

DÉDICACES

À ceux qui occupent une place précieuse dans ma vie, à ceux qui m'ont soutenu et encouragé à chaque étape de mon parcours...

A mes chers parents, source de force et d'inspiration, merci pour votre amour inconditionnel, votre patience et vos sacrifices.

A mes frères et sœurs, mes compagnons de route et mon soutien indéfectible, votre présence a toujours été une bénédiction.

A mes tantes, oncles et cousins du cote maternel et paternel, vous êtes ma deuxième famille, et votre affection m'a toujours accompagné.

A mes chère grand-mère, symbole de sagesse et de tendresse, tes prières ont été mon guide et ma force.

A mes professeurs, véritables phares de savoir, merci de m'avoir transmis la connaissance et les valeurs qui m'accompagneront toute ma vie.

A mes précieuses amies, avec qui j'ai partagé rires, défis et souvenirs inoubliables, votre soutien et votre amitié ont été une lumière sur mon chemin

Je vous dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de gratitude, en espérant être toujours à la hauteur de vos attentes.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu Tout-Puissant pour m'avoir éclairé pardonné mes fautes et accordé la patience et la persévérance nécessaires à la réalisation de ce travail de recherche .

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant , monsieur RASSOUL Abdelaziz , pour ses orientations éclairées et son soutien constant , qui ont été déterminants tout au long de la présentation de ce mémoire .

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont soutenu durant l'élaboration de ce travail , en particulier Madame TEBIZI Kamelia , qui m'a fourni les informations essentielles ayant contribué à son aboutissement .

Je remercie vivement l'ensemble de mes professeurs qui ont partagé avec moi leur savoir approfondi et leur expérience , contribuant ainsi au développement de mes compétences et à l'approfondissement de ma compréhension scientifique .

Je n'oublie pas de remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans la préparation de ce mémoire .

Enfin j'exprime ma gratitude aux membres de jury pour l'évaluation minutieuse de mon travail .

TABLE DES MATIÈRES

Introduction Générale	1
1 Analyse des conditions naturelles	2
1.1 Situation géographique de la wilaya de Tissemsilet	2
1.2 Présentation de la zone d'étude	3
1.3 Analyse de la situation géologique de la région	4
1.3.1 situation géologique et géomorphologique	4
1.3.2 Situation hydro-morphologique	4
1.3.3 Situation topographique	5
1.4 Analyse de la situation climatique	5
1.4.1 La pluviométrie	5
1.4.2 La température	6
1.4.3 Le Vent	7
1.4.4 L'humidité relative	7
1.4.5 La Gelée	8
1.4.6 Neiges	8
1.5 Calcul des indices Agro-météorologiques	8
1.5.1 Indice d'aridité de Martonne	8
1.5.2 Quotient Ombrothermique d'Emberger	9
1.5.3 Indice de Bagnouls et Gaussen	10
1.6 Etude socio-économique et importance de l'agriculture	11
2 Ressources en eau Ressources en sol	12
2.1 Ressources en eau	12
2.1.1 Barrage bougara	12
2.1.2 Qualité d'eau de barrage bougara	14
2.1.3 Classification des eaux d'irrigation	14

2.1.3.1	classification d'USSL 1954 :	14
2.1.3.2	Les autres paramètres.....	15
2.2	Ressources en sol.....	16
2.2.1	Classification des sols.....	16
2.2.1.1	Caractéristiques physiques du sol.....	16
2.2.1.2	Caractéristiques chimiques du sol.....	18
2.2.2	Interprétations des résultats.....	18
2.2.3	Paramètres hydrodynamiques des sols.....	19
2.2.4	Les aptitudes culturales.....	19
2.3	Calcul de la pluie.....	19
2.3.1	Choix de la station.....	19
2.3.2	Données de précipitation.....	20
2.3.3	Tests d'homogénéités.....	22
2.3.4	L'ajustement des pluies annuelles.....	23
2.3.4.1	L'ajustement par la loi normale.....	23
2.3.4.2	L'Ajustement par la loi lognormal.....	24
2.3.5	Test de fiabilité des ajustements.....	25
2.3.6	Détermination de l'année de calcul.....	27
3	Besoins en eau des cultures	28
3.1	Besoins en eau des cultures.....	28
3.2	Calcul de l'évapotranspiration.....	28
3.2.1	Calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0	29
3.2.1.1	Formule modifier de Penman-Monteith.....	30
3.2.2	Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM).....	31
3.2.3	Les coefficients culturaux (K_c) :.....	31
3.3	Besoins en eau d'irrigation.....	32
3.3.1	Détermination de la pluie efficace.....	32
3.3.1.1	Les cultures proposées.....	33
3.3.1.2	Identification des principaux types d'assolement.....	34
3.3.1.3	Avantages de la rotation des cultures.....	35
3.3.2	Cycle végétatif des cultures :.....	35
3.3.3	Les céréalicultures.....	36
3.3.3.1	Le blé.....	36
3.3.4	Les cultures fourragères.....	36
3.3.4.1	L'orge.....	36
3.3.5	les maraîchage.....	37
3.3.5.1	Pomme de terre.....	37
3.3.5.2	Pois.....	37

3.3.5.3	Tomate	38
3.3.5.4	Carotte	38
3.3.5.5	Laitue.....	39
3.3.5.6	Ail.....	39
3.3.5.7	Oignon.....	40
3.3.5.8	Courgettes.....	40
3.3.5.9	Fèves.....	41
3.3.6	L'arboriculture.....	41
3.3.6.1	Olivier.....	41
3.4	Calcul des besoin en eau.....	42
3.4.1	les besoins en eau eau des cultures.....	42
3.4.2	Calcul du débit spécifique.....	43
3.4.3	Evaluation du débit caractéristique.....	43
3.4.4	Estimation des volumes d'eau d'irrigation.....	44
4	Etude du système d'adduction	45
4.1	Alimentation en eau du périmètre	45
4.2	Organisation du périmètre d'étude	46
4.2.1	Îlots et bornes d'irrigation	46
4.2.2	Rôle et fonction de la borne d'irrigation	47
4.2.3	Calcul hydraulique des bornes :	47
4.2.4	Choix du diamètre et du type des bornes :	47
4.3	Description de l'aménagement du périmètre	48
4.4	Étude du système de pompage	49
4.4.1	Généralités sur les pompes	49
4.4.1.1	Les pompes volumétrique	49

4.4.1.2	Les turbopompes / roto-dynamiques	49
4.4.2	Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation	49
4.4.2.1	Calcul de la hauteur géométrique H_g	50
4.4.2.2	Calcul des perte de charge totales	50
4.4.3	Calcul des frais d'exploitation	51
4.4.4	Calcul des frais d'investissement	52
4.4.5	Bilan total des frais	53
4.4.6	Choix de nombre et de type de pompe	54
4.4.6.1	Critères de choix de nombre des pompes	54
4.4.6.2	Critères de choix de types des pompes	54
4.4.6.3	Chois des pompes	54
4.5	Protection contre cavitation	55
4.6	Dimensionnement du réservoir de stockage	56

4.7	Étude du système d'adduction-distribution (desserte gravitaire).....	57
4.7.1	Choix du matériau des conduites.....	57
4.8	Calculs hydrauliques.....	57
4.8.1	Calcul des pression des nœuds et des bornes.....	58
5	Les techniques d'irrigation.....	62
5.1	Différentes techniques d'arrosages.....	62
5.1.1	L'irrigation de surface.....	62
5.1.1.1	L'irrigation par ruissellement.....	62
5.1.1.2	Irrigation par surpression.....	63
5.1.1.3	L'irrigation par submersion.....	64
5.1.1.4	L'irrigation à la raie ou par sillons.....	64
5.1.2	l'irrigation par aspersion.....	65
5.1.3	l'irrigation goutte-à-goutte.....	66
5.2	Choix des techniques d'arrosage.....	67
5.2.1	Les contraintes naturelles.....	67
5.2.1.1	L'évaporation.....	67
5.2.1.2	Le vent.....	67
5.2.1.3	Le sol.....	68
5.2.1.4	La pente.....	68
5.2.2	Les contraintes techniques.....	68
5.2.3	Les contraintes agronomiques.....	68
6	Dimensionnement à la parcelle.....	70
6.1	Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion.....	70
6.1.1	Données générales.....	70
6.1.1.1	Choix de parcelle.....	70
6.1.1.2	Choix de la culture.....	71
6.1.2	Calcul de la dose pratique.....	71
6.1.3	Dimensionnement de l'asperseur.....	71
6.1.3.1	Choix du diamètre de la buse.....	71
6.1.3.2	Calcul de la portée.....	72
6.1.3.3	Calcul des écartements.....	72
6.1.3.4	Calcul du débit de l'asperseur.....	72
6.1.3.5	Vérification de la pluviométrie de la buse.....	72
6.1.4	Détermination des paramètres d'arrosage.....	73
6.1.4.1	Calcul du tour d'eau.....	73
6.1.4.2	Dose réelle.....	73
6.1.4.3	Dose brute.....	73
6.1.4.4	Temps d'arrosage.....	73

6.1.4.5	Débit d'équipement	73
6.1.4.6	Calcul de l'unité d'arrosage S_u	74
6.1.4.7	Nombre d'asperseurs requis	74
6.1.5	Calcul hydraulique des rampes et porte rampe	74
6.1.5.1	Calcul la longueur de la rampe	74
6.1.5.2	Nombre des asperseurs par rampe	74
6.1.5.3	Nombre des rampes	75
6.1.5.4	Débit de la rampe	75
6.1.5.5	Diamètre de la rampe	75
6.1.5.6	Dimensionnement de la porte rampe	75
6.1.6	Dimensionnement de la conduite tertiaire	76
6.1.7	Récapitulatif de réseau d'irrigation par aspersion	76
6.2	Dimensionnement de réseau d'irrigation goutte à goutte	76
6.2.1	Données générales	76
6.2.1.1	Choix de parcelle	76
6.2.1.2	Choix de culture	77
6.2.1.3	Choix de réseau d'irrigation	77
6.2.2	Calcul l'évapotranspiration corrigée	77
6.2.3	Calcul de la dose d'irrigation corrigée	78
6.2.4	Paramètres d'arrosage	79
6.2.4.1	Fréquence d'arrosage	79
6.2.4.2	La dose réelle	79
6.2.4.3	La dose brute	79
6.2.4.4	Temps d'arrosage	79
6.2.5	Calcul hydraulique des rampes et la porte rampe	80
6.2.5.1	Condition de Christensen	80
6.2.5.2	Les débits	80
6.2.5.3	Diamètre des rampes et la porte rampe	81
6.2.5.4	Vérification des pertes de charge	81
6.2.6	Dimensionnement de la conduite tertiaire	82
6.2.7	Récapitulatif de réseau d'irrigation goutte à goutte	82
7	Calcul technico-economique	83
7.1	Travaux de construction et estimation des coût de la station de pompage	83
7.1.1	Travaux nécessaires pour la construction de la station de pompage	83
7.1.2	Calcul des dimensions de la station de pompage	83
7.1.2.1	La hauteur du bâtiment	83
7.1.2.2	La longueur du bâtiment	84
7.1.2.3	La largeur du bâtiment	84

7.1.3	Estimation du cout de la construction de la station de pompage .	85
7.2	Travaux de construction et estimation du coût du réservoir.....	86
7.2.1	Travaux de construction du réservoir.....	86
7.2.2	Estimation du coût de construction.....	86
7.3	Travaux et estimation des coûts concernant l'adduction et le réseau dis- tribution.....	86
7.3.1	Travaux concernant l'adduction et le réseau distribution.....	86
7.3.2	Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution	87
7.3.2.1	Calcul du volume de terrassement.....	87
7.3.3	Estimation du coût de pose des canalisation.....	89
7.3.4	Estimation du coût du réseau de distribution.....	90
	Conclusion Générale	91
	Annexes	93

TABLE DES FIGURES

1.1	Situation géographique de la wilaya de tissemsilt	3
1.2	Situation géographique de la zone d'étude	4
1.3	Situation topographique de bougara.	5
1.4	Répartition de pluie moyenne mensuelle en mm	6
1.5	Les températures moyennes mensuelles	7
1.6	Les vitesses moyennes mensuelles des vents (km/h)	7
1.7	Evolution de l'humidité moyenne mensuelle en pour cent	8
1.8	le digramme bioclimatique d'Emberger.....	10
1.9	le digramme ombrothermique de Gaussen.....	10
2.1	Barrage BOUGARA.....	13
2.2	Diagramme USSL 1954 de classification des eaux.....	15
2.3	Triangle des textures des sols.....	17
2.4	Ajustement des pluie annuelles à la loi normal.....	24
2.5	Ajustement des pluie annuelles à la loi lognormal.....	24
3.1	les cycles végétatifs des cultures proposées pour l'extension de périmètre de Bougara.....	35
4.1	L'emplacement d'extension de périmètre de BOUGARA.....	46
4.2	Bilan total des frais en fonction des diamètre.....	53
5.1	Irrigation par ruissellement.....	63
5.2	L'irrigation à la raie.....	65
5.3	l'irrigation par aspersion.....	66
5.4	L'irrigation goutte-à-goutte.....	67
7.1	Schéma d'une tranchée.....	87

LISTE DES TABLEAUX

1.1	La pluviométrie de la zone d'étude	6
1.2	Les températures moyennes mensuelles; ONM 2019	6
1.3	Les vitesses moyennes mensuelles du vent; ONID	7
1.4	L'humidité relative moyenne mensuelle (pour cent) ; ONID	7
1.5	Indice d'aridité de Martonne	9
2.1	Résultats d'analyse de l'eau de barrage bougara. Source : ONID.....	14
2.2	Caractéristiques hydrodynamiques des sols limono-argileux.....	19
2.3	Caractéristiques de la station météorologique TISSEMSIELT. Source : (ONID).....	20
2.4	Précipitation moyenne mensuelles de la station de TISSEMSIELT (1988- 2018).....	21
2.5	Caractéristiques de la série pluviométrique de pluies annuelles.....	22
2.6	Résultat du test Mood.....	22
2.7	L'Ajustement à la loi lognormal.....	25
2.8	Valeur de KHI carré HYFIRAN.....	25
2.9	Résultats de l'ajustement des pluies annuelles par la loi log-normal.....	27
2.10	les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche.....	27
3.1	Calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de CROPWAT8.0.....	31
3.2	Calcul des pluies 80% (mm) pour chaque mois en mm.....	33
3.3	Scénarios d'occupation du sol par l'ensemble de l'exploitation du sol.....	33
3.4	Occupation de sol en fonction des cultures.....	34
3.5	Assolement proposé pour le périmètre.....	34
3.6	Besoins en eau du blé.....	36
3.7	Besoin en eau de l'orge.....	36
3.8	Besoin en eau du pomme de terre.....	37
3.9	besoin en eau du pois.....	37

3.10	Besoin en eau du tomate.....	38
3.11	Besoin en eau du carotte.....	38
3.12	Besoin en eau du laitue.....	39
3.13	Besoin en eau de l'ail.....	39
3.14	Besoin en eau de l'oignon.....	40
3.15	Besoin en eau du courgettes.....	40
3.16	Besoin en eau du fèves.....	41
3.17	Besoin en eau de l'olivier.....	41
3.18	Récapitulatif des besoins pour l'assolement 1.....	42
3.19	Récapitulatif des besoins pour l'assolement 2.....	42
3.20	Volume d'eau d'irrigation.....	44
4.1	Choix du diamètre (s) de la borne en fonction des débits des îlot.....	47
4.2	Types des bornes selon les parcelles.....	48
4.3	Calcul des débits des ilots et choix du type de bornes.....	48
4.4	Résultats du calcul de HMT pour les différents diamètres.....	51
4.5	Calcul des frais d'exploitation.....	52
4.6	Calcul de frais d'investissement.....	53
4.7	Bilan total des frais.....	53
4.8	Résultats de choix de pompe par le logiciel Caprari.....	55
4.9	Les paramètres des pertes de charge.....	59
5.1	Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage.....	69
6.1	Récapitulatif de réseau d'irrigation par aspersion.....	76
6.2	Récapitulatif de réseau d'irrigation goutte à goutte.....	82
7.1	Estimation du cout de la station de pompage.....	85
7.2	Estimation du coût du réservoir.....	86
7.3	Calcul du volume de remblai.....	89
7.4	Estimation du coût de pose de la conduite d'adduction.....	89
7.5	Facture des différents types de conduites du système de distribution.....	90
7.6	Estimation du coût des travaux de terrassement du réseau de distribu- tion.....	90

ملخص

هذه المذكرة هي جزء من مشروع توسيع انظمة الري لتحقيق التخطيط الامثل للموارد المائية في المحيط الفلاحي بوقرة. يستند نهجنا الى نظام ري يهدف الى تغطية 500 هكتار من الاراضي الصالحة للزراعة المتنوعة. تبدأ هذه الشبكة المتكاملة بمحطة ضخ المياه من سد بوقرة و نقل المياه الى خزان الماءة ثم توزيعها عبر انابيب من خلال شبكة الجاذبية. قمنا بتحليل متطلبات المياه لكل محصول بعناية تليها محاكاة هيدروليكية شاملة سمحت لنا هذه النهجية بتحديد الاقطار المثلى للانابيب مما يضمن ظروفًا تقنية مثالية من حيث الضغط و التدفق .

Résumé :

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet d'extension de périmètre d'irrigation visant une planification optimale des ressources en eau dans le périmètre agricole de BOURAGA. Notre approche repose sur un système d'irrigation destiné à couvrir 500 hectares de terres agricoles diversifiées. Ce réseau intégré commence par une station de pompage de l'eau depuis le barrage de BOUGARA, suivie du transfert de l'eau vers un réservoir, puis de sa distribution à travers des canalisations via un réseau gravitaire. Nous avons analysé avec soin les besoins en eau de chaque culture, suivis d'une simulation hydraulique complète. Cette méthodologie nous a permis de déterminer les diamètres optimaux des conduites, garantissant ainsi des conditions techniques idéales en termes de pression et de débit.

Abstract :

This thesis is part of a project to expand irrigation perimeter aimed at optimizing water resource planning in the agricultural area of Bougara. Our approach is based on an irrigation system designed to cover 500 hectares of diverse arable land. This integrated network begins with a water pumping station from the Bougara dam, followed by the transfer of water to a storage reservoir, and then its distribution through pipelines using a gravity-based network. We carefully analyzed the water requirements of each crop, followed by a comprehensive hydraulic simulation. This methodology allowed us to determine the optimal pipe diameters, ensuring ideal technical conditions in terms of pressure and flow rate.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'irrigation joue un rôle vital dans l'agriculture à l'échelle mondiale en garantissant la sécurité alimentaire, en stimulant la productivité agricole et en contribuant à l'expansion des terres cultivables. Dans de nombreuses régions du monde, les précipitations naturelles sont insuffisantes, irrégulières ou imprévisibles, ce qui rend l'irrigation essentielle pour maintenir des rendements agricoles stables. En fournissant de l'eau de manière contrôlée aux cultures, l'irrigation permet de maximiser la croissance des plantes, d'obtenir des récoltes de meilleure qualité et de réduire les risques liés aux sécheresses.

De plus, l'irrigation favorise l'extension des surfaces agricoles, ce qui est crucial compte tenu de la croissance de la population mondiale. Elle permet la mise en culture de terres qui seraient autrement improductives en raison du manque d'eau, contribuant ainsi à augmenter la production alimentaire totale. Cette technique permet également de diversifier les cultures et d'assurer un équilibre entre les cultures saisonnières, renforçant ainsi la sécurité alimentaire.

En Algérie, l'irrigation est fortement utilisée, absorbant 70% des ressources en eau disponibles. Cette préférence découle des conditions arides et semi-arides qui caractérisent de nombreuses régions du pays. Cependant, au cours de la dernière décennie, la sécheresse a considérablement réduit les volumes d'eau alloués à l'irrigation, entraînant des menaces pour la sécurité alimentaire, une baisse de la productivité des terres agricoles, et des répercussions négatives sur l'économie nationale. Pour remédier à cette situation, il est impératif de mettre en place des méthodes d'irrigation plus efficaces et de gérer de manière plus judicieuse les ressources en eau.

Le périmètre de Bougara dans la wilaya de Tissemsilet représentent une part significative des terres irriguées en Algérie et jouent un rôle crucial dans l'économie de la wilaya.

Cependant, en raison des périodes de sécheresse récurrentes, une planification optimale des ressources disponibles dans la région est essentielle. Dans ce contexte, notre travail porte sur l'étude de l'aménagement hydro-agricole de l'extension de périmètre de Bougara (W. Tissemsilet), qui s'étend sur une superficie de 500 hectares. Ce périmètre est principalement alimenté en eau à partir du barrage « Bougara »

CHAPITRE 1

ANALYSE DES CONDITIONS NATURELLES

Introduction

Le développement de l'agriculture irriguée et l'expansion de la circonférence d'irrigation sont régulés par les caractéristiques naturelles de la zone, que ce soit directement ou indirectement.

L'objectif est de comprendre ces caractéristiques profondes afin d'ajuster le réseau d'irrigation de manière optimale et d'optimiser le travail de développement de l'agriculture irriguée dans cette extension.

1.1 Situation géographique de la wilaya de Tissemsilet

La wilaya de Tissemsilt est située dans le nord-ouest de l'Algérie, dans la région de l'Algérois. Elle fait partie de la région du Haut-Plateau; la wilaya s'étend sur 3151 km². Géographiquement, elle est entourée de plusieurs wilayas :

- Au Nord : chlef et Ain Defla
- Au Sud : Tiaret et Djelfa
- A l'Est : Médéa
- A l'Ouest : Relizane

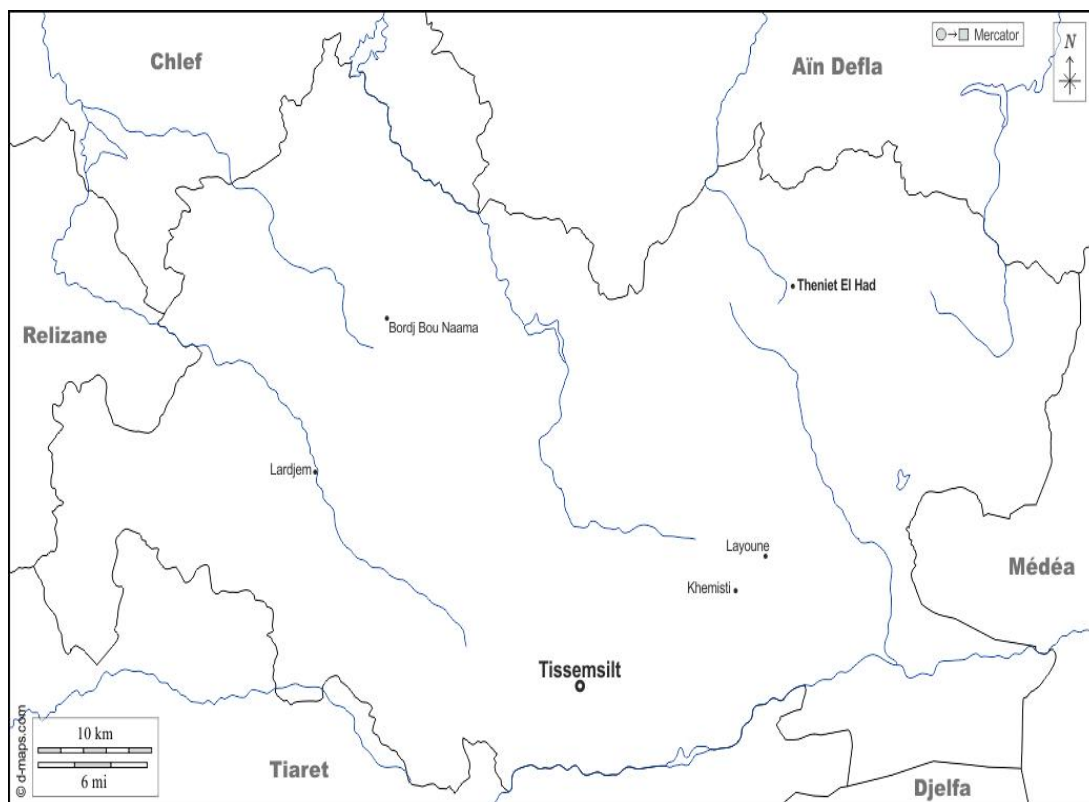


Figure 1.1 – Situation géographique de la wilaya de tissemsilt. Source ONID

1.2 Présentation de la zone d'étude

Le périmètre s'étend sur environ 20 km de part et d'autre de Naher Ouassel et prend l'orientation de l'écoulement de l'oued (Ouest – est), touchant la commune de BOUGARA (w.de Tiaret), les communes de Tissemsilt, Khemisti et Laayoune (w.de Tissemsilt).

Superficie : 89 ha pour la wilaya de Tiaret et 709.4 ha dans la wilaya de Tissemsilt.

L'extension de Bougara est marquée par un développement progressif de son tissu urbain, notamment le long des axes routiers menant vers Tiaret et Sougueur. La commune connaît une croissance démographique modérée et un développement agricole soutenu.

L'expansion urbaine de Bougara s'accompagne d'améliorations en infrastructures, notamment dans le domaine de l'eau, de l'électricité et des routes. Cependant, certaines zones restent rurales et dépendent principalement de l'agriculture et de l'élevage. L'alimentation en eau sera assurée par le barrage de Bougara avec un volume de 13 hm³.

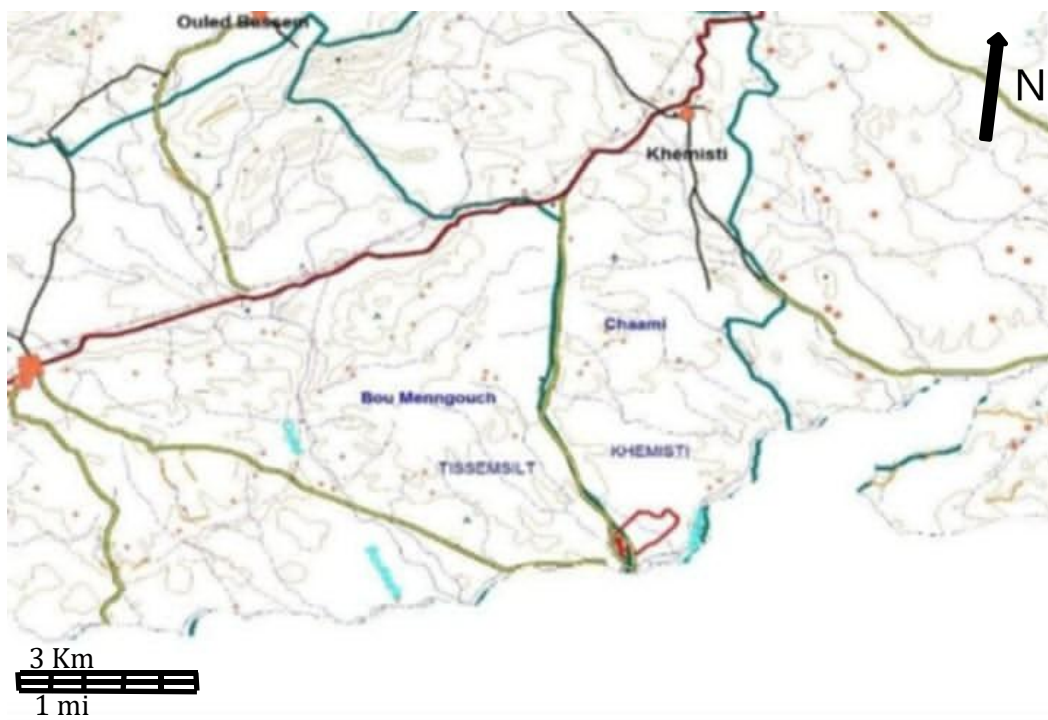


Figure 1.2 – Situation géographique de la zone d'étude .Source :ONID

1.3 Analyse de la situation géologique de la région

1.3.1 situation géologique et géomorphologique

La zone d'étude se distingue par sa nature argileuse , les reliefs descendent avec des formes monotones de croupes et de plateau hachés par les vallées profondes profondes des oueds . A l'est la région des dépressions qui fait partie du plateau du sersou oriental et qui s'avance vers les hautes plaines de l'oued oussal qui annoncent les steppes . Au centre et à l'ouest , une zone de piémonts assez large va à l'encontre du plateau du serou .

Le périmètre est un vaste ensemble de plis qui se sont produits au début du tertiaire et ont continué jusqu'à à une date récente , et formés de calcaire ,Marnes et Grès Jurassique et Crétacé et c'est l'altération et l'érosion des grès barrémiens et albiens qui affleurent largement en donnant naissance à des formations marno-calcaire.

1.3.2 Situation hydro-morpholpgique

De point de vue hydrologique Il périmètre de bougara appartient au bassin de l'oued Ouassel Moyen , enregistre un taux de mobilisation satisfaisant grace au barrage bougara avec un capacité de 13 Hm³ d'après (ANBT2017) qui destiné à l'irrigation de 1000Ha (dont 900 sont situés dans la wilaya de tissemisilt et 100 Ha dans la wilaya de tiaret de situe dans la wilaya de tiaret sur l'oued naher oussal à 2 km du village du

même nom .

1.3.3 Situation topographique

L'altitude varie de 789 et 837 m dans la partie septentrionale , alors qu'elle peut aller jusqu'à 850 m dans la partie méridionale ou on trouve de arges glacis caillouteux et des collines rocheuses.

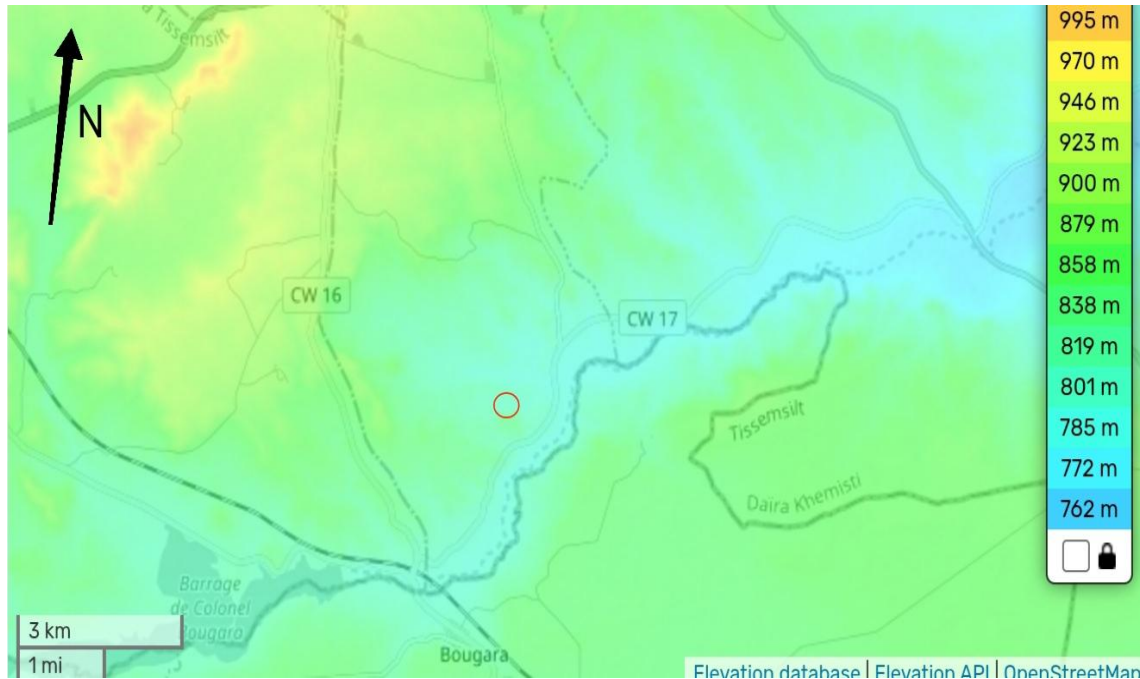


Figure 1.3 – Situation topographique de bougara.

Source: Wep La carte topograhie

1.4 Analyse de la situation climatique

La compréhension des conditions climatiques est cruciale dans tout projet d'irrigation, car elles ont une influence directe sur les besoins en eau des cultures, la disponibilité en eau et la gestion des ressources hydriques. En analysant de manière approfondie le climat régional, il devient possible de développer des stratégies d'irrigation adaptées, en utilisant les technologies les plus appropriées, afin d'optimiser l'utilisation des ressources en eau disponibles et de minimiser les pertes, tout en garantissant une production agricole optimale.

1.4.1 La pluviométrie

La végétation est influencée par la pluviométrie qui est un élément essentiel dans la détermination du climat d'une région. Le climat de la zone d'étude est caractérisé par deux saisons l'une pluvieuse durant la période froide et l'autre sèche durant la période chaude. Comme toutes les régions du bassin méditerranéen les pluies sont males répartit le long de l'année Les données pluviométriques sont portées dans le

tableau ci-dessous

TABLE 1.1 – La pluviométrie de la zone d'étude de station de tissemilet .Source : ONID

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
P(mm)	54,41	54,38	51,06	38,15	32,02	10,85	1,85	8,61	24,5	32,34	47,44	51.51

Selon le tableau n°I.1, le régime pluviométrique de la région de bougara révèle une saison sèche s'étendant de juin à août, où les précipitations moyennes varient de 3 à 10 mm. En revanche, les autres mois connaissent des pluies abondantes, avec des précipitations allant de 30 à 55 mm.

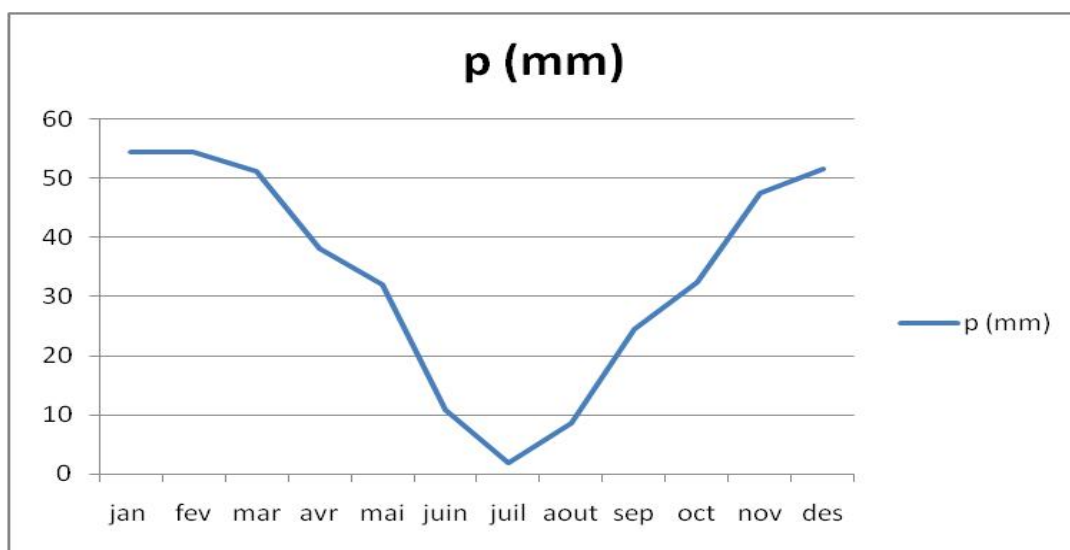


Figure 1.4 – Répartition de pluie moyenne mensuelle en mm

1.4.2 La température

La synthèse des températures enregistrées durant un période montrent que la température minimale moyenne est de 1.47°C correspond au mois de Janvier qui est le mois le plus froid. Le mois le plus chaud est Juillet avec une température maximale moyenne de 36.64°C

TABLE 1.2 – Les températures moyennes mensuelles Station de Tissemilet ; ONM 2019

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annee
Tmin°C	1.47	2.03	4.76	5.75	9.51	14.64	17.68	17.87	14.23	10.93	5.41	2.34	8.89
Tmoy°C	6.35	6.91	10.33	12.99	17.45	23.66	27.19	26.88	21.78	17.65	10.77	7.15	15.76
Tmax°C	11.64	12.34	15.91	20.24	25.55	32.63	36.64	35.88	29.34	24.37	16.14	11.67	22.72

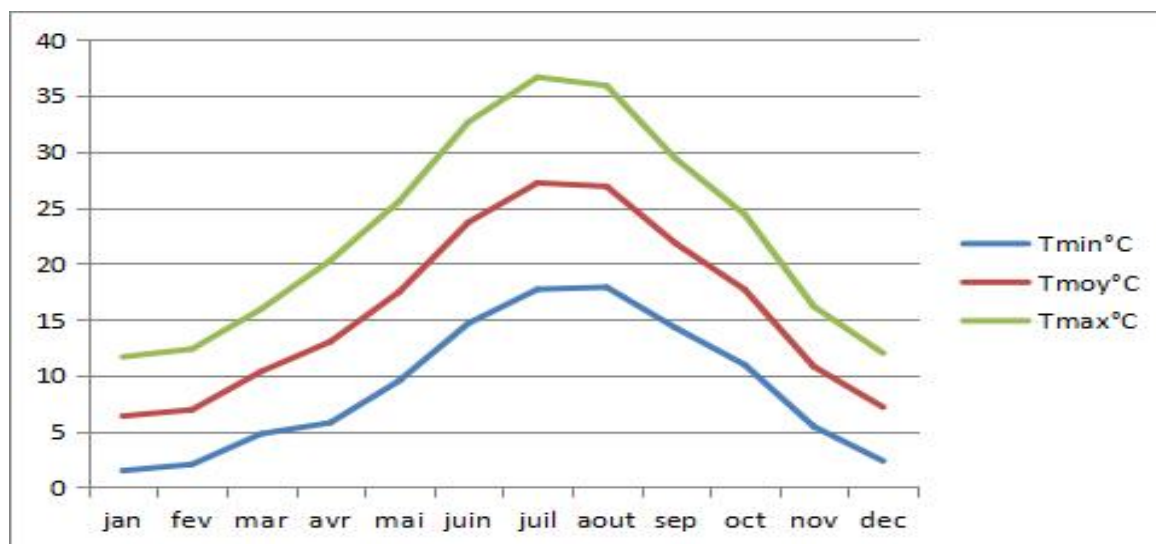


Figure 1.5 – Les températures moyennes mensuelles

1.4.3 Le Vent

Le vent dominant de la zone d'étude a une direction nord-ouest. Sa direction et son intensité ont une grande importance dans la détermination du climat. Le sirocco est remarqué durant la saison estivale.

TABLE 1.3 – Les vitesses moyennes mensuelles du vent; ONID

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
Vent (Km/h)	11.31	12.34	15.94	15.15	17.5	18.58	16.7	14.15	12.89	11.98	12.12	11.958

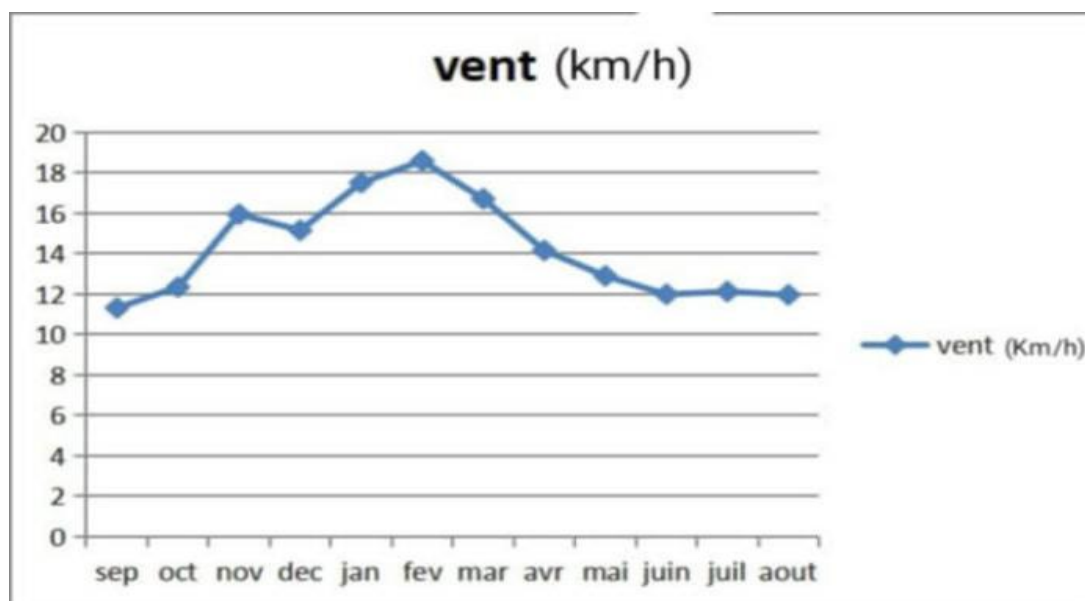


Figure 1.6 – Les vitesses moyennes mensuelles des vents (km/h)

1.4.4 L'humidité relative

Cela concerne le rapport entre la pression de vapeur réelle et la pression de vapeur saturante. L'humidité dans la région varie de manière significative entre les saisons hivernale et estivale.

TABLE 1.4 – L'humidité relative moyenne mensuelle (pour cent) ; ONID

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
Hum moy	52.42	60.92	72.2	79.78	77.99	77.2	72.84	64.76	57.83	46.14	35.81	38.21

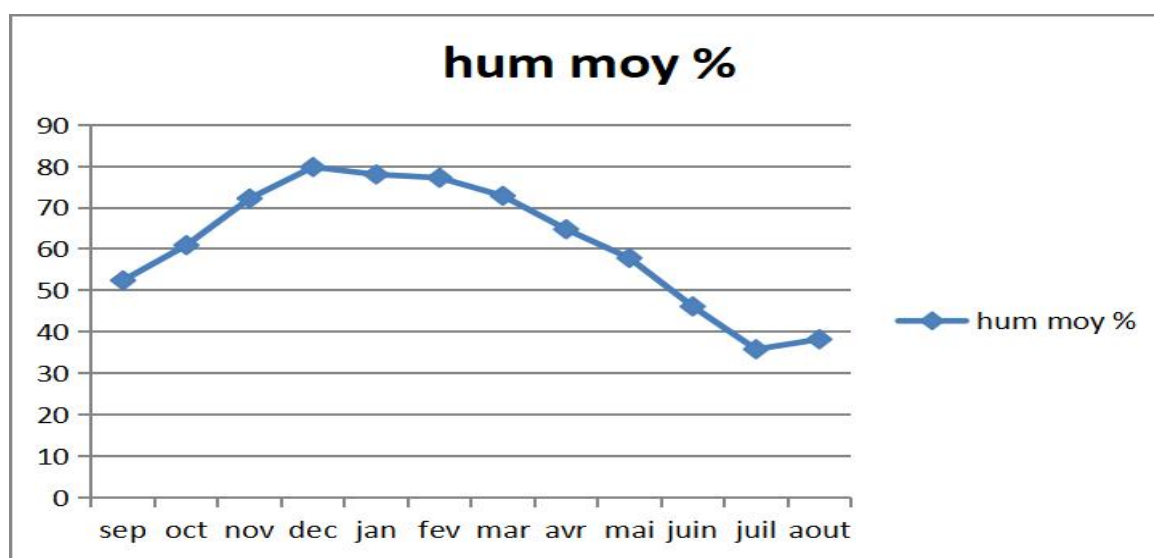


Figure 1.7 – Evolution de l'humidité moyenne mensuelle en pour cent

1.4.5 La Gelée

L'altitude et l'exposition de la région déterminent la présence de la gelée. Cette dernière est remarquée dès le mois de décembre. La gelée tardive qui peut durer jusqu'au mois d'avril est l'un des principales causes de destruction des récoltes.

1.4.6 Neiges

La neige représente une source d'eau non négligeable pour le sol et les végétaux dans le périmètre agricole de Tissemsilt. Elle tombe surtout en hiver avec une moyenne de 06 jours/ans.

1.5 Calcul des indices Agro-météorologiques

Les indices agro-météorologiques permettent de préciser l'impact des précipitations et de la température sur le type de climat, ainsi que les interactions entre les différentes variables climatiques et leur influence sur les plantes. Dans le cadre de notre étude, nous distinguons les trois indices suivants :

1.5.1 Indice d'aridité de Martonne

L'indice d'aridité de Martonne est donné par la relation suivante

$$IA = P/(T + 10) \quad (1.1)$$

Avec :

IA : indice d'aridité de Martonne.

P : pluie moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en (°C)

AN :

$$IA = 407.12/(15.76 + 10) = 15.80 \quad (1.2)$$

Les limites des zones climatiques d'après l'indice " De Martonne " sont données dans le tableau suivant :

TABLE 1.5 – Indice d'aridité de Martonne

Valeurs de IA	Type de climat	Irrigation
IA < 5	Désertique	indispensable
5 < IA < 10	très sec	indispensable
10 < IA < 20	sec	souvent indispensable
20 < IA < 30	relativement humide	parfois utile
IA > 30	humide	inutile

Donc : La région de Bougara a un climat sec et il faut souvent irriguer.

1.5.2 Quotient Ombrothermique d'Emberger

Cet indice a pour but de déterminer l'étage bioclimatique, il est calculé par la formule suivante :

$$Q = (2000 * P)/(M^2 - m^2) = (2000 * 407.12)/((273.15 + 36.64)^2 - (273.15 + 1.47)^2) = 39.62 \quad (1.3)$$

Avec :

Q : coefficient Ombrothermique d'Emberger.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des températures maximales (Kelvin).

m : moyenne des températures minimales (Kelvin)

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

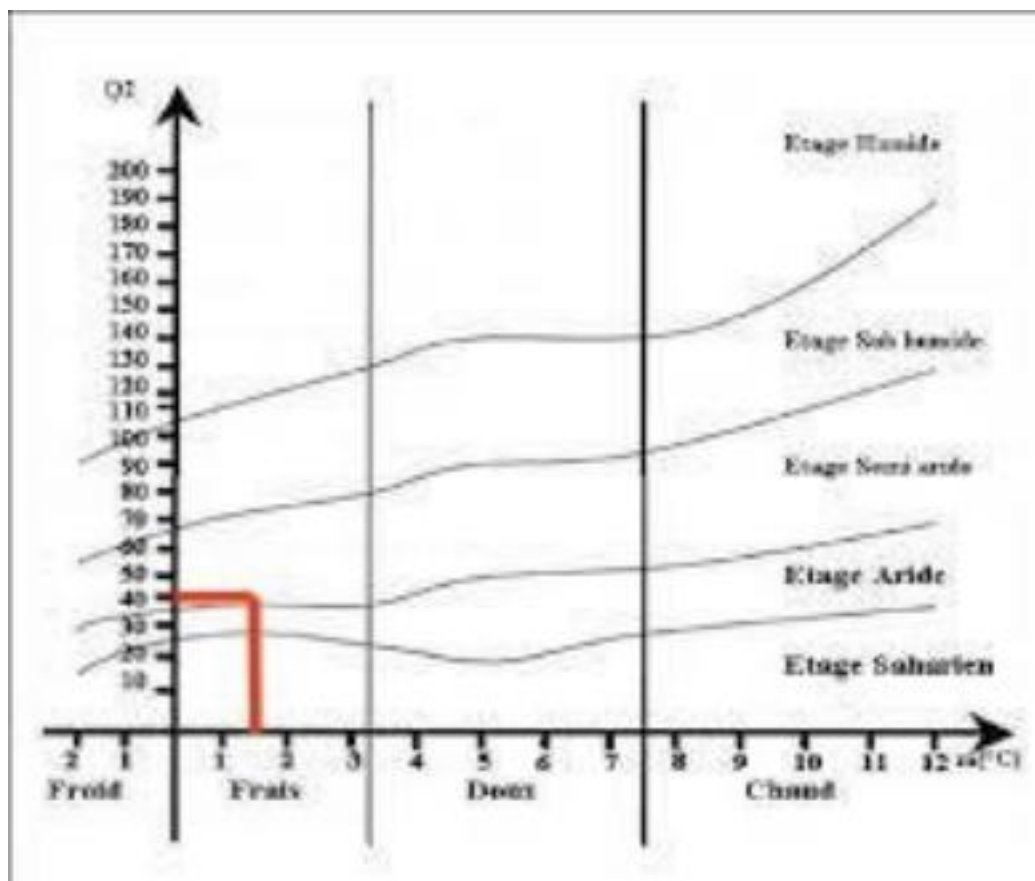


Figure 1.8 – le diagramme bioclimatique d'Emberger

Selon le diagramme précédent le climat de la région de Bougara est semi-aride avec hiver frais.

1.5.3 Indice de Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen ont conçu des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche au cours de l'année. Les mois secs sont caractérisés par une courbe des précipitations qui se trouve en dessous de celle des températures moyennes.

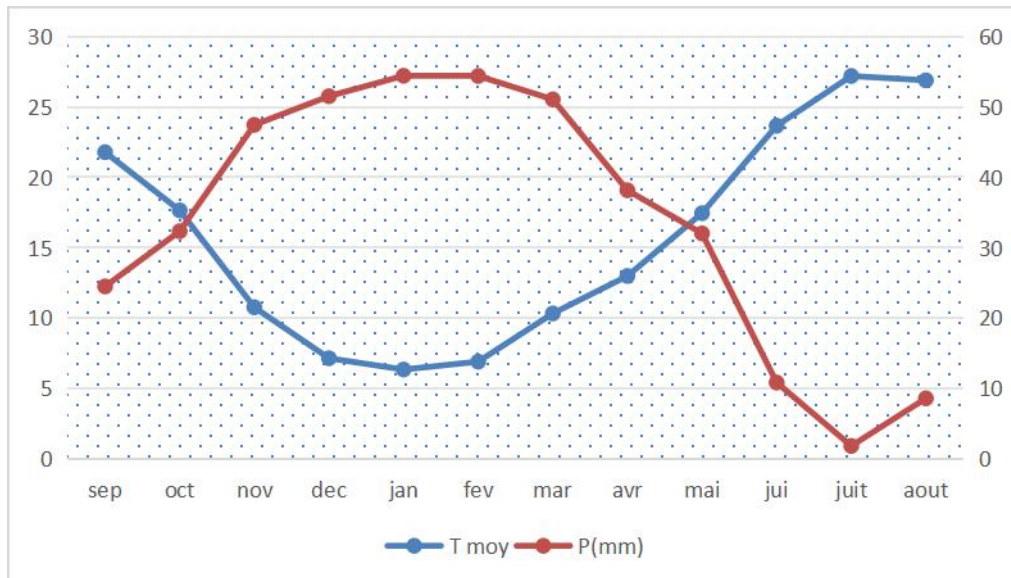


Figure 1.9 – le digramme ombrothermique de Gaussen

Selon le graphe ombrothermique de Gaussen la saison humide dans la région de BOUGARA s'étale durent la période de Octobre à Mai, et la saison sèche du Mai jusqu'à la octobre.

