investissement.

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Prix de pose	Prix de ml	Prix total	A	F_{inv} (DA)
300	1800	500	6500	12600000	0,0888	**1119225,66**
400	1800	650	7490	14652000	0,0888	**1301499,55**
500	1800	880	9300	18324000	0,0888	**1627673,89**
600	1800	950	12000	23310000	0,0888	**2070567,47**
700	1800	1100	15700	30240000	0,0888	**2686141,59**

c) Bilan total des frais et Choix du diamètre :

Les frais d'exploitation et d'amortissement sont calculés pour évaluer le diamètre le plus économique de la conduite de refoulement.

Tableau IV-6: Bilan total des frais et diamètre choisi

Diamètre (mm)	Fexp (DA)	Finv (DA)	Bilan (DA)
300	7720580,39	1119225,66	**8839806,05**
400	6483389,72	1301499,55	**7784889,28**
500	6206644,00	1627673,89	**7834317,89**
600	6121635,34	2070567,47	**8192202,81**
700	6089595,72	2686141,59	**8775737,30**

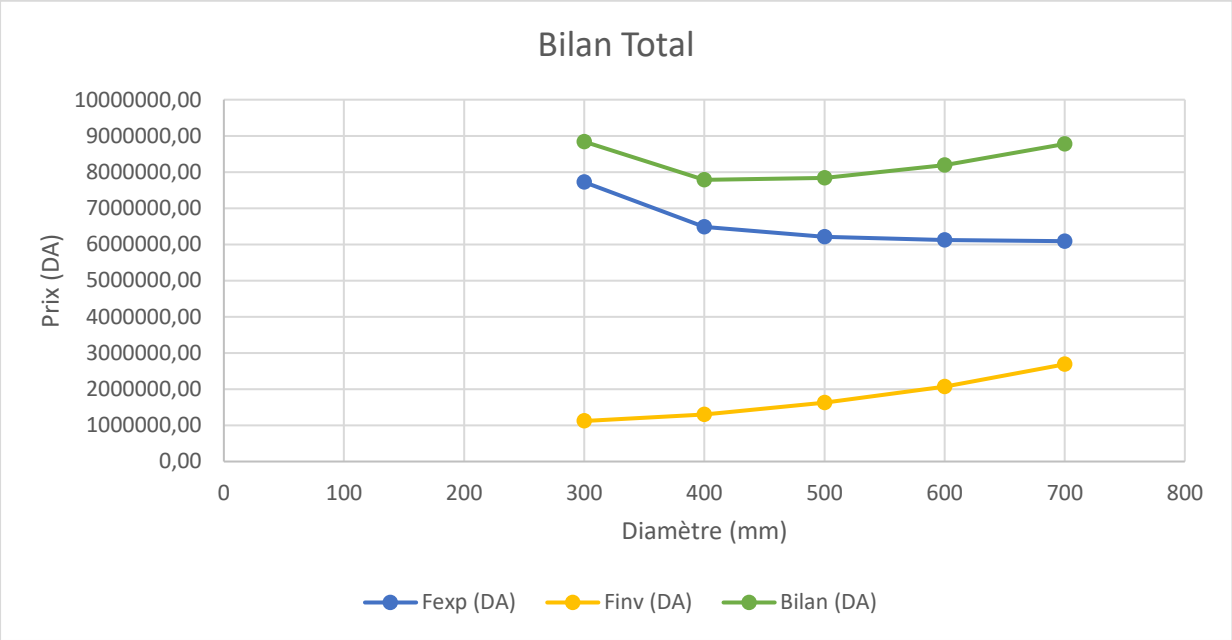


Figure IV.2 : Bilan total des frais en fonction des diamètres

Interprétation :

D'apres le graphe IV.6, on voit que le diamètre de 400 mm constitue le meilleur compromis entre coût d'investissement et frais d'exploitation.

Donc pour les calculs des pompes, on a D=400 mm, le débit demandé est de 0.168 m3/s et avec une HMT = 81 m.

IV.6.4.5. Choix de nombre et de type de pompe :

Le choix du nombre et du type de pompe constitue une étape essentielle dans la conception du système de refoulement, car il conditionne à la fois l'efficacité hydraulique, la fiabilité du système et la rentabilité économique du projet.

Dans notre cas, nous avons recours à l'utilisation du logiciel Caprari, spécialisé dans la sélection et le dimensionnement des pompes.

Le choix des pompes repose sur les critères suivants :

- ✓ Nombre minimal de pompes.
- ✓ Puissance absorbée minimale.

- ✓ (NPSH)r minimal.
- ✓ Meilleur rendement.
- ✓ Vitesse de rotation élevée.

Tableau IV-7: Résultats de choix de pompe

N_{pompe}	H(m)	Modèle de la pompe	η(%)	P_{abs} (kW)	N(tr/min)	NPSHr
1	81	/	/	/	/	/
2	81	PM150/ 3A	79,3	87,3	1450	3,47
3	81	PM100/ 2E	75,6	33,9	2950	3,52
4	81	HMU40-2/ 3B	70,8	8,38	2950	2,07

Synthèse :

Sur la base des résultats fournis par le logiciel Caprari, on opte pour deux pompes fonctionnelles en parallèle accompagnées d'une pompe de secours, afin d'assurer la continuité du service en cas de panne ou d'entretien.

Le type de pompe sélectionné est une pompe centrifuge multicellulaire horizontale, spécialement conçue pour les applications agricoles à haute pression.

Le modèle proposé est la PM150/3A, répondant parfaitement aux exigences de débit et de hauteur de refoulement de notre projet, avec un rendement de 79.3%, et un NPSHr de 3.47 m.

IV.6.4.5. Vérification du risque de la cavitation :

La cavitation est un phénomène destructeur qui peut survenir dans les pompes lorsque la pression à l'aspiration tombe en dessous de la pression de vapeur du liquide pompé, entraînant ainsi la formation de bulles qui provoquent des chocs localisés pouvant endommager les roues de la pompe et réduire considérablement sa durée de vie et son rendement.

Pour éviter ce phénomène, il est impératif de vérifier que la hauteur nette positive d'aspiration disponible (NPSHd) est toujours supérieure à la hauteur nette positive d'aspiration requise (NPSHr) fournie par le fabricant de la pompe.

$$NPSH_r + 0.5 < NPSH_d$$

La valeur du NPSHr est fournie par le fabricant ; dans notre cas, pour le modèle PM150/3A, NPSHr = 3.47 m.

NPSHd dépend de l'installation (cote du niveau d'eau, pression atmosphérique, pertes de charge à l'aspiration, etc.) formulé comme suit :

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - Ze - \Delta Ha - \frac{V_{asp}^2}{2g}$$

$\boldsymbol{\frac{P_{atm}}{\rho g}}$: Hauteur de la pression atmosphérique calculée en mce $= \frac{101315}{9810} = 10.33$ m

$\boldsymbol{\frac{P_v}{\rho g}}$: Hauteur de la pression de vapeur d'eau saturante à 20°c $= \frac{2330}{9810} = 0.24\ m$

Ze : La différence de dénivelé entre l'axe de pompage et la crépine d'aspiration à l'entrée de la pompe, généralement on prend Ze = 2 m.

$\boldsymbol{\Delta Ha}$: Les pertes de charge approximatif à l'aspiration estimée par la formule suivante :

$$\Delta H_a = \left(\frac{4}{1000} \sim \frac{4}{100}\right) \times L_{asp}$$

L_{asp} : longueur de la conduite d'aspiration = 4m

$\rightarrow \Delta H_a = \left(\frac{4}{1000}\right) \times 4 = 0.016\ m$

$\boldsymbol{V_{asp}}$: Vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration, Calculé par la formule :

$$V_{asp} = \frac{4 \times Q_{pompe}}{\pi \times D_{asp}}$$

Q_{pompe} : débit de chaque pompe $= 0.084\ m^3/s = 84\ l/s$

$\rightarrow V_{asp} = \frac{4 \times 0.084}{\pi \times 0.3} = 1.2\ m/s$

Donc : $NPSH_d = 10.33 - 0.24 - 2 - 0.016 - \frac{V_{asp}^2}{2g} = 8.074 - \frac{1.2^2}{2 \times 9.81} = 8\ m$

<u>Synthèse</u> :

On a $NPSH_r + 0.5 = 3.97$ m << $NPSH_d = 8$ m

Condition vérifiée, alors Le risque de cavitation est inexistant.

IV.7. Dimensionnement du Réservoir de mise en charge :

L'installation d'un réservoir de mise en charge permet d'assurer l'autonomie du système en cas d'arrêt temporaire du pompage et de réguler les débits fournis aux bornes.

Le volume de réservoir est calculé comme suit :

$$V_R = Tnf \times Q_f$$

V_R : Volume d'eau d'irrigation dans le réservoir (m3).

Qf : débit forcé (m^3/h), Qf = 0.168 m3/h.

Tnf : temps de non fonctionnement, égal à 1 heure.

$\rightarrow\ V_R = Tnf \times 0.168 = 1 \times 3600 \times 0.168 = 605\ m^3$

On prend $V_{réservoir} = 500\ m^3$
Soit un réservoir circulaire en béton armé de 800 m³.
En fixant une hauteur utile de 4 mètres, on peut extraire le diamètre du réservoir de la formule suivante :

$$V_{réservoir} = H_u \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Le réservoir de mise en charge projeté est de forme circulaire en béton armé, d'un volume de 500 m³, et 16 mètres de diamètre. Il est implanté à une cote de radier de 750 m et son trop-plein atteint 754 m.

IV.8. Description du réseau d'adduction-distribution :

Le réseau de distribution gravitaire assure l'acheminement de l'eau depuis le réservoir de stockage vers les bornes d'irrigation réparties dans le périmètre de Raouraoua. Il est conçu pour fonctionner sous pression continue, garantissant un débit régulier et adapté aux besoins des cultures.

IV.8.1. Choix du type de matériau de la conduite gravitaire :

Le choix du matériau des conduites du réseau gravitaire est essentiel pour garantir la durabilité, la résistance à la pression et la facilité d'entretien. les matériaux les plus couramment utilisés sont :

- ✓ PVC (Polyvinyle Chlorure) : léger, facile à installer, résistant à la corrosion, adapté aux pressions modérées, mais non flexible et vulnerable aux cassures.
- ✓ PEHD (Polyéthylène haute densité) : grande flexibilité, bonne résistance à la pression, idéal pour terrains irréguliers ;
- ✓ Fonte ductile : très robuste et durable, convient aux fortes pressions et aux grands diamètres, relativement lourds.

Pour notre cas, le PEHD est utilisé pour les conduites de diamètre inférieur ou égale à 315 mm, tandis que la fonte ductile est privilégiée pour les diamètres supérieurs à 315 mm, afin de garantir la fiabilité du réseau sous pression.

IV.8.2. Dimensionnement du réseau de distribution :

Le dimensionnement hydraulique du réseau gravitaire repose sur plusieurs paramètres fondamentaux

IV.8.2.1. Vitesse admissible :

La vitesse d'écoulement dans les conduites doit respecter des limites admissibles afin d'assurer le bon fonctionnement hydraulique du réseau.

Pour notre étude, les valeurs retenues doivent être entre 1.2 m/s et 1.8 m/s, la vitesse de dimensionnement adoptée est 1.5 m/s.

IV.8.2.2. Calcul des diamètres :

Le diamètre théorique des conduites est calculé à partir de la formule de continuité, en fonction du débit à transporter et de la vitesse admissible :

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

Q : débit (en m^3/s).

V_{adm} : vitesse admissible (1,5 m/s).

D : diamètre nominal (en mm).

Une fois le diamètre théorique obtenu, un diamètre normalisé commercial est adopté.

IV.8.2.3. Calcul des pressions :

La pression en chaque point du réseau est déterminée par l'équation de Bernoulli, tenant compte de la différence d'altitude, de la pression et des vitesses aux sections amont et aval :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{\rho g} + \Delta H$$

Z_1, Z_2 : altitudes des points 1 et 2

P_1, P_2 : pressions aux points 1 et 2 (en Pa)

V_1, V_2 : vitesse d'écoulement aux points 1 et 2 (en m/s)

ΔH : pertes de charge entre les deux points.

IV.8.2.4. Estimation des pertes de charge :

Les pertes des charges linéaires sont calculées par la formule de LECHAPT et CALMON.

$$\Delta H_L = \frac{L \times Q^M}{D^N} \times Long$$

ΔH_L : perte de charge linéaire

Long : Longueur de conduite, en Km

Q : Débit, en m3 /s.

D : Diamètre, en m.

L, M et N : Paramètres en fonction de la rugosité absolue (ε) des canalisations

Tableau IV-8 : Matériaux et coefficients utilisés dans la formule de LECHAPT et CALMON

Matériau	ε (mm)	L	M	N
Fonte ou PEHD	0.1	1.15	1.89	5.0.1

Un coefficient majorant de 10 % est appliqué pour prendre en compte les pertes de charge singulières (coudes, vannes, raccords). Donc les pertes de charge totales sont estimées comme suit :

$$\Delta H_T = 1.1 \times \Delta H_L$$

Les résultats de dimensionnement sont présentés dans le tableau récapitulatif en dessous :

Tableau IV-9 : Récapitulatif des résultats de dimensionnement du réseau de distribution

N° du tronçon	Longueur (m)	Superficie (ha)	Débit (m3/s)	$D_{calculé}$ (mm)	$D_{normalisé}$ (mm)	Type de matériau	Vitesse (m/s)	ΔH linéaire (m)	ΔH total (m)	Cote terrain aval	Cote piézométrique aval	Pression	Pression (bar)
R-TS	1450	160	0,16	368,5	400	Fonte	1,27	5,15	5,66	702,71	748,34	45,63	4,56
TS-N1	69,19	160	0,16	369	400	Fonte	1,27	0,25	0,27	703,43	748,07	44,64	4,46
N1-B1	38,35	5	0,005	65	75	PEHD	1,13	0,85	0,94	701,03	747,13	46,10	4,61
N1-N2	126,08	155	0,155	363	400	Fonte	1,23	0,42	0,46	705,8	747,60	41,80	4,18
N2-B2	33,71	7,4	0,0074	79	90	PEHD	1,16	0,63	0,69	704,85	746,91	42,06	4,21
N2-N3	71,1	147,6	0,1476	354	400	Fonte	1,17	0,22	0,24	706,39	747,37	40,98	4,10
N3-N4	98,52	147,6	0,1476	354	400	Fonte	1,17	0,30	0,33	707,32	747,04	39,72	3,97
N4-N5	304,31	147,6	0,1476	354	400	Fonte	1,17	0,93	1,02	710,82	746,02	35,20	3,52
N5-N6	48,66	8,4	0,0084	84	90	PEHD	1,32	1,16	1,27	711,23	744,74	33,51	3,35
N6-B3	34,78	3,1	0,0031	51	63	PEHD	0,99	0,75	0,83	710,08	743,91	33,83	3,38
N6-N7	56,44	5,3	0,0053	67	75	PEHD	1,20	1,40	1,54	712	743,20	31,20	3,12
N7-B6	54,89	5,3	0,0053	67	75	PEHD	1,20	1,36	1,50	712,71	741,70	28,99	2,90
N5-N8	12,61	139,2	0,1392	344	350	Fonte	1,45	0,07	0,07	710,92	745,94	35,02	3,50
N8-N9	104,82	16,4	0,0164	118	125	PEHD	1,34	1,70	1,88	709,55	744,07	34,52	3,45
N9-B4	52,63	7,1	0,0071	78	90	PEHD	1,12	0,91	1,00	709,07	743,06	33,99	3,40
N9-N10	33,65	9,3	0,0093	89	90	PEHD	1,46	0,97	1,07	709,23	743,00	33,77	3,38
N10-B7	34,9	2,6	0,0026	47	50	PEHD	1,32	1,72	1,89	709,43	741,10	31,67	3,17
N10-N11	107,81	6,7	0,0067	75	90	PEHD	1,05	1,67	1,84	704,29	741,16	36,87	3,69
N11-B5	82,41	6,7	0,0067	75	90	PEHD	1,05	1,28	1,41	705,13	739,75	34,62	3,46
N8-N12	118,24	122,8	0,1228	323	350	Fonte	1,28	0,50	0,55	711,94	745,40	33,46	3,35
N12-N13	160,61	15,9	0,0159	116	125	PEHD	1,30	2,46	2,71	709,33	742,69	33,36	3,34
N13-B10	59,3	6,6	0,0066	75	75	PEHD	1,49	2,23	2,45	709,67	740,23	30,56	3,06
N13-N14	113,23	9,3	0,0093	89	90	PEHD	1,46	3,27	3,60	707,62	739,09	31,47	3,15
N14-B8	32,87	2,5	0,0025	46	50	PEHD	1,27	1,51	1,66	707,51	737,43	29,92	2,99
N14-N15	54,7	6,8	0,0068	76	90	PEHD	1,07	0,87	0,96	706,11	738,13	32,02	3,20
N15-B11	78,69	6,8	0,0068	76	90	PEHD	1,07	1,26	1,38	706,24	736,75	30,51	3,05

N12-N16	127,55	106,9	0,1069	301	315	PEHD	1,37	0,70	0,77	713,33	744,63	31,30	3,13
N16-B9	36	8,2	0,0082	83	90	PEHD	1,29	0,82	0,90	714,04	743,73	29,69	2,97
N16-N17	259,09	98,7	0,0987	289	315	PEHD	1,27	1,22	1,34	717,63	743,28	25,65	2,57
N17-B13	47,35	13	0,013	105	110	PEHD	1,37	0,94	1,04	715,64	742,25	26,61	2,66
N17-N18	74,03	85,7	0,0857	270	280	PEHD	1,39	0,48	0,53	718,92	742,75	23,83	2,38
N18-B12	38,97	4,8	0,0048	64	75	PEHD	1,09	0,80	0,88	721,79	741,87	20,08	2,01
N18-N19	152,98	80,9	0,0809	262	280	PEHD	1,31	0,89	0,98	723,28	741,77	18,49	1,85
N19-N20	21,4	80,9	0,0809	262	280	PEHD	1,31	0,12	0,14	721,63	741,63	20,00	2,00
N20-N21	184,9	80,9	0,0809	262	280	PEHD	1,31	1,08	1,19	720,27	740,44	20,17	2,02
N21-B14	34,95	10,5	0,0105	94	110	PEHD	1,10	0,46	0,51	721,04	739,93	18,89	1,89
N21-N22	189,87	70,4	0,0704	244	250	PEHD	1,43	1,50	1,65	719,66	738,79	19,13	1,91
N22-N23	15,43	70,4	0,0704	244	250	PEHD	1,43	0,12	0,13	719,11	738,65	19,54	1,95
N23-B17	60,04	16,6	0,0166	119	125	PEHD	1,35	1,00	1,10	718,37	737,56	19,19	1,92
N23-N24	44,28	53,8	0,0538	214	225	PEHD	1,35	0,36	0,39	717,67	738,26	20,59	2,06
N24-B15	55,8	4,9	0,0049	64	75	PEHD	1,11	1,20	1,32	717,87	736,95	19,08	1,91
N24-N25	118,31	48,9	0,0489	204	225	PEHD	1,23	0,80	0,88	713,72	737,38	23,66	2,37
N25-N26	38,25	8,9	0,0089	87	90	PEHD	1,40	1,02	1,12	712,29	736,27	23,98	2,40
N26-B16	54,55	8,9	0,0089	87	90	PEHD	1,40	1,45	1,59	712	734,67	22,67	2,27
N25-N27	116,73	40,0	0,04	184	200	PEHD	1,27	0,97	1,07	713,46	736,31	22,85	2,29
N27-N28	254,43	40,0	0,04	184	200	PEHD	1,27	2,12	2,33	712,56	733,98	21,42	2,14
N28-N29	120,79	14,4	0,0144	111	125	PEHD	1,17	1,54	1,69	709,69	732,29	22,60	2,26
N29-B18	69,23	8,9	0,0089	87	90	PEHD	1,40	1,84	2,02	710,59	730,27	19,68	1,97
N29-N30	35,48	5,5	0,0055	68	75	PEHD	1,24	0,95	1,04	708,39	731,25	22,86	2,29
N30-B20	47,75	5,5	0,0055	68	75	PEHD	1,24	1,27	1,40	708,5	729,85	21,35	2,14
N28-N31	151,02	25,6	0,0256	147	160	PEHD	1,27	1,65	1,82	712,6	732,16	19,56	1,96
N31-B19	55,34	12,3	0,0123	102	110	PEHD	1,29	0,99	1,09	714,3	731,07	16,77	1,68
N31-N32	118,17	13,3	0,0133	106	110	PEHD	1,40	2,45	2,70	712,74	729,46	16,72	1,67
N32-N33	126,71	13,3	0,0133	106	110	PEHD	1,40	2,63	2,89	712,93	726,57	13,64	1,36
N33-N34	71,82	13,3	0,0133	106	110	PEHD	1,40	1,49	1,64	714,87	724,93	10,06	1,01
N34-B21	70,53	13,3	0,0133	106	110	PEHD	1,40	1,46	1,61	714,93	723,32	8,39	0,84

Conclusion :

L'étude du système d'adduction-distribution réalisée dans ce chapitre a permis de concevoir une solution adaptée pour assurer l'alimentation en eau d'irrigation du périmètre de Raouraoua avec un système sous pression, composé d'un pompage depuis le barrage Lekhal vers un réservoir de stockage, suivi d'une distribution gravitaire jusqu'aux parcelles.

Le dimensionnement des conduites, le choix des matériaux, le calcul des débits, des pertes de charge et des puissances nécessaires ont été établis selon des critères technico-économiques pour garantir un fonctionnement fiable et durable du réseau.

Le choix de conduites en PEHD et en fonte ductile permet d'assurer un bon compromis entre résistance, coût et facilité de mise en œuvre.

Les pressions obtenues au niveau des bornes permettent d'assurer l'irrigation même pour les systèmes nécessitant des pressions élevées, comme l'aspersion.

Ce travail constitue ainsi une base solide pour le choix de la technique d'irrigation et le dimensionnement à l'échelle des parcelles.

Chapitre V

Choix de la technique d’irrigation

Chapitre V : Choix de la technique d'irrigation

Introduction :

Le choix de la technique d'irrigation constitue une étape clé dans la planification d'un aménagement hydro-agricole, afin d'assurer une gestion optimale de l'eau et garantir de bons rendements agricoles, notamment dans les régions aride et semi-aride où les précipitations sont insuffisantes pour couvrir les besoins des plantes.

Pour répondre efficacement aux besoins hydriques des cultures envisagées, il est nécessaire de maîtriser les différentes techniques d'irrigation afin de retenir la méthode la plus appropriée.

Dans ce chapitre, nous allons présenter et comparer les principales techniques d'irrigation disponibles, en mettant en évidence leurs caractéristiques, leurs avantages et inconvénients, avant de justifier le choix adopté pour le périmètre de Raouraoua.

V.1. Présentation des techniques d'irrigation :

Les techniques d'irrigation désignent l'ensemble des méthodes permettant d'apporter de l'eau aux cultures pour satisfaire leurs besoins hydriques lorsque les précipitations naturelles sont insuffisantes. Plusieurs techniques d'irrigation existent, ils sont regroupés en trois catégories :

- ✓ Irrigation de surface
- ✓ Irrigation par aspersion
- ✓ Micro irrigation.

V.2. Irrigation de surface :

L'irrigation de surface est la méthode la plus ancienne et la plus répandue au monde. Elle repose sur le principe de laisser l'eau s'écouler librement à la surface du sol sous l'effet de la gravité, afin d'humidifier le sol jusqu'aux racines des plantes. Ce système est simple à mettre en œuvre, mais son efficacité dépend fortement des caractéristiques du terrain (pente, perméabilité) et du type de culture.

En fonction de la topographie, de la nature du sol et de la culture à irriguer, cette méthode se décline en plusieurs formes :

V.2.1. Irrigation par submersion :

Elle consiste à recouvrir entièrement le sol d'une lame d'eau pendant une durée suffisante pour permettre à l'eau d'atteindre la profondeur utile. Cette technique est généralement réalisée dans des bassins plats délimités par des diguettes. Elle est principalement utilisée pour les cultures qui supportent ou nécessitent un excès d'eau temporaire.

Les principaux types d'arrosage par submersion sont :

- ✓ Les cuvettes : utiliser en arboriculture

Figure V.1 : Cuvettes d'irrigation

- ✓ La submersion continue : utiliser pour le riz

Figure V.2 : Irrigation par submersion

V.2.2. Irrigation par ruissellement :

Appelée aussi irrigation par déversement, cette méthode permet à l'eau de s'écouler lentement en surface sur une légère pente. L'eau forme un film mince qui s'infiltre progressivement dans le sol. Cette technique est utilisée sur des terrains légèrement inclinés (pente de 0,1 à 5%) et nécessite une bonne régularité de surface pour éviter les stagnations et pertes excessives.

V.2.3. Avantages et inconvénients de l'irrigation à la surface :

Tableau V-1 : Avantages et inconvénients de l'irrigation à la surface

Avantages	Inconvénients
✓ Système économique à mettre en place. ✓ Faible besoin en équipements. ✓ Participe parfois à la recharge des nappes phréatiques.	✓ Faible efficacité d'irrigation (pertes par infiltration profonde et ruissellement). ✓ Nécessite un nivellement rigoureux du terrain. ✓ Risque accru de salinisation si le drainage est insuffisant.

V.3. Irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion est une technique qui consiste à projeter l'eau sous forme de fines gouttelettes, imitant ainsi la pluie naturelle. L'eau, mise sous pression, est diffusée sur le sol grâce à des asperseurs disposés régulièrement sur la parcelle. Cette méthode assure une répartition homogène de l'eau, quelle que soit la pente ou la forme du terrain, et permet un contrôle précis des quantités apportées. Elle est particulièrement recommandée pour les terrains irréguliers, les sols peu perméables et dans les régions où la disponibilité en eau est limitée.

V.3.1. Type d'équipements d'irrigation sous pression :

L'asperseur est le système d'irrigation le plus répandu pour les cultures céréalières, fourragères et maraîchères. L'irrigation se fait par déplacement manuel ou semi-automatique de rampes équipées de porte-asperseurs et de rallonges de différentes hauteurs. La pression de service recommandée est généralement comprise entre 2,5 et 4 bars. Ce système est apprécié pour sa simplicité, sa polyvalence et son faible coût initial, surtout dans le cas d'installations mobiles.

Figure V.3 : Irrigation par aspersion

V.3.1.2. L'enrouleur :

L'enrouleur est un dispositif mobile d'irrigation composé d'un tuyau flexible de grand diamètre enroulé autour d'un tambour. À l'extrémité du tuyau se trouve un canon d'arrosage monté sur chariot. L'irrigation se fait par bandes successives, dont la largeur dépend du modèle.

Figure V.4 : Irrigation par enrouleur

V.3.1.3. Pivot :

Le pivot est un équipement automoteur il est équipé de plusieurs asperseurs disposés le long de sa conduite. Ce système permet d'irriguer de grandes surfaces circulaires, principalement sur terrains plats, notamment dans les zones sahariennes.

Figure V.5 : Pivot d'irrigation

V.3.1.4. Rampe frontale :

La rampe frontale est une structure automotrice sous forme de portique, qui se déplace en va-et-vient sur toute la longueur d'une parcelle rectangulaire. Elle est équipée d'une conduite supportant des asperseurs répartis régulièrement. Ce système permet une couverture homogène des surfaces rectangulaires et convient particulièrement aux grandes parcelles agricoles.

V.3.2. Avantages :

- ✓ Efficiente d'irrigation importante et Bonne uniformité de répartition
- ✓ Convient à de nombreuses cultures
- ✓ Utilisation répandue et matériel disponible.
- ✓ Fonctionnement automatisé

V.3.3. Inconvénients :

- ✓ Coût d'investissement élevé,
- ✓ Main-d'œuvre nécessaire pour le déplacement si mobile
- ✓ Pression élevée requise (3 à 6 bars)
- ✓ Consommation énergétique plus importante.

V.4. Irrigation localisée ou micro-irrigation :

L'irrigation localisée, ou micro-irrigation, est une technique qui consiste à apporter l'eau directement au voisinage immédiat des racines des plantes, de façon lente, et localisée. L'objectif est de maintenir une partie précise du sol humide ce qui permet une économie importante d'eau et une meilleure efficacité d'irrigation. Le système repose sur un réseau de conduites sous pression, généralement en **PEHD ou PVC,** raccordées à des goutteurs, micro-asperseurs ou tuyaux perforés. Cette technique est particulièrement adaptée aux cultures maraîchères, arboricoles, aux cultures sous serre ou sous plastique.

Figure V.6 : Irrigation goutte à goutte de surface

Un système complet d'irrigation localisée comprend :

- ✓ Une source d'eau
- ✓ Une tête de filtration (indispensable pour prévenir l'obstruction des goutteurs)
- ✓ Des conduites principales et secondaire
- ✓ Des rampes ou lignes de goutteurs assurant l'arrosage

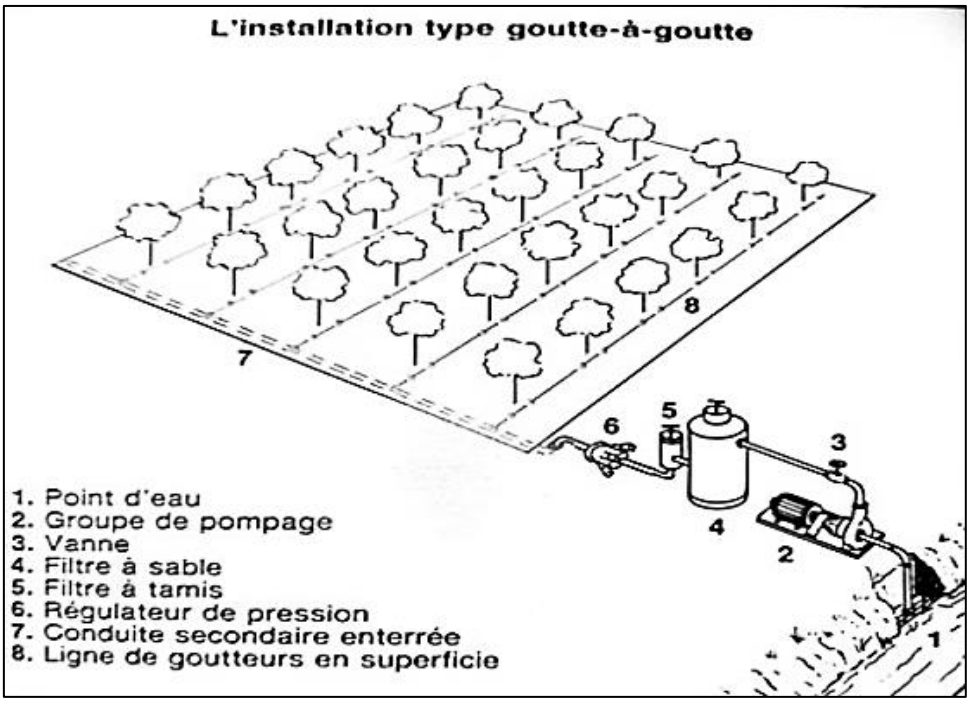


Figure V.7 : schéma d'installation goutte à goutte

V.4.1. Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée :

Tableau V-2 : Avantage et inconvénients de l'irrigation localisé.

Avantages	Inconvénients
✓ Économie importante d'eau et réduction des pertes par évaporation ✓ Apport précis de l'eau directement aux racines des plantes ✓ Réduction des mauvaises herbes et parasites	✓ Coût d'installation initial élevé ✓ Nécessité d'une filtration efficace de l'eau ✓ Risque d'obstruction des goutteurs

Conclusion :

Dans ce chapitre, les différentes techniques d'irrigation ont été étudiées et comparées en tenant compte de leurs principes, de leurs performances et de leurs contraintes. Parmi l'ensemble des systèmes analysés, l'irrigation localisée et l'irrigation par aspersion se sont imposées comme les solutions les plus adaptées aux besoins de notre périmètre.

Le choix de la technique d'irrigation pour le périmètre de Raouraoua repose sur l'analyse des caractéristiques physiques, climatiques et culturales de la zone. Compte tenu de la diversité des cultures sélectionnées, nous avons retenu l'irrigation par aspersion pour les cultures céréalières et fourragères et pour les cultures arboricoles, nous avons opté pour le goutte-à-goutte, méthode qui permet un apport localisé directement au niveau des racines, réduisant les pertes et améliorant l'efficacité de l'irrigation.

Ce choix permet d'assurer un équilibre entre efficacité technique, maîtrise des apports hydriques et durabilité économique de l'exploitation agricole.

Chapitre VI

Dimensionnement à la parcelle

Chapitre VI : Dimensionnement à la parcelle

Introduction :

Après avoir établi les besoins en eau du périmètre et conçu le système d'adduction-distribution, ce chapitre vise à détailler l'application de l'irrigation au niveau de chaque parcelle. Le dimensionnement à la parcelle permet d'adapter les apports en eau aux exigences spécifiques de chaque culture.

L'objectif est de garantir un fonctionnement optimal du système à l'échelle de l'exploitation agricole, en tenant compte des paramètres agronomiques, hydrauliques et techniques propres à chaque type de culture, tels que les doses d'arrosage, les fréquences d'irrigation ainsi que les caractéristiques techniques des éléments du réseau intra-parcellaire (conduites, rampes, goutteurs, asperseurs, etc.), en fonction du type d'irrigation choisi.

VI.1. Dimensionnement du réseau goutte à goutte :

Le dimensionnement d'un réseau d'irrigation localisée nécessite la connaissance de plusieurs paramètres essentiels tels que : la surface de la parcelle, les besoins en eau des cultures, ainsi que la durée journalière maximale d'irrigation. Dans notre étude, nous avons retenu la vigne comme culture de référence pour l'installation du système goutte à goutte.

- ✓ Données générales de la parcelle :

Le réseau goutte à goutte sera installé sur l'îlot n°12, alimenté par la borne B12. La pression disponible à la borne est d'environ 2 bars, la parcelle occupe une superficie de 1,1 hectare, de forme avec une longueur de 100 m et une largeur de 80 m. En période estivale, notamment au mois de juillet, les besoins maximaux en eau sont estimés à 131.7 mm.

Chaque cep de vigne sera alimenté par 1 goutteur, disposant d'un débit nominal de 2 L/h.

L'implantation de la vigne se fait avec un écartement de 1 × 1.5 m.

VI.1.1. Calcul des besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :

VI.1.1.1. Influence de taux de couverture du sol :

En irrigation goutte à goutte, l'eau est appliquée uniquement dans la zone proche des racines, ce qui réduit fortement l'évaporation directe du sol. Pour intégrer cet effet, on utilise un coefficient de réduction Kr, appliqué à l'Évapotranspiration Maximale de la culture (ETM).

Ce coefficient dépend du taux de couverture du sol par les plantes. Dans le cas des cultures adultes, ce taux est généralement d'environ 60 %.

Formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0{,}5 \times (1 - C_s)$$

Nous retenons la valeur Kr = 0,80.

Calcul des besoins journaliers localisés :

Les besoins journaliers de la vigne sont déterminés à partir du besoin en eau de pointe, réparti sur 30 jours :

$$B_J = ETM_C = \frac{B_{pointe}}{30} = \frac{131.7}{30} = 4.39\ mm/j$$

En tenant compte du coefficient de réduction les besoins journaliers localisés (Bjl) se calculent comme suit :

$$B_{jl} = K_r \times B_J = 3.5\ mm/j$$

VI.1.1.2. Dose nette pratique réduite :

En irrigation localisée on essaye de maintenir l'humidité optimale uniquement sur une fraction du sol, correspondant au bulbe racinaire directement exploité par la plante.

Cette fraction est exprimée par un pourcentage d'humidification P%, qui dépend de la disposition des goutteurs, de l'écartement des arbres et de la largeur de la bande humidifiée.

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

Tels que :

n = 1 : nombre de goutteurs par arbre

Spd = 1 m : distance entre goutteurs du même arbre

Sh = 0,5 m : largeur de la bande humidifiée

Sr = 2 m : espacement entre les rangs

Sa = 1 m : espacement entre les arbres sur le rang

On obtient

$$P\% = \frac{1 \times 1 \times 0.5}{2 \times 1} = 0.3$$

La dose nette pratique (Dp) est ensuite déterminée par la formule :

$$D_p = (Hcc - Hpf) \times Y \times Z \times d_a \times P\%$$

Avec :

Hcc = 27 % : humidité à la capacité au champ

Hpf = 16 % : humidité au point de flétrissement

Y = 2/3 : coefficient d'extractibilité de l'eau du sol

Z = 1,2 m : profondeur d'enracinement

da = 1,4 : densité apparente du sol

P% = pourcentage de sol humidifié (30%)

Donc : $D_p = (27 - 16) \times \frac{2}{3} \times 1.2 \times 1.4 \times 0.3 = 34.2\ mm$

VI.1.1.3. Calcul de la dose brute :

a) Fréquence des arrosages (Tr) :

La fréquence d'arrosage correspond au nombre de jours séparant deux irrigations. Elle est donnée par la relation :

$$T_r = \frac{D_P}{B_j}$$

Donc : $T_r = \frac{34.2}{3.5} = 9.7$ jours

On retient donc une fréquence d'arrosage de 9 jours.

b) Dose réelle (Dr) :

La dose réelle appliquée correspond à la quantité d'eau fournie durant un cycle d'irrigation :

$$D_r = B_j \times T_r$$

Donc : Dr = 3.5 ×9 = 31.6mm

c) Dose brute (D_b) :

Enfin, la dose brute prend en compte les pertes liées au réseau d'irrigation (efficience et uniformité). Elle est calculée par :

$$D_{brute} = \frac{D_r}{Eff \times Cu}$$

Avec : Eff : efficience du réseau = 90 % et Cu : coefficient d'uniformité = 90 %

$$D_{brute} = \frac{31}{0.9 \times 0.9} = 39\ mm$$

VI.1.2. Durée d'arrosage

C'est le temps total d'arrosage nécessaire pour la dose d'irrigation

$$\theta\ (heurs/mois) = \frac{D_b \times S_{pd} \times S_r}{n \times q_g}$$

Avec

q_g : débit nominal du goutteur = 2 l/h

N : nombre de goutteurs = 1 goutteur

S_{pd} : distance entre deux goutteurs voisine = 1 m

S_r : espacement entre rang = 1.5 m

Donc :

$\theta = \frac{35\times1\times1.5}{1\times2} = 29\ h.$

VI.1.3. Calculs hydrauliques :

Selon la Règle de Christiansen On limite la variation de débit entre goutteurs à 10 % :

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

$$\Delta H_{max} = \frac{0.10 \times 10}{0.5} = 2\ mCE$$

La perte de charge totale admissible entre l'entrée de la sous-unité et le dernier goutteur est de 2 mCE.

Rampe (latérale) : $\Delta H_{lin}^{rampe} = \frac{2}{3} \times \Delta H_{lin} = \frac{2}{3} \times 1{,}8 = 1.2\ mCE$

Porte-rampe (sous-latéral) : $\Delta H_{lin}^{porte-rampe} = \frac{1}{3} \times \Delta H_{lin} = \frac{1}{3} \times 1{,}8 = 0.6\ mCE$

VI.1.3.1. Principe de dimensionnement de canalisation du réseau :

a) Calcul des diamètres :

Le calcul des diamètres des conduites en irrigation localisée repose sur la formule suivante :

$$\emptyset_{cal} = \left(\frac{\Delta H_{lin} \times 2.75}{0.478 \times Q^{1.75} \times L}\right)^{-\frac{1}{4.75}}$$

ΔH_{lin} : perte de charge linéaire dans la conduite

Q : le débit de la conduite en l/h

L : la longueur de la conduite en m

$\emptyset_{cal}$: diamètre de la conduite en m

Le matériau utilisé est le PEBD pour les rampes et les portes rampes et le PEHD pour la conduite tertiaire.

b) Calcule de la perte de charge :

On utilise la formule empirique de Hazen-Williams :

$$\Delta H = \left(\frac{3.592}{C_w}\right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

Avec :

ΔH : perte de charge (m),

L : longueur de la conduite (m),

Q : débit de la conduite (m^3/s),

D : diamètre intérieur de la conduite (m),

C_w : coefficient de rugosité (C_w = 140) .

On vérifie que les pertes de charge linéaires ne dépassent pas la limite admissible fixée par la règle de Christiansen, avec

Longueur des rampes = 80m, et Longueur du porte rampe Lpr= 100m

VI.1.3.2 Calcul des débits :

- ✓ Débit des rampes (Qr):

$$Qr = \frac{Nar}{r} \times Ng$$

$N_{arbre/rampe} = 80$ Arbres, Ng= 1 goutteur/arbre (Qg=2l/h)

$$Qr = 80 \times 2 = 160\ l/h$$

- ✓ Débit de la porte-rampe : Lpr= 100m

Nombre de rampe= $N_{rampe} = \frac{L_{pr}}{E_r} =$ 100/1.5= 66 rampes

$$Q_{pr} = Q_r \times N_{rampe} = 160 \times 66 = 10560\ l/h$$

VI.1.3.3. Dimensionnements de la rampe :

$$\emptyset_{rampe} = \left(\frac{\Delta H_{lin}{}^{rampe} \times 2.75}{0.478 \times Q_r{}^{1.75} \times L_r}\right)^{-\frac{1}{4.75}} = 10.9\ mm$$

On adopte un diamètre normalisé : DN 16 mm (PEBD).

- ➢ **Vérification de la charge :**

$$\Delta H_{rampe} = \left(\frac{3.592}{C_w}\right)^{1.852} \times \frac{L_r}{\emptyset_{rampe}{}^{4.87}} \times Q_r{}^{1.852} = 0.45\ m < 1.2$$

La perte de charge calculé est inférieure à celle imposée par la règle de Christiansen.

VI.1.3.4. Dimensionnements de la porte rampe :

$$\emptyset_{porte\ rampe} = \left(\frac{\Delta H_{lin}{}^{pr} \times 2.75}{0.478 \times Q_{pr}{}^{1.75} \times L_{pr}}\right)^{-\frac{1}{4.75}} = 61.7\ mm$$

On adopte un diamètre normalisé : DN 75 mm (PEHD).

- ➢ **Vérification de la charge :**

$$\Delta H_{porte-rampe} = \left(\frac{3.592}{C_w}\right)^{1.852} \times \frac{L_{pr}}{\emptyset_{porte\ rampe}{}^{4.87}} \times Q_{pr}{}^{1.852} = 0.6$$

VI.1.3.5. Dimensionnements de la conduite tertiaire :

En fixant une vitesse optimale V=1,05 m/s

On trouve un diamètre de 75 mm.

VI.1.3.6. Calcul des pertes de charges et des pressions

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

	Longueur (m)	Débit (m^3/s)	Matériau	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m)
Rampe	80	4.44×10^{-5}	PEBD	DN16	0.22	0.45
Porte rampe	100	0.0029	PEHD	DN75	0.66	0.6
Conduite tertiaire	10	0.0059	PEHD	DN75	1.03	0.25

A partir du tableau VI.1, on remarque que les pertes de charges totales entre la borne d'irrigation et la rampe la plus défavorables sont $\Sigma\Delta H = 0.45 + 0.6 + 0.25 = 1.3\,m$, on conclue que l'installation du système goutte a goutte est conforme.

VI.2. Dimensionnement du réseau d'aspersion :

L'irrigation par aspersion consiste à projeter l'eau en fines gouttelettes sur la culture, simulant une pluie artificielle. Elle est adaptée aux cultures céréalières, maraîchères et industrielles, car elle permet une bonne homogénéité de répartition et s'adapte aux sols de perméabilité moyenne.

VI.2.1. Données générales :

- ✓ **Culture choisie** : Pastèque avec besoin de pointe égale à 149.7 mm au mois de juin.
- ✓ **Parcelle choisie** : située à l'îlot N°2, d'une superficie de 1.2 ha. La parcelle est de forme rectangulaire présente des dimensions de 200x160, alimentée par la borne N°2 disposants d'une pression disponible de 4,21 bars.
- ✓ **Temps de travail** : 22 h/jour et 26 jours/mois.
- ✓ **Caractéristiques du sol** : sol argilo-limoneux, perméabilité K = 7-8 mm/h.
- ✓ **Dose pratique (RFU)** : c'est la quantité maximale d'eau extractible par les racines entre la capacité au champ et le point de flétrissement. Calculé par la formule :

$$\text{RFU} = (Hcc - Hpf) \times Y \times Z \times d_a$$

Avec :

Hcc = 27 % : humidité à la capacité au champ

Hpf = 16 % : humidité au point de flétrissement

Y = 2/3 ;

Z = 0,7 m = 700 mm : profondeur d'enracinement

da = 1,4 : densité apparente du sol

Donc :

$$D_p = (27 - 16) \times \frac{2}{3} \times 0.7 \times 1.4 = 71.87\ mm$$

La dose nette pratique pour la pastèque est alors ≈ 72 mm.

VI.2.2 Dimensionnement théorique des asperseurs :

VI.2.2.1. Choix du diamètre de la buse :

D'après la fiche technique d'un arroseur de type Perrot, nous avons opté pour un diamètre de 4,8 mm avec une pression de 3 bars.

VI.3.2.2. Calcul de la portée du jet :

La portée correspond à la distance maximale couverte par le jet d'eau projeté par l'asperseur. Elle peut être estimée à l'aide de la formule empirique suivante :

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

Avec :

d = 4.8 mm : diamètre de la buse en mm

h = 30 m : pression à la buse en m

Donc :

$$L = 3 \times 4.8^{0.5} \times 30^{0.25} = 15.38\ m$$

D'après les recommandations du fournisseur Perrot, pour une buse de 4,8 mm fonctionnant à une pression de 3 bars, la portée effective est de 16 m.

VI.2.2.3. Disposition des asperseurs :

La disposition des asperseurs joue un rôle essentiel dans l'uniformité de la répartition de l'eau.

Selon les normes, les écartements maximaux entre asperseurs varient en fonction de la vitesse du vent

$$\begin{cases} E_l = (1.3 \text{ à } 1.04\ ) \times L \\ E_a\ = (\ 0.8 \text{ à } 0.6\ ) \times L \end{cases}$$

Où :

E_l : écartement entre lignes d'arrosage.

E_a : écartement entre asperseurs sur la même rampe.

L : portée du jet.

Dans notre cas :

$$\begin{cases} E_l\ = 1.25 \times L \\ E_a\ = 0.75 \times L \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_l\ = 1.25 \times 16 = 19.2\ m \\ E_a\ = 0.75 \times 16 = 12\ m \end{cases}$$

Finalement, on adopte les valeurs E_l = 18 m et E_a = 12 m.

VI.2.2.4. Débit de l'asperseur

Le débit de l'asperseur est calculé par :

$$Q_{asp}(m^3/s) = m\pi\frac{d^2}{4}\sqrt{2gh}$$

Avec :

d : diamètre de la buse (m)

h : pression à la buse (m)

g=9,81 m/s·

m : coefficient de contraction (≈ 0,95 pour les asperseurs moyenne pression)

Donc : Q_{asp} = 0.000417 m^3/s =1.5 m^3/h.

VI.2.2.5. Vérification de la pluviométrie de la buse :

La **pluviométrie** correspond à la lame d'eau apportée par un asperseur sur une surface donnée. Elle représente la vitesse à laquelle l'eau sort de l'arroseur, exprimée en mm/h. Elle ne doit pas excéder la capacité d'infiltration du sol K.

$$P_{asp} = \frac{Q_{asp}}{E_l \times E_a}$$

Donc : $P_{asp} = \frac{1.5}{18\times12} = 6.9\ mm/h$

La pluviométrie obtenue est inférieure à la capacité d'infiltration du sol K=8 mm/h Ainsi, le diamètre de la buse choisi (4,8 mm) est conforme.

VI.2.3. Calcul des paramètres d'arrosage :

- ✓ **Tour d'eau** :

La durée de tour d'eau correspond à la période du temps en jours nécessaire pour irriguer l'ensemble de la parcelle.

$$T_{eau} = \frac{RFU \times N_j}{B_{pointe}}$$

Avec :

RFU = 71,87 mm : dose nette pratique calculée précédemment.

N_j = 26 jours/mois : nombre de jour de travail par mois.

B_{pointe} = 149,68 mm/mois : Besoin au mois de pointe de la pastèque.

$$T_{eau} = \frac{71.87 \times 26}{149.68} = 12\ jours$$

Le tour d'eau est donc 10 jours, ce qui correspond à 3 irrigations par mois.

- ✓ **Dose réelle (D_r)** :

C'est la quantité d'eau réellement apportée à la culture.

$$D_r = T_{eau} \times B_j$$

B_j : Besoin journalier (mm)

$$B_j = \frac{B_{pointe}}{30} = \frac{149.68}{30} = 5\ mm$$

Donc : $D_r = 10 \times 4.99 = 50\ mm$

- ✓ **Dose brute (D_b)** :

C'est la correction de la dose réelle par l'efficacité du système.

$$D_b = \frac{D_r}{Eff}$$

Étant donné que l'efficience de réseau d'irrigation par aspersion est égale à 75%

La dose brute est donc $D_b = \frac{50}{0.75} = 66.7\ mm.$

- ✓ **Temps d'arrosage (T)** :

C'est la durée nécessaire pour apporter la dose brute, en fonction de la pluviométrie de l'asperseur.

$$T_a = \frac{D_b}{P_{asp}}$$

Application numérique : $T_a = \frac{D_b}{P_{asp}} = \frac{75}{6.52} = 9.6h$

Le temps d'arrosage requis est 10 heures.

- ✓ **Nombre de position de l'asperseur (n)** :

Étant donné que le temps d'arrosage requis est de 10 heures par jour, fonctionnera sous 2 positions.

- ✓ **Surface d'unité d'arrosage (S_u)** :

L'unité de surface arrosé chaque jour se calcule comme suit :

$$S_u = \frac{S_{parcelle}}{T_{eau} \times N_p}$$

Avec :

$S_{parcelle} = 1.2\ ha$: Surface totale de la parcelle

$T_{eau} =$: Tour d'eau= 10 jours

$N_p = 2$: Nombre de position de l'asperseur par jour

Donc : $S_u = \frac{1.2}{10 \times 2} = 0.1\ ha$

Donc la surface de l'unité à arroser chaque jour est 0.1 ha

VI.2.4. Calcul du débit d'équipement :

$$Q_{éq}(m^3/h) = \frac{S_{parcelle} \times B_{pointe} \times 10}{T_a \times N_j \times n \times Eff}$$

Tels que :

$Q_{éq}$: débit d'équipement

$S_{parcelle}$ = 3.2 ha : Surface de parcelle

B_{pointe} = 149.7 mm : Besoin net de mois de pointe.

T_a = 10h : Temps d'arrosage par position

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

N_j = 26 j/mois : nombre de jours de travail par mois

$$\rightarrow \; Q_{éq} = \frac{1.2 \times 149.7 \times 10}{10 \times 26 \times 2 \times 0.75} = 5.12 \frac{m^3}{h}$$

VI.2.5. Dimensionnement hydraulique :

La règle de Christiansen impose une perte de charge maximale de 20% de la pression de fonctionnement (P=3bars, H=30m), entre le porte-rampe et la dernière rampe, donc ΔH=6m.

- ✓ **Longueur de la rampe :**

$$L_{rampe} = Lar - \frac{E_a}{2}$$

Nous avons la largeur =90m, et E_a= 12 m : espacement entre asperseur, on trouve Lr = 84m

- ✓ **Nombre d'asperseur par rampe :**

$$N_{asp/r} = \frac{L_{rampe}}{E_a} + 1 = 7 \; asperseurs$$

$$NP_{rampe} = \frac{L_{parcelle}}{E_l}$$

$$Q_{rampe} = Q_{asp} \times N_{asp/r}$$

$Q_{asp} = 1.5 \; m^3/h$: débit de l'asperseur

$N_{asp/r} = 7$: nombre d'asperseurs par rampe

- ✓ **Diamètre de la rampe :** On suppose une vitesse optimale V = 1.5 m/s

$$\emptyset_r(mm) = \sqrt{\frac{4 \times Q_r}{\pi \times V}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0029}{\pi \times 1.5}} \times 1000 = 49 \; mm$$

On prend un diamètre normalisé de DN50.

- ✓ **Longueur du porte-rampe :**

La longueur de la parcelle Lp= 120m-El/2 = 111m

On travaille avec une seule porte rampe donc :

- ✓ **Diamètre du Porte-rampe :** (V = 1.5 m/s)

$$\emptyset_r(mm) = \sqrt{\frac{4 \times Q_r}{\pi \times V}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0042}{\pi \times 1.5}} \times 1000 = 49\ mm$$

Si on prend un diamètre normalisé de DN75, les pertes de charge dépassent la limite admissible, on prend un diamètre Dpr = 75mm, et on vérifie les pertes de charge :

Tableau VI-2 : Récapitulatif de calcul du réseau d'irrigation par aspersion.

Paramètres	Rampe	Porte rampe	Prise parcellaire
Longueur (m)	84	111	10
Débit (m^3/s)	0.0029	0.0029	0.0029
Diamètre (mm)	50	75	75
Vitesse réelle (m/s)	1.4	0.66	0.66
Perte de charge totale (m)	4.5	0.84	0.15

À partir du tableau ci-dessus, la perte de charge totale entre la borne d'irrigation et l'asperseur le plus défavorable est :

Les pertes de charge totales du réseau sont de 5.6m, donc inférieures à la limite fixée par la règle de Christiansen (20 % de la pression nominale, soit 6 m). Les diamètres retenus sont conformes. La pression disponible à la borne d'irrigation est de 4,21 bars, ce qui est largement suffisant pour assurer le bon fonctionnement du réseau installé sur la parcelle.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié le dimensionnement de l'irrigation à la parcelle en considérant deux techniques d'arrosage : l'irrigation par aspersion pour la culture de la pastèque et l'irrigation localisée (goutte-à-goutte) pour la vigne.

Le réseau d'aspersion a été conçu en tenant compte des contraintes liées à la perméabilité du sol et aux conditions de vent, avec un dimensionnement hydraulique précis permettant de garantir une bonne uniformité de distribution. Quand le système goutte-à-goutte a été dimensionné en fonction des paramètres agronomiques et hydrauliques propres à la culture choisie, assurant une alimentation en eau localisée et efficiente.

Ainsi, le dimensionnement réalisé démontre que l'adaptation de la technique d'irrigation au type de culture et aux caractéristiques du sol et du climat permet non seulement de répondre aux besoins hydriques de la plante, mais également d'optimiser l'utilisation de l'eau. L'intégration de ces systèmes contribue à une gestion rationnelle et durable de la ressource, tout en améliorant la rentabilité agricole.

Chapitre VII

Estimation du coût de projet

Chapitre VII : Estimation du coût de projet

Introduction :

L'étude technico-économique est une étape essentielle dans la conception d'un projet d'irrigation, car elle permet d'estimer son coût global et par donc sa faisabilité. Elle repose sur le calcul des devis quantitatifs et estimatifs, intégrant les quantités de matériaux, les équipements à installer ainsi que les différentes opérations à réaliser sur le terrain.

L'objectif principal de ce chapitre est de calculer le coût total de l'aménagement hydro-agricole, à travers trois volets principaux : les canalisations d'adduction (Lot 1), la station de pompage (Lot 2) et les bornes d'irrigation ainsi que les pièces spéciales (Lot 3). Cette évaluation constitue une base solide pour la planification et la gestion optimale des investissements du projet.

VII.1. Lot 01 : Réseau d'adduction et de distribution

VII.1.1. Travaux réseau d'adduction et de distribution :

Pour l'installation des canalisations du réseau d'adduction et distribution, plusieurs tâches sont à réaliser, à savoir :

- **Décapage de la terre végétale :** retrait de la couche de terre végétale.
- **Exécution des tranchées :** excavation selon les dimensions prévues.
- **Pose du lit de sable :** couche de 12 à 15 cm pour stabiliser et protéger les conduites.
- **Pose des conduites :** mise en place avec contrôle d'alignement.
- **Jointage et épreuve de la canalisation :** soudure et test sous pression.
- **Remblayage des tranchées :**

  Le remblayage s'effectue en deux phases distinctes :
  - ✓ Enrobage en sable autour des conduites.
  - ✓ Grillage avertisseur bleu (largeur > diamètre).
  - ✓ Remblai final en couches compactées.
- **Nivellement et compactage :** restitution du terrain et stabilisation.

VII.1.2. Calcul des volumes des travaux liés aux canalisations :

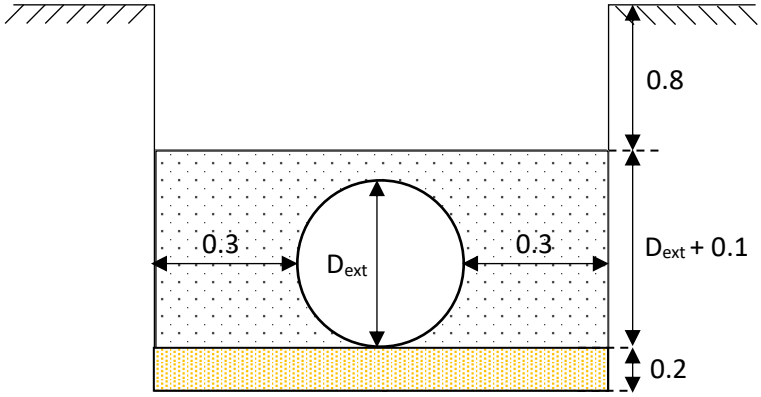
<u>Calcul de volume de décapage de la terre végétale :</u>

$$V_{déc} = e_{déc} \times b \times L$$

$e_{déc} = 0.3\ m$: épaisseur de décapage

b : Largeur du tranché ;

L : Longueur de la conduite ;



Figures VII.1 : Schéma du tranché

Calcul de volume de terrassement :

- **Largeur de fond du tranché :**

$$b = D_{ext} + 2 \times a$$

D_{ext} : diamètre extérieur de la conduite ;

$a = 0.3\ m$: espacement moyen pour deux personnes ;

- **Profondeur du tranché :**

$$H = e_{sable} + e_{enrobage} + e_{remblai}$$

- **Volume de déblai :**

$$V_{déblai} = H \times b \times L$$

Calcul de volume de lit de sable :

$$V_{sable} = b \times e_{sable} \times L$$

$e_{sable} = 0.1 - 0.2\ m$: épaisseur de lit de sable ;

Calcul de Volume de remblai compacté :

$$V_{remblai} = b \times e_{remblai} \times L$$

$e_{remblai} = 0.8\ m$: épaisseur du remblai ;

Calcul de Volume des terres en excès en négligeant le coefficient de foisonnement :

$$V_{transporté} = V_{déblai} - V_{remblai}$$

Tableau VII-1: Résultats de calcul des volumes Lot 1

	Matériau	D(mm)	D(m)	L(m)	b (m)	e_{enrob}	H(m)	$V_{décap}$	$V_{déblai}$	V_{sable}	V_{cond}	$V_{remblai}$	V_{TS}
Adduction	Fonte	400	0,4	1800	1	0,5	1,5	540	2700	360	226,19	1440	1260
Distribution	Fonte	400	0,400	2119,2	1	0,5	1,5	635,7	3178,8	423,84	266,31	1695,3	1483,4
	Fonte	350	0,350	130,85	0,95	0,45	1,45	37,292	180,24	24,861	12,59	99,45	80,79
	PEHD	315	0,315	386,64	0,915	0,415	1,415	106,13	500,59	70,755	30,13	283,02	217,57
	PEHD	280	0,280	433,31	0,88	0,38	1,38	114,39	526,21	76,262	26,68	305,05	221,16
	PEHD	250	0,250	205,30	0,85	0,35	1,35	52,351	235,58	34,901	10,08	139,6	95,977
	PEHD	225	0,225	162,59	0,825	0,325	1,325	40,241	177,73	26,827	6,46	107,3	70,421
	PEHD	200	0,200	371,16	0,8	0,3	1,3	89,078	386	59,385	11,66	237,54	148,46
	PEHD	160	0,160	151,02	0,76	0,26	1,26	34,432	144,61	22,955	3,04	91,820	52,796
	PEHD	125	0,125	446,26	0,725	0,225	1,225	97,061	396,33	64,707	5,48	258,83	137,50
	PEHD	110	0,110	524,87	0,71	0,21	1,21	111,79	450,91	74,531	4,99	298,12	152,78
	PEHD	90	0,090	803,52	0,69	0,19	1,19	166,32	659,77	110,88	5,11	443,54	216,22
	PEHD	75	0,075	386,98	0,675	0,175	1,175	78,363	306,92	52,242	1,71	208,97	97,954
	PEHD	63	0,063	34,78	0,663	0,163	1,163	6,9177	26,817	4,6118	0,11	18,447	8,3704
	PEHD	50	0,050	67,77	0,65	0,15	1,15	13,215	50,658	8,810	0,13	35,24	15,417

VII.1.3. Cout de Canalisation réseau d'adduction-distribution :

Tableau VII-2 : Détails de prix de canalisation

	Matériau	D(mm)	L(m)	Prix unitaire	Prix total
Adduction	Fonte	400	1800	14910,06	26838108
Distribution	Fonte	400	2119,2	14910,06	31597399
	Fonte	350	130,85	13521,23	1769253
	PEHD	315	386,64	12807,12	4951745
	PEHD	280	433,31	10116,42	4383546
	PEHD	250	205,3	8051,04	1652879
	PEHD	225	162,59	6570,10	1068233
	PEHD	200	371,16	5179,56	1922445
	PEHD	160	151,02	3314,76	500595,1
	PEHD	125	446,26	2024,52	903462,3
	PEHD	110	524,87	1643,14	862434,9
	PEHD	90	803,52	1099,56	883518,5
	PEHD	75	386,98	752,85	291337,9
	PEHD	63	34,78	533,68	18561,39
	PEHD	50	67,77	342,99	23244,43

Tableau VII-3 : Devis estimatif du coût total de réseau d'adduction et de distribution

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DZD)	Total (Da)
1	Décapage de la terre végétale	m^3	2124	100	212400
2	Déblai	m^3	9922	210	2083620
3	Lit de sable	m^3	1416	2000	2832000
4	Sable d'enrobage	m^3	1233	2000	2466000
5	Conduite en Fonte	ml	4051	/	48146033
6	Conduite en PEHD	ml	3975	/	16964826
7	Soudure	unité	660	800	528000
8	Grillage	ml	5025	60	301500
9	Remblai compacté	m^3	5663	300	1698900
10	Terres en excès	m^3	1230	100	123000
				Total (Da)	75356279.0
				TVA (%)	19%
				TTC	89 673 972.0

VII.2. Évaluation du cout des bornes et pièces spéciales :

Tableau VII-4: Devis quanti tif et estimatif du coût des bornes et pièces d'irrigation.

N°	Les pièces	Quantité	Prix unitaire (DA)	Total (DA)
1	Vannes	10	12790	127 900.0
2	Té	17	8700	147 900.0
3	Coude 90°	12	5600	67 200.0
4	Coude 45°	2	5100	10 200.0
5	Borne A2	8	40 000	320 000.0
5	Borne A4	13	32 000	416 000.0
7	Cône de réduction	6	6000	36 000.0
			Total HT (DA)	1 125 200.0
			TVA (%)	19%
			TTC (DA)	1 338 988.0

VII.2. Lot 02 : Station de pompage :

Devis quantitatif et estimatif du coût total de bâtiment de station de pompage

Tableau VII-5 : Estimation du cout du système de pompage

Designation des travaux	unités	Quantité	Prix unitaire	Montant (Da)
Bâtiment/Génie civil	F	1	1 000 000	1 000 000.0
Pompes	U	3	200 000	600 000.0
Armoire électrique	F	1	150 000	150 000.0
Loge gardien	F	1	150 000	150 000.0
Aménagement extérieur	F	1	35 000	35 000.0
			Total (DA)	**1 935 000.0**
			TVA (19%)	367 650.0
			PRIX TOTAL (DA)	2 302 650.0

VII.3. Lot 03 : Réservoir de mise en charge

VII.3.1. Calcul des volumes :

Diamètre extérieur du réservoir

$$D_{ext} = D_{int} + 2e_{paroi}$$

$e_{paroi} = 0.25$: épaisseur de paroi

Volume de décapage de la terre végétale

$$V_{déc} = S_{déc} \times e_{déc}$$

$e_{déc} = 0.3\ m$: épaisseur de décapage

$$S_{déc} = (D_{ext} + 2x)^2$$

$x = 2$ à $5\ m$: espace réservé pour la pose des matériaux

Volume de déblai

$$V_{déb} = \left(\frac{\pi(D_{ext} + 2a)^2}{4}\right) \times H_d$$

Volume béton de propreté sous radier :

- Diamètre de radier : $D_{radier} = D_{ext} + 2 \times 0.05$
- Volume de BP pour radier **:** ${V_{BP}}^{radier} = S_{radier} \times e_{BP}$

Volume béton armé du radier :

$${V_{BA}}^{radier} = S_{radier} \times e_{BA}$$

Volume béton armé des parois :

- Surface des parois : $S_{paroi} = S_{ext} - S_{int}$
- Volume de BA pour les parois verticales de réservoir **:** $V_{paroi} = S_{paroi} \times e_{paroi}$

Volume de remblai :

- Surface de remblai : $S_{remblai} = S_{déblai} - S_{ext}$
- Volume de remblai **:** $V_{remblai} = S_{remblai} \times H_d$

Volume des terres en excès :

$$V_{trans} = V_{déblai} - V_{remblai}$$

VII.3.2. Évaluation du cout du réservoir

Les coûts des différents de travaux sont détaillés comme suit :

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Total (DA)
I	**Terrassement**				
1	Décapage	m³	100	100	10000
2	Déblai de fouille	m³	260	200	52000
3	Remblai	m³	48	250	12000
4	Terres en excès	m^3	80	200	16000
II	**Gros ouvres**				
1	Béton de propreté sous radier	m³	22	10000	220000
2	Béton armé du radier	m³	112	22000	2464000
3	Béton armé des parois	m³	52	22000	1144000
4	Béton armé de la coupole	m³	53	22000	1166000
III	**Travaux de finition et protection**				
1	Protection de la partie inférieure de réservoir	m^2	134	300	40200
2	Peinture intérieure de réservoir	m^2	120	300	36000
3	Peinture extérieure de réservoir	m^2	104	300	31200
4	Pax aluminium	m^2	209	1100	229900
				Total HT (DA)	5421300
				TVA (%)	19%
				TTC (DA)	11 872 647.0

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons procédé à l'évaluation quantitative et estimative des différents lots du projet: réseau d'adduction-distribution (89 673 972.0 DA), station de pompage (2 302 650.0 DA), réservoir de stockage (11 872 647.0 DA) ainsi que les bornes et pièces spéciales (1 338 988.0 DA).

Le coût global du projet d'aménagement hydro-agricole de Raouraoua a été estimé à :

105 188 257.0 DA TTC, traduisant tous les investissements nécessaires pour concrétiser cet aménagement. Cette évaluation constitue une base solide pour apprécier la faisabilité technique et économique du projet.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire de fin d'étude s'inscrit dans le cadre de l'aménagement hydro-agricole et porte sur l'extension d'un périmètre irrigué de 160 hectares dans la commune de Raouraoua, située dans la wilaya de Bouira qui est une wilaya agricole. L'objectif principal était de concevoir un nouveau système d'irrigation permettant une gestion rationnelle de la ressource en eau et contribuant à l'amélioration durable de la production agricole.

L'analyse des conditions naturelles a montré que la région de Raouraoua est caractérisée par un climat semi-aride, marqué par une pluviométrie faible et irrégulière. L'étude du sol a montré un potentiel agricole intéressant, avec des sols adaptés à une grande variété de cultures, bien que nécessitant certains amendements pour améliorer leur fertilité. Par ailleurs, l'eau issue du barrage Lekhal est jugée convenable pour l'irrigation malgré une salinité modérée.

Sur cette base, nous avons identifié les cultures les plus adaptées et estimé leurs besoins en eau, calculés à environ 800 000 m^3/an, volume largement couvert par les apports régularisés du barrage. Le système d'adduction et de distribution a ensuite été dimensionné, combinant un pompage vers un réservoir de stockage et une desserte gravitaire vers les parcelles.

Le choix des techniques d'irrigation a constitué un point essentiel : l'aspersion a été retenue pour les cultures céréalières et fourragères, tandis que le goutte-à-goutte a été privilégié pour l'arboriculture et certaines cultures maraîchères. Le dimensionnement à la parcelle a confirmé la pertinence de ces choix, en tenant compte des contraintes agronomiques et hydrauliques propres à chaque type de culture.

Enfin, une analyse technico-économique a été menée afin d'évaluer le coût de réalisation du projet estimé à : 105 188 257.0 DA TTC. La mise en œuvre de ce projet contribuera non seulement à accroître la productivité agricole, mais aussi à renforcer la sécurité alimentaire et la durabilité de l'agriculture dans la région.

L'extension du périmètre irrigué de Raouraoua constitue ainsi une opportunité majeure pour valoriser les potentialités agricoles locales et soutenir le développement socio-économique de la wilaya de Bouira.

Références bibliographiques

Référence bibliographique

1. AZIEZ , O, & BAHBOUH, L. Polycopié : Drainage et Assainissement Agricole. Blida: ENSH.
2. BROUWER, C. (1990). Méthodes d'irrigation. Italy: FAO.
3. GARNIER, A. Mécanique des fluides et hydrauliques.
4. GUETARI, A. (2024). Étude d'aménagement du périmètre de Raouraoua (200 ha) à partir du barrage de Lakehal (W. Bouira). Blida: ENSH.
5. KOUADRIA , M. Polycopié d'Irrigation. Tiaret: Université Ibn Khaldoun.*
6. LEBOURGEOIS , F. Bioclimatologie à l'usage des forestiers.
7. MISSOUM, R. (2015). Etude d'extension du périmètre Dahmouni (1300 ha) à partir du barrage Dahmouni wilaya de Tiaret. Blida: ENSH.
8. MOKRANE , W, & KHODJET, O. Polycopié : Systèmes de Pompage. Blida: ENSH.
9. TOUAIBIA. (2004). Manuel d'hydrologie.

Annexes

Annexe I : Résultat d'analyse de sol profil 64

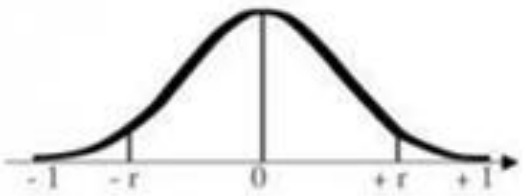
LABORATOIRE D'ANALYSES DE SOLS
AIN-DEFLA

Rue El-QODS AIN-DEFLA
Demandeur: SARL BAHDJA / SARL MATHE
Date: MARS 2022
Périmètre: RAOURAOUA
PROFIL: 64

Horizon		H1	H2	H3
Profondeur (cm)		0-40	40-80	80-110
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES				
GRANULO METRIE	Sable fin (%)	15,6	9,8	10,6
	Sable grossier (%)	19,7	12	15,2
	Limon fin (%)	18,9	25,7	16,3
	Limon grossier (%)	13	16,1	11,4
	Argile (%)	32,7	35,5	45,8
MATIERE ORGANIQUE				
Matière organique (%)		1,0	0,4	0,1
C %°		5,6	2,4	0,4
N %°		0,5	0,6	1,3
C/N		10,2	4,2	0,3
PH (1/5)		7,32	7,35	7,45
CE ms (1/5)		0,3	0,38	0,54
RESERVES MINERALES				
CaCO3 total (%)		3	5	7
CaCO3 actif (%)		1,3	2,6	3,4
P2o5 Total (%°)		3,5	1,2	0,9
P205 Assimilable (ppm)		68	33	13

Le LABORATOIRE

Annexe II : Tableau de calcul de Khi carré théorique



d.d.l. \ α	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 : Données de base pour le calcul du PHc (Smedema and Rycroft, 1983)

Σ Concentration méq/l	$pK'_2 - pK'_C$	$P(Ca^{2+} + Mg^{2+})$	P(Alk)
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.3	4.0
0.15	2.0	4.1	3.8
0.20	2.0	1.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.8	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.50	2.1	3.1	2.8
2.00	2.2	3.0	2.7
2.5	2.2	2.9	2.6
3.0	2.2	2.8	2.5
4.0	2.2	2.7	2.4
5.0	2.2	2.6	2.3
6.0	2.2	2.5	2.2
8.0	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.0
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

Annexe V : Fiche technique de la pompe

PM 150/ 3 A

Requested data

Flow	84 l/s
Head	81 m
Fluid	Water, clean
Temperature	20 °C
Pumpe type	Single head pump
No. of pumps	1

Operating pump data

Flow	86,4 l/s
Head	81,4 m
Shaft power	87,3 kW
Efficiency	79,3%
Head H(Q=0)	110 m
Discharge connection	150 mm

Motor data

Frequency	50 Hz
Rated voltage	400 V
Nominal speed	1450 tr/min
Number of poles	4
Rated power P2	110 kW
Rated current	- A
Motor type	3~
Insulation class	F
Degree of protection	IP 55

Operating limits

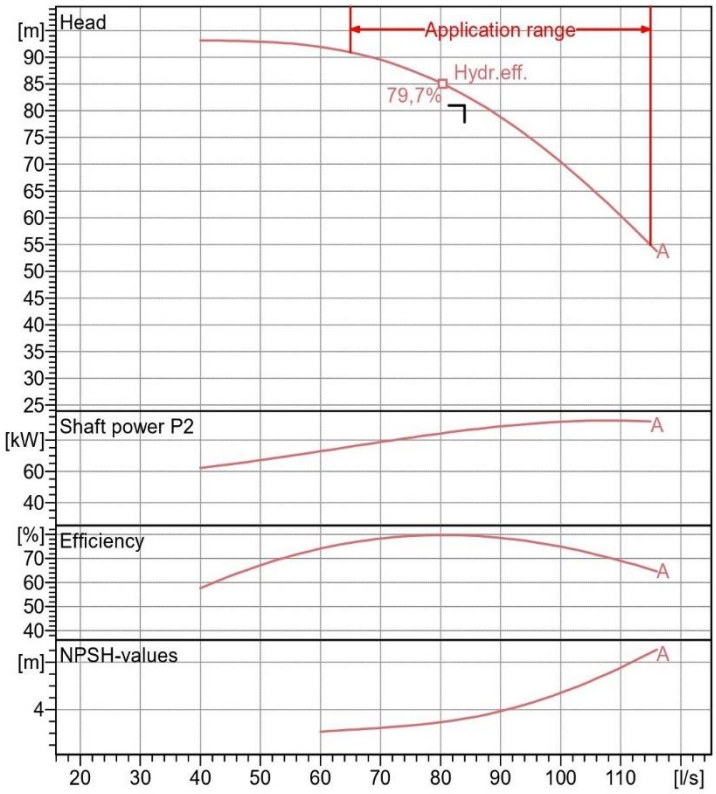
Starts per hour max.	5
Maximum temperature of pumped fluid	90 °C
Maximum content of solid	40 g/m³
Max. Density	0,998 kg/dm³
Max. viscosity	1 mm²/s

General data

Weight	1640 kg

Materials

Delivery casing	Cast iron
Suction casing	Cast iron
Impeller	Cast iron
Wear ring	Cast iron
Intermediate bowl	Cast iron
Casing	Cast iron
Shaft	Stainless steel
Shaft bush	Stainless steel
Seal ring	Nitrile rubber
Ball bearings	Steel
Stuffing box	Cast iron
Packing	Graphited cord

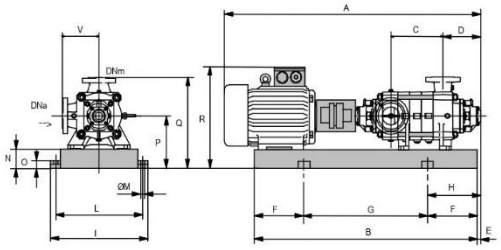


Operating data UNI/ISO 2548/C

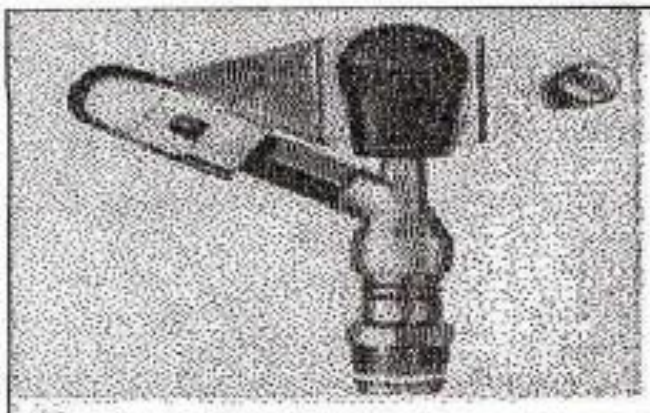
Q [l/s]	H [m]	P [kW]	Eff. [%]	NPSH [m]

Dimensions **mm**

A = 2440
B = 1990
C = 485
D = 351
DNa = 200
DNm = 150
E = 241
F = 300
G = 1390
H = 541
I = 870
L = 820
M = 20
N = 160
O = 42
P = 475
Q = 845
R = 941
V = 370



Annexe VI : Fiche technique d'arroseur type PERROT



Caractéristiques de l'asperseur circulaire PERROT ZF 30

1 buse
angle de jet 30°
Raccord fileté 1"

de la buse ø mm	pression à la buse bar	portée m	débit m³/h	espacement m □ disp.	espacement m △ disp.	surface irriguée m² □ disp.	surface irriguée m² △ disp.	densité d'aspersion mm/h □ disp.	densité d'aspersion mm/h △ disp.
4,0	2,5	13	0,93	12/18	18/18	216	324	4,3	2,88
	3,0	14,5	1,02	18/18	18/24	324	432	3,16	2,36
	3,5	15,3	1,11	18/18	18/24	324	432	3,42	2,57
	4,0	16	1,19	18/18	18/24	324	432	3,71	2,76
4,2	2,5	13,5	1,04	12/18	18/24	324	432	4,8	2,42
	3,0	15	1,14	18/18	18/24	216	432	3,52	2,64
	3,5	15,8	1,23	18/18	18/24	324	432	3,8	2,85
	4,0	16,5	1,32	18/24	24/24	324	576	3,06	2,3
4,5	2,5	14	1,20	18/18	18/24	432	432	3,71	2,78
	3,0	15,5	1,32	18/18	18/24	324	432	4,07	3,05
	3,5	16,3	1,42	18/18	18/24	324	432	4,38	3,29
	4,0	17	1,52	18/24	24/24	324	576	3,52	2,64
4,8	2,5	14,5	1,38	18/18	18/24	432	432	4,27	3,2
	3,0	16	1,51	18/18	18/24	324	432	4,66	3,5
	3,5	16,5	1,63	18/24	24/24	324	576	3,78	2,82
	4,0	17	1,75	18/24	24/24	432	576	4,05	3,04
5,0	2,5	14,5	1,48	18/18	18/24	432	432	4,57	3,43
	3,0	16,5	1,63	18/18	18/24	432	432	5,04	3,77
	3,5	17	1,76	18/24	24/24	324	576	4,08	3,05
	4,0	17,5	1,88	18/24	24/24	324	576	4,35	3,26
5,5	2,5	15,2	1,82	18/18	18/24	432	432	5,62	4,22
	3,0	17	1,99	18/24	24/24	432	576	4,61	3,45
	3,5	17,5	2,14	18/24	24/24	324	576	4,95	3,71
	4,0	18	2,29	18/24	24/24	432	576	5,31	3,98
6,0	2,5	16,2	2,16	18/24	24/24	432	576	5,00	3,75
	3,0	17,5	2,37	18/24	24/24	432	576	5,50	4,12
	3,5	18	2,56	18/24	24/24	432	576	5,92	4,43
	4,0	18,5	2,74	18/24	24/24	432	576	6,35	4,76
7,0	2,5	17,5	2,96	18/24	24/24	432	576	6,9	5,1
	3,0	18,0	3,22	18/24	24/24	432	576	7,5	5,6
	3,5	18,5	3,48	24/24	24/24	576	576	6,0	6,0
	4,0	19,0	3,73	24/24	24/30	576	720	[illegible]	[illegible]

Figure IV.48 : fiche technique d'un arroseur