

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL OF
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"
ⵎⴰⵔⵓⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ ⵉⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ ⵉⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Option : IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME :

Aménagement hydro-agricole du périmètre de la commune de El-Hadjira la daïra de El-Gueddachi (la wilaya de Tougourt) de (440ha) a partir des forages.

Présenté par:

BAKHOUCHE Massinissa

Devant les membres du jury

Mr RASSOUL Abdelaziz	Pr	Président
Mr BENKACI ALI Tarek	M.C.A	Examinatrice
Mr BOUZIANE Omar	M.AA	Examineur
Mme AZIEZ Ouahiba	M.C.B	Promotrice

Session 2024/2025

ملخص:

يتناول هذا العمل دراسة ري زراعتين مختلفتين. فقد تمّ دراسة ري شجرة اللوز بنظام التنقيط لتلبية احتياجاتها المائية الخاصة مع تحقيق كفاءة أعلى في استعمال المياه. وفي المقابل، تمت دراسة نظام الري المحوري لزراعة الحبوب، حيث يسمح بري مساحات واسعة بانتظام جيد. شملت الدراسة تحديد الاحتياجات المائية، حساب الجرعات الإجمالية، والتصميم الهيدروليكي للمنشآت. وأظهرت النتائج ملاءمة كل نظام للزراعة المخصصة له، مما يساهم في تحسين إدارة المياه ورفع الإنتاجية الزراعية.

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude de l'irrigation de deux cultures. L'amandier a été étudié sous système goutte-à-goutte, afin de répondre à ses besoins hydriques spécifiques avec une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. En parallèle, le pivot central a été étudié pour la culture des céréales, permettant une irrigation uniforme de grandes superficies. L'étude a porté sur la détermination des besoins en eau, le calcul des doses brutes et le dimensionnement hydraulique des installations. Les résultats montrent l'adaptation de chaque système à la culture concernée, contribuant ainsi à une meilleure gestion de l'eau et à l'amélioration de la production agricole.

Abstract :

This work focuses on the study of irrigation for two different crops. Almond trees were studied under a drip irrigation system, in order to meet their specific water requirements with higher water-use efficiency. In parallel, the central pivot system was studied for cereal crops, allowing large areas to be irrigated with good uniformity. The study addressed the determination of water requirements, the calculation of gross doses, and the hydraulic design of the installations. The results show the suitability of each system for its respective crop, thus contributing to better water management and improved agricultural production.

Remerciements

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Allah, Le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, la patience et la force nécessaires pour entamer et mener à bien ce travail. Je L'en remercie également de m'avoir entouré de personnes bienveillantes qui m'ont guidé, soutenu et encouragé tout au long de mon parcours. Je rends grâce à Allah pour chaque épreuve surmontée et chaque réussite obtenue, car sans Sa volonté rien n'aurait été possible. Qu'Il m'accorde toujours la lumière, la sagesse et la persévérance dans les étapes futures de ma vie.

J'adresse mes sincères remerciements à Madame Aziez Ouahiba, mon encadrante, pour la qualité de son accompagnement, sa disponibilité constante, ses précieux conseils, ainsi que pour son soutien et sa bienveillance durant la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements les plus profonds vont à mon père, véritable pilier de ma vie, pour son amour, ses sacrifices, ses conseils avisés et son soutien inconditionnel. Sa confiance en moi et sa présence constante m'ont donné la force de persévérer et d'aller au bout de mes objectifs.

Ma reconnaissance s'étend également à mes frères et sœurs, pour leur soutien moral, leurs encouragements sincères et leur présence indéfectible dans les moments de difficulté comme dans ceux de joie. Leur affection et leur solidarité ont été pour moi un appui précieux tout au long de ce parcours.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants, ainsi que tout le staff administratif et technique de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique, pour la qualité de l'enseignement reçu, la richesse des savoirs transmis et leur rôle essentiel dans ma formation académique et professionnelle. Leur accompagnement quotidien et leur engagement méritent toute ma reconnaissance.

Enfin, j'exprime toute ma gratitude à mes amis, nombreux à m'avoir aidé, encouragé et soutenu tout au long de ce parcours académique et personnel. Leur présence et leur amitié ont apporté chaleur et réconfort dans cette aventure.

Dédicaces

À mon cher père,

Pour ton amour incommensurable, tes sacrifices silencieux et tes précieux conseils. Tu as toujours cru en moi, même lorsque mes forces faiblissaient. Ce mémoire est un hommage à tout ce que tu as fait pour moi et une preuve de ma profonde reconnaissance.

À mes frères et sœurs,

Pour votre affection sincère, vos encouragements et votre solidarité de chaque instant. Vous avez su me rappeler, par vos paroles et vos gestes, que je n'étais jamais seul dans ce parcours. Votre présence a été pour moi un réconfort et une source constante de motivation.

À mes amis,

Pour vos sourires, vos conseils, votre écoute et vos encouragements. Vous avez su alléger le poids des difficultés et embellir ce chemin par votre amitié sincère. Chaque moment partagé avec vous restera gravé dans ma mémoire.

À moi-même,

Pour la patience, les sacrifices et les efforts fournis tout au long de ce parcours. J'ai su persévérer malgré les obstacles et trouver en moi la force d'avancer. Ce mémoire est aussi le fruit de ma détermination et de ma volonté de réussir.

Sommaire

Introduction générale.....	13
Chapitre I: Analyse des conditions naturelles	15
I .1Présentation générale de la zone d'étude :	15
I.2 Identification et localisation du site	15
I.3. Données Pédoclimatique de la région d'étude.....	18
I.3.1 -Données climatiques	18
I.4.Classification du climat	20
I .4.1.Diagramme ombrothermique de GAUSSEN	20
I .4.2.Le Climagramme d'EMBERGER :	21
I.5.Conclusion	22
Chapitre II : Ressources en eau et en sol	25
II.1Introduction	25
II.2. Ressources en eaux :	25
II.2.1-Eaux souterraines :	25
II.2.2 caractéristique de forage :	29
II.2.3 Qualité de l'eau d'irrigation.....	29
II.3 Ressources en sols.....	35
II.3 .1 : Structure géomorphologique.	35
II.3 .2: Géologie.	35
II.3 .3 : Pédologie :.....	36
II.3 .4 Etude des sols.....	37
II.4 Erosion	40
II.5 Conclusion.....	41
Chapitre III : Evaluation des besoins en eau de parcelle	43
III.1. Introduction	43
III.2. L'évapotranspiration	43
III.2.1. L'évapotranspiration de référence (ET₀)	43