1.6 Etude socio-économique et importance de l'agriculture

Les terres agricoles occupent près de 56% de la superficie total soit environ 179 243.90 ha. Cette potentialité est cependant sous utilisée parce que les cultures conduites en irrigué demeurent insignifiants, se limitant au maraichage (149ha), à l'arboriculture fruitière (717.35ha) et à la viticulture (22ha) ; ce qui donne en superficies irriguées par la PMH, un totale de 790.35 ha De même la jachère persiste sur d'importantes superficies, elle occupe 39% de la S.A.U, soit 69 774 ha. Dans la zone d'étude la superficie agricole utile (S.A.U) occupe 10.32% de la superficie total des terres agricoles de la wilaya soit environ 18 507 ha.

Conclusion

Le périmètre de Bougara, situé dans la wilaya de Tissemsilt, présente un grand potentiel de développement agricole grâce à la disponibilité de terres fertiles et à la proximité du barrage de Bougara qui constitue une source importante en eau d'irrigation.

Cependant, la zone reste marquée par un climat semi-aride, caractérisé par une pluviométrie faible (environ 400 mm/an) et des étés chauds et secs, ce qui limite la production en agriculture pluviale. Ainsi, la mise en place d'un système d'irrigation adapté et la bonne gestion des ressources hydriques représentent des conditions essentielles pour améliorer la productivité agricole et assurer un développement durable du périmètre.

CHAPITRE 2

RESSOURCES EN EAU RESSOURCES EN SOL

Introduction

Lors de l'étude pour déterminer un périmètre d'irrigation, il était essentiel de prendre en compte à la fois l'eau et le sol. Cela nécessitait une évaluation de la structure et de la texture du sol, ainsi que de la salinité de l'eau d'irrigation et du sol. Ces éléments ont un impact direct sur le choix des cultures et des systèmes d'irrigation, permettant ainsi d'optimiser les rendements du périmètre. Dans ce chapitre, nous analyserons en détail les propriétés du sol de notre périmètre, ainsi que les caractéristiques de l'eau destinée à l'irrigation dans la région de Bougara.

2.1 Ressources en eau

Les besoins en eau d'irrigation pour la zone bougara ; alimentée par le barrage bougara ; la capacité de la retenue est de 13 millions de m³ à la cote retenue normale ; située dans la wilaya de tiaret et qui est destinée à l'irrigation de 1000 ha (dont 900 sont situés dans la wilaya de tissamssilt et 100 dans la wilaya de tiaret)

2.1.1 Barrage bougara

Le barrage du colonel Bougara est situé en aval du barrage Dahmouni sur le même cours d'eau de Nhar Ouass avec le taux de régularisation de 61 %.

2.1.2 Qualité d'eau de barrage bougara

Avant de recourir à l'eau pour l'irrigation, il est nécessaire de mener des analyses afin d'évaluer ses différentes propriétés. Ces analyses sont cruciales pour déterminer la qualité de l'eau et son aptitude à être utilisée dans le domaine agricole. Les résultats des analyses de l'eau provenant du barrage Bougara sont répertoriés dans le tableau ci-après :

TABLE 2.1 – Résultats d'analyse de l'eau de barrage bougara. Source : ONID

Paramètre	Résultats
PH	7.8
Sulfates	213 mg/l
Carbonates	00 mg/l
Bicarbonates	155 mg/l
Potassium (K ⁺)	13 mg/l
Sodium (Na ⁺)	152 mg/l
Calcium (Ca ⁺⁺)	86.22 mg/l
Magnésium (Mg ⁺⁺)	259 mg/l
conductivité à 25°C	1800µmS/cm

2.1.3 Classification des eaux d'irrigation :

2.1.3.1 classification d'USSL 1954 :

La classification de l'USSL (United States Salinity Laboratory) de 1954 est un système utilisé pour classer les eaux d'irrigation en fonction de leur teneur en sels dissous, car ces derniers peuvent affecter négativement la croissance des plantes et la qualité des sols. Cette méthode repose sur deux critères principaux :

1. La salinité de l'eau, mesurée par sa conductivité électrique (CE), exprimée en décisiemens par mètre (dS/m).
2. Le taux de sodium, déterminé par la proportion de sodium dans les cations échangeables, et exprimé par l'indice SAR (Sodium Absorption Ratio).

On a : CE = 6.3 ms/cm = 6300 µmS/cm.

$$SAR = \frac{Na^+}{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}} = \frac{6.91}{\frac{4.811 + 21.58}{2}} = 1.92 \text{mq/l} \quad (2.1)$$

$$Na^+ (\text{mq/l}) = \frac{Na^+ (\text{mg/l}) * Valance}{massemolaire} = \frac{152 * 1}{22} = 6.91 \text{mq/l} \quad (2.2)$$

$$Ca^{++}(mq/l) = \frac{Ca^{++}(mg/l) * Valance}{massemolaire} = \frac{86.22 * 2}{40} = 4.811mq/l \quad (2.3)$$

$$Ma^{++}(mq/l) = \frac{Ma^{++}(mg/l) * Valance}{massemolaire} = \frac{259 * 2}{24} = 21.58mq/l \quad (2.4)$$

En utilisant le diagramme d'USSL 1954 suivant :

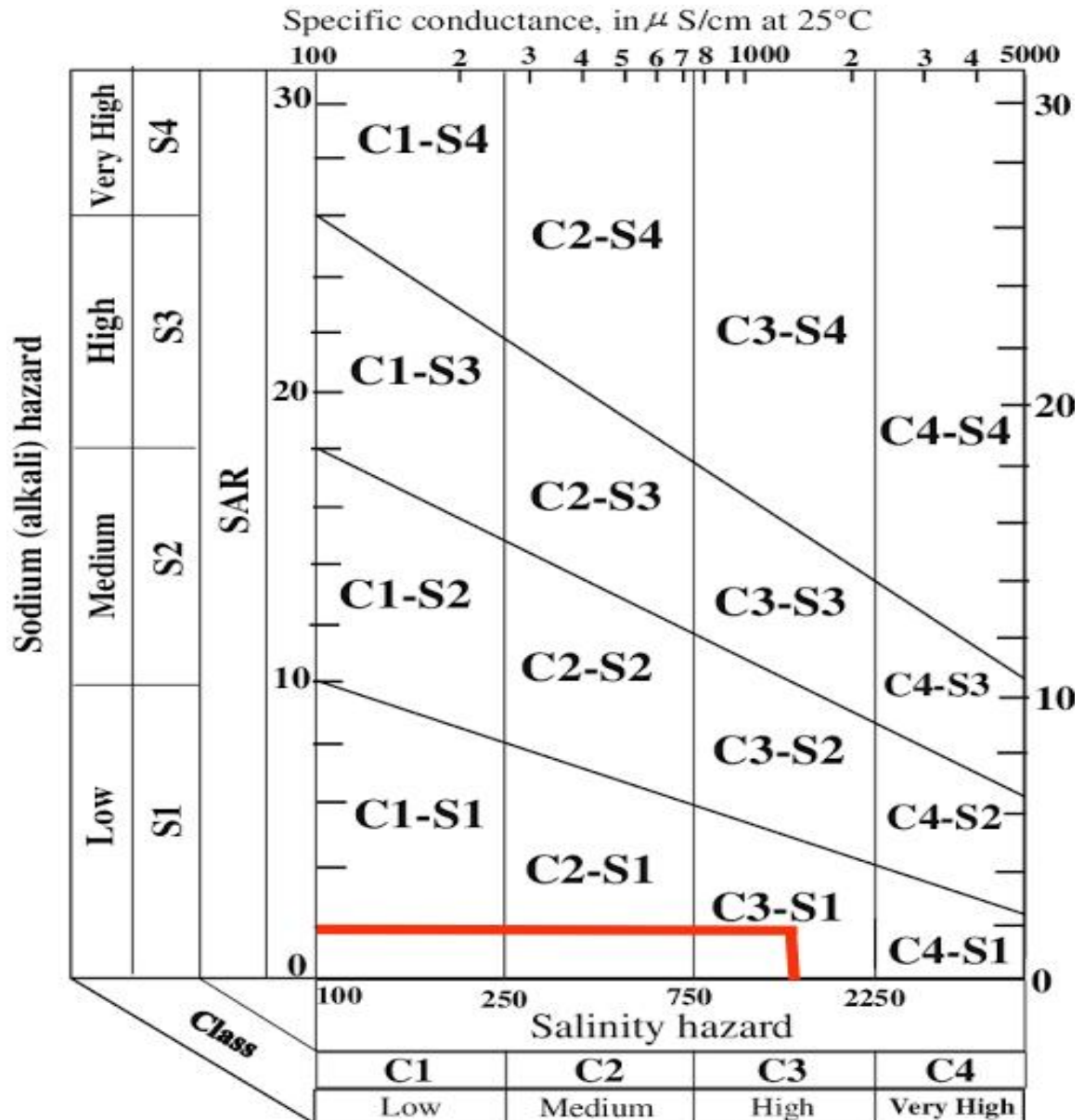


Figure 2.2 – Diagramme USSL 1954 de classification des eaux

Selon le diagramme précédent les eaux de barrage bougara sont de la classe C3S1 : salinité élevée, alcalinité faible

2.1.3.2 Les autres paramètres

- Le PH des eaux du barrage bougara est égal à 7.8 donc elles ne présentent aucun risque d'acidité ou basicité.

- Le risque de carbonate et bicarbonate est déterminé par le RSC (Residual Sodium Carbonate). Dans ce cas :

$$RSC = (CO^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++}) = 155 - 86.22 - 259 = -190.22 \text{mq/l.} \quad (2.5)$$

Ce qui est inférieure à la valeur de 1.25 méq/l. Ainsi, les eaux du barrage bougara ne présente pas de risque de carbonate et de bicarbonate. -Les concentrations de potassium et sulfate sont conformes aux normes :

$$SO_4^{2-} = 4.44 \text{mq/l} < 7 \text{mq/l} \quad (2.6)$$

et

$$K^+ = 13 \text{mg/l} < 50 \text{mg/l.} \quad (2.7)$$

2.2 Ressources en sol

Dans le cadre d'une étude d'aménagement hydro-agricole, l'analyse des sols est essentielle. Elle permet de déterminer les caractéristiques principales de la terre qui influencent directement les cultures. En effet, la terre constitue le milieu dans lequel les plantes se développent, et ses propriétés ainsi que sa répartition géographique influencent le choix des cultures, leur emplacement optimal et le système d'irrigation à adopter. Les caractéristiques suivantes doivent être prises en compte :

- La profondeur : Elle permet d'évaluer l'épaisseur de la couche disponible pour le développement des racines.
- La texture : Cela fait référence à la composition granulométrique du sol et aux proportions de chaque fraction, qui influencent sa capacité à retenir l'eau.
- La structure : Il s'agit de l'organisation des particules du sol et de son impact sur la perméabilité ainsi que sur la capacité de rétention d'humidité.

2.2.1 Classification des sols

La classification française des sols (CPCS , 1967)[3] regroupe les sols présentant des caractéristiques similaires . Cette classification repose sur plusieurs critères , tels que le degré de développement des sols , le mode d'altération des matériaux , la composition de la matière organique , ainsi que le pédoclimatique au niveau de la classe des sols. Pour notre périmètre, nous avons identifié la classe des sols suivante :

Profondeur en cm		0-30cm	>30cm
Symbole		H1	H2
texture		Limono-Argileuse	Limono-argileuse
Granulométrie en %	Argile	30.27	30.19
	Limon	40.67	65.18
	Sable	29.06	4.63
pH		8.00	8.36
Conductivité électrique : CE			
- Diluée		0.38	14.75
- P. saturée		1.708	1.718
En mmhos/cm			
Perméabilité		0.55	1
TDS		0.24	0.25
Calcaire total en %		40.0	43.20
Calcaire actif en %		10.00	10.75
Matière organique en %		0.69	0.43
Capacité d'échange cationique : CEC		5	7.5
En meq/100g de sol			
Azote totale		0.08	0.05
Phosphore assimilable : P_2O_5		220.92	96.51
En ppm			
Potassium en ppm		166.67	41.67
Sodium en ppm		280.00	360.00

2.2.1.1 Caractéristiques physiques du sol

La couleur

La couleur de la plupart des échantillons prélevés s'étale entre la couleur brun foncé , brun jaunâtre et brun claire.

La structure du sol

L'ensemble de propriétés telles que la perméabilité , la porosité et la cohésion est étroitement lié à la structure du sol .Lors de la description des profils , Les horizons présentent des structures polyédriques , parfois avec des structures grumeleuses dans certains horizons superficiels .Par ailleurs, on observe des structures polyédriques subangulaires de moyenne à fine , parfois peu nettes avec une tendance à la masse , ce qui rend le sol poreux . De plus , on note la présence de nombreuses racines fines et moyennes dans l'horizon de labour .

Texture

La détermination de la texture des sols est fondamentale pour comprendre et optimiser divers aspects de la gestion des terres , de l'agriculture à l'ingénierie , en passant par la conservation des ressources naturelles . Elle permet de préciser les proportions relatives des diverses tailles de particules d'un sol donne .L'analyse granulométrique a montré que les sols possèdent des textures sableuses , la majorité des sols en une texture limoneuse à argileuse

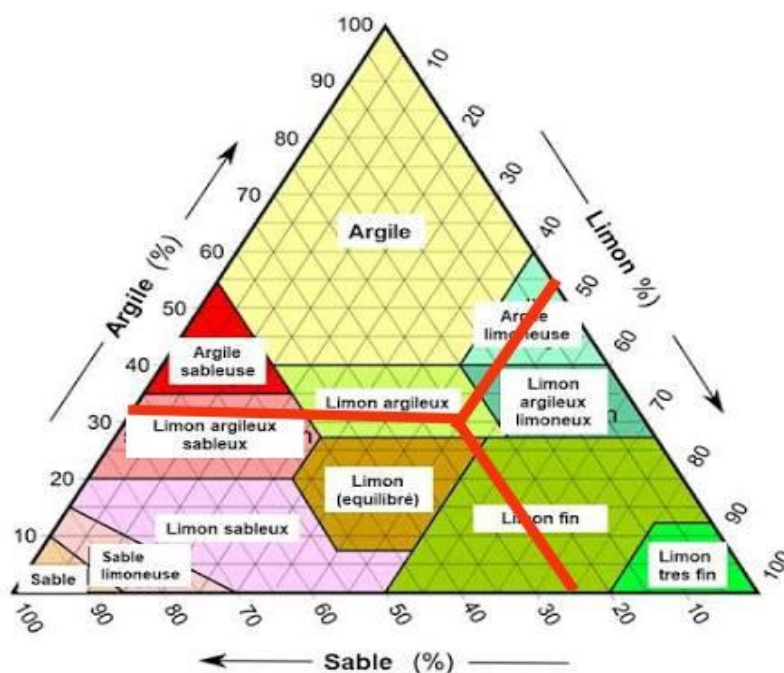


Figure2.3 :Triangle des textures des sols

2.2.1.2 Caractéristiques chimiques du sol

La salinité

Les échantillons prélevés se caractérisent généralement par une salinité faible à moyenne , présentant des valeurs allant de 0.11 à 3.14 ms/cm .Il est important de noter que la majorité de ces échantillons affiche des valeurs inférieures à 1 ms/cm.

Le calcaire

La détermination des valeurs de calcaire actif dans le sol revet une importance capitale en raison de son impact sur l'ajustement du pH du sol et la gestion de la fertilité . Les résultats analytiques comme suivant :

Le périmètre est identifiée comme une zone de sol calcaire.Les valeurs de calcaire actif dans cette zone varient de 9.55 à 14.25%. Ces valeurs indiquent la présence de calcaire actif dans les sols, ce qui peut contribuer à neutraliser l'acidité du sol et influencer positivement la fertilité.

pH

Le pH du sol influence la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Un pH adéquat favorise l'absorption des nutriments essentiels. En ajustant la teneur en calcaire actif, on peut influencer positivement cette disponibilité et améliorer l'efficacité des engrais. Dans tous les horizons des profils décrits, les valeurs de pH varient entre 7,24 et 8,93. Ce qui correspond à des horizons alcalins à moyennement alcalins.

2.2.2 Interprétations des résultats

Lors de l'exploration du terrain, l'étude des résultats d'analyse des sols de périmètre, on peut dire que ces sols sont profonds (> 80 cm) à texture fine (limono-argileuse à argileuse) ce qui leurs confère une perméabilité faible à nulle permettant ainsi un mauvais drainage. Le pH de ces sols est fortement alcalin, le taux de calcaire total est relativement moyen dans la majorité des échantillons analysés alors que le taux de calcaire actif est faible . Aussi, le taux de matière organique est très faible ,des taux très faibles en éléments fertilisants du fond, tels que l'azote (N), le phosphore (P), et le potassium (K).

2.2.3 Paramètres hydrodynamiques des sols

les propriétés hydrodynamiques des sols de bougara tels que la capacité de champ(H_{cc}) , le point de flétrissement permanent (H_{pf}) sont données dans le tableau suivant :

TABLE 2.2 – Caractéristiques hydrodynamiques des sols limono-argileux

Paramètre	Valeur moyenne
Texture	Limoneux-argileux
Densité apparente ρ_a en g/cm^3	1.4 - 1.5
Perméabilité K en m/s	$(2.5-3) \cdot 10^{-5}$
Humidité à la capacité au champ H_{pf} (%)	26 - 28
Humidité point de flétrissement H_{cc} (%)	14 - 15

2.2.4 Les aptitudes culturales

L'étude de l'aptitude culturelle des sols a pour objectif d'évaluer la capacité des sols à soutenir la croissance des cultures.

L'étude minutieuse des facteurs limitant (profondeur, texture, salinité et inclusions) a permis d'envisager les spéculations agricoles suivantes :

- Céréales et fourragères : Blé dur, blé tendre, orge grain, orge en vert, maïs, vesce-avoine.
- Maraîchage : Pomme de terre, tomate, aubergine, carotte, courgette, salade, petit pois, haricot, poivron, chou-fleur, navets, fenouil, oignon, ail.
- Arboricultures : Agrumes, olivier, pommier, amandiers, figuiers.

2.3 Calcul de la pluie

Déterminer l'apport pluviométrique revêt une importance cruciale dans la planification et la gestion de projets d'irrigation durables, en permettant d'évaluer la disponibilité en eau naturelle pour l'irrigation et ainsi de minimiser les coûts associés

2.3.1 Choix de la station

L'observation des précipitations des plains des BOUGARA se fait par la station météorologique de TISSEMSIELT qui a les caractéristiques suivantes :

TABLE 2.3 – Caractéristiques de la station météorologique TISSEMSIELT. Source : (ONID)

Nom de la station	Coordonnées lambert (km)		Altitude (m)	Période d'observations	Nombre d'années
	Latitude	Longitude			
TISSEMSIELT	35°36'	1°48'	866	1988-2018	27

2.3.2 Données de précipitation

Les données pluviométriques de la station de TISSEMSIELT de la durée de 1988-2015 sont présentées dans le tableau suivant :

TABLE 2.4 – Précipitation moyenne mensuelles de la station de TISSEMSIELT (1988-2015)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
1988/89	18.9	9.5	57.7	203.5	5.3	117.9	33.6	53.8	14.2	4.2	1.2	21.6	541.4
1989/90	7.6	12.1	0	80.3	113.2	76.4	20.9	55.4	58.5	61.6	0	0.7	486.7
1990/91	9.2	96.3	109.2	42.5	0	33.2	20.7	11.1	1.7	0	2	1.5	327.4
1991/92	0	2.6	53.5	59.8	64.6	36.3	44.8	37.5	51.1	22.4	0.2	0.3	371.1
1992/93	26.6	112.2	63	41.9	52.5	94.5	82.1	4.5	80.5	0	0	30	587.8
1993/94	25.2	3	68	80.4	137.2	121.6	116.3	15.8	8.1	8.3	0	1.8	585.7
1994/95	29.3	48.1	73.4	52.3	127.3	211.4	13.3	0	4.6	12.1	0	0	642.0
1995/96	6.8	47.1	94.6	39.5	30.8	19.7	40.1	35.6	41.9	12	0	0	368.1
1996/97	17.2	49	25.1	106	16.1	51.1	70	61.8	15	34	6.9	33.5	485.7
1997/98	27.9	11.5	39.4	40.9	91.4	0	72.6	57	75.6	4.5	18	2.5	441.3
1998/99	34.1	9.2	59.7	74	66	73	180	26.6	13.6	3.5	4.2	23.6	567.5
1999/2000	15.6	72.2	24.4	12.6	143	15.3	91.3	93	63.3	13.5	17.2	3.6	565.0
2000/2001	15.4	36.5	32.7	57.8	8.7	61.2	22.9	55.3	57.3	0	0	23.7	371.5
2001/2002	30	41.2	40.2	63.1	57.8	81.1	4.4	28.4	9.6	0	2.8	18.5	377.1
2002/2003	108	73.6	14	48.9	87.4	26	67.6	18.4	11.3	12.9	0.2	13.9	481.7
2003/2004	13.2	78.5	28.5	56.8	115.5	181	97	88.9	34.3	27.4	40.2	11.2	772.5
2004/2005	21.9	43.6	22.3	73.7	82.8	13.3	1.5	154.3	45.7	0	0	17.8	476.7
2005/2006	76.5	77.8	159.4	68	25.7	40.9	15.5	72.4	143.5	3.6	0	18.1	701.4
2006/2007	32.5	37.2	40.3	41.2	140.5	92.4	123.6	1.5	4.6	1.6	0	14.2	529.6
2007/2008	23.3	46.2	56.4	174.3	1.3	0	4.9	52.7	9.9	0	0	8.9	377.9
2008/2009	36.9	55.1	124.8	97.3	239.5	49.3	3.4	44.5	38.5	1.6	0	5.6	696.5
2009/2010	36.9	31.4	52	56.9	17	32.2	25.5	65.6	24.6	3	0	14.2	359.3
2010/2011	4.6	21.1	121.3	42.8	222.9	152.8	11.4	65.2	15.2	22.6	24.8	9.4	714.1
2011/2012	9.4	59.1	114.2	116.7	41	57.5	49.8	56.2	73.4	3.7	11.5	15.4	608.2
2012/2013	26.7	23.4	47.2	89.6	94.1	93.8	41.1	29.5	10.2	4.1	0	0	460.6
2013/2014	14.4	73.9	13.7	16.7	53.2	40.3	34.9	33	67	5.2	17.4	1.4	371.1
2014/2015	27.5	2.1	0.3	25.2	20.6	43.3	68	48.4	13.7	0.5	2.2	25.6	277.4

La serie des pluies moyennes annuelles de la station météologique de TISSEMSIET a les caractéristique suivantes :

TABLE 2.5 – Caractéristiques de la série pluviométrique de pluies annuelles

Paramètre	résultat
Moyenne	519
Médiane	508
Ecart-type	137
Coefficient de variance	0.263
pluie moyenne annuelle maximale	772
pluie moyenne annuelle minimale	277

2.3.3 Tests d'homogénéités

il arrive que la pluviométrie présente des interruptions dans les relevés , ce qui rend leur utilisation difficile . On a choisi le test de Mood pour vérifie l'homogénéité de notre série .

Le test de Mood est basé sur classement de l'échantillon par ordre croissant . La médiane M est une constante de telle sorte que 50% de X_i soient inférieures et et 50% des X_i lui soient supérieures.

Nous remplaçons la série des valeurs non classées par une suite de signes : un signe + pour chaque valeur $X_i > M$, et signe - pour chaque valeur $X_i < M$. En suite , nous calculons les deux quantités suivantes :

N_s : nombre totale de séries de + ou de -

T_s : taille de la plus grande série de + ou de - . Les condition du teste sont les suivant :

$$\frac{1}{2}(N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) < N_s < \frac{1}{2}(N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1}) \quad (2.8)$$

$$T_s < 3.3(\log 10N + 1) \quad (2.9)$$

on classe les résultats dans le tableau suivant sachant que M= 508

TABLE 2.6 – Résultat du test Mood

P_{moy}	541.4	486.7	327.4	371.1	587.8	585.7	642	368.1	485.7	441.3
	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-
P_{moy}	567.5	565	371.5	377.1	481.7	772.5	476.7	701.4	529.6	377.9
	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
P_{moy}	696.5	359.3	714.1	608.2	460.6	371.1	277.4			
	+	-	+	+	-	-	-			

Donc :

$$\frac{1}{2}(N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) = 10.22 \quad (2.10)$$

et

$$\frac{1}{2}(N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1}) = 20.78 \quad (2.11)$$

$$N_s = 15 \rightarrow 10.22 < 15 < 20.78 \quad (2.12)$$

et ainsi :

$$3.3(\log 10N + 1) = 11.47 \rightarrow T_s = 3 \quad \text{et} \quad 3 < 11.47 \quad (2.13)$$

Tant que les condition sont vérifiées la série est homogène .

2.3.4 L'ajustement des pluies annuelles

La correction des données pluviométriques annuelles est cruciale lors de l'analyse de la pluviométrie , car elle vise à rectifier les séries chronologiques de précipitations en éliminant les inhomogénéités . L'objectif est l'obtenir des donnée fiables pour l'étude du climat et de l'hydrologie , et cette correction est effectuée en utilisant la loi normale ou la loi lognormale , souvent à l'aide du logiciel HYFRAN .

2.3.4.1 L'ajustement par la loi normale

Cette approche statistique est employée pour examiner les données de précipitations qui suivent une distribution en forme de cloche , symétrique autour de la moyenne , connue également sous le nom de la loi Gauss ou de distribution normale . Voici la formule mathématique de cette loi

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (2.14)$$

Avec : U = variable réduite de Gauss égale à

$$U = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \quad (2.15)$$

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

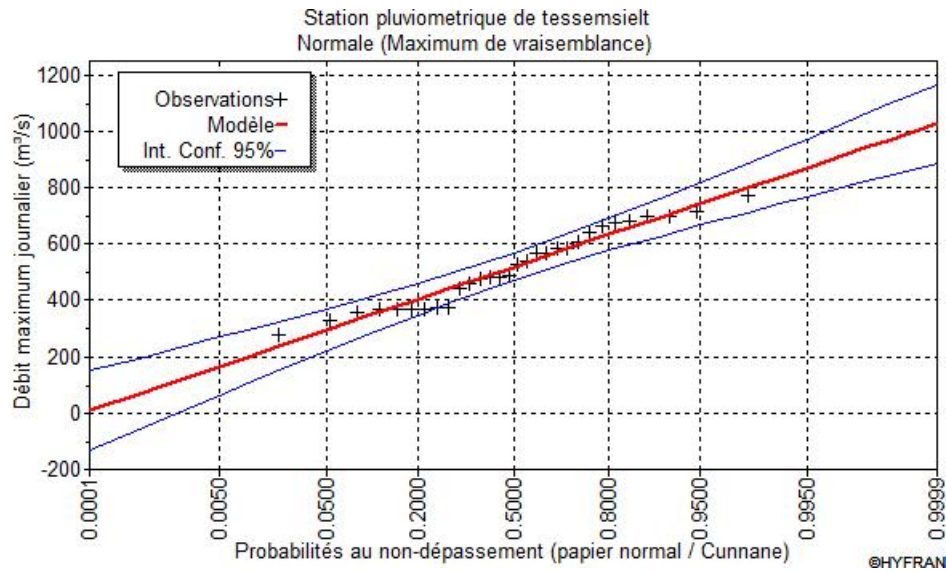


Figure 2.4 – Ajustement des pluie annuelles à la loi normal

2.3.4.2 L'Ajustement par la loi lognormal

La loi lognormale représente une distribution de probabilité continue appliquée pour modéliser des variables positives avec des variations relatives relativement stables, ce qui signifie que le logarithme de ces variables suit une loi normal. Voici la formule de cette loi :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (2.16)$$

$$\text{Avec : } U = a * \log(x - x_0) + b \quad (2.17)$$

Les résultats obtenus sont les suivantes :

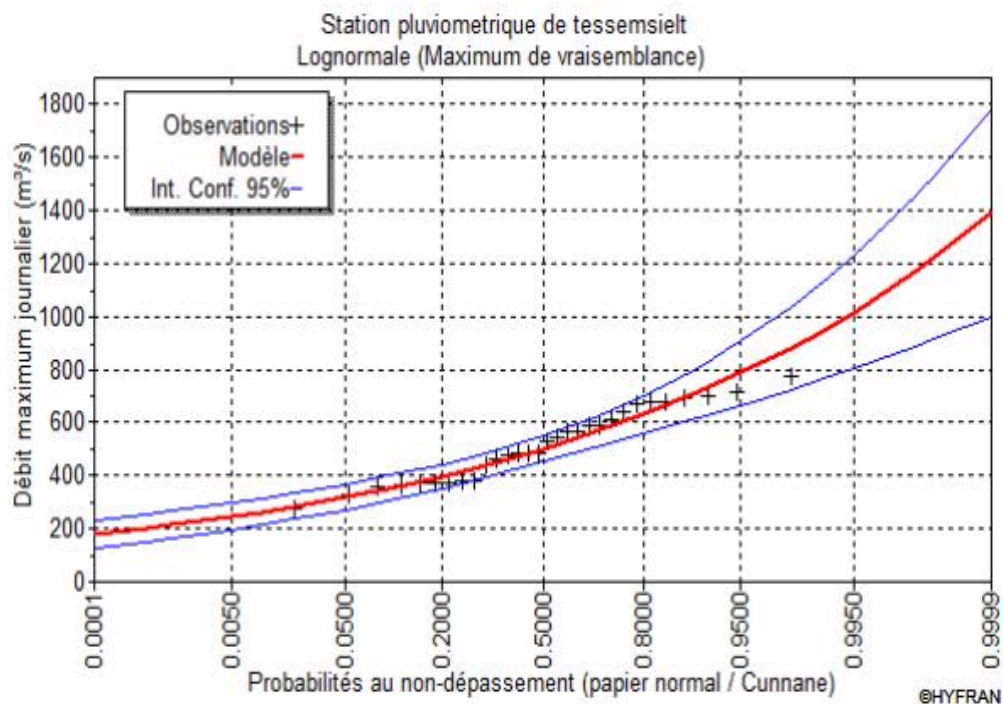


Figure 2.5 – Ajustement des pluie annuelles à la loi lognormal.

grâce à HYFRAN on peut automatiquement obtenir les données suivant :

TABLE 2.7 – L'Ajustement à la loi lognormal.

T	Q	XT	Ecart-type	intervalle de confiance (95%)
10	0.9	712	48.6	617-807
5	0.8	631	37	558-703
2	0.5	501	25.1	451-550
1.25	0.2	397	23.3	352-443

Et pour : P(80%) On a XT = 397 ; P(50%) On a XT = 501

2.3.5 Test de fiabilité des ajustements

Pour choisir la meilleure loi d'ajustement pour les précipitations annuelles; il est nécessaire que les deux ajustements passent par un test de validité . Dans notre étude , nous avons choisi d'utiliser le test du KHI carré pour un risque de $\alpha = 5\%$. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant (HYFRAN) :

TABLE 2.8 – Valeur de KHI carré HYflRAN

Paramètre χ^2 calculé	la loi normal 6.4	la loi lognormal 4.53
Propabilité	0.1712	0.3386
Degré de liberté	4	4
Nombre des classes	7	7

Puis on détermine le χ^2 théorique de la table de Pearson

Donc χ^2 théorique = 9.48

On sait que :

à la loi normale : χ^2 calculé = 6.4 < χ^2 théorique

à la loi log-normal : χ^2 calculé = 4.53 < χ^2 théorique

Les valeurs de $P(\chi^2 \text{ calculé})$ étant supérieures à 5% , cela indique que les deux ajustements sont adéquats pour notre série . Nous choisissons la loi log-normal , car la valeur de χ^2 calculé de la loi lognormal < χ^2 calculé de la loi normale, ce qui signifie que les fréquences observées sont plus proches des fréquences attendues

2.3.6 Détermination de l'année de calcul

Après que nous avons choisi la loi log-normal il faut calculer les pluie moyennes mensuelles de quatre années sur cinq ou de fréquence 80% .

$$P_{\text{moy}80\% \text{ de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique } 80\% \text{ annuelle}}}{P_{\text{théorique } 50\% \text{ annuelle}}} \quad (2.18)$$

Les résultats de l'ajustement par la loi normale sont donnés par le tableau suivant :

TABLE 2.9 – Résultats de l'ajustement des pluies annuelles par la loi log-normal

T	Q	XT	Intervalle de confiance
1.25	0.2	397	352-443
2	0.5	501	451-550

Donc :

$$P_{\text{moy}80\% \text{ de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{397}{501} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times 0.792 \quad (2.19)$$

Les pluies moyennes mensuelles deviennent :

TABLE 2.10 – les pluies moyennes mensuelles pour l'année sèche

Mois	sep	oct	nov	des	jan	fev	mar	avr	mia	juin	juil	aout
P_{moy}	20	26	39.4	50	53.4	56	51	45.7	37.6	5.4	3.4	6.2
$P_{\text{moy}80\%}$	15.84	20.59	31.20	39.6	42.29	44.35	40.39	36.19	29.78	4.28	2.69	4.91

Conclusion

Dans ce chapitre intitulé ressources en eau et ressources en sol, on a pu savoir que la texture de notre sol caractérisé par une texture limono-argileuse, et que la qualité de notre eau du barrage bougara est de la classe C3S1 (salinité élevée, alcalinité faible), Qualité d'eau médiocre, nécessite une attention particulier et une analyse microbiologique et bactériologique; Consulter un spécialiste de la qualité de l'eau; car une utilisation continue de cette eau provoque la salinisation du sol Aussi, nous avons analysé les données pluviométriques de la station météorologique de tissemsilt pour calculer les précipitations mensuelles moyennes de l'année sèche. Ces informations sont essentielles pour planifier l'agriculture, gérer les ressources en eau et optimiser les pratiques agricoles dans la région.

CHAPITRE 3

BESOINS EN EAU DES CULTURES

Introduction

La connaissance précise des besoins en eau d'un périmètre est une étape fondamentale dans toute planification d'un aménagement hydro-agricole .

Dans ce chapitre , nous allons procéder à la quantification du volume total des besoins en eau des cultures . Cette évaluation prendra en compte les conditions climatiques , les caractéristiques pédologiques ainsi que la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation des éléments abordés et définis les chapitres précédents.

3.1 Besoins en eau des cultures

Selon Doorenbos et Pruitt (1976) [5], "Le besoin en eau d'une culture correspond à la quantité d'eau nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire , implantée sur une grande surface , dans un sol ne présentant aucune contrainte en matière de disponibilité en eau ou de fertilité , et permettant d'atteindre le rendement potentiel dans les conditions climatiques données . "

La détermination des besoins en eau d'une culture exige une connaissance approfondie des caractéristiques de la plante , ainsi qu'une bonne maîtrise des données climatiques et pédologiques de la région . Ces informations sont essentielles pour estimer la réserve utile en eau du sol (RU) ainsi que la réserve facilement utilisable (RFU) par la plante .

3.2 Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est une combinaison de deux processus :

- L'évaporation du sol : Il s'agit de la perte d'eau à partir de la surface du sol nu ou

d'une surface d'eau libre vers l'atmosphère . Ce processus dépend principalement des conditions climatiques , de la nature de la surface évaporante et de ses caractéristiques physiques .

- La transpiration des plantes : C'est le processus par lequel l'eau absorbée par les racines est transportée jusqu'aux feuilles , puis en partie évaporée à travers les stomates (petits pores situés sur la surface des feuilles). L'eau restante est utilisée dans les processus physiologiques , notamment la photosynthèse .

On distingue trois types d'évapotranspiration :

L'évapotranspiration de référence ET_0 : Elle représente l'évapotranspiration d'une culture de référence (généralement une pelouse bien entretenue) dans des conditions optimales .

L'évapotranspiration potentielle (ETP) :C'est la quantité maximale d'eau que pourrait évapotranspirer une culture si l'eau était disponible en quantité illimitée .

L'évapotranspiration maximale (ETM) :Elle correspond à l'évapotranspiration réelle d'une culture spécifique en bon état végétatif et disposant d'un apport en eau suffisant.

3.2.1 Calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0

Est considérée comme un indicateur clé du développement optimal de la végétation .Elle joue un role essentiel dans l'évaluation de la capacité climatique d'une région à soutenir l'activité agricole. Selon l'Organisation des Nation Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) , l' ET_0 correspond à l'évapotranspiration d'une végétation de référence idéale , disposant d'un accès illimité à l'eau . IL s'agit du taux d'évapotranspiration mesuré sur une surface uniforme de gazon vert (Ray Grass) , d'une hauteur comprise entre 8 et 15cm , en croissance active , couvrant complètement le sol , et ne subissant aucun stress hydrique. L'évaluation de l' ET_0 est une étape fondamentale pour estimer les besoins en eau d'irrigation dans le domaine agricole.

Deux approches permettent d'estimer l' ET_0 :

- Les méthodes directes , basées sur l'utilisation d'instruments de mesure spécialisés ;
- Les méthodes indirectes, qui reposent sur des formules empiriques;

En raison de la complexité et du coût élevé liés à l'installation de dispositifs de mesure directe , il est courant de recourir à des formules de calcul , parmi les plus utilisées on trouve :

- La formule de Turc (1960) ;
- La formule de Thornthwaite (1955) ;
- La formule de Blaey-Criddle (1959) ;
- La formule de Penman ou formule du bilan d'énergie (1948) ;
- La méthode de Doorenbos et Pruitt (1977) , élaborée dans le cadre des travaux de la FAO.

Par ailleurs, la formule de Penman-Monteith, issue de l'évolution de la méthode initiale de Penman, est aujourd'hui la méthode la plus répandue pour l'estimation de l' ET_0 et ce, dans toutes les zones climatiques. Elle est reconnue pour sa fiabilité et sa précision. Cependant, son principal inconvénient réside dans le nombre élevé de paramètres climatiques requis (température, humidité, rayonnement solaire, vent...), lesquels ne sont pas toujours disponibles dans toutes les stations météorologiques. C'est pourquoi les experts de la FAO recommandent la méthode Penman-Monteith (modifiée) comme méthode de référence pour le calcul de l'évapotranspiration de référence.

3.2.1.1 Formule modifiée de Penman-Monteith

La formule FAO Penman-Monteith modifiée a été proposée par Allen et al (1988)[2], en simplifiant l'équation originale de Penman-Monteith. Cette simplification repose sur un certain nombre d'hypothèses, considérant certains paramètres comme constants. Ainsi :

- La flux de chaleur latente de vaporisation (λ) a été fixé à 2.45 MJ/kg;
- La résistance stomatique du couvert végétal (r_s) a été standardisée à 70 s/m;
- La résistance aérodynamique (r_a) a été simplifiée en fonction inverse de la vitesse du vent, selon la relation : $r_a = 208/u$, où u représente la vitesse du vent (en m/s).

La formule FAO Penman-Monteith pour l'évapotranspiration potentielle de référence est :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma_{T+273}^{Cste} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} (e_s - e_a) \quad (3.1)$$

- ET_0 : Évapotranspiration de référence (mm j⁻¹);
- T : Température de l'air (°C);
- u_2 : Vitesse de vent à 2 m au-dessus du sol (m s⁻¹);
- Δ : Rapport entre la différence de pression de vapeur et la différence de température correspondant (KPa °C⁻¹);
- γ : Constante psychrométrique (KPa °C⁻¹);
- R_n : Rayonnement net à la surface du sol (MJ m⁻² j⁻¹);
- G : Flux de chaleur du sol (MJ m⁻² j⁻¹);
- e_s : Pression de vapeur (KPa);
- e_a : Pression de vapeur saturante à la température T (KPa).

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

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

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ET_0 calculés à l'aide du logiciel CROP-

WAT8.0 . Les résultats trouvés pour la station de TISSEMSIELT sont récapitulés dans le tableau suivant :

TABLE 3.1 – Calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de CROPWAT8.0

Mois	Tem moy	Humi	vent	Insolation	Ray	ET_0
	°C	%	m/s	heur	MJ m-2 j-1	mm j-1
Jan	6.3	78	4.8	5	9.1	40.21
Fev	6.9	77	5.2	6	12.1	44.87
Mar	10.3	73	4.6	6	14.9	72.14
Avr	12.9	65	3.9	7	18.6	99.20
Mai	17.5	58	3.6	9	23.0	144.13
Juin	23.7	46	3.3	10	24.9	191.60
Juil	27.2	36	3.4	11	26.0	240.4
Aout	26.9	38	3.3	10	23.3	223.09
sep	21.8	52	3.1	9.0	19.5	150.15
Oct	17.7	61	3.4	7	14.0	106.48
Nov	10.8	72	4.4	6.0	10.4	59.94
Dec	7.2	80	4.2	5	8.4	37.08
Moyenne	15.8	61	3.9	7.6	17.0	1409.28

3.2.2 Calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM)

L'ETM (évapotranspiration maximale) représente la quantité maximale d'eau évaporée et transpirée par une culture lorsqu'elle est cultivée dans des conditions idéales , avec un apport en eau suffisant . Ce niveau d'évapotranspiration correspond au rendement optimale de la culture . Il est donc essentiel de connaitre les facteurs qui influencent cette ETM , afin de pouvoir les optimiser ou les corriger et ainsi atteindre les meilleures performances possibles .

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

$$ETM = K_c.ET_0 \quad (3.2)$$

3.2.3 Les coefficients culturaux (K_c) :

Le coefficient cultural (K_c)[1] constitue un facteur d'ajustement entre l'évapotranspiration d'une culture donnée (ET_c) et l'évapotranspiration de référence (ET_0) . Il intègre les effets combinés de quatre paramètres déterminants : la hauteur de la culture , la résistance de surface entre le sol et de couverture végétale , l'albédo (ou pouvoir réfléchissant) de la surface , ainsi que l'intensité de l'évaporation du sol nu . Ce coefficient permet ainsi d'estimer plus précisément les besoins hydrique spécifique à chaque type de culture (Allen et al , 1998).

3.3 Besoins en eau d'irrigation

Par définition , le bilan hydrique d'une culture correspond à la différence entre , d'une part , les besoins en eau de la culture , déterminés par les conditions climatiques et caractéristiques physiologiques de la plante (évapotranspiration maximale - ETM) , et d'autre part , les apports effectifs en eau fournis par les précipitations . Ce bilan permet d'évaluer les déficits ou excédents hydriques auxquels la culture peut être confrontée au cours de son cycle de développement .

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

$$B_i = ETM - (P_{eff} + K.RFU_{i-1}) \quad (3.3)$$

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

- P_{eff} : pluie efficace en mm;

-RFU : réserve d'eau du sol assimilée à la réserve facilement utilisable disponible au début de la période;

-K : coefficient généralement égale à 1/2 ou 1/3;

Le calcul de la RFU se fait comme suit :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) . y . d_a . z \quad (3.4)$$

Avec :

-y : degré de tarissement;

- d_a : densité apparente (1.35);

- z : profondeur d'enracinement mm;

- H_{cc} : humidité à la capacité au champ , dans notre cas . On prend (26%);

- H_{pf} : humidité au point de flétrissement , dans notre cas . On prend (15%);

L'irrigation est faite lorsque B_i (bilan hydrique) est supérieur à 0

3.3.1 Détermination de la pluie efficace

Les précipitation efficaces correspondent à la fraction des précipitations totales qui demeure disponible au niveau du sol , après déduction des pertes dues à l'évapotranspiration réelle . Selon G.Castany (1982) , elles peuvent être définies comme la différence entre les précipitations totales et l'évapotranspiration réelle . Plusieurs méthodes permettent d'estimer les précipitations efficaces P_{eff} , mais dans le cadre de cette étude , la méthode du pourcentage fixe sera adoptée , en retenant un taux de 80% des précipitation comme étant efficace .

$$P_{eff} \text{ (mm/mois)} = 80\% * Pluies_{moyenne \text{ mensuelles } 80\%} \text{ (mm/mois)} \quad (3.5)$$

TABLE 3.2 – Calcul des pluies 80% (mm) pour chaque mois en mm .

Mois	sep	oct	nov	des	jan	fev	mar	avr	mia	juin	juil	aout
$P_{80\%}$	15.84	20.59	31.20	39.6	42.29	44.35	40.39	36.19	29.78	4.28	2.69	4.91
P_{eff}	12.67	16.47	24.96	31.68	33.83	35.48	32.31	28.95	23.82	3.42	2.15	3.93

3.3.1.1 Les cultures proposées

Afin d’optimiser l’utilisation des terres agricoles dans le périmètre étudié ,plusieurs scénarios d’occupation des sols ont été proposés . Ces scénarios visent à tester différentes combinaisons entre les grandes cultures (céréales), le maraîchage , et l’arboriculture , tout en tenant compte des condition climatiques , des ressource hydriques disponibles , et de la vocation agro-économique du projet . Le tableau ci-dessous présente les quatre scénarios envisagés , avec des répartitions différentes selon les objectifs de diversification et de valorisation agricole .

TABLE 3.3 – Scénarios d’occupation du sol par l’ensemble de l’exploitation du sol .

Scénario	Céréales %	Fourrages %	Maraichage %	Arboriculture %	Total %
1	70	15	10	5	100
2	40	20	20	20	100
3	35	15	35	15	100
4	30	10	35	25	100

Le scénario 3 proposé maintient la dominance des cultures céréalières , tout en réduisant légèrement leur part afin de libérer de l’espace pour d’autres cultures encore peu représentées dans la région , telles que le maraichage , l’arboriculture et les cultures fourragères . Ce choix repose sur le fait que la céréaliculture constitue un pilier de l’économie agricole en Algérie . Elle représente en effet l’activité principale dans les zones arides et semi-arides , du fait de son rôle central dans l’alimentation de la majorité de la population . Ainsi ce scénario vise à établir un modèle d’occupation des sols fondé principalement sur les céréales , l’arboriculture rustique et les cultures maraîchères , selon la répartition suivante :

TABLE 3.4 – Occupation de sol en fonction des cultures.

Les cultures	Surface (%)	surface (ha)
La céréaliculture : -Blé	20	100
Les cultures fourragères :-Orge	15	75
Le maraichage : -Pomme de terre -Tomate -carottes -Ail - Pois - La laitue - fèves - les oignons - courgette	50	250
L'arboriculture : - Olivier	15	75
Totale	100	500

3.3.1.2 Identification des principaux types d'assolement

L'assolement désigne la répartition des terres agricoles d'une exploitation en plusieurs parcelles appelées soles , chacune destinée à accueillir une culture différente . Cette pratique permet d'alterner les cultures d'une année à l'autre , voire d'une saison à l'autre , entre les différentes soles .

Son objectif principal est de valoriser au mieux les potentialités du sol , optimiser les rendements agricoles et réduire les risques liés à l'appauvrissement du sol ou aux dés-équilibres nutritifs .

TABLE 3.5 – Assolement proposé pour le périmètre .

Assolement 1	Assolement 2
Blé	Orge en vert
Orge	fèves
Pomme de terre	pois
Tomate	Carottes
Carottes	La laitue
Ail	Les oignons
pois	Pomme de terre
La laitue	Courgettes
Olivier	Olivier

3.3.1.3 Avantages de la rotation des cultures

Impact de la rotation culturale sur le sol et la nutrition des plantes :

- Utilisation des réserves minérales : La diversité des cultures permet une meilleure exploitation des ressources du sol selon les besoins nutritifs et la profondeur d'enracinement des plantes .
- Amélioration ou dégradation des propriétés du sol : Certaines cultures peuvent appauvrir ou compacter le sol , ou encore produire des toxines racinaires , tandis que d'autres (cultures améliorantes contribuent à enrichir et structurer le sol .
- Lutte naturelle contre bioagresseurs : La rotation aide à réduire la pression des mauvaises herbes , des maladies et des parasites en cassant leur cycle de développement .

3.3.2 Cycle végétatif des cultures :

Le cycle végétatif des différentes cultures sont présentés au suivant :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
PdT							←	→				
Pois		←	→									
Tomate							←	→				
Carotte	←	→										
Laitue		←	→									
Ail	←	→										
Oignon	←	→										
Courgettes								←	→			
Blé			←	→								
Orge						←	→					
Olivier	←	→										→

Figure 3.1 – les cycles végétatifs des cultures proposées pour l'extension de périmètre de Bougara.

3.3.3 Les céréalicultures

3.3.3.1 Le blé

TABLE 3.6 – Besoins en eau du blé .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0	0	0	0	0	0
Oct	20.59	16.47	106.48	0	0	0	0	0	0
Nov	31.2	24.96	59.94	0.3	29.7	0	0.4	23.97	0
Dec	39.6	31.68	37.08	0.5	49.5	0	0.7	25.95	0
Jan	42.29	33.83	40.21	0.5	49.5	0	0.85	34.17	0.34
Fév	44.35	35.48	44.87	0.6	59.4	0	0.95	42.62	7.14
Mar	40.39	32.31	72.14	0.6	59.4	0	1.05	75.74	23.63
Avr	36.19	28.95	99.2	0.6	59.4	0	0.95	94.24	45.49
mai	29.78	23.82	144.13	0.6	59.4	0	0.85	122.51	78.89
juin	4.28	3.42	191.6	0.6	59.4	0	0.45	86.22	82.8
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.4 Les cultures fourragères

3.3.4.1 L'orge

TABLE 3.7 – Besoin en eau de l'orge

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0.	0		0	0	0
Oct	20.59	16.47	106.48	0	0		0	0	0
Nov	31.2	24.96	59.94	0.5	49.5	0	0.4	23.97	0
Dec	39.6	31.68	37.08	0.6	59.4	49.5	0.7	25.95	0
Jan	42.29	33.83	40.21	0.6	59.4	0	0.85	34.18	0.35
Fév	44.35	35.48	44.87	0.6	59.4	0	0.95	42.62	7.14
Mar	40.39	32.31	72.14	0.6	59.4	0	1.05	75.74	23.63
Avr	36.19	28.95	99.2	0.6	59.4	0	1.05	104.16	55.41
mai	29.78	23.82	144.13	0.6	59.4	0	0.87	125.39	82.77
juin	4.28	3.42	191.6	0.5	49.5	0	0.75	143.7	140.28
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5 les maraîchage

3.3.5.1 Pomme de terre

TABLE 3.8 – Besoin en eau du pomme de terre .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0.25	24.75	0	0.5	75.075	62.40
Oct	20.59	16.47	106.48	0.5	49.5	0	0.7	74.53	33.31
Nov	31.2	24.96	59.94	0.5	49.5	0	0.9	53.94	28.98
Dec	39.6	31.68	37.08	0.5	49.5	0	0.75	27.81	0
Jan	24.29	33.83	40.21	0	0		0	0	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0	0	0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.2 Pois

TABLE 3.9 – besoin en eau du pois

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.48	12.67	150.15	0	0		0	0	0
Oct	20.59	16.47	106.48	0	0		0	0	0
Nov	31.2	24.96	59.94	0.6	59.4	0	0.4	23.97	0
Dec	39.6	31.68	37.08	0.6	59.4	0	1.15	42.64	10.96
Jan	42.29	33.83	40.21	0.6	59.4	0	1.5	60.31	6.68
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0	0	0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.3 Tomate

TABLE 3.10 – Besoin en eau du tomate .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0	0		0	0	0
Oct	20.59	16.47	106.48	0	0		0	0	0
Nov	31.2	24.69	59.94	0	0		0	0	0
Dec	39.6	31.68	37.08	0	0		0	0	0
Jan	42.29	33.83	40.21	0	0		0	0	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0.7	69.3	0	0.5	36.07	3.76
Avr	36.19	28.95	99.2	0.9	89.1	0	0.7	69.44	17.39
mai	29.78	23.82	144.13	1.2	118.8	0	0.9	129.71	76.19
juin	4.28	3.42	191.6	1.2	118.8	0	0.75	143.7	80.88
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.4 Carotte

TABLE 3.11 – Besoin en eau du carotte .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.48	12.67	150.15	0.4	39.6	0	0.8	120.12	107.45
Oct	20.59	16.47	106.48	0.4	39.6	0	0.9	95.83	76.36
Nov	31.2	24.96	59.94	0.5	49.5	0	0.9	53.94	28.98
Dec	39.6	31.68	37.08	0.5	49.5	0	0.9	33.37	1.69
Jan	42.29	33.83	40.21	0	0		0	0	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0	0	0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.5 Laitue

TABLE 3.12 – Besoin en eau du laitue .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0.3	29.7	0	0.7	105.10	92.43
Oct	20.59	16.47	106.48	0.3	29.7	0	1.05	111.80	65.63
Nov	31.2	24.96	59.94	0.3	29.7	0	0.95	56.94	2.28
Dec	39.6	31.68	37.08	0	0		0	0	0
Jan	42.29	33.83	40.21	0	0		0	0	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0	0	0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.6 Ail

TABLE 3.13 – Besoin en eau de l'ail.

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0	0		0	0	0
Oct	20.59	16.47	106.48	0.4	39.6	0	0.5	53.24	36.77
Nov	31.2	24.96	59.95	0.4	39.6	0	0.75	44.95	19.99
Dec	39.6	31.68	34.08	0.4	39.6	0	0.95	35.22	3.54
Jan	42.29	33.83	40.21	0.4	39.6	0	0.95	38.19	4.36
Fév	44.35	35.48	44.87	0.7	39.6	0	0.75	33.65	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0		0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.7 Oignon

TABLE 3.14 – Besoin en eau de l'oignon .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0.3	29.7	0	1.1	165.16	152.49
Oct	20.59	16.47	106.48	0.4	39.6	0	1.1	117.128	70.95
Nov	31.2	24.96	59.94	0.5	49.5	0	0.9	53.94	28.98
Dec	39.6	31.68	37.08	0.6	59.4	0	0.85	31.51	0
Jan	42.29	33.83	40.21	0	0		0	0	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0	0	0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.8 Courgettes

TABLE 3.15 – Besoin en eau du courgettes .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0.5	49.5	0	0.4	60.06	47.38
Oct	20.59	16.47	106.48	0.5	49.5	0	0.5	53.24	36.77
Nov	1.2	24.96	59.94	0.5	49.5	0	0.8	47.95	22.99
Dec	39.6	31.68	37.08	0.5	49.5	0	0.95	35.22	3.54
Jan	42.29	33.83	40.21	0.5	49.5	0	0.6	24.12	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0		0	0	0
Mar	40.3932.31	72.14	0	0	0		0	0	0
Avr	36.19	28.95	99.2	0	0		0	0	0
mai	29.78	23.82	144.13	0	0		0	0	0
juin	4.28	3.42	191.6	0	0		0	0	0
juil	2.69	2.15	240.4	0	0		0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0		0	0	0

3.3.5.9 flèves

TABLE 3.16 – Besoin en eau du fèves .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	0	0	0	0	0	0
Oct	20.59	16.47	106.48	0	0	0	0	0	0
Nov	31.2	24.96	59.94	0	0	0	0	0	0
Dec	39.6	31.68	37.8	0	0	0	0	0	0
Jan	42.29	33.83	40.21	0	0	0	0	0	0
Fév	44.35	35.48	44.87	0	0	0	0	0	0
Mar	40.39	32.31	72.14	1	99	0	0.4	28.85	0
Avr	36.19	28.95	99.2	1	99	0	1.15	114.08	52.13
mai	29.78	23.82	144.13	1	99	0	1.15	165.75	108.93
juin	4.28	3.42	191.6	0	0	0	0	0	0
juil	2.69	2.15	240.44	0	0	0	0	0	0
Aout	4.91	3.92	223.09	0	0	0	0	0	0

3.3.6 L'arboriculture

3.3.6.1 Olivier

TABLE 3.17 – Besoin en eau de l'olivier .

Mois	P80%	P_{eff} (mm)	ETP (mm / mois)	Z (m)	RFU	$Rsi-1$	K_c	ETM	B (mm)
Sep	15.84	12.67	150.15	1	99	0	0.5	75.07	62.40
Oct	20.59	16.47	106.48	1	99	0	0.6	63.88	47.41
Nov	31.2	24.96	59.94	1	99	0	0.65	38.96	14
Dec	39.6	31.68	37.8	1	99	0	0.3	11.12	0
Jan	42.29	33.83	40.21	1	33	0	0.35	14.07	0
Fév	44.35	35.48	44.87	1	99	0	0.45	20.19	0
Mar	40.39	32.31	72.14	1	99	0	0.45	32.46	0.15
Avr	36.19	28.95	99.2	1	99	0	0.5	46.6	17.95
mai	29.78	23.82	144.13	1	99	0	0.6	86.47	29.965
juin	4.28	3.42	191.6	1	99	0	0.6	114.96	111.54
juil	2.69	2.15	240.44	1	99	0	0.7	168.28	166.13
Aout	4.91	3.92	223.09	1	99	0	0.75	167.32	163.39

3.4 Calcul des besoin en eau

3.4.1 les besoins en eau eau des cultures

TABLE 3.18 – Récapitulatif des besoins pour l'assolement 1 .

Mois	Blé	Orge	PDT	Tomate	Carotte	Ail	Pois	Laitue	Olivier	T
Sep	0	0	62.4	0	107.45	0	0	92.43	62.4	324.68
Oct	0	0	33.31	0	76.36	36.77	0	65.63	47.41	259.48
Nov	0	0	28.98	0	28.98	19.99	0	2.28	14	94.23
Dec	0	0	0	0	1.69	3.54	10.96	0	0	0
Jan	0.34	0.35	0	0	0	4.36	6.68	0	0	11.72
Fév	7.14	7.14	0	0	0	0	0	0	0	14.28
Mar	26.63	23.63	0	3.76	0	0	0	0	0.15	54.17
Avr	45.49	55.41	0	17.39	0	0	0	0	17.95	136.24
mai	78.89	82.77	0	76.19	0	0	0	0	29.965	267.81
juin	82.8	140.28	0	0	0	0	0	0	111.54	334.62
juil	0	0	0	0	0	0	0	0	166.13	166.13
Aout	0	0	0	0	0	0	0	0	163.39	163.39

TABLE 3.19 – Récapitulatif des besoins pour l'assolement 2 .

Mois	Orge	Fèves	Pois	Carotte	Laitue	Oignon	PDM	Courgette	Olivier	T
Sep	0	0	0	107.45	92.43	152.49	62.40	47.38	62.40	524.55
Oct	0	0	0	76.36	65.63	70.95	33.31	36.77	47.41	330.43
Nov	0	0	0	28.98	2.28	28.98	28.98	22.99	14	126.21
Dec	0	0	10.96	1.69	0	0	0	3.54	0	16.19
Jan	0.35	0	6.68	0	0	0	0	0	0	7.03
Fév	7.14	0	0	0	0	0	0	0	0	7.14
Mar	23.63	0	0	0	0	0	0	0	0.15	23.78
Avr	55.41	52.13	0	0	0	0	0	0	17.95	125.49
mai	82.77	108.93	0	0	0	0	0	0	29.965	221.66
juin	140.28	0	0	0	0	0	0	0	111.54	251.82
juil	0	0	0	0	0	0	0	0	166.13	166.13
Aout	0	0	0	0	0	0	0	0	163.39	163.39

3.4.2 Calcul du débit spécifique

Les débits spécifiques sont déterminés en fonction des besoins en eau proposer à chaque culture , évalués à partir de la répartition des surfaces cultivées . la dose d'irrigation correspondant à la consommation de pointe est exprimée sous forme de débit continu , disponible 24 heures sur 24 , afin de couvrir les besoins en eau mensuels des cultures .

$$Q_s = \frac{B_{net} * 10 * 1000}{N_i * N_j * E_i * 3600} \quad (3.6)$$

Avec :

- B_{net} : besoin net du mois de pointe en mm /mois
- N_i : nombre des heures d'irrigation = 22 h
- N_j : nombre de jours du mois de pointe = 30 jours
- E_i : Efficience d'irrigation = 75 %

On calcule les besoins en eau pour l'assolement le plus exigeant (assolement 1) d'ou les besoins de pointe correspondent au mois de juin : $B_{net} = 503.64$ mm / mois On obtient : $q_s = 2.82$ l/s/ha

Le débit spécifique obtenu est supérieur à 1.5 l/s/ha. Il y'a un risque de surdimensionnement pour y remédier, nous avons trois méthodes pour estimer le débit spécifique :

- Prendre la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures ;
 - Prendre en considération la moyenne des débits spécifiques des cultures les plus exigeantes ;
 - Prendre le débit spécifique de la culture la plus exigeante pour le mois de pointe ;
- Pour notre cas on prend le débit spécifique de la culture la plus exigeante (Olivier = 166.13mm).

Donc le débit spécifique pris en considération pour notre périmètre est : $q_s = 0.93$ l/s/ha.

Ce débit est largement inférieur à 1.5 l/s/ha donc le choix de ce débit reste valable .

3.4.3 Evaluation du débit caractéristique

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

$$Q_{car} = q_s * S \quad (3.7)$$

- q_s : débit spécifique de mois de pointe en (l/s/ha)
- S : la superficie nette à irriguer = 500 ha

On obtient : $Q_{car} = 0.93 * 500 = 465$ l/ s

3.4.4 Estimation des volumes d'eau d'irrigation

L'estimation des volumes d'eau nécessaires à l'irrigation permet d'anticiper les quantités à stocker dans la retenue et d'optimiser la planification des tours d'eau . Le volume requis est obtenu en multipliant le besoin en eau de la culture (en m^3) par la surface cultivée correspondante Les volumes d'eau estimés pour l'ensemble du périmètre sont présentés dans le tableau ci-après :

TABLE 3.20 – Volume d'eau d'irrigation .

Type des cultures	Surface (ha)	Bnet (mm)	Bnet (m^3 /ha)	Bbrut (m^3 /ha)	Bbrut _T (m^3)
Blé	100	230.8175	2308.175	3077.566	307756.6
Orge	75	302.100	3021	4028	302100
PDT	28	95.719	957.19	1276.253	35735.084
Tomate	28	97.347	973.47	1297.96	36342.88
Carotte	28	312.127	3121.27	4161.69	116527.32
Ail	27	36.77	367.7	490.267	13237.209
Pois	28	6.685	66.85	89.13	2495.64
Laitue	27	160.35	1603.5	2138	57726
Oignon	28	223.451	2234.51	2979.35	83421.8
Courgette	28	47.388	473.88	631.84	17691.52
Fèves	28	161.059	1610.59	2147.45	60128.69
Olivier	75	533.128	5331.28	7108.37	533128

Besoins totales = 1566290.74 m^3

On remarque que le volume nécessaire pour les besoins des cultures sur notre périmètre durant toute période végétative est de l'ordre de 1.56Hm³ . Le barrage d'alimentation est de capacité 13Hm³ ,et donc on peut extraire ce volume à partir du barrage BOUGARA .

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons choisi les cultures qu'en va implanter dans notre périmètre (bougara 500 ha) et nous avons déterminé leurs besoins en eau , ce qui nous a permis d'estimer le débit spécifique de notre périmètre en tenant compte de la culture la plus exigeante a causes des contraintes agricoles et agronomique . Aussi , nous avons calculé les besoins en eau totaux du périmètre qui frôle les 1.56 Hm³ ou on a constaté que l'olivier demandent plus d'eau par rapport aux autres cultures ; ar ailleurs le pois est la culture la plus consommatrice d'eau avec un besoin en eau brut qui est égale à 89.13 m^3 /ha

CHAPITRE 4

ETUDE DU SYSTÈME D'ADDUCTION

Introduction

La conception d'un périmètre d'irrigation requiert avant tout une gestion rationnelle et efficiente du système d'irrigation ainsi qu'une organisation adaptée à ses besoins . L'étude du système d'adduction constitue l'une des étapes fondamentales pour l'ingénieur , car l'ensemble des systèmes d'irrigation dépend directement du tracé et de la conception des conduites du réseau d'adduction .

4.1 Alimentation en eau du périmètre

Le barrage de BOUGARA occupe un rôle crucial en fournissant l'eau nécessaire à l'irrigation des périmètre BOUGARA . Les volumes d'eau requis sont transportés par un système intégré comprenant une station de pompage , un réseau d'adduction et de distribution , ainsi qu'un réservoir de stockage . Cette configuration est indispensable en raison de l'emplacement stratégique du barrage par rapport aux périmètre . L'extension du périmètre de BOUGARA , dans le cadre du projet d'expansion des terres irriguées , s'étend sur une superficie totale de 500 hectares . Le barrage de bougara est positionné au sud-ouest du périmètre étudié , à une distance d'environ 5.5 kilomètres , comme indiqué dans la figure ci dessous :

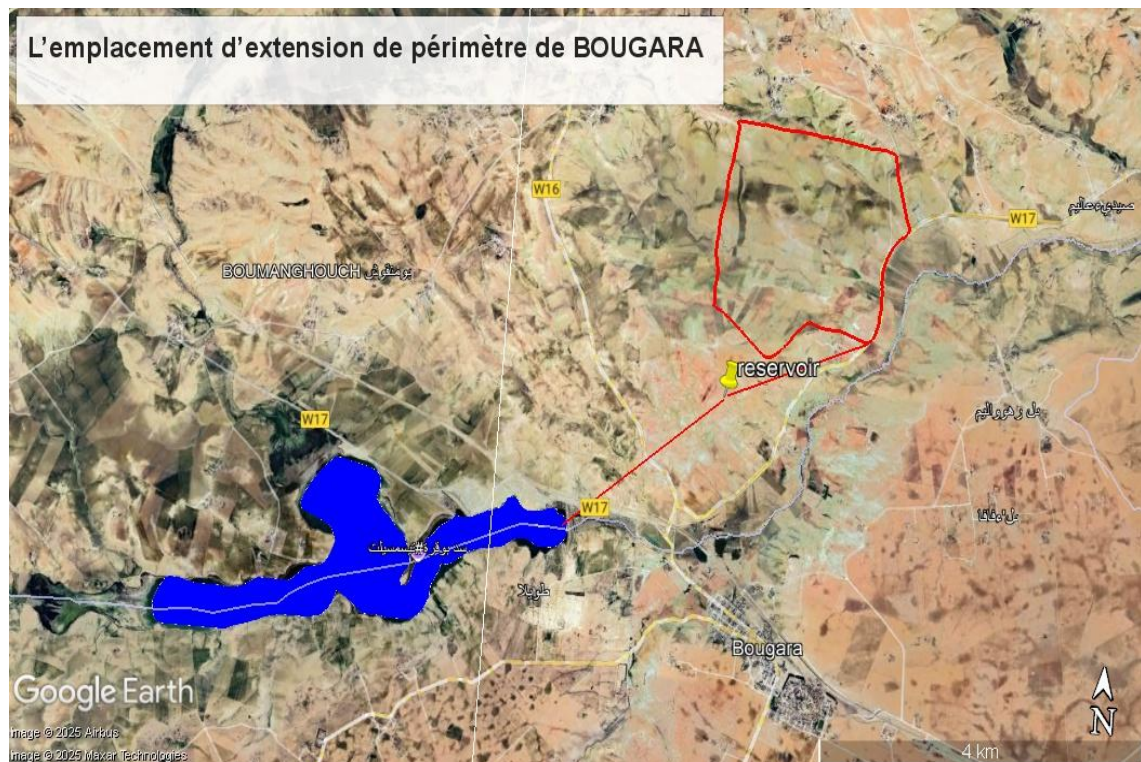


Figure 4.1 – L'emplacement d'extension de périmètre de BOUGARA

4.2 Organisation du périmètre d'étude

Notre périmètre comprend 24 îlots , avec surface variante de 10.4 à 28 ha au maximum pour une superficie totale de 500 ha .

4.2.1 Îlots et bornes d'irrigation

Le terme " îlot d'irrigation " décrit l'unité hydro-agricol constituée d'un groupe de parcelles , et alimentée par une borne d'irrigation .L'organisation d'un périmètre en îlots résulte d'une combinaison de plusieurs facteurs :

- Topographique;
- Foncier ;
- Technico-économique : système d'irrigation;
- Organisationnel : taille des îlots et / ou parcelles , nombre de parcelle;

On admet généralement que l'implantation des bornes répond aux critères suivant :

- Une borne par îlot d'exploitation avec quatre (04) prises maximum sur une même borne;
- Bornes implantées en limites d'îlots ou au centre pour les grandes îlots un borne est constituée .

4.2.2 Rôle et fonction de la borne d'irrigation

Chaque îlot sera équipé d'un dispositif de desserte , appelé borne d'irrigation , comportant une ou plusieurs sorties (ou "prises")) , en fonction du nombre de systèmes d'arrosage à alimenter simultanément .Chaque borne , ainsi que chacune de ses sorties devra remplir l'ensemble des fonctions d'une prise , à savoir :

- Limiter le débit en fonction des besoins spécifiques de l'îlot;
- Réguler la pression d'alimentation;
- Résister aux suppressions accidentelles;
- Mesurer les volumes d'eau distribués .

4.2.3 Calcul hydraulique des bornes :

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

$$Q_b = q_s S_i \quad (4.1)$$

Avec :

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

4.2.4 Choix du diamètre et du type des bornes :

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

TABLE 4.1 – Choix du diamètre (s) de la borne en fonction des débits des îlot .

Débit de l'îlot	D de la borne (entrée)
$Q \leq 40m^3/h(11.11)/s$	D = 65 mm - 80 mm
$40m^3/h(11.11/s) < Q \leq 80m^3/h(22.22/s)$	D = 100 mm
$80m^3/h(22.22/s) < Q \leq 120m^3/h(33.33/s)$	D = 100-150 mm
$Q > 120 m^3 /h (33.33 l/s)$	D = 200 mm

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

- Pour les ilots qui ont un nombre de parcelles entre (4-8) , et dont la superficie est inférieure à 15 ha , on prend la borne à quatre prises (Borne de type A4);
- Pour les ilots qui o, deux parcelles et dont la superficie est inférieure à 15 ha , on prend borne à deux prises (borne de type A2);
- Pour les ilots qui ont deux parcelles et dont la superficie dépasse 15 ha , on prend la

borne à deux prises (borne de type B) ;

- Pour les grands ilots ($S > 50$ ha) on prévoit des bornes de type C .

TABLE 4.2 – Types des bornes selon les parcelles .

Nombre de parcelles	Type	Entrée	Sorties
2	A2	Une entrée D = 65-80mm	2 sorties D = 65 mm
4-8	A4	Une entrée D = 80-100-125 mm	4 sorties D = 65 mm
$2 \approx 20$ ha	B2	Une entrée D = 80-100-125 mm	2 sorties D = 100 mm
1	c	Une entrée D= 100 - 125 - 150 mm	une sortie D =150mm;une sortie D=100mm

pour notre périmètre le choix des bornes est détaillé dans le tableau suivant :

TABLE 4.3 – Calcul des débits des ilots et choix du type de bornes.

N°Ilot	Surface (ha)	Débit (l/s)	Type de borne
1	17.7	16.46	A4
2	12.1	11.25	A4
3	16.4	15.25	A4
4	27	25.11	A4
5	28	26.04	A4
6	26.8	24.92	A4
7	27	25.11	A4
8	16.3	15.06	A4
9	23.9	22.23	A4
10	10.4	6.67	A4
11	15.3	14.23	A4
12	12.5	11.62	A4
13	20	18.6	A4
14	17.9	16.94	A4
15	24.4	22.69	A4
16	24.6	22.87	A4
17	18	16.74	A4
18	26.1	24.27	A4
19	26.6	24.73	A4
20	24.8	23.06	A4
21	23.2	21.57	A4
22	24	22.32	A4
23	20.5	19.06	A4
24	16.5	15.34	A4

4.3 Description de l'aménagement du périmètre

L'organisation hydro-agricole des zones d'irrigation dépend des différentes configurations de réseaux , en relation avec la position du barrage par rapport à ces zones

- . Avec le barrage BOUGARA situé à une prise de fond à 795.05 m d'altitude et une altitude moyenne de 830 m pour les zones , deux approches sont recommandées :
- Un système par pompage vers un réservoir de stockage d'une cote de 833.50 m .
 - Un système de desserte gravitaire depuis le réservoir vers le réseau de distribution aux parcelles.

4.4 Étude du système de pompage

4.4.1 Généralités sur les pompes

les pompes sont des appareils qui aspirent un liquide d'un endroit et le déplacent vers un autre .Elles fonctionnent en créant un mouvement mécanique qui augmente la pression du fluide , facilitant ainsi son déplacement dans un système .Les différentes types de pompes,comme les pompes centrifuges ou volumétriques , offrent des avantages spécifiques en fonction des besoins.

4.4.1.1 Les pompes volumétrique

Les pompes volumétriques transforment l'énergie lors du refoulement , augmentant ainsi la pression du fluide pompé.Elles comprennent les pompes rotatives , semi-rotatives et alternatives à piston

4.4.1.2 Les turbopompes / roto-dynamiques

L'oreillard reçoit le liquide et , grâce à la rotation de la roue entraînée par le moteur électrique , le liquide gagne de l'énergie cinétique et est projeté vers l'extérieur , créant une dépression qui aspire le liquide vers le diffuseur .Celui-ci le guide vers le sortie , générant ainsi une pression appelé hauteur manométrique de refoulement .

On distingue :

- Pompe centrifuge radiale : Il s'agit de pompes centrifuges dont les veines liquides au refoulement sont perpendiculaires à celles de l'écoulement à l'aspiration .
- Pompe axiale : Les veines liquides au refoulement sont parallèles à celles de l'écoulement à l'aspiration .
- Pompe semi-axiale : Les filets liquides se déplacent dans une direction diagonale de l'entrée de roue à sa sortie .

4.4.2 Calcul de la hauteur manométrique totale d'élévation

La hauteur manométrique totale est donnée par la formule :

$$HMT = (H_a + H_{ref}) + J + P_r \quad (4.2)$$

Avec :

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

4.4.2.1 Calcul de la hauteur géométrique H_g

H_r : Cote de réservoir = 833.50 m

H_{stp} : Cote stp : 799 m

Donc : $H_g = 833.5 - 799 = 34.5$ m

4.4.2.2 Calcul des pertes de charge totales

A) Pertes de charges linéaires

Pour déterminer les pertes des charges linéaires on utilise la formule suivant de Hazen-Williams :

$$\Delta H_L = J = \left(\frac{3.592}{CH_W} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852} \quad (4.3)$$

$$\Delta H_L = \left(\frac{3.592}{130} \right)^{1.852} * \frac{2943.67}{0.5^{4.87}} * 0.5^{1.852} = 26.85 \text{ m}$$

telque :

- J : Perte de charge en m
- CHW : Coefficient de Hazan-Williams.
- L : Longueur de la conduite en m; L = 2943.67 m .
- D : Diamètre en m.
- Q : Le débit en m^3/s

B) Perte de charge singulière

$$\Delta H_s = 0.1 * \Delta H_L \quad (4.4)$$

Donc : $\Delta H_s = 0.1 * 26.85 = 2.685$ m

Les pertes de charge totale

$$\Delta H_t = \Delta H_s + \Delta H_L \quad (4.5)$$

Alors : $\Delta H_T = 29.54$ m

Donc : HMT = 64.04 m

Calcul du débit à refouler

$$Q_{forcé} = Q_c * 1.05 \quad (4.6)$$

Donc : $Q_{ref} = 0.465 * 1.05 = 0.488 m^3/s$

Calcul du diamètre

$$D = \sqrt[4]{Q_{ref}} = \sqrt[4]{0.488} = 0.698 m = 698 mm \quad (4.7)$$

Alors : $D_{normalisé} = 800 \text{ mm}$

Les résultats du calcul des hauteurs manométriques totales pour les différents diamètres des conduites en fontes sont mentionnés dans le tableau suivant :

TABLE 4.4 – Résultats du calcul de HMT pour les différents diamètres

Q	D	V	L	pdcl	pdcs	pdct	HMT
0,488	600	1,72	2943,67	12,18	1,25	13,35	48,89
0,488	700	1,26	2943,67	5,75	0,57	6,32	41,82
0,488	800	0,97	2943,67	3,00	0,30	3,30	38,80
0,488	900	0,76	2943,67	1,69	0,16	1,86	37,36
0,488	1000	0,62	2943,67	1,01	0,10	1,11	36,61

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

4.4.3 Calcul des frais d'exploitation

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

$$F_{exp} = E * e \quad (4.8)$$

Avec :

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

E : Energie totale dépensée par la pompe (KWH);

e : Prix unitaire d'un KWH imposé par la SONALGAZ (e = 4.67 da).

- Puissance des pompes

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

$$P_u = \frac{\rho * g * Q * HMT}{\eta} \quad (4.9)$$

P : Puissance absorbée par la pompe (KWH);

g : Accélération de la pesanteur m/s^2 ;

$Q_{f orc}$: Débit à refoulé (m^3/s);

HMT : Hauteur manométrique totale (m);

η : Rendement du pompage (75%) .

- Énergie consommée par la pompe

L'énergie consommée par la station de pompage est donnée par la formule suivante :

$$E = P * t * 365 \quad (4.10)$$

Avec :

E : Énergie totale consommée par la pompe pendant une année (KWh);

P : Puissance absorbée (KWH);

t : Temps de pompage en (heure); dans notre cas t=22h

TABLE 4.5 – Calcul des frais d'exploitation

D(mm)	HMT	P (KWh)	E (KWh /an)	F (DA)
600	48,89	312,06	2505896,61	11702537,17
700	41,82	266,93	2143518,024	10010229,17
800	38,8	247,66	1988725,475	9287347,966
900	37,61	240,06	1927731,059	9002504,047
1000	36,61	233,68	1876475,248	8763139,408

4.4.4 Calcul des frais d'investissement

Amortissement annuel : les frais d'amortissement sont en fonction de la durée d'amortissement de la conduite et du taux d'annuité .Il se calcul par la relation suivante :

$$F_{am} = P_{rc} * A \quad (4.11)$$

Avec :

P : Prix de la conduite en (DA);

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

$$A = \frac{i}{1 - (i + 1)^n} \quad (4.12)$$

i : Taux intérêt; i = 8%;

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

AN :

$$A = \frac{0.08}{1 - (0.08+1)^{30}} = 0.09$$

Les résultats obtenis sont donnés dans le tableau suivant :

TABLE 4.6 – Calcul de frais d'investissement .

D (mm)	prix de pose (Da)	prix de ml(Da)	L (m)	prix tot (Da)	A	frai inv (DA)
600	3000	7800	2943,67	31791636	0,09	2861247,24
700	4500	8300	2943,67	37678976	0,09	3391107,84
800	5000	10000	2943,67	44155050	0,09	3973954,5
900	5500	11500	2943,67	50042390	0,09	4503815,1
1000	6000	12000	2943,67	52986060	0,09	4768745,4

4.4.5 Bilan total des frais

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

TABLE 4.7 – Bilan total des frais

D (mm)	Fexp (DA)	Finv (DA)	Bilan (DA)
600	11702537,17	2861247,24	14563784,41
700	10010229,17	3391107,84	13401337,01
800	9287347,966	3973954,5	13261302,47
900	9002504,047	4503815,1	13506319,15
1000	8763139,408	4768745,4	13531884,81

Le graphe suivant montre l'étude technico-économique pour les différents diamètres :

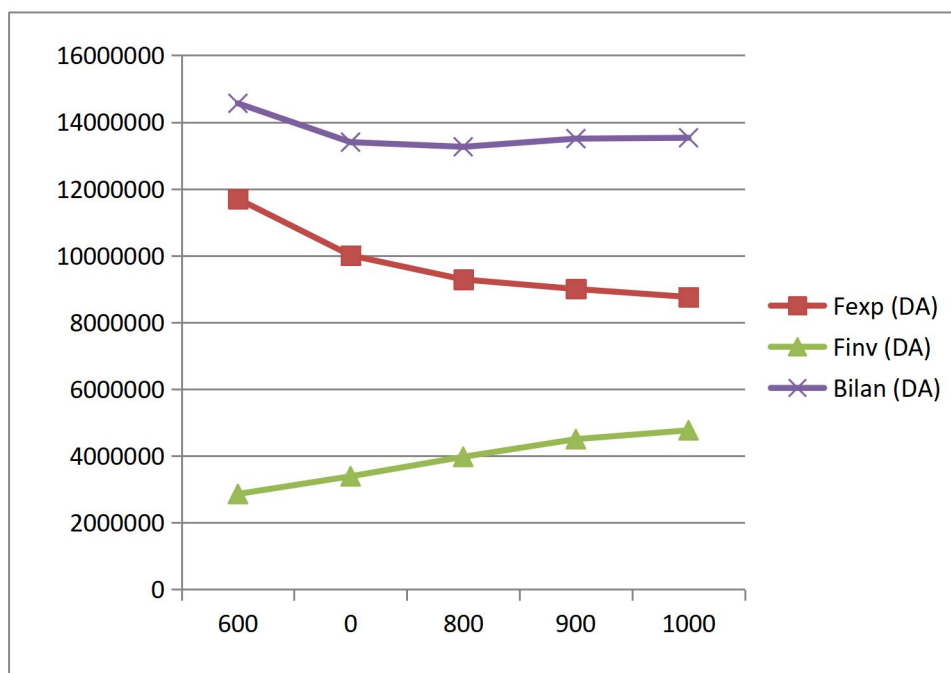


Figure 4.2 – Bilan total des frais en fonction des diamètre

D'après l'étude technico-economique précédente le diamètre économique dans notre cas est $D = 800 \text{ mm}$, ce qui implique que notre conduite refouler un débit $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un HMT = 38.8 m

4.4.6 Choix de nombre et de type de pompe

4.4.6.1 Critères de choix de nombre des pompes

Pour choisir la meilleure variante de nombre de pompes , il faut que notre choix respect certaines condition qui sont :

- Nombre minimale de pompes ;
- Rendement maximal;
- Puissance absorbé minimale;
- $(NPSH)_r$ minimal.

4.4.6.2 Critères de choix de types des pompes

Le choix de type des pompes à installer se base sur les critères suivants :

- La pompe doit assurer le débit et la HMT .
- Pompe anticavitationnelle;
- Rendement maximale;
- Puissance absorbé minimale;
- La pompe doit etre fabriquée en série .

4.4.6.3 Choix des pompes

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

- La hauteur manométrique totale est de 38.8m;
- Le débit à refouler est : $0.488 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour déterminer le type et le nombre des pompes des pompes qui respect les conditions cités précédemment on utilise le logiciel Caprari , et les resultats sont donné dans le tableau suivant :

TABLE 4.8 – Résultats de choix de pompe par le logiciel Caprari

Nombre des pompes	Débit demandé (l/s)	HMT demandé (m)	type de pompe	Débit de pompe (l/s)	HMT de pommpe (m)	Puissance (KW)	$\eta\%$	NPSH (m)
1	488	38.8	-	-	-	-	-	-
2	244	38.8	-	-	-	-	-	-
3	162.66	38.8	-	-	-	-	-	-
4	122	38.8	PM150	124	40.2	77.8	67.2	6.23
5	97.6	38.8	PM 150	102	42.5	61.3	73.2	4.77
6	81.33	38.8	PM 150	82.9	40.4	43.7	76.4	3.15

D'après les résultats obtenus de logiciel Caprari , la système dz pompage utilisé dans l'irrigation de l'extension de périmètre de BOUGARA compose de 4 pompe de type PM 150 .

Le pompage des eaux d'irrigation notre périmètre effectué par l'utilisation d'un système composé de 5 pompes , parmi elle une pompes de secteurs.

4.5 Protection contre cavitation

La cavitation dans les pompes centrifuges résulte souvent d'une insuffisance d'énergie NPSH du cote admission , ou le NPSH représente l'énergie nécessaire pour alimenter la pompe en liquide .Afin de garantir la protection de nos pompes contre la cavitation , il est essentiel de vérifier la condition suivante :

$$(NPSH)_r < (NPSH)_d \quad (4.13)$$

Avec :

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

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

La relation qui permet de calculer le $(NPSH)_d$ est la suivante :

$$(NPSH) = \frac{P_{atm}}{w} - \frac{P_v}{w} - (h_a^{adm} + \Delta h_{asp}) - \frac{V_{usz}^2}{2g} \quad (4.14)$$

- $\frac{P_{atm}}{w}$: en mce , la hauteur de pression atmosphérique locale , en fonction de la cote de w l'emplacement de la station de pompage .Il est égale à 10.33 m.

- P_v : en mce , pour la plupart des installations, est en fonction de la température ambiante . Avec une température d'eau comprise entre 15°C et 20°C , il est recommandé de prendre : $P_v = 20\text{hPa} = 0.24\text{m}$.

- h_a^{adm} : : La différence de dénivelé entre le niveau de pompage et la bride d'entrée de la pompe .

- Δh_{asp} : perte de charge à l'aspiration .

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

Longueur asp = 4 m , donc $\Delta H_{asp}=0.016$ m;

V : vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration (m/s).

AN : On a 5 pompes qui implique que le débit d'aspiration se divise en 5 parties en 5 parties ; on fixe la vitesse à 1.5 m/s ; donc on trouve : $D = \sqrt[4]{Q}$

On trouve que : $D = 311$ mm . Après la normalisation $D = 300$ mm .

Alors : $V = 1.42$ m/s .

Finalement :

$$NPSH_d = 10.33 - 0.24 - 2 - \frac{1.42^2}{2 \times 9.81} = 7.98m > 6.42 + 0.5m \rightarrow \text{condition vérifiée}$$

4.6 Dimensionnement du réservoir de stockage

Pour garantir la disponibilité des eaux d'irrigation en temps de besoin et une charge hydraulique adéquate , il faut implanter un réservoir de stockage . Le volume de l'ouvrage de stockage est donné comme suivant :

$$V_{\text{réservoir}} = Q_{\text{forcé}} * T_{nf} \quad (4.15)$$

Avec :

$V_{\text{réservoir}}$: Volume de réservoir , qui dans notre cas est circulaire en m^3 ;

$Q_{\text{forcé}}$: Débit forcé en m^3/s

T_{nf} : temps de non fonctionnement , égale à 1h.

AN : $V_{\text{réservoir}} = 0.488 * 3600 = 1756m^3$ On prend un volume de $1000 m^3$ et on fixe la hauteur de réservoir égale à 5 m donc on prend :

$$D = \sqrt{\frac{4.V}{\pi.h}} = 15.9m \quad (4.16)$$

Donc : la réservoir de stockage pour le bon fonctionnement de système d'irrigation de extension de périmètre de BOUGARA a les caractéristique suivantes :

- Volume de $1000m^3$;
- Hauteur de 5 m;
- Diamètre de 16 m .

4.7 Étude du système d'adduction-distribution (desserte gravitaire)

L'alimentation des îlots du périmètre se fait à l'aide d'un système gravitaire depuis le réservoir de stockage vers le dernier point du périmètre composé des conduites , dont le matériau est a choisir en fonction de plusieurs paramètres.

4.7.1 Choix du matériau des conduites

Le choix des matériaux utilisés dépend de la pression supportée , de l'érosion des sols et de l'ordre économique (coût et disponibilité du marché local et de sa production en Algérie) et des bonnes liaisons entre canalisations et équipements (coudes , vannes;etc)

Actuellement les réseaux d'irrigation sont construits en matériaux suivants :

- Conduites en fontes : Présentent plusieurs avantages :
 - Bonne résistance aux forces internes;
 - Bonne résistance à la corrosion;
 - Très rigides et solides;
 - L'inconvénient est que les tuyaux en fonte sont très lourds , et relativement chers .
- Conduites en PEHD : Ils supportent des pressions élevées et ont une résistance aux contraintes (choc , écrasement , déplacement du terrain) , ils peuvent être adaptés à toutes les conditions de service , et offrent une bonne flexibilité .

- Conduites en PRV :Le PRV est extrêmement résistant à la corrosion causée par une vaste gamme de produits chimiques et n'est pas affecté par la corrosion électrochimique. Cela le rend utile pour les applications dans des environnements agressifs et réduit le besoin de revêtements protecteurs ou de remplacements fréquents.

Dans notre cas , les condition seront en PEHD et PRV en prend en considération les prix des conduites

4.8 Calculs hydrauliques

Le calcul hydraulique est le dimensionnement de réseau qui englobe : la détermination des diamètres et matériaux des conduites , les cotes piézométriques des nœuds et des bornes ainsi que ses pression .

L'estimation des diamètres des conduites est fait selon la formule de continuité de type Chezy ,

$$\text{Le diamètre : } D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{1.5\pi}} \quad (4.17)$$

4.8.1 Calcul des pressions des nœuds et des bornes

Le calcul des pressions est basé sur le principe de Bernoulli, qui décrit le mouvement d'un fluide réel entre le point 1 et le point 2 :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H \quad (4.18)$$

- Cote piézométrique :

Cote piézométrique avale = Cote piézométrique amont - perte de charge .

Les pertes de charges linéaires sont calculées avec la formule de Hazen-Williams :

$$\Delta H_L = J = \left(\frac{3.592}{CH_w} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852} \quad (4.19)$$

- Pression :

Pression = Cote piézométrique - cote de terrain .

Les pertes de charges totales sont les pertes de charges linéaires majorées de 10 % pour prendre en compte les pertes de charges singulières .

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant

TABLE 4.9 – Les paramètres des pertes de charge

N° du tr	L (m)	S(ha)	Q (l/s)	Q (mC/s)	Dia calc (mm)	Dia Nor (mm)	V (m/s)	$\Delta Hl(m)$	$\Delta Ht(m)$	Z terrain (m)	Z piézo (m)	P (m)
B-R	2943,67	500,00	500,00	0,50	651,64	800	1,30	5,22	5,74	798,56	827,76	29,20
R-TS	1307,81	500,00	500,00	0,50	651,64	800	1,30	2,32	2,55	795,05	825,21	30,16
TS_N1	189,82	500,00	500,00	0,50	651,64	800	1,30	0,34	0,37	799,10	824,84	25,74
N1-B1	86,98	17,70	17,70	0,018	122,60	200	0,56	0,14	0,16	798,70	824,69	25,99
N1-N2	231,92	482,30	482,30	0,48	640,00	800	1,25	0,38	0,42	798,60	824,26	25,66
N2-N3	355,65	203,20	203,20	0,203	415,41	500	1,04	0,61	0,67	788,00	823,59	35,59
N3-B2	91,23	12,10	12,10	0,01	101,37	110	1,27	1,35	1,48	789,00	822,11	33,11
N3-N4	295,32	191,10	191,10	0,19	402,86	400	1,52	1,35	1,48	792,80	820,63	27,83
N4-B3	94,52	16,40	16,40	0,02	118,02	200	0,52	0,13	0,15	798,02	820,48	22,46
N4-N5	693,45	174,70	174,70	0,17	385,18	400	1,39	2,67	2,94	800,00	817,54	17,54
N5-B4	91,62	27,00	27,00	0,03	151,43	200	0,86	0,33	0,36	800,19	817,18	16,99
N5-N6	190,02	147,70	147,70	0,15	354,17	400	1,18	0,54	0,59	803,50	816,59	13,09
N6-B5	77,71	28,00	28,00	0,03	154,21	200	0,89	0,30	0,32	800,90	816,27	15,37
N6-N7	371,57	119,70	119,70	0,12	318,84	400	0,95	0,71	0,78	802,00	815,48	13,48
N7-B6	94,00	26,80	26,80	0,03	150,86	200	0,85	0,33	0,36	800,00	815,12	15,12
N7-N8	143,89	92,90	92,90	0,09	280,88	300	1,31	0,70	0,77	801,00	814,35	13,35
N8-B7	92,03	27,00	27,00	0,03	151,43	200	0,86	0,33	0,36	802,00	813,99	11,99
N8-N9	220,18	65,90	65,90	0,07	236,57	300	0,93	0,57	0,62	804,00	813,37	9,37
N9-B8	87,39	16,30	16,30	0,02	117,66	200	0,52	0,12	0,13	810,02	813,23	3,21
N9-N10	81,60	49,60	49,60	0,050	205,24	200	1,58	0,89	0,98	811,03	812,25	1,22
N10-B9	59,00	23,90	23,90	0,02	142,47	200	0,76	0,17	0,18	810,00	812,07	2,07
N10-N11	384,09	25,70	25,70	0,026	147,74	200	0,82	1,25	1,37	821,50	810,70	10,80
N11-B10	87,92	10,40	10,40	0,01	93,98	110	1,09	0,98	1,08	821,38	809,62	11,76
N11-N12	305,98	15,30	15,30	0,015	113,99	110	1,61	6,98	7,68	830,00	801,94	28,06
N12-B11	93,53	15,30	15,30	0,02	113,99	110	1,61	2,13	2,35	829,00	799,60	29,40

N° du tr	L (m)	S(ha)	Q (l/s)	Q (mC/s)	Dia calc (mm)	Dia Nor (mm)	V (m/s)	$\Delta Hl(m)$	$\Delta Ht(m)$	Z terrain (m)	Z piézo (m)	P (m)
N2-N13	198,71	279,10	279,10	0,28	486,85	500	1,42	0,62	0,68	831,30	798,92	32,38
N13-B12	96,43	12,50	12,50	0,01	103,03	110	1,32	1,51	1,66	804,65	797,25	7,40
N13-N14	324,96	266,60	266,60	0,27	475,83	500	1,36	0,93	1,02	820,20	796,24	23,96
N14-B13	96,75	20,00	20,00	0,02	130,33	200	0,64	0,20	0,22	814,93	796,02	18,91
N14-N15	190,55	146,60	146,60	0,15	352,85	400	1,17	0,53	0,58	806,00	795,44	10,56
N15-B14	87,36	17,90	17,90	0,02	123,30	200	0,57	0,14	0,16	810,00	795,28	14,72
N15-N16	223,84	228,70	228,70	0,23	440,71	500	1,17	0,48	0,53	803,20	794,75	8,45
N16-B15	84,25	24,40	24,40	0,024	143,95	200	0,78	0,25	0,27	804,00	794,48	9,52
N16-N17	118,85	204,30	204,30	0,20	416,54	500	1,04	0,21	0,23	807,00	794,25	12,75
N17-B16	85,57	24,60	24,60	0,02	144,54	200	0,78	0,26	0,28	808,62	793,97	14,65
N17-N18	304,70	179,70	179,70	0,18	390,66	400	1,43	1,24	1,36	800,00	792,60	7,40
N18-B17	98,00	18,00	18,00	0,02	123,64	200	0,57	0,16	0,18	802,00	792,42	9,58
N18-N19	131,06	161,70	161,70	0,16	370,57	400	1,29	0,44	0,48	802,90	791,94	10,96
N19-B18	88,34	26,10	26,10	0,03	148,88	200	0,83	0,29	0,32	803,20	791,62	11,58
N19-N20	360,78	135,60	135,60	0,14	339,35	400	1,08	0,87	0,96	810,64	790,66	19,98
N20-B19	93,92	26,60	26,60	0,027	150,30	200	0,85	0,32	0,36	812,00	790,30	21,70
N20-N21	93,38	109,00	109,00	0,11	304,25	300	1,54	0,61	0,67	811,00	789,63	21,37
N21-B20	82,90	24,80	24,80	0,02	145,13	200	0,79	0,25	0,28	811,41	789,36	22,05
N21-N22	249,03	84,20	84,20	0,08	267,41	300	1,19	1,01	1,11	806,94	788,25	18,69
N22-B21	94,58	23,20	23,20	0,02	140,37	200	0,74	0,25	0,28	820,14	787,97	32,17
N22-N23	127,66	61,00	61,00	0,06	227,61	300	0,86	0,28	0,31	811,00	787,65	23,35
N23-B22	87,90	24,00	24,00	0,02	142,77	200	0,76	0,25	0,28	815,00	787,38	27,62
N23-N24	290,69	37,00	37,00	0,04	177,26	200	1,18	1,85	2,04	826,00	785,34	40,66
N24-B23	89,73	20,50	20,50	0,02	131,95	200	0,65	0,19	0,21	818,00	785,13	32,87
N24-N25	202,31	16,50	16,50	0,02	118,38	200	0,53	0,29	0,32	829,00	784,81	44,19
N25-B24	60,00	16,50	16,50	0,02	118,38	200	0,53	0,09	0,09	830,00	784,72	45,28

Conclusion

Le réseau d'adduction et de distribution représente un élément clé dans la mise en place d'un système d'irrigation au sein d'un périmètre donné . Pour ce projet , la choix s'est porté sur une solution d'adduction reposant sur un système de pompage permettant de transférer l'eau depuis le barrage de BOUGARA vers le réservoir de stockage .La conduite de refoulement , prévue pour cette opération , affiche un diamètre de 800 mm , tandis que le réservoir , d'une capacité de 3800 m^3 , sera installé à une altitude de 833.50 m .

Concernant la distribution de l'eau vers les différentes parcelles agricoles réparties sur 24 ilots , le réseau sera constitué de tuyaux en Plastique renforcé de verre (PRV) et PEHD . Les calculs hydrauliques effectués montrent que les pression dans le réseau variant entre 1 et 4 bars , ce qui reste dans une plage acceptable pour ce type d'installation .

CHAPITRE 5

LES TECHNIQUES D'IRRIGATION

Introduction

L'humidité naturelle du sol étant souvent insuffisante pour assurer un rendement optimal des cultures , le recours à l'irrigation devient nécessaire . Il existe plusieurs techniques d'irrigation , chacune ayant ses spécificités . Dans ce chapitre , nous allons présenter les différentes méthodes d'irrigation , puis sélectionner celle qui s'adapte le mieux aux caractéristiques de notre périmètre d'étude.

5.1 Différentes techniques d'arrosages

Les techniques d'irrigation peuvent être classées en trois grandes catégories :

- L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface ;
- L'irrigation par aspersion ;
- L'irrigation localisée ou micro irrigation .

5.1.1 L'irrigation de surface

Cette technique nécessite un volume d'eau important par unité de surface , elle repose sur la distribution gravitaire de l'eau , en exploitant la pente naturelle du terrain . L'irrigation de surface est subdivisée en plusieurs méthodes , parmi lesquelles on distingue principalement :

5.1.1.1 L'irrigation par ruissellement

Cette méthode consiste à faire ruisseler l'eau à la surface du sol , le plus souvent à l'aide de rigoles ou de bandes inclinées , en suivant la pente du terrain .

-Les avantages de l'irrigation par ruissellement :

- Technique simple à mettre en œuvre , ne nécessitant pas d'équipements sophistiqués ;
- Coût d'investissement relativement faible ;
- Adaptée aux grandes surfaces agricoles;
- Recyclage possible de l'eau non absorbée .

Les inconvénients de l'irrigation par ruissellement :

- Forte consommation d'eau;
- Faible efficacité d'application (pertes par évaporation et infiltration profonde)
- Dépend fortement de la topographie du terrain;
- Risque d'érosion des sols en cas de pente trop importante ;
- Non adaptée aux sols imperméables ou très perméables .



Figure 5.1 – Irrigation par ruissellement .

5.1.1.2 Irrigation par surpression

L'irrigation par surpression repose sur l'utilisation d'un système sous pression pour distribuer l'eau , grâce à des conduites , pompes et dispositifs de diffusion . Elle comprend principalement deux techniques : l'aspersion et le goutte-à-goutte.

5.1.1.3 L'irrigation par submersion

Elle consiste à recouvrir complètement la parcelle d'eau sur une certaine durée .

- Les avantages de l'irrigation par submersion
- Très simple à appliquer , surtout pour les cultures comme le riz ;
- Bonne maîtrise de l'irrigation si les parcelles sont bien nivelées ;
- Peut réduire la croissance des mauvaises herbes (sol saturé).
- Les inconvénients de l'irrigation par submersion
- Très forte consommation d'eau;
- Non adaptée aux cultures sensibles à l'excès d'eau;
- Risque de salinisation des sol ;
- Favorise la prolifération de maladies hydriques

5.1.1.4 L'irrigation à la raie ou par sillons

Consiste à creuser de petits canaux (sillons) entre les rangs de culture , dans lesquels l'eau s'écoule par gravité .L'eau s'infiltre progressivement dans le sol pour atteindre les racines des plantes.

- Les avantages de l'irrigation à la raie
- Méthode simple et peu coûteuse à installer ;
- Utiliser la gravité , donc peu ou pas besoin d'énergie ;
- Moins d'évaporation que l'irrigation par aspersion .
- les inconvénient de l'irrigation à la raie
- Gaspillage d'eau possible si le sol est trop perméable;
- Nécessite un bon nivellement du terrain;
- Peut provoquer l'érosion si le débit d'eau est trop fort .



Figure 5.2 – L'irrigation à la raie .

5.1.2 l'irrigation par aspersion

Les avantages l'irrigation par aspersion

- Répartition uniforme de l'eau;
 - Adaptée aux terrains irréguliers;
 - Réduction de la main-d'œuvre;
 - Convient aux sols légers .
- Les inconvénients de l'irrigation par aspersion
- Coût d'installation élevé;
 - Sensible au vent;
 - Pertes d'eau par évaporation;
 - Besoin d'eau propre et d'énergie .



Figure 5.3 – l'irrigation par aspersion

5.1.3 l'irrigation goutte-à-goutte

- Les avantages de l'irrigation goutte-à-goutte
 - économie importante d'eau (très peu de pertes) ;
 - Apporte d'eau directement aux racines des plantes ;
 - Réduit le développement des mauvaises herbes ;
 - Améliore le rendement et la qualité des cultures .
- Les inconvénients de l'irrigation goutte-à-goutte
 - Risque de bouchage des goutteurs ;
 - Nécessite un entretien régulier du système ;
 - Moins adapté aux grandes surfaces sans système automatisé ;
 - Coût initial élevé (installation et matériel).



Figure 5.4 – L'irrigation goutte-à-goutte

5.2 Choix des techniques d'arrosage

Pour pouvoir choisir la technique d'irrigation convenable , il est nécessaire de savoir les contraintes suivant :

5.2.1 Les contraintes naturelles

5.2.1.1 L'évaporation

Notre zone d'étude est caractérisée par un évaporation élevé durant l'été , ce qui provoque une perte d'eau importante .

5.2.1.2 Le vent

C'est le facteur d'étèrminant dans le choix de technique d'irrigation , notre zone d'étude est caractérisée parles vitesses du vent enregistrées sont modérées tout au long de l'année.

5.2.1.3 Le sol

Le sol de la zone de bougara est de type limoneux-argileuse avec une perméabilité moyenne.Cela nécessite de la prudence lors de l'irrigation de surface afin d'éviter l'asphyxie des racines des plantes.Dans ce contexte , l'irrigation par aspersion ou l'irrigation localisée et préfèable , car elle permet une application précise de faibles quantités d'eau .

5.2.1.4 La pente

Notre périmètre a un pente variant entre 3% et 12.5% , ce qui peut constituer un obstacle relatif en termes d'utilisation de certains équipements agricoles , ainsi qu'en matière d'érosion du sol lors des précipitations ou de l'irrigation .Dans ce cas , il est recommandé d'adopter des techniques agricoles appropriées telles que la culture en courbes de niveau ou la création de terrasses pour limiter les effets de la pent et améliorer le rendement de l'exploitation .

5.2.2 Les contraintes techniques

- Qualification de main d'œuvre;
- Entretien du matériel .

5.2.3 Les contraintes agronomiques

Les types des cultures envisagées dans notre périmètre sont constitué de cultures fourragère , céréale , maraîchage et arboriculture , pour des raisons d'économie d'eau essentiellement on retient l'irrigation par aspersion pour les cultures fourragères et céréales , et l'irrigation localisé pour maraichage et arboricultures .

Une analyse multicritère du choix des techniques d'arrosages basée sur les différentes contraintes , résume le choix adéquat pour la zone considérée .

TABLE 5.1 – Analyse multicritères de choix de technique d'arrosage .

Contraintes	Irrigation de surface par rigole	Irrigation par aspersion	Irrigation localisée
Contraintes naturelles			
Évaporation	++	+	+++
Vent	+++	+	++
Texture (limono-argileuse)	++	++	+++
Perméabilité (moyenne)	++	++	+++
Pente (3% à 12.5%)	X	++	+++
Qualité de l'eau d'irrigation (bonne)	+++	++	+++
Contrainte agronomique			
Maraîchage	+++	++	+++
Fourragères et céréales	X	+++	X
Arbres	+++	X	+++
Contraintes économiques			
Économie d'eau	X	+++	+++

Remarque

X : Déconseille;

+ : Adapté avec réserve ;

++ : Adapté;

+++ : Très adapté.

Conclusion

L'irrigation constitue un poste important de consommation d'eau . Elle joue un rôle essentiel en compensant les pertes hydriques subies par les plantes et les sol .Afin d'éviter le gaspillage , les besoins en eau des cultures doivent être précisément évalués et adaptés. Dans le cadre de notre étude , nous avons retenu des systèmes d'irrigation modernes , notamment l'aspersion et le goutte-à-goutte , en raison de leur efficacité et de leur adéquation avec les caractéristiques de notre périmètre .

CHAPITRE 6

DIMENSIONNEMENT À LA PARCELLE

Introduction

La distribution de l'eau d'irrigation constitue l'un des trois piliers essentiels du processus d'irrigation .Elle consiste à acheminer l'eau depuis les point de distribution , appelés bornes , jusqu'aux plants situés à l'extrémité des parcelles , à travers des système conçus avec une grande précision . Ce chapitre a pour objectif de dimensionner des système d'irrigation , notamment par aspersion et goutte à goutte , reconnus pour leur efficacité et leur contribution significative à l'économie d'eau.

6.1 Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par aspersion

6.1.1 Données générales

6.1.1.1 Choix de parcelle

Dans le cadre de la conception du réseau d'irrigation par aspersion, la parcelle N°8 de l'ilot N°3 a été retenue comme modèle d'étude . Cette parcelle couvre une superficie de 8.2 hectares et présente les caractéristiques suivantes :

- Surface :8.2 ha
- Longueur :115 m
- Largeur : 96 m
- Alimentation en eau :Borne B3
- Pression disponible à la borne :2.24 bars
- Perméabilité du sol : 9 mm/h
- Densité apparente de sol :1.5

6.1.1.2 Choix de la culture

Pour le dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion, le blé a été retenu comme culture de référence en raison de ses avantages à la fois économiques et agromomiques . Cette culture nécessite des apports en eau réguliers sur la période allant d'Octobre à juin. Le besoin en eau atteint un maximum au cours du mois de Mars, avec une demande nette de points estimée à 82.8 mm/mois.

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

6.1.2 Calcul de la dose pratique

Elle est calculée comme suit :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) \times \gamma \times d_a \times z \quad (6.1)$$

Y : degré de tarissement : égal à 2/3

d_a : densité apparente : 1.35

Z : profondeur d'enracinement mm (60 cm pour le blé)

H_{cc} : humidité à la capacité au champ (26%)

H_{pf} : humidité au pont de flétrissement (15%)

AN : $RFU = (0.26 - 0.15) \times 1.35 \times 600 \times 2/3 = 59.4mm$

6.1.3 Dimensionnement de l'asperseur

6.1.3.1 Choix du diamètre de la buse

La détermination du diamètre de la buse des asperseurs doit respecter la condition selon laquelle la pluviométrie produite par l'asperseur doit être inférieure à la perméabilité du sol, fixée à 9 mm/h .

On pose que la pluviométrie de la buse est égale à la perméabilité de sol c'est-à-dire : $P = K = 9 \text{ mm/h}$, avec :

$$P = \frac{1.5d}{1.04} \quad (6.2)$$

On obtient un diamètre de 6.24.

En se référant à la nouvelle fiche technique de l'asperseur de type Perrot actualisé on prend un diamètre de 4.5 mm sous une pression nominale de 2.5 bars.

6.1.3.2 Calcul de la portée

La portée correspond à la distance maximale que peut atteindre le jet d'eau d'un asperseur .Elle se calcule à l'aide de la formule empirique suivante :

$$L = 3 \times d^{0.5} \times h^{0.25} \quad (6.3)$$

Avec :

- d : diamètre de la buse en (mm) ;

- h : pression de la buse en (m) , dans notre cas : h = 2.5 bar = 25 m .

Alors : L = 14.23 m

D'après le catalogue du fournisseur Perrot , pour le diamètre de la buse de 4.5mm à une pression de service normale de 2.5 bars la portée calculée est de 15,0 m.

6.1.3.3 Calcul des écartements

En fonction de la vitesse du vent , dans notre région la vitesse est faible donc les écartements sont calculés par les relations suivantes :

$$E_a = 0.8 \times L = 0.8 \times 15 = 12m \quad (6.4)$$

$$E_l = 1.2 \times L = 1.2 \times 15 = 18m \quad (6.5)$$

Telle que :

- E_a : est la distance entre des asperseurs de la même rampe .

- E_l : est la distance entre les rampes.

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

6.1.3.4 Calcul du débit de l'asperseur

le débit est calculer par la formule suivant :

$$q_{asp} = 0.95 \times \frac{\pi d^2}{4} \times \sqrt{2gh} = 3.43 \times 10^{-4} m^3/s = 1.2 m^3/h \quad (6.6)$$

6.1.3.5 Vérification de la pluviométrie de la buse

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

$$p = \frac{q_{asp}}{E_a E_l} = \frac{1.2}{12 \times 18} = 5.56 mm/h \quad (6.7)$$

Donc la diamètre de la buse choisi va assurer une pluviométrie $P \leq K = 9 \text{ mm/h}$

6.1.4 Détermination des paramètres d'arrosage

6.1.4.1 Calcul du tour d'eau

$$T_{eau} = \frac{Dose_{RFU} \cdot N_j}{B_{mp}} \quad (6.8)$$

B_{mp} : le besoin net du mois de pointe de la culture choisi «Blé» qui est égale à 82.8 mm.

N_j : le nombre de jours de travail par mois égale 26 jours .

Le calcul nous donne $T_{eau} = 20$ jours , Donc le nombre d'irrigation sera égal à 2 irrigations par mois, soit chaque un tour d'eau $T=20$ jours.

6.1.4.2 Dose réelle

Volume d'eau estimé nécessaire pour une seul séance d'irrigation :

$$D = \frac{B_{mp}}{\text{nombre d'irrigation par mois}} = \frac{82.8}{2} = 41.4mm \quad (6.9)$$

6.1.4.3 Dose brute

Quantité d'eau réellement apportée à la parcelle , en tenant compte des pertes . La valeur de la dose brute est calculée par la relation suivante :

$$D_{brute} = \frac{D_r}{e_{ff}} = \frac{41.4}{0.75} = 55.2mm \quad (6.10)$$

Avec :

e_{ff} : est l'efficiencie de l'aspersion qui est égale à 75%.

6.1.4.4 Temps d'arrosage

La durée T d'arrosage avec un asperseur , sans excéder la capacité d'infiltration du sol , peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$T_{arrosage} = \frac{D_{brute}}{p_{asp}} = \frac{55.2}{5.56} = 9.92 = 10\text{heurs} \quad (6.11)$$

Donc on adopte 2 positions par jour pour chaque asperseur .

6.1.4.5 Débit d'équipement

$$Q_{eq} = \frac{S \times B_{mp} \times 10}{T \times n \times N_j \times e_{ff}} \quad (6.12)$$

Q_{eq} : débit d'équipement en $m^3/12h$;

S : Surface de parcelle en ha;

B_{mp} : besoin net de mois de point de la culture choisi;

T : Tour d'eau en heures;

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

e_{ff} : efficacité d'irrigation par aspersion.

A.N :

$$Q_{eq} = \frac{1 \cdot 2 \times 82.8 \times 10}{20 \times 2 \times 26 \times 0.75} = 8.7 m^3/h$$

6.1.4.6 Calcul de l'unité d'arrosage S_u

Le calcul de la surface irriguée par unité s'effectue de la manière suivante :

$$S_u = \frac{S}{T \cdot n} = \frac{8.2}{20 \times 2} = 0.205 ha \quad (6.13)$$

6.1.4.7 Nombre d'asperseurs requis

$$N_{asp} = \frac{S_u (m^2)}{E_a \cdot E_l} = \frac{0.205 \times 10000}{18 \times 12} = 9.5 \quad (6.14)$$

6.1.5 Calcul hydraulique des rampes et porte rampe

6.1.5.1 Calcul la longueur de la rampe

Les asperseurs sont positionnés une distance E_a par rapport à deux des cotes de la parcelle , qui nous donne :

$$L_r = Largeur_{terrain} - \frac{E_a}{2} \quad (6.15)$$

L_r : longueur de la rampe en m;

E_a : écartement entre asperseurs dans la même rampe en m.

Donc : $L_r = 96-6=90$ m

6.1.5.2 Nombre des asperseurs par rampe

Il s'agit du rapport entre la longueur de la rampe et l'écartement entre asperseurs :

$$N_{asp/rampe} = \frac{L_r}{E_a} = \frac{90}{12} = 7.5 \text{ asperseurs/rampe} \quad (6.16)$$

Donc on prend 7 asperseurs.

6.1.5.3 Nombre des rampes

$$N_{\text{rampe}} = \frac{N_{\text{asp}}}{N_{\text{asp/rampe}}} \quad (6.17)$$

Donc on travail avec 1 rampe.

6.1.5.4 Débit de la rampe

$$Q_r = q_{\text{asp}} \times N_{\text{asp/rampe}} = 1.2 \times 7 = 8.4 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0023 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6.18)$$

6.1.5.5 Diamètre de la rampe

$$D = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot Q_r}{\pi \cdot V}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 0.0023}{\pi \times 1.25}} = 0.048 \text{ m} \quad (6.19)$$

Avec :

V : vitesse admissible égale à 1.25 m/s.

On prend un diamètre normalisé de 50 mm.

6.1.5.6 Dimensionnement de la porte rampe

1- Longueur de la porte rampe

$$L_{\text{pr}} = \text{Longueur}_{\text{terrain}} - \frac{E_l}{2} = 115 - 9 = 106 \text{ m} \quad (6.20)$$

2- Débit de la porte rampe

$$Q_{\text{pr}} = Q_r \times N_{\text{rampe}} = 0.0023 \times 1 = 0.0023 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6.21)$$

3- Diamètre de la porte rampe

$$D_{\text{pr}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot Q_{\text{pr}}}{\pi \cdot V}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 0.0023}{\pi \times 1.25}} = 0.048 \text{ m} \quad (6.22)$$

On le normalise à 50mm pour minimiser les pertes de charges.

4- Vérification des pertes de charge de la rempe et la porte rampe

D'après les principes établis par Christiansen, la répartition des pertes de charge se fait de la manière suivante :

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

En appliquant la relation de Hazen-Williams on a :

$$J_r = \left(\frac{3.592}{Ch_w} \right)^{1.852} \times \frac{L_r}{D_r^{4.87}} \times Q_r^{1.852} = 2.68m \quad (6.23)$$

$$J_{pr} = \left(\frac{3.592}{Ch_w} \right)^{1.852} \times \frac{L_{pr}}{D_{pr}^{4.87}} \times Q_{pr}^{1.852} = 1.95m \quad (6.24)$$

6.1.6 Dimensionnement de la conduite tertiaire

On applique l'équation de continuité qui donne :

$$D_{ct} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ct}}{\pi \cdot V_{adm}}} \quad (6.25)$$

Tel que :

- D_{ct} : diamètre de la conduite tertiaire en m.
- Q_{ct} : débit de la conduite tertiaire en m^3/s (égale à $0.0023m^3/s$).
- V_{adm} : vitesse admissible égale à 1.25 m/s .

Alors : la conduite tertiaire a un diamètre de 50 mm

6.1.7 Récapitulatif de réseau d'irrigation par aspersion

TABLE 6.1 – Récapitulatif de réseau d'irrigation par aspersion.

Conduite	Longueur (m)	Débit (m^3/s)	Diamètre (mm)	vitesse (m/s)	P d C (m)
C. tertiaire	10	0.0023	50	1.25	0.12
Porte rampe	106	0.0023	50	1.25	1.95
Rampe	90	0.0023	50	1.25	2.68

Avec des pertes de charge de 4,7 m, représentant 13,4 % de la pression de service de 3,5 bars, le réseau d'aspersion est jugé conforme aux exigences.

6.2 Dimensionnement de réseau d'irrigation goutte à goutte

6.2.1 Données générales

6.2.1.1 Choix de parcelle

Le réseau d'irrigation sera installé sur l'îlot 10 la parcelle 22 ; alimentée par la borne B10 et dont les pressions calculées sont de l'ordre de 1.2 bars, ce qui est largement suffisant. La surface de l'exploitation est de 2.6 ha. Qui possède les caractéristiques suivantes :

- Surface :2.6 ha
- Longueur : 100 m
- Largeur :100 m
- Alimentation en eau :Borne B10
- Pression disponible à la borne : 1.2 bars
- Perméabilité du sol : 9 mm/h;
- Densité apparents de sol : 1.45 .

6.2.1.2 Choix de culture

Pour concevoir le réseau d'irrigation par goutte à goutte , nous avons opté pour la culture de l'olivier .Cette plante requiert des apports hydriques réguliers tout au long de l'année , avec une demande maximale enregistrée en juillet , atteignant un besoin net de 166.13 mm pour ce mois .

6.2.1.3 Choix de réseau d'irrigation

La parcelle d'olivier est irriguée par un réseau goutte à goutte qui a les propriétés suivantes :

- Deux gouteurs par arbre ;
- La distance entre gouteurs est m;
- Débit des gouteurs égale à 4 l/h;

Remarque : Le temps de travail est 22 heures par jour durant 26 jours par mois .

6.2.2 Calcul l'évapotranspiration corrigée

En micro-irrigation , l'eau est distribuée de façon ciblée sur une zone restreinte du sol , généralement à proximité immédiate des plantes . Cette méthode nécessite l'application d'un coefficient de réduction , noté K_r , qui s'applique à l'évapotranspiration maximale (ETM) afin de refléter la surface réellement irriguée .

Donc l'évapotranspiration modifiée (ETM_r) est calculée par la formule suivante :

$$ETM_r = K_r \times ETM \quad (6.26)$$

La valeur de K_r est influencée par le taux de couverture du sol ($C_s = 60\%$) par les arbres adultes (Ollier et poirre 1983)[4]. Diverses formules permettent de calculer K_r qui sont :

KELLER et KARMELI (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0.85} \quad (6.27)$$

La formule de freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s) \quad (6.28)$$

La formule de Decroix (CTGREfl) :

$$K_r = .01 + C_s \quad (6.29)$$

Un taux de couverture de 60 % est envisagé pour les arbres à maturité. Donc : Selon Freeman et Garzoli $K_r=0.8$.

$$\text{Donc : } ETM_c = 0.8 \times \frac{166.13}{30} = 4.43 \text{ mm/j}$$

6.2.3 Calcul de la dose d'irrigation corrigée

Le besoin net en irrigation B_{net} représente la quantité d'eau théorique requise pour assurer une production optimale sur toute la surface cultivée .

$$D_c = RFU \times P = \left(\frac{H_{cc} - H_{pf}}{100} \right) \times Z \times d_a \times Y \times P \quad (6.30)$$

Tel que :

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

H_{pf} humidité au point de flétrissement ($H_{pf} = 15\%$);

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

Z : profondeur d'enracinement en mm ($Z= 1500\text{mm}$);

d_a : est la densité apparente du sol ($d_a = 1.35$);

P : pourcentage du sol humidifié .

$$P = \frac{n \times s_{pd} \times s_h}{s_a \times s_r} \quad (6.31)$$

P : volume du sol humidifié;

n : nombre de pointe de distribution par arbre (2 par arbre);

s_{pd} : distance entre deux points de distribution voisins du même arbre (1 m);

s_h : largeur de la bande humidifié (1m) .

s_r : écartement entre rangs d'arbre (4m);

s_a : espacement des arbres sur les rengs (4m).

$$\text{A.N : } P = 0.2 = 20\%$$

$$\text{Donc : } D_c = 29.7 \text{ mm}$$

6.2.4 Paramètres d'arrosage

6.2.4.1 fréquence d'arrosage

La fréquence à laquelle il faut arroser est calculée selon la formule suivante :

$$T_{eau} = \frac{D_c}{ETM_c} = \frac{29.7}{4.43} = 6.7j \quad (6.32)$$

Implique le tour d'eau est 7 j.

6.2.4.2 La dose réelle

Pour obtenir la dose réelle , on applique la formule suivante :

$$D_{réelle} = T_{eau} \times ETM_c = 7 \times 4.43 = 31mm \quad (6.33)$$

6.2.4.3 La dose brute

La dose brute est calculée par l'utilisation de la formule :

$$D_{brute} = \frac{D_{réelle}}{C_u \times E_{ff}} \quad (6.34)$$

Avec :

C_u : coefficient d'uniformité $C_u=90\%$;

E_{ff} :efficacité du réseau d'irrigation $E_{ff} = 90\%$.

Donc : $D_{brute} = 38.3 \text{ mm}$

6.2.4.4 Temps d'arrosage

le calcul de temps d'arrosage se fait par la formule suivante :

$$T_f = \frac{D_{brute} \times S_d \times S_r}{n \times q_g} \quad (6.35)$$

Avec :

S_d : espacement entre les distributeurs;

S_r : espacement entre les rangs;

n : le nombre des gouteurs ;

Q_g : débit des goutteurs .

Alors : $T_f = 19.5 \text{ heures} \approx 20\text{heurs}$

6.2.5 Calcul hydraulique des rampes et la porte rampe

6.2.5.1 Condition de Christensen

Selon le critère de christiansen , la variation de débit entre les goutteurs doit rester inférieure ou égale à 10% :

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\% \quad (6.36)$$

- Variation maximale de la pression

$$q = K.H^x \quad (6.37)$$

Avec : $x = 0.5$ (caractéristique du goutteur)

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = x \frac{\Delta H}{H(n)} \quad (6.38)$$

Avec :

$q(g)$: débit nominal du goutteur .

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

Donc : $0.1 = 0.5 \frac{\Delta H(max)}{10}$

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

Donc selon la règle de Christainsen 10 % ΔH singulières = 0.2 m . Le reste 1.8 ΔH linéaire = 1.8 m

Donc pour les rampes $2/3 \times 1.8 = 1.2m$

Pour le porte rampe $1/3 \times 1.8 = 0.6$

6.2.5.2 Les débits

$$Q_r = Q_g \times N_{g/rampe} \quad (6.39)$$

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r \quad (6.40)$$

Avec :

Q_r : débit de la rampe (l/h) ;

Q_{pr} : débit du porte rampe (l/h) ;

Q_g : débit du goutteur (l/h) ;

N_r : nombre de rampes ;

$N_{g/rampe}$: nombre de goutteurs.

On a :

- La longueur de la rampe est de :100 m

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

1- Nombre des arbres par rampe

Pour calculer le nombre des arbres par rampe en utilise la formule suivante :

$$N_{\text{arbre/rampe}} = \frac{L_{\text{terrain}}}{S_a} \quad (6.41)$$

On trouve 25 arbre par rampes

2- Nombre des goutteurs par rampe

Il faut utiliser la formule suivante pour calculer le nombre des goutteurs par rampe :

$$N_{\text{goutteurs / rampe}} = N_{\text{arbre / rampe}} \times 2 \quad (6.42)$$

Donc : il existe 50 goutteurs par rampe .

3- Nombre des rampes

Il est calculé par la formule suivante :

$$N_{\text{rampe}} = \frac{L_{\text{terrain}}}{S_r} \quad (6.43)$$

Notre parcelle contient 25 rampes.

Alors :

$$Q_r = Q_g \times N_{g/rampe} = 8 \times 50 = 400/h = 1.1 \times 10^{-4} m^3/s$$

$$Q_{pr} = Q_r \times N_r = 25 \times 400 = 10000/h = 0.0028 m^3/s$$

6.2.5.3 Diamètre des rampes et la porte rampe

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

$$D_r = \left[\frac{Pdc(r) \times 2.75}{0.478 \times Q(r)^{1.75} \times L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad (6.44)$$

$$D_{pr} = \left[\frac{Pdc(pr) \times 2.75}{0.478 \times Q(pr)^{1.75} \times L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}} \quad (6.45)$$

On trouve : $D_r = 11.2$ mm . On le normalise à 16 mm.

$D_{pr} = 58.6$ mm . On normalise à 63 mm .

6.2.5.4 Vérification des pertes de charge

La formule de Hazen-williams pour calculer les pertes de charge est la suivante :

$$\Delta H_L = \left(\frac{3.592}{CH_w} \right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} * Q^{1.852} \quad (6.46)$$

Alors : $\Delta H_r = 0.9m < 1.2m \rightarrow$ condition vérifier

$\Delta H_{pr} = 0.47m < 0.6m \rightarrow$ condition vérifier

6.2.6 Dimensionnement de la conduite tertiaire

On utilise la formule suivante pour dimensionner la conduite tertiaire :

$$D_{ct} = \sqrt[3]{\frac{4 \times Q_{ct}}{\pi \times V_{adm}}} \quad (6.47)$$

Tel que :

- D_{ct} : diamètre de la conduite tertiaire en m .

- Q_{ct} : débit de la conduite tertiaire en m^3/s (égale à $0.0028 m^3/s$.

- V_{adm} : vitesse admissible égale à $1.05 m/s$.

Alors : $D_{ct} = 0.09 m$. On normalise en $63 mm$.

6.2.7 Récapitulatif de réseau d'irrigation goutte à goutte

TABLE 6.2 – Récapitulatif de réseau d'irrigation goutte à goutte

Conduite	Longueur (m)	Débit (m^3/s)	Diamètre (mm)	vitesse (m/s)	P d C (m)
C. tertiaire	10	0.0028	63	0.55	0.04
Porte rampe	100	0.0028	63	0.55	0.47
Rampe	100	1.1×10^{-4}	16	0.62	0.9

Conclusion

Dans ce chapitre , deux techniques d'irrigation ont été analysées : Le système par aspersion et celui du goutte-à-goutte , appliqués respectivement aux cultures blé et d'oliviers. Pour l'irrigation du blé , des asperseurs ont été installés avec un espacement de $18 m$ sur $12 m$. Quant aux oliviers , Un système de goutte-à-goutte à été mis en œuvre avec des rampes disposées tous les $4 m$, délivrant un débit de $8 l/h$. Le dimensionnement hydraulique a été soigneusement étudié afin d'assurer une distribution uniforme de l'eau tout en limitant les pertes de charge . Le recous à ces deux méthodes a permis une gestion rationnelle de l'eau , essentielle au développement agricole durable et à la préservation de cette ressource précieuse . Cette stratégie vise à optimiser l'irrigation des cultures concernées , en valorisant au mieux les ressources hydriques disponibles.

CHAPITRE 7

CALCUL TECHNICO-ECONOMIQUE

Introduction

Ce chapitre présente une estimation de coût global pour l'aménagement hydro-agricole du périmètre de BOUGARA .

Afin de réaliser cette étude , il est nécessaire de déterminer précisément l'ensemble des travaux à entreprendre sur les trois lots à savoir :La station de pompage , le réservoir , l'adduction et la distribution .

7.1 Travaux de construction et estimation des coût de la station de pompage

7.1.1 Travaux nécessaires pour la construction de la station de pompage

Les étapes nécessaires à la construction de la station de pompage incluent :

- Les travaux de terrassement et la préparation des fondations.
- La construction du bâtiment de la station de pompage .
- Les travaux de maçonnerie et de finition générale.

7.1.2 Calcul des dimensions de la station de pompage

7.1.2.1 La hauteur du bâtiment

La hauteur du bâtiment est définie selon les critères suivants :

$$H_B = h_{\text{pompe}} + h_{\text{homme}} + h_{\text{chariot}} + h_{\text{hauteur profilé}} + h_{\text{sécurité}} \quad (7.1)$$

Avec :

h_{pompe} : distance verticale de la pompe.

$$h_{pompe} = h_{pompe \text{ réelle}} + h_{socle} + h_{réserve} \quad (7.2)$$

$h_{réserve} = 0.5 \text{ m}$;

$h_{socle} = (0.3 \text{ à } 0.5) \text{ m}$ en prend 0.4 m;

$h_{pomperelle} =$ Hauteur de la pompe PM 150 pompe centrifuge multicellulaire pour hautes pression à axe horizontale) à 845 mm = 0.854 m .

Donc $h_{pompe} = 1.745 \text{ m}$;

Hauteur réservée à l'homme = 2.2 m;

Hauteur de chariot = 0.3 m;

Hauteur profilée 0.8 m;

Hauteur de sécurité = 0.5 m .

Donc : $H_B = 1.754 + 2.2 + 0.3 + 0.8 + 0.5 = 5.55 \text{ m}$

On prend $H_B = 6 \text{ m}$

7.1.2.2 La longueur du bâtiment

La longueur du bâtiment est calculée par la formule suivante :

$$L_B = (n_p \times L_{GEP}) + L_{int} + L_{pf} + L_r + (2 \times S) \quad (7.3)$$

Avec :

n_p : nombre des pompes = 5 pompes ;

L_{GEP} : longueur moteur + pompe . D'après CAPRARI c'est = 1.917 m;

L_{int} : distance entre deux pompes voisines (0.8 à 1.2 m) , on prend 0.8 m;

L_{pf} : longueur de la plateforme = 2 m;

L_r : longueur de l'armoire électrique = 3 m S : épaisseur de mur S = 20 cm

Donc : $L_B = (5 \times 1.917) + 0.8 + 2 + 3 + 2 \times 0.2 = 15.7 \text{ m}$.

On prend la valeur de 16 m

7.1.2.3 La largeur du bâtiment

La largeur du bâtiment est calculée comme suivante :

$$l_B = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + (2 \times S) \quad (7.4)$$

Avec :

S : épaisseur de mur , S = 20 cm;

l_1 : la distance entre le mur et le premier orange avec : $l_1 = (20 \text{ à } 30) \text{ cm}$,

on prend $l_1 = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$;

l_2 : la distance entre les tubulures = (15 à 20)cm , on va prendre $l_2 = 18 \text{ cm} = 0.18 \text{ m}$;

l_3 : Longueur des accessoires au aspiration;

l_4 : Longueur des accessoires au refoulement;

D'après les dimensions de la pompe et les accessoires en aspiration et adduction , on peut déduire $(l_3 + l_4) = 4760 \text{ mm} = 4.760 \text{ m}$.

Ce qui donne : $l_B = 0,25 + 0,18 + 4.76 + 0,40 = 5.59 \text{ m}$.

On prend $l_B = 6 \text{ m}$

7.1.3 Estimation du cout de la construction de la station de pompage

TABLE 7.1 – Estimation du cout de la station de pompage.

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
1) Travaux de terrassement				
Décapage de terre végétale	m^3	50	250	12500
Déblai des fouilles	m^3	200	240	47600
Remblai des fouilles	m^3	150	1400	210000
Remblai des casiers	m^3	30	1400	4200
2) Gros œuvres				
Béton de propreté dosé $150 \text{ kg}/m^3$ (sous semelle)	m^3	10	6500	65000
Béton armé dosé $300 \text{ kg}/m^3$ (semelles)	m^3	12	40000	480000
Béton armé dosé $300 \text{ kg}/m^3$ (demi-poteaux)	m^3	8	40000	320000
Béton de propreté dosé $150 \text{ kg}/m^3$ (sous longrines)	m^3	8	6500	52000
Béton armé dosé $300 \text{ kg}/m^3$ (longrines)inf	m^3	10	40000	400000
Béton armé dosé $300 \text{ kg}/m^3$ (longrines)sup	m^3	10	40000	400000
Béton armé dosé $300 \text{ kg}/m^3$ (poteaux)	m^3	12	40000	480000
Béton armé dose $300 \text{ kg}/m^3$ (dalles)inf	m^3	20	40000	800000
Béton armé dose $300 \text{ kg}/m^3$ (dalles)sup	m^3	20	40000	800000
3) Maçonnerie				
Nombre des briques	unité	10000	30	300000
Nombre des pièces d'hourdis	unité	500	43	21500
Volume des poutrelles	m^3	4	40000	160000
Surface de crépissage	m^2	200	500	100000
			Total $H_t(DA)$	4690600
			TVA (19%)	891214
			TTC (DA)	5581814

Le coût de la station de pompage est :5,581,814 DA

7.2 Travaux de construction et estimation du coût du réservoir

7.2.1 Travaux de construction du réservoir

La réalisation d'un réservoir en béton sera divisée en trois phases principales :

- Les opération de terrassement;
- La mise en place de la fondation;
- L'édification de la structure du réservoir ,incluant le bétonnage et la ferrailage .

7.2.2 Estimation du coût de construction

TABLE 7.2 – Estimation du coût du réservoir

Désignation des travaux	Unité	Quntité	Prix unitaire	Montant
1) Travaux de terrassement				
Décapage	m^3	20	250	5000
Déblai de fouille	m^3	50	240	12000
Remblai compacté	m^3	30	1400	42000
2) Gros œuvres				
Béton de propreté sous radier	m^3	10	11110	111100
Béton armé du radier	m^3	15	8000	120000
Béton armé des parois	m^3	20	9500	190000
Béton armé de la coupole 1 m^3	10	9500	95000	
			Total H_t (DA)	604800
			TVA (19%)	114912
			TTC (DA)	719712

Le coût du réservoir est de :719,712 DA

7.3 Travaux et estimation des coûts concernant l'adduction et le réseau distribution

7.3.1 Travaux concernant l'adduction et le réseau distribution

Les travaux liés à l'installation de l'adduction d'eau et du réseau de distribution comprennent les étapes suivantes :

- Réalisation des fouilles en tranchée ;
- Mise en place d'un lit de sable ;
- Installation des conduites;
- Vérification de l'étanchéité des joints et de la canalisation;

- Reconstitution du remblai dans les tranchées ;
- Travaux de nivellement et de compactage final .

7.3.2 Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution

7.3.2.1 Calcul du volume de terrassement

- Largeur du fond de la tranchée

La largeur de la tranchée sera déterminée en tenant compte du diamètre de la conduite , en prévoyant un dégagement de 30 cm de part et d'autre de celle-ci.

Ainsi , l'ouverture de la tranchée se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$B = d + 0.6(m) \quad (7.5)$$

Avec :

B : Largeur de la tranchée (m) ;

d : diamètre de la conduite (m).

- Profondeur de la tranchée

La profondeur d'enfouissement de la conduite doit être suffisante pour permettre l'exécution adéquate des branchements individuels et éviter toute interaction avec les autres conduites .

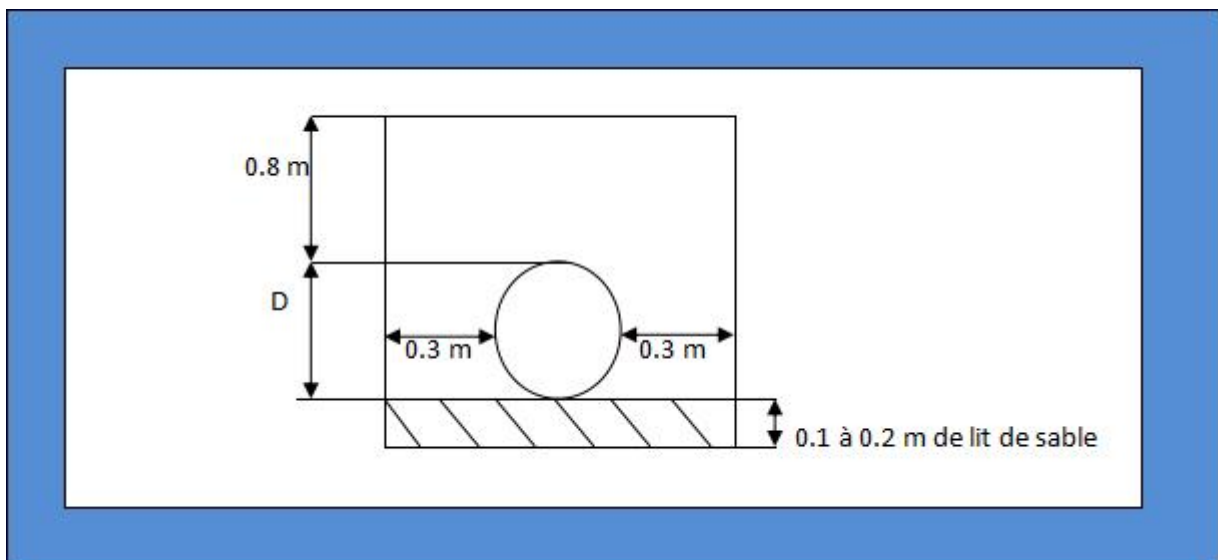


Figure 7.1 – Schéma d'une tranchée .

$$H_t = e + d + h(m) \quad (7.6)$$

Avec :

H_t : Profondeur de la tranchée (m) ;

e : hauteur de lit de pose (m) ;

d : diamètre de la conduite (m) ;

h : hauteur du remblai au-dessus de la conduite .

- Section de la tranchée :

Les section des tranchées sont :

$$S_{tr} = B \times H_{tr} \quad (7.7)$$

H_{tr} : profondeur total de la tranchée (m) ;

B : Largeur du fond de la tranchée (m) .

- Volume à excaver

Le volume d'excavation est :

$$V_d = S_{tr} \times L = (B \times H_{tr} \times L \quad (7.8)$$

V_d : volume du déblai (m^3) ;

S_{tr} : La section de la tranchée (m^2) ;

L : Longueur de la tranchée (m) ;

B : Largeur de la tranchée (m) ;

H_{tr} : La hauteur de la tranchée (m).

- Calcul du volume de déblai et remblai

L'installation des conduites dans le sol se réalise à l'intérieur d'une tranchée , dont la largeur à la base , notée B , est déterminée selon la formule suivante :

$$B = D + (2 \times 0.3) \quad (7.9)$$

D : diamètre de la conduite (m).

La profondeur de la fouille est en fonction du diamètre de la conduite , de la température du lieu (max , min) et les sollicitation des charge mobiles. $H \geq D + 0.8$

$$\text{Déblai} = L \times H \times B \quad (7.10)$$

- Calcul du volume du lit de sable

Il s'agit d'une couche de sable de 12 cm d'épaisseur déposée au fond de la tranchée . Cette couche présente une surface uniforme tout au long de la tranchée , et son volume est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$V = e \times B \times L(m^3) \quad (7.11)$$

- Calcul du volume de remblai

Ce volume est obtenu à partir du volume du déblai , celui occupé par la conduite ainsi que celui correspondant à la couche de sable .

$$V_r = V_d - (V + V_s) \quad (7.12)$$

V_r : Volume du remblai compacté (m^3) ;

V_d : Volume du déblai (m^3) ;

V_s : Volume du sable ;

V : volume occupé par la conduite (m^3) , $L \times (\frac{\pi d^2}{4})$;

d : diamètre de la conduite (m) ;

L : Longueur de la conduite (m)

TABLE 7.3 – Calcul du volume de remblai

conduites	Diamètre (m)	e(m)	h (m)	B (m)	H (m)	L (m)	$V_{dblai} (m^3)$	$V_{sable} (m^3)$	$v_{remblai} (m^3)$
D32	0.032	0.2	0.832	0.632	1.064	63.5	42.70	8.03	50.68
D80	0.08	0.2	0.88	0.68	1.16	111	87.55	15.09	102.10
D90	0.09	0.2	0.89	0.69	1.18	402	327.30	55.47	380.26
D110	0.11	0.2	0.91	0.71	1.22	675.09	584.76	95.86	674.29
D200	0.2	0.2	1	0.8	1.4	2691.24	3014.18	430.59	3361.35
D300	0.3	0.2	1.1	0.9	1.9	834.14	1201.16	150.14	1293.12
D400	0.4	0.2	1.2	1	1.8	2537.45	4567.41	507.49	4760.25
D500	0.5	0.2	1.3	1.1	2	1222.01	2688.42	268.84	2720.50
D800	0.8	0.2	1.5	1.3	2.4	4673	14579.76	1214.98	14020.17

7.3.3 Estimation du coût de pose des canalisation

TABLE 7.4 – Estimation du coût de pose de la conduite d'adduction

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai de terrain	m^3	14579.76	240	3499142.4
Lit de sable	m^3	1214.98	900	1093482
Remblai	m^3	14020.17	1400	19628238
tube D800	Ml	4251.48	12000	51017760
			Total 1 (ht)	75238622.4
			TVA 1 (19%)	14295338.26
			TTC 1	889533960.66

7.3.4 Estimation du coût du réseau de distribution

TABLE 7.5 – Facture des différents types de conduites du système de distribution

Conduites	Type de conduite	Unités de mesure	Quantité (m)	Prix unitaire (DA/m)	Montant (DA)
D32	PEHD	ml	63.5	63	4000.5
D90	PEHD	ml	513	432	221616
D110	PEHD	ml	675.09	635	428682.15
D200	PEHD	ml	2691.24	1940	5221005.6
D300	PRV	ml	834.14	4950	4128993
D400	PRV	ml	2537.45	7600	19284620
D500	PRV	ml	1222.01	12000	14664120

TABLE 7.6 – Estimation du coût des travaux de terrassement du réseau de distribution

Désignation des travaux	Unité	Quntité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblai en terrain	m ³	12516.33	240	3003919.2
Lit de sable	m ³	1513.76	900	1362384
Remblai	m ³	13345.47	1400	18683658
			Totale 1 (HT)	23049961.2
			TVA 1 (19%)	4379492.628
			TTC 1	29779415.03

Projet en prenant en compte toute les opération financières est de l'ordre de :CT
=969567939 DA

Conclusion

Dans ce chapitre , nous présentons le devis global relatif à l'adduction et au réseau de distribution .Dans un premier temps , une analyse quantitative des volumes de travaux a été réalisée .Cette étude a permis , dans un second temps ,d'évaluer le coût total du projet ,lequel s'élève à 969,567,939 DA .

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le cadre de ce travail , nous avons étudié les différentes composantes du projet d'irrigation de périmètre de BOUGARA . Une étude complète du système d'irrigation a été réalisée en vue de la valorisation de 500 ha à partir de barrage BOUGARA .

L'analyse climatique a confirmé que la région appartient à un climat semi-aride , avec une période sèche de mai à octobre .Cela justifie le recours à l'irrigation comme levier essentiel pour l'intensification agricole.

Les analyses pédologiques ont révélé que le sol est de texture limono-argileuse .Ces résultats ont orienté le choix des cultures ainsi que des techniques d'irrigation les plus appropriées .

L'aspersion , méthode déjà bien maîtrisée localement , constitue une garantie en matière de qualité des produits , ce qui en facilite l'utilisation à des fins industrielles .

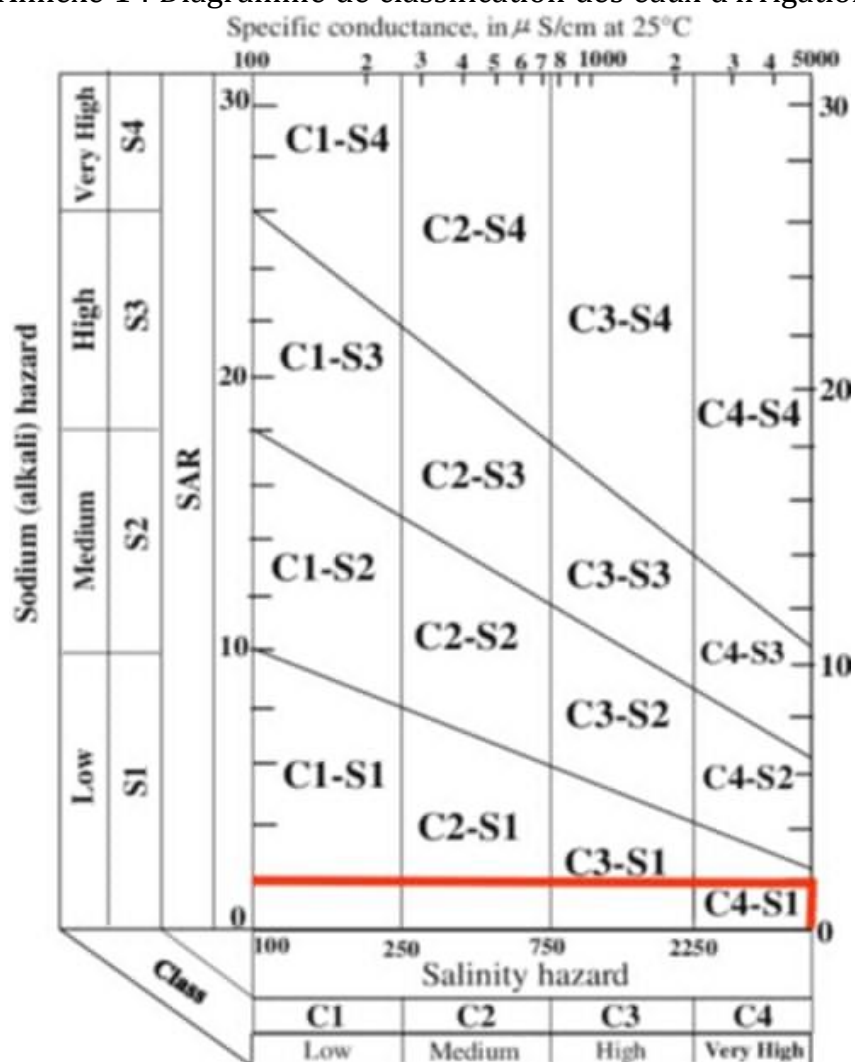
En ce qui concerne l'irrigation goutte -à-goutte , elle offre des avantages notables , notamment en matière d'économie d'eau .

Le coût global de l'ouvrage d'adduction et du réseau de distribution est estimé à 969,567,939 DA bien que ce montant soit relativement élevé , le réseau s'avère rentable à moyen terme .

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Doorenbos. *Réponse des rendements à l'eau*, volume 33. Food & Agriculture Org., 1980.
- [2] A. Ducharne. Projet gicc-seine : questions relatives à l'etp. *Note technique*, (2), 2002.
- [3] M. Latham. French soil classifications and their application in the south pacific islands. In *Proceedings of the South Pacific Regional Forum on Soil Taxonomy*, pages 185–200. The University of South Pacific, 1982.
- [4] C. Ollier and M. Poirée. Irrigation : les reseaux d'irrigation, theorie, technique et economie des arrosages. 1983.
- [5] A. Weiss. A quantitative approach to the pruit and doorenbos version of the penman equation. *Irrigation Science*, 4(4) :267–275, 1983.

Annexe 1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation



Annexe 2 :Table du khi-2

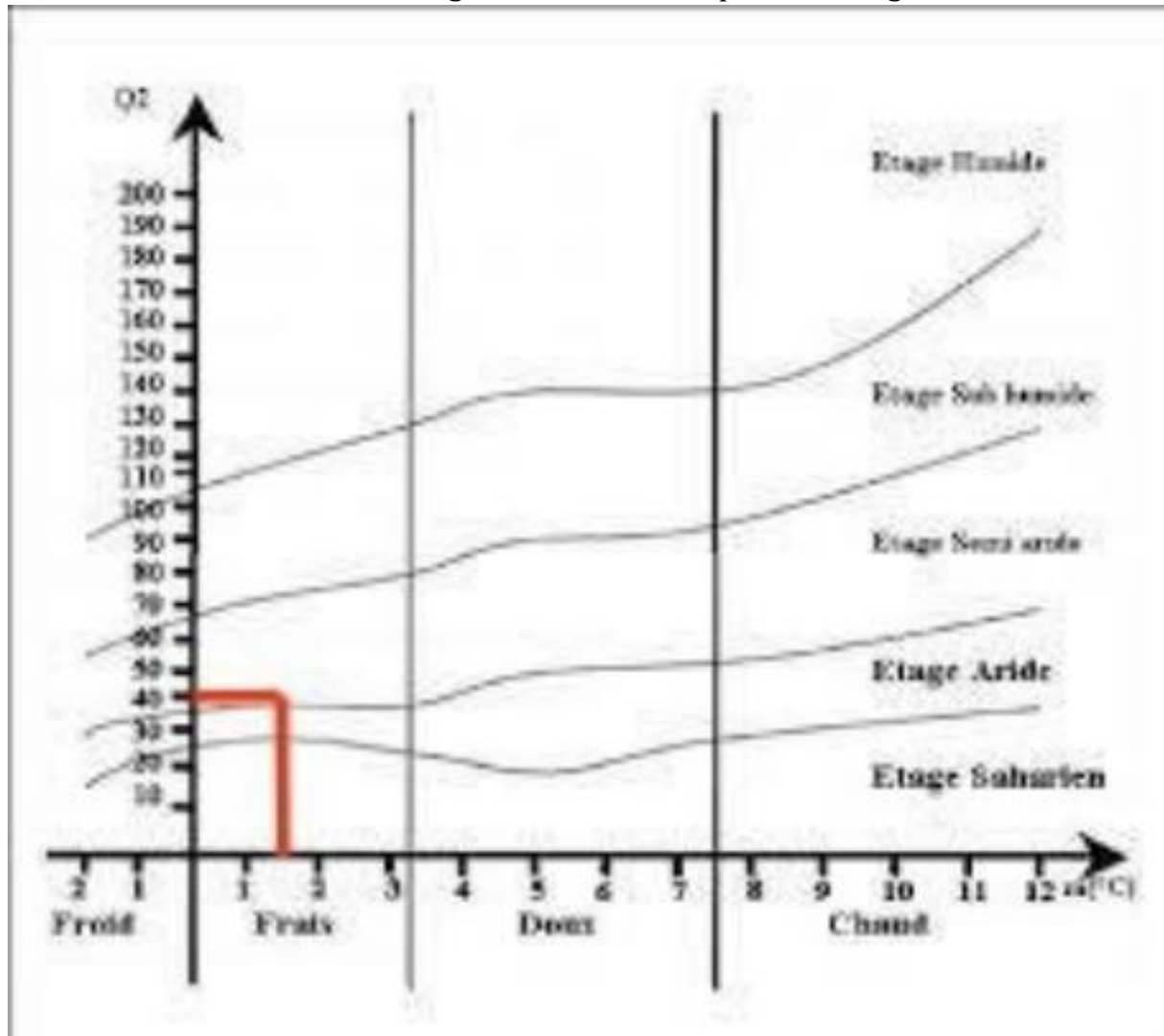
Table du Khi_2

*	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,016	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,211	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,584	2,366	3,665	4,642	6,251	7,779	9,837	11,345	16,266
4	0,842	3,357	4,779	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	1,610	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,515
6	2,204	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	2,833	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	3,490	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	4,168	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	4,865	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	5,578	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	6,304	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	7,042	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	7,790	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	36,123
15	8,547	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	9,312	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	10,085	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	10,865	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	11,651	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	12,443	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315
21	13,240	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932	46,797
22	14,041	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	48,268
23	14,848	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638	49,728
24	15,659	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	51,179
25	16,473	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314	52,620
26	17,292	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642	54,052
27	18,114	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963	55,476
28	18,939	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	56,893
29	19,768	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588	58,302
30	20,599	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	59,703

* en lignes = ddl (degré de liberté)

* en colonnes = la probabilité

Annexe3 :le digramme bioclimatique d'Emberger



Annexe4 :Nouvelle gamme des asperseur de type Perrot

Diamètres des buses	P (bar) 2,5	P (bar) 3,0	P (bar) 3,5	P (bar) 4,0	P (bar) 4,5	P (bar) 2,5 	P (bar) 3,0 	P (bar) 3,5 	P (bar) 4,0 	P (bar) 4,5 	P (bar) X 				
mm	Portée en m					Distances entre arroseurs									
4.2	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
4.5	15,0	15,4	15,8	16,3	16,9	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
4.8	15,4	15,8	16,2	16,6	17,0	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
5.0	15,8	15,9	16,3	16,7	17,3	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
5.2	16,0	16,4	16,6	16,8	17,4	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
6.0	16,4	16,5	16,7	17,2	17,6	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
7.0**	16,8	17,0	17,2	17,3	17,8	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18	24x18	18x18
ZB 22/ZB 22W	Consommation d'eau					Précipitations									
	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
4.2	0,99	1,09	1,17	1,26	1,33	2,3	3,1	2,5	3,4	2,7	3,6	2,9	3,9	3,1	4,1
4.5	1,14	1,25	1,35	1,44	1,53	2,6	3,5	2,9	3,9	3,1	4,2	3,3	4,4	3,5	4,7
4.8	1,30	1,42	1,53	1,64	1,74	3,0	4,0	3,3	4,4	3,5	4,7	3,8	5,1	4,0	5,4
5.0	1,41	1,54	1,66	1,78	1,89	3,3	4,4	3,6	4,8	3,8	5,1	4,1	5,5	4,4	5,8
5.2	1,52	1,67	1,80	1,92	2,04	3,5	4,7	3,9	5,2	4,2	5,6	4,4	5,9	4,7	6,3
6.0	1,89	2,07	2,24	2,39	2,54	4,7	6,3	5,1	6,9	5,6	7,4	5,9	7,9	6,3	8,4
7.0**	2,53	2,77	2,99	3,19	3,39	6,4	8,5	7,0	9,3	7,5	10,1	8,1	10,8	8,6	11,4

Annexe5 : Coefficient culturaux (Kc)

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