III.2.2. L'évapotranspiration potentielle.....	44
III.2.3. L'évapotranspiration réelle	44
III.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration	44
III.3.1. Méthodes indirectes.....	45
III.4. Calcul de l'évapotranspiration	47
III .5. Homogénéité de la série pluviométrique et Ajustement statistique des pluies.	48
III.6. Calcul de l'évapotranspiration maximale ETM	49
III.6.1. Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures.....	49
III.6.2. Réserve Facilement Utilisable RFU.	50
III .7.Estimation des besoins en eau	52
III.8. Conclusion	57
Chapitre IV : Dimensionnement à la parcelle	59
IV.1 Introduction.....	59
IV.2. Réseau gouttes à gouttes.....	59
IV.2.1 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :	60
IV.2.2. Réserve Facilement Utilisable (RFU) corrigée.....	63
V.2.3.La dose d'irrigation.....	67
IV.2.4. Durée d'irrigation :.....	69
IV.2.5. CONCEPTION HYDRAULIQUE.....	70
IV.2.6. Calcul de la perte de charge.....	75
IV.2.7.Calcul de la perte de charge Puissance de la pompe de refoulement.....	77
IV.3. ETUDE GENERALE SUR LE SYSTEME DE PIVOT	79
IV.3. 1.Description des éléments principaux du pivot	79
IV.3. 2.Type d'installation du pivot.....	80
IV.3.3.Déplacement du pivot.....	80
IV.3.4. calcul hydraulique des cultures en pivot.	81
IV.4. Dimensionnements des conduites de refoulements des forage.	97
IV.5. Dimensionnement du réservoir en géomembrane.	98
IV.5. 1.calcul du volume :	98

IV.5. 2.Surface de géomembrane nécessaire.....	99
IV.6. Conclusion :	100
Chapitre V: Calcul technico-économique	102
V.1.Introduction	102
V.2.Présentation d'aménagement de périmètre	102
V.2. 1 Actions de mobilisation et de distribution de la ressource en eau	103
V.2.2 Actions de mise en valeur et de protection des terres	104
V.3.Evaluation du coût du projet.....	105
V.3.1.reseau goutte a goutte.	105
V.3.2.les pivots :	106
V.3.3.les forage.....	107
V.3.4.le réservoir en géomembrane.	107
V.4.conclusion.....	107
CONCLUSION GENERALE	110
Annexe	112

Liste des tableaux

Tableau I .1 : les coordonnées de l'exploitation de EL HADJIRA.....	17
Tableau: I .2 Données météorologiques de la région de Touggourt 1997-2008 (ONM 2008)...	18
Tableau I.3: Températures moyennes mensuelles (°C).....	19
Tableau I.4: précipitations moyennes mensuelle	19
Tableau I.5: Moyenne annuelle du taux d'humidité	19
Tableau I.6: L'évaporation moyenne mensuelle	20
Tableau I.7: Moyenne des heures d'ensoleillement par mois	20
Tableau I 8: Vitesse moyenne et maximale des vents : (m/s)	20
Tableau II.1: Paramètres de pompage des 8 forages	29
Tableau II.2: résultats d'analyses physico-chimique(ADE/UBIS/LAB/BISKRA 30/08/2023) .	30
Tableau II.3: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique	31
Tableau II.4 : Classification des eaux en fonction du SAR	34
Tableau II.5 : Résultats analytiques profil type n°01:.....	38
Tableau II.6 : Résultats analytiques profil type n°02:.....	40
TableauIII.1: les données requises pour chaque méthode.....	45
Tableau III.2 : Evapotranspiration de référence (ET _o) de la zone d'étude :	47
Tableau III.3 : Humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement.	52
Tableau III.4.Calcul des besoins en eau de l'amendier	53
Tableau III.5.Calcul des besoins en eau du blé.	54
Tableau III.6.Calcul des besoins en eau du Maïs.	55
Tableau III.7.Calcul des besoins en eau de l'orge.....	56
Tableau.IV.1.L'évapotranspiration corrigée.	63
Tableau.IV.2.Réserve Facilement Utilisable (RFU) corrigée	65
Tableau.IV.3.Fréquence et tour d'arrosage	67
Tableau :IV.4.Critère de la rampe goutteurs	73
Tableau :IV.5.la perte de charge dans les rampes.	75
Tableau :IV.6. la perte de charge dans les portes-rampes(90 Ømm).	76
Tableau :IV.7. la perte de charge dans les portes-rampes(63Ømm).	76
Tableau :IV.8.la perte de charge dans les conduites secondaires (125 Ømm).....	76
Tableau :IV.9. la perte de charge dans les conduites principales	77
Tableau :IV.10.vitesses de chaque travées du pivot.....	81
Tableau :IV.11.les paramètres hydro-agronomiques du blé.	82
Tableau :IV.12.les paramètres hydro-agronomiques du Maïs.	82

Tableau :IV.13.les paramètres hydro-agronomiques de l'orge.	83
Tableau :IV.14.les Résultats des calculs de perte de charge	86
Tableau:IV.15.dimensionnement hydraulique des buse de la 1ere travée	89
Tableau:IV.16.dimensionnement hydraulique des buse de la 2 eme travée	90
Tableau:IV.17.dimensionnement hydraulique des buse de la 3eme travée	90
Tableau:IV.18.dimensionnement hydraulique des buse de la 4eme travée	91
Tableau:IV.19.dimensionnement hydraulique des buse de la 5eme travée	91
Tableau IV.20. Résultats des calculs du ruissellement par la méthode de Horton.	94
Tableau.IV.21.resultat des calculs du ruissellement par la méthode de Green-Ampt.	96
Tableau.IV.22.Dimensionnements des conduites de refoulements des forage.	97
TableauIV.23.Dimensionnements des pompes des forage.....	98
Tableau.V.1 ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET	105
Tableau.V.2.cout des conduite d'alimentation des pivot.	106
Tableau Tableau.V.3.le cout des conduites de refoulement à partir de forage.	107

Liste des figures

Fig. I .1 : la situation de EL HADJIRA (https://www.coordonnees-gps.fr)	17
Fig. I .2. Diagramme ombrothermique appliqué de la région de Touggourt (1997-2008).	21
Fig. I .3. Etage bioclimatique de la région de Touggourt selon le climagramme d'Emberger....	22
Fig II.1.Carte montrant l'étendu du SASS (Le Système Aquifère du Sahara Septentrional).....	26
Fig II.2.Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	27
Fig.II.3.Coupe hydrogéologique Nord- Sud du Complexe Terminal du Bas Sahara	28
Fig II.4. Diagramme de classification des eaux d'irrigation	34
Fig II.5.stratigraphique et l'hydrogéologie de la région de Touggourt (A.N.R.H.,2008)	36
Fig.v.1. labyrinthe hydraulique.	60
FIG .IV .2.Schéma général de découpage des différentes Unité parcellaires.	70
Fig.v.3. resultats des calcul de longueur, pertes de charges et debit de goutteurs dans les rampe (irritools).	72
FIG. IV .4.Courbe d'uniformité de distribution de la rampes choisis (avec variation de pression)	73

Liste des planches

Plan majeur du périmètre

Plan du réseau principal du gouttes à gouttes

Plan du reseau d'irrigation a la parcelle

Plan de la station de pompage

Introduction générale

Introduction générale

L'irrigation constitue l'activité agricole la plus consommatrice en eau. Ainsi, une gestion rationnelle de cette ressource impose une bonne connaissance des besoins hydriques des cultures, ce qui nécessite une évaluation précise des paramètres régissant les conditions du milieu, notamment les facteurs climatiques, édaphiques, cultureux et ceux liés aux caractéristiques propres des parcelles.

L'extension des superficies irriguées et la modernisation des techniques agricoles jouent aujourd'hui un rôle déterminant dans le développement économique et social des pays, en particulier dans les régions arides et sahariennes où la rareté de l'eau constitue un défi majeur.

Dans ce contexte, nous proposons un programme d'aménagement du **périmètre d'El Hadjira**, situé dans la commune de **El Gueddachi**, wilaya de **Touggourt**, d'une superficie totale de **1300 hectares**. Ce périmètre, inscrit dans le cadre de la concession agricole, est subdivisé en unités de 4 hectares chacune, réparties entre cultures arboricoles et céréalières.

Pour la conception de ce projet d'aménagement, notre travail a été structuré en cinq chapitres :

- Le **premier chapitre** présente une description générale de la zone d'étude.
- Le **deuxième chapitre** est consacré à l'analyse des ressources naturelles disponibles, notamment en sols et en eau.
- Le **troisième chapitre** développe le calcul des besoins en eau des cultures, paramètre essentiel pour le dimensionnement hydraulique.
- Le **quatrième chapitre** porte sur la conception et la proposition d'un programme d'aménagement et de mise en valeur du périmètre.
- Enfin, le **cinquième chapitre** est dédié à l'évaluation économique du projet, à travers une estimation des coûts d'investissement nécessaires.

Ainsi, cette étude vise à mettre en évidence la faisabilité technique et économique du projet, tout en offrant une vision intégrée pour une gestion durable de l'eau et une valorisation optimale du périmètre agricole étudié.

Chapitre I

Analyse des conditions naturelles

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

I.1 Présentation générale de la zone d'étude :

Le projet agricole est implanté dans la commune d'El Gueddachi, située à environ 60 km au nord-ouest de Touggourt. La zone se caractérise par un relief désertique typique de la région, composé principalement de plaines parsemées de micro-dunes et de quelques formations dunaires plus importantes.

L'accès au site est actuellement assuré par une piste secondaire reliant la parcelle au réseau routier communal. Le développement du projet nécessitera la réalisation d'infrastructures d'accès adaptées, prenant en compte les spécificités du milieu désertique, notamment les phénomènes éoliens actifs dans cette partie de l'Erg Oriental.

Les conditions agro-pédologiques présentent plusieurs particularités :

- La mise en valeur agricole dépendra de la disponibilité des ressources en eau
- Les sols nécessiteront des travaux d'amélioration
- Des mesures de protection contre l'ensablement devront être mises en œuvre

Ce projet s'inscrit dans le cadre des programmes de développement agricole de la région. L'expérience acquise dans les périmètres agricoles voisins permet d'envisager une exploitation combinant techniques d'irrigation modernes et pratiques culturelles adaptées au milieu saharien.

Les principaux défis techniques concernent :

- La maîtrise des mouvements dunaires
- L'optimisation de l'utilisation des ressources hydriques
- L'adaptation des techniques culturelles aux conditions locales

Ce périmètre agricole représente une opportunité de développement pour la région, dont la viabilité technique et économique dépendra de la prise en compte de l'ensemble des contraintes environnementales et des potentialités agronomiques du site.

I.2 Identification et localisation du site

1. Situation géographique

La commune d'El Gueddachi est située dans la partie nord de la wilaya de Touggourt, à environ 60 km au sud du chef-lieu de wilaya (ville de Touggourt). Elle occupe une position stratégique entre les zones urbaines du nord et les étendues désertiques du sud.

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

2. Contexte territorial

La commune présente les caractéristiques suivantes :

- Position : Zone de transition entre les palmeraies du nord et le désert du Grand Erg Oriental
- Relief : Plat avec quelques formations dunaires localisées
- Voisinage :
 - Nord : Touggourt (chef-lieu)
 - Nord-Ouest : El-Alia
 - Est : M'Nagueur (wilaya d'Ouargla)
 - Sud : Sidi Abdellah
 - Sud-Ouest : N'Goussa

3. Description du projet

Le site agricole prévu présente :

- Une superficie en zone de mise en valeur
- Un accès actuel par piste secondaire
- Des caractéristiques pédologiques typiques des zones sahariennes
- Une nécessité d'aménagements préalables :
 - Ouverture et stabilisation de voies d'accès
 - Travaux de viabilisation
 - Amélioration des sols

4. Potentialités et contraintes

- Atouts :
 - Proximité relative avec les centres urbains
 - Expérience régionale en agriculture saharienne
 - Disponibilité en terres
- Défis :
 - Ressources en eau à gérer durablement
 - Risques d'ensablement
 - Nécessité d'infrastructures de base

5. Perspectives de développement

Le projet s'inscrit dans la politique de valorisation des terres sahariennes de la wilaya, avec :

- Une intégration dans le réseau agricole existant
- Des possibilités de complémentarité avec les communes voisines
- Un potentiel de développement économique local
- Des retombées sociales attendues en termes d'emplois

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

Ce projet représente ainsi une opportunité de développement maîtrisé pour cette commune située dans la frange sud de la wilaya de Touggourt.

Tableau I.1 : les coordonnées de l'exploitation de EL HADJIRA

Lieu-dit	Commune	Wilaya délégué	Superficie (ha)	Coordonnées (31N)		
				Point	X (UTM)	Y (UTM)
<i>El-Hadjira</i>	El-Gueddachi	<i>Tougourt</i>	1300	<i>Pt 01</i>	761757.06 E	3608392.68 N
				<i>Pt 02</i>	761658.16 E	3611282.96 N
				<i>Pt 03</i>	757623.79 E	3611327.03 N
				<i>Pt 04</i>	758164.61 E	3607508.37 N

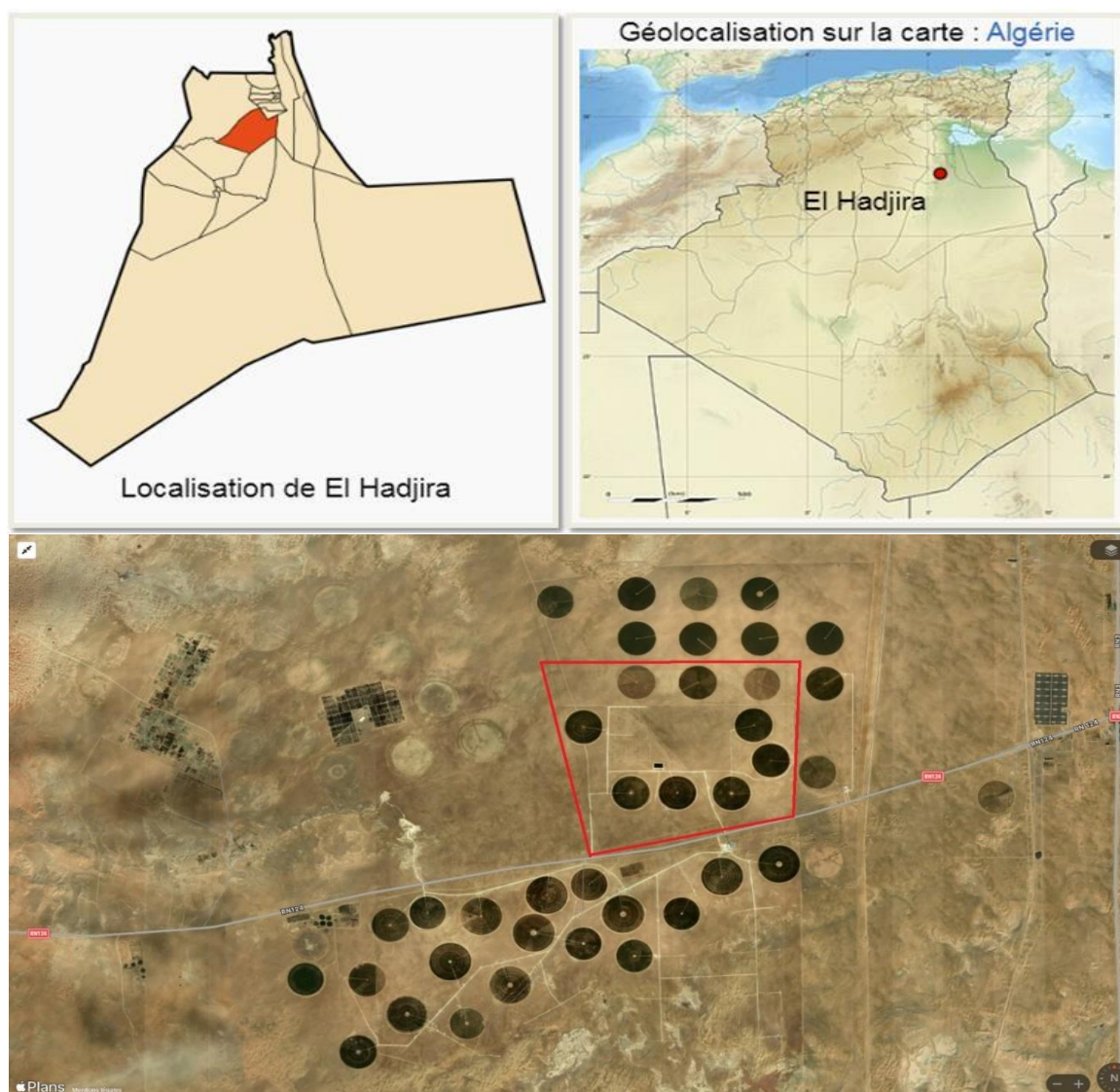


Fig. I.1 : la situation de EL HADJIRA (<https://www.coordonnees-gps.fr>)

I.3. Données Pédoclimatique de la région d'étude

I.3.1 -Données climatiques

Pour une meilleure caractérisation du climat de la région de Touggourt, nous avons utilisé les données de la station météorologique de cette ville, en se rapportant à une période de(1997-2008).

Tableau: I .2 Données météorologiques de la région de Touggourt 1997-2008 (ONM 2008)

paramètre Mois	T M (°C)	T m (°C)	H (%)	V (m/s)	Evap (mm)	Ins (h)	T moy (°C)	Préc (mm)
janvier	30,127	4,17	66,09	2,418	82,090	225,8	10,68	9,86
février	19,673	6,0182	54,64	2,6	110,09	237,6	12,85	1,57
mars	24,464	10,264	46	3,318	175,54	284,3	17,55	2,63
avril	28,564	14,418	41,36	3,836	212,36	284,1	21,43	6,4
mai	33,927	20,227	37,27	3,964	283,18	306,1	27,15	2,37
juin	39,427	25,027	31,73	3,327	324,27	342,5	32,02	1,37
juillet	40,673	26,018	33	3,145	347,90	356	33,78	0,16
août	40,018	26,455	33,45	2,982	297,72	312,5	33,73	3,90
septembre	35,818	22,518	41,64	2,918	227,09	266,1	29,49	5,51
octobre	30,582	17,282	50	2,682	181,09	251,6	24,14	5,03
novembre	22,6	9,7818	58,09	2,636	131	224,9	16,05	5,97
décembre	17,745	5,5727	66,73	2,691	85,545	217,5	11,45	6,38
Moyenne	30,302	15,646	46,67	3,043	2457,9*	3309*	22,53	51,2*

3 -1-1- Températures:

La région de Touggourt est caractérisée par une température moyenne annuelle 30,30 °C. Les mois les plus froids sont février et décembre, avec respectivement 19,67 et 17,74 °C, et les températures les plus élevées et chaudes sont 40,67 et 40,01°C, et correspondent aux mois de juillet et août.

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

Tableau I.3: Températures moyennes mensuelles (°C)

Mois	J	F	M	AV	MAI	J	JT	A	S	aO	N	D	Moy
T min (C°)	4,17	6,01	10,26	14,41	20.22	25.02	26,01	26,45	22,51	17,28	9,78	5,57	15,64
T max (C°)	30.13	19.67	24.46	28.56	33.92	39.42	40.67	40	35.81	30,58	22,6	17.74	30.30

Source : O.N.M (2008)

3 -1-2- Précipitations

Les précipitations sont très rares et irrégulières, leur répartition est marquée par une sécheresse quasi absolue du mois de mai jusqu'au mois d'août, et un maximum au mois de janvier, avec **9,86 mm**.

Tableau I.4: précipitations moyennes mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	AV	MAI	J	JT	A	Année
P (mm)	5.51	5.03	5.97	6.38	9.86	1.57	2.63	6.4	2.37	1.37	0.16	3.90	51.2
Jours de pluie	2,8	2,4	2,1	2,2	2,6	2,1	2,3	1,6	1,3	0,8	0,4	1,0	21,6

Source : O.N.M (2008)

3-1-3- Humidité relative:

L'humidité relative de l'air est faible, elle est de l'ordre de 31,73 % en juin, atteignant un maximum de 66.73 % au mois de décembre et une moyenne annuelle de 46,67 %.

Tableau I.5: Moyenne annuelle du taux d'humidité

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
Touggourt	66.09	54.64	46	41.36	37.27	31.73	33	33.45	41.64	50	58.09	66.37	46,67

Source : O.N.M (2008)

3 -1-4- Evaporation:

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de **2458 mm/an**, avec un maximum mensuel de **347,9** mm au mois Juillet et un minimum de 82,09 mm en Janvier.

Tableau I.6: L'évaporation moyenne mensuelle

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
L'évaporation	82.09	110.09	175.54	212.36	283.18	324.27	347.9	297.72	227.09	181.09	131	85.54	2457.9

Source : O.N.M (2008)

3 -1-5- Insolation

L'ensoleillement est considérable à Touggourt avec 275,8 h/mois, avec un maximum de 356 heures en Juillet et un minimum de 217,5 heures en décembre, la durée d'insolation moyenne annuelle entre 1997 - 2007 est de 3309 h/mois, soit environ 9,06 h/jour.

Tableau I.7: Moyenne des heures d'ensoleillement par mois

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
Touggourt	225.8	237.6	284.3	284.1	306.1	342.5	356	312.5	266.1	251.6	224.9	217.5	9,3

Source : O.N.M (2008)

3-1-6- Vents

Les vents dominants sont de direction N.N.E en hiver et S.S.E en été. Ils se caractérisent par une vitesse qui dépasse parfois 180 km/h, provoquant le déplacement des dunes et le dessèchement des végétaux. Le sirocco qui est un vent chaud, souffle particulièrement durant les mois d'avril à juillet.

Tableau I 8: Vitesse moyenne et maximale des vents : (m/s)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
Vitesse moyenne	2,418	2,6	3,318	3,836	3,964	3,327	3,145	2,982	2,918	2,682	2,636	2,691	3.043

Source : O.N.M (2008)

I.4.Classification du climat

I .4.1.Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953) permet de suivre les variations mensuelles des températures et des précipitations. Il est représenté à travers une échelle où $p = 2T$.

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

L'aire comprise entre les deux courbes représentés la période sèche. Dans la région de Touggourt cette période s'étale sur toute l'année.

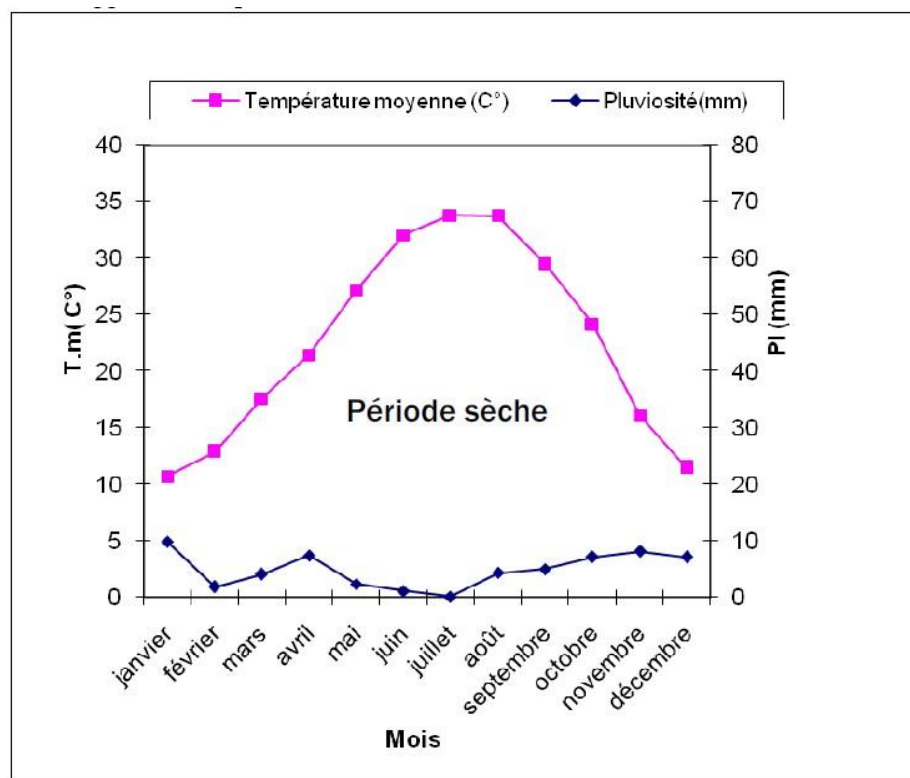


Fig. I .2. Diagramme ombrothermique appliqué de la région de Touggourt (1997-2008).

I .4.2.Le Climagramme d'EMBERGER :

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il est représenté ;

En abscisse, par la moyenne des minima du mois le plus froid

En ordonnées, par le quotient pluviométrique (Q2). (Fig. n°5) sur le climagramme sont portés les différents étages bioclimatiques sahariens, arides, semi-arides, semi-humides et humides. Nous avons utilisé la formule de (STEWART, 1969) adopté pour l'Algérie, qui se présente comme suit:

L'étage bioclimatique est déterminé à partir du quotient pluviométrique d'Emberger :

$$Q = \frac{2000 * P}{M^2 - m^2}$$

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

$$Q2 = 3,43 * P/M-m.$$

- ✓ Q : quotient pluviothermique d'EMBERGER $Q = 4,83$.
- ✓ P : cumul pluviométrie moyenne annuelle en mm est égale à 51,2.
- ✓ M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C est égal à 40,67.
- ✓ m : moyenne des minima du mois plus froid en °C est égale à 4,32.

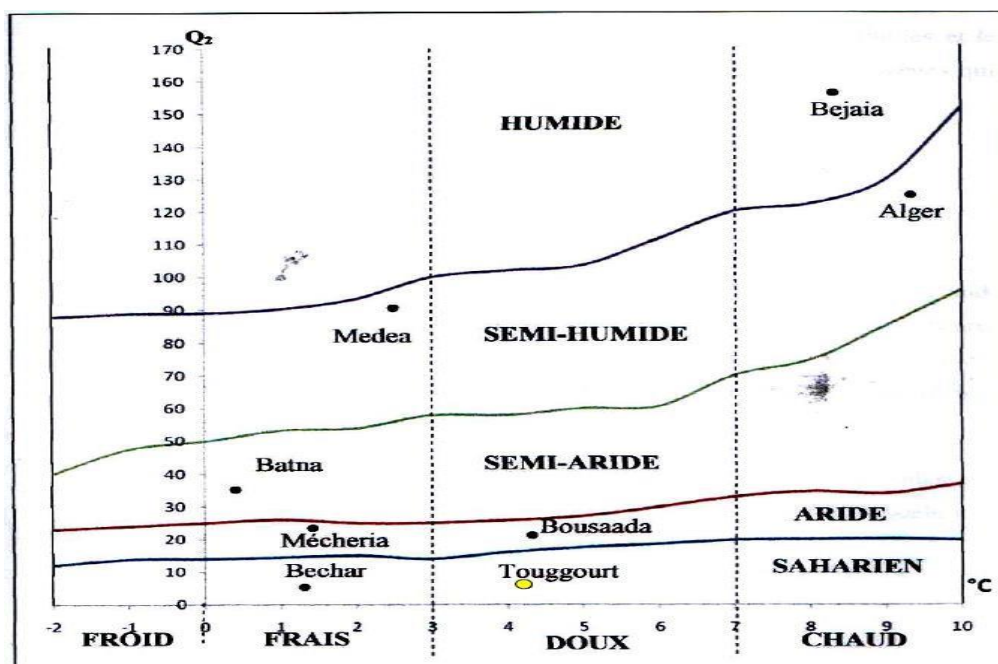


Fig. I .3. Etage bioclimatique de la région de Touggourt selon le climagramme d'Emberger

D'après le diagramme bioclimatique d'Emberger, on peut dire que le climat de notre région est un climat saharien .

I.5.Conclusion

En résumé, la zone d'étude est sous l'influence d'un climat saharien avec une variante thermique à hiver chaud, caractérisé par : Une pluviométrie faible de **51.2 mm**.

- Des températures élevées en été et douces en hiver (amplitude importante).
- Une période sèche durant toute l'année.

Ces conditions climatiques ne permettent pas d'envisager pour le périmètre une

Chapitre I: Analyse des conditions naturelles

agriculture en sec. L'irrigation s'avère donc indispensable.

Chapitre II

Ressources en eau et en sol

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

II.1 Introduction

L'agriculture dans la commune de El-Hadjira connaît aujourd'hui une phase de transition importante. Le système de production évolue progressivement d'un modèle traditionnel, limité et faiblement mécanisé, vers une agriculture plus intensive, modernisée et génératrice de meilleurs revenus pour les exploitants. Cette mutation ouvre de nouvelles perspectives de développement pour la région.

Dans cette dynamique, la gestion des ressources en eau représente un enjeu majeur. En raison de la rareté et de l'irrégularité des précipitations, caractéristiques du milieu saharien, l'exploitation des nappes souterraines à travers la réalisation de puits et de forages s'impose comme un levier décisif pour la mise en valeur des terres. Une utilisation rationnelle de ces ressources peut transformer des espaces arides en surfaces agricoles productives, favoriser la diversification des cultures et contribuer au développement durable de l'agriculture locale.

De la même manière, la qualité et la nature des sols jouent un rôle déterminant dans la réussite de ce processus. Leur connaissance permet d'identifier les potentialités et les contraintes, et d'orienter les choix techniques et les aménagements à entreprendre. L'eau et le sol apparaissent ainsi comme deux ressources complémentaires et indispensables, dont la valorisation conditionne l'avenir agricole de la commune d'El-Hadjira.

II.2. Ressources en eaux :

L'eau constitue l'élément vital de toute activité économique dans la wilaya de Tougourt, et son importance est encore plus marquée dans le secteur agricole. Dans une région saharienne caractérisée par la faiblesse des précipitations et l'aridité du climat, l'accès à cette ressource conditionne la mise en valeur et la durabilité des exploitations agricoles. Les ressources disponibles se divisent principalement en eaux de surface et en eaux souterraines, mais dans le cas de la zone étudiée, l'irrigation repose presque exclusivement sur les forages mobilisant les nappes profondes. Ce recours aux eaux souterraines apparaît ainsi comme une solution incontournable pour assurer le développement agricole local.

II.2.1-Eaux souterraines :

Les ressources en eau souterraine du Sahara septentrional reposent sur deux grands aquifères : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT), formés dans un vaste bassin

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

sédimentaire. Dans la vallée de Oued Righ, on distingue trois niveaux : la nappe phréatique, peu profonde mais vulnérable à la salinité ; le Complexe Terminal, d'âge Sénono-Éocène et Miopliocène, qui constitue la principale ressource exploitée grâce à sa productivité ; et enfin le Continental Intercalaire, aquifère profond du Crétacé inférieur, aux réserves considérables mais nécessitant des forages coûteux.

Ces aquifères constituent une richesse stratégique pour l'agriculture saharienne, car ils assurent l'irrigation dans un milieu marqué par l'aridité. Leur mobilisation permet de valoriser des terres jusque-là marginales et de soutenir une agriculture plus intensive. Toutefois, leur exploitation exige une gestion raisonnée afin d'éviter l'épuisement et préserver leur rôle pour les générations futures.

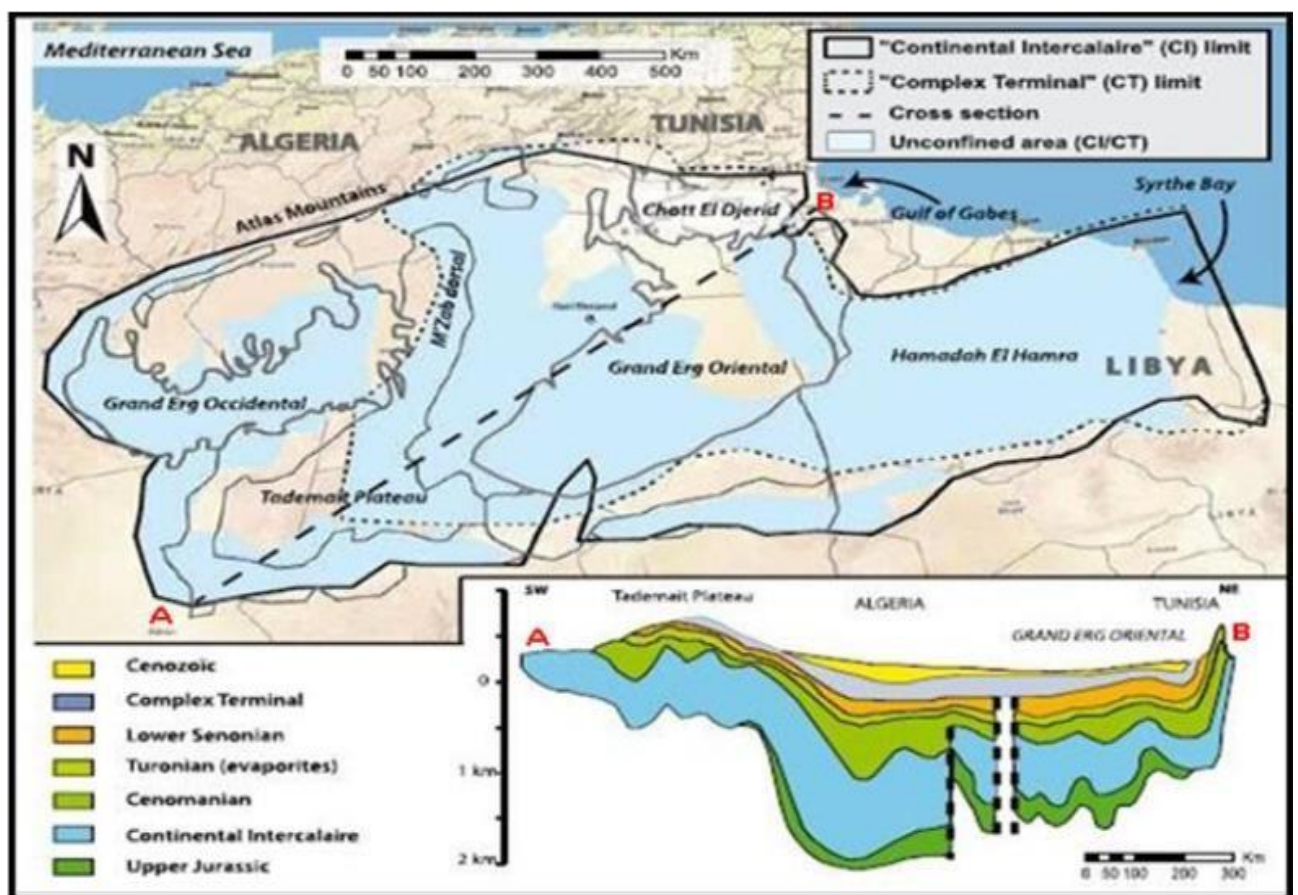


Fig II.1. Carte montrant l'étendu du SASS (Le Système Aquifère du Sahara Septentrional)

II.2.1.1 Nappe du continental intercalaire CI (Albien)

C'est un aquifère qui est partagé entre les trois pays maghrébins ; l'Algérie, Libye, Tunisie" (figure n. 3), le CI de la partie algérienne couvre 600 000 km², elle stocke un volume d'eau estimé à environ 60 000 milliards de m³, Elle se situe à une profondeur de 1400 à 2200 m dans la région de Oued-Righ. Du point de vue lithologique, le continental intercalaire est formé par une succession de deux couches de sable et de grès argileux.

La porosité moyenne de cette nappe se situe entre 22 et 29 % (A.N.R.H, 2008).

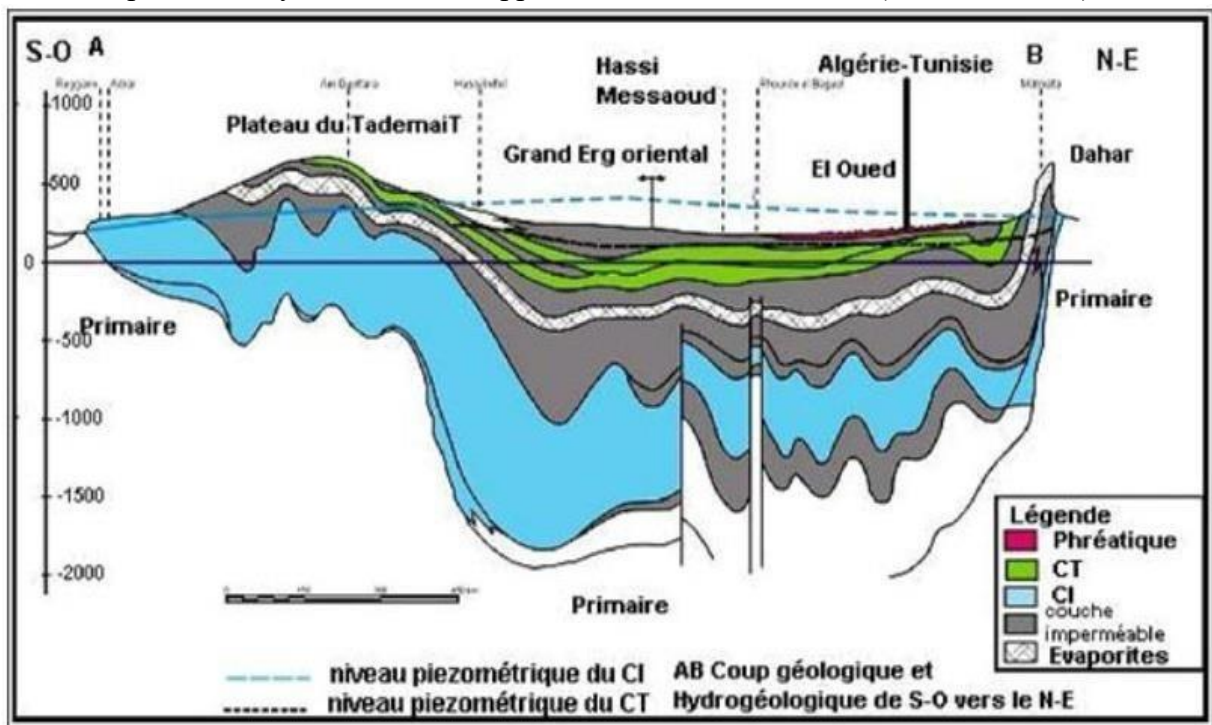


Fig II.2.Coupe hydrogéologique à travers le Sahara

II .2.1.2 Nappe du complexe terminal (CT):

La profondeur de la CT variée entre 100 et 500 m. la température des eaux peu élevée et l'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus chargée au centre (plus de 1.8g/l).

La nappe du CT regroupe trois aquifères, situés dans des formations géologiques différentes subdivisées en deux ensembles : l'un continental au sommet (CT1 et CT2) et l'autre marin à la base (CT3) :

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

- La première nappe des sables CT1 : sa puissance varie entre 50 et 100m par endroits, il s'agit d'une nappe semi-captive moins profonde, elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, du Mio-pliocène. Limitée par des formations semi-perméables.
- La deuxième nappe CT2 : son épaisseur est de 20 à 36m, surmontée par la nappe du CT1, elle est constituée par des formations d'âge mio-pliocène, essentiellement formée par des grès, gravier et sable avec la présence de quelques lentilles argileuses.
- La nappe des calcaires du Sénonien carbonaté/Eocène inférieur CT3 : son épaisseur atteint les 200m à Touggourt et 360m à Meghaier. elle est formée essentiellement de calcaires, calcaires dolomitiques avec passées de marne, d'anhydrite et de gypse.

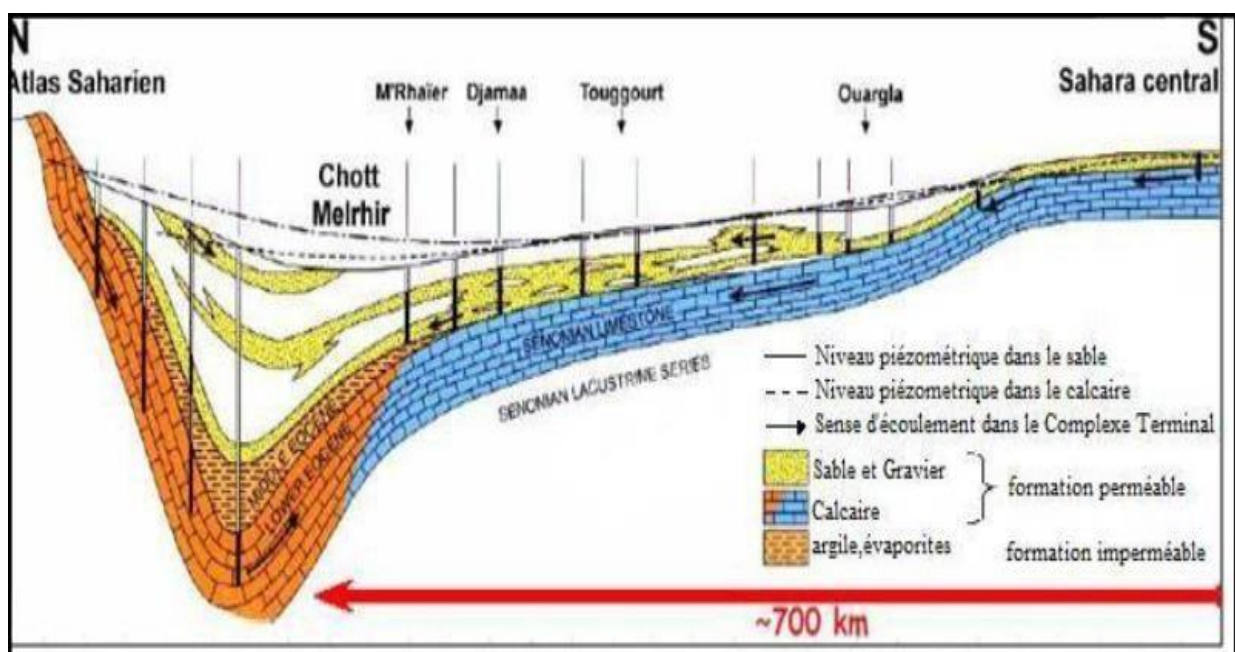


Fig.II.3.Coupe hydrogéologique Nord- Sud du Complexe Terminal du Bas Sahara

II.2.1.3 la nappe phréatique

présente un écoulement général d'est en ouest, en régime d'infériorité. Sa surface libre se traduit souvent par l'apparition d'une frange capillaire en surface, matérialisée par de petits chotts observés de part et d'autre de la localité de M'Nagueur.

L'alimentation de cette nappe provient essentiellement des eaux d'irrigation, des fuites du réseau d'alimentation en eau potable (AEP), des eaux usées, ainsi que des précipitations occasionnelles. Le niveau piézométrique maximal se situe à environ 18 m de profondeur, tandis que la salinité reste très élevée, atteignant près de 7 g/l.

II.2.2 caractéristique de forage :

Dans la région étudiée, l'exploitation de l'eau souterraine repose principalement sur un réseau de forages réalisés dans les grands aquifères du Sahara septentrional. Actuellement, on recense huit forages en activité. Parmi eux, sept présentent un débit moyen stable d'environ 40 L/s, assurant une contribution régulière à l'alimentation en eau d'irrigation. Le huitième forage, en revanche, se distingue par une situation particulière : initialement doté d'un débit de 41 L/s, il ne fournit aujourd'hui plus que 11 L/s, probablement en raison d'un colmatage partiel de l'ouvrage.

Ces forages constituent une ressource essentielle pour le développement agricole, mais leur efficacité dépend directement de la maintenance et de la gestion durable des nappes exploitées.

Tableau II.1: Paramètres de pompage des 8 forages

	Forage 01	Forage 02	Forage 03	Forage 04	Forage 05	Forage 06	Forage 07	Forage 08	Totale
Débit l/s	41	43	36	43	38	39	41	11	292
Niveau statique	152	152	151	152	152	152	152	150	
Niveau dynamique	154.5	154.5	153.3	154.6	154.4	154.5	154.5	150.9	
Rabatement	2.5	2.5	2.3	2.6	2.4	2.5	2.5	0.9	

II.2.3 Qualité de l'eau d'irrigation

Le contrôle de la qualité de l'eau d'irrigation est essentiel pour préserver la fertilité des sols, limiter les risques de salinisation et assurer un développement agricole durable. Une eau inadaptée peut rapidement compromettre la productivité et l'équilibre environnemental, tandis qu'une eau de bonne qualité favorise la croissance des cultures et la valorisation des terres.

Dans cette étude, la qualité des eaux souterraines a été évaluée à partir de tableaux d'analyses physico-chimiques, permettant de suivre des paramètres clés tels que le pH, la salinité, la conductivité et la dureté. Ces résultats constituent une référence indispensable pour juger de l'aptitude de cette ressource à l'irrigation.

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

Tableau II.2: résultats d'analyses physico-chimique(ADE/UBIS/LAB/BISKRA 30/08/2023)

	Forage 01	Forage 02	Forage 03	Forage 04	Forage 05	Forage 06	Forage 07	Forage 08
pH (-)	7.81	7.83	7.69	7.75	7.71	7.61	7.80	7.99
Conductivité (µS/cm)	1998	2023	2071	1905	1801	1982	2111	2270
Température (°C)	27	27	27	27	27	27	27	26
Titre TAC (mg/L CaCO ₃)	325	355	345	335	365	345	355	325
Bicarbonates (mg/L)	340	360	350	350	370	350	360	340
Calcium (mg/L)	366	366	366	366	386	366	366	366
Magnésium (mg/L)	149	189	179	149	159	159	159	149
Chlorures (mg/L)	624	639	632	652	652	651	633	679
Sulfates (mg/L)	495	485	495	445	455	495	495	445
Résidu sec (mg/L)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Sodium (mg/L)	160	152	139	115	139	139	139	139
Potassium(mg/L)	10	10	10	11	10	10	10	10
Nitrates (mg/L)	24	24	24	24	29	24	24	29
Turbidité (NTU)	1.55	1.59	0.55	1.59	1.49	1.59	1.49	4
Fer (mg/L)	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	2.6

II.2.3.1 La salinité

La salinité demeure l'un des principaux facteurs de contrainte en milieu irrigué, car l'accumulation progressive de sels dans la zone racinaire entraîne une modification des conditions hydriques et osmotiques auxquelles la plante est soumise. Lorsque cette concentration atteint des seuils critiques, elle se traduit par une baisse notable des rendements pouvant, dans les cas extrêmes, provoquer le dépérissement complet de la culture. Pour appréhender de manière préliminaire le risque associé à la salinité, l'analyse

repose généralement sur deux paramètres clés, qui offrent une première indication de la qualité de l'eau d'irrigation et de son impact potentiel sur le sol et les végétaux.

II.2.3.2 La conductivité électrique

La conductivité électrique traduit la capacité d'une eau à conduire le courant en fonction de la mobilité et de la concentration des ions dissous ; elle est généralement déterminée à 25 °C et exprimée en mmhos/cm. Ce paramètre constitue un indicateur essentiel de la salinité, car il permet d'évaluer les risques liés à l'utilisation de l'eau en irrigation. En fonction des valeurs mesurées, on distingue quatre classes de danger de salinité, allant des eaux à faible impact jusqu'aux eaux fortement restrictives pour les cultures sensibles.

Tableau II.3: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique CE (mmhos/cm) à 25°C	Qualité des eaux
C1	$CE \leq 0,25$	Eau de risque faible
C2	$0,25 < CE \leq 0,75$	Eau de risque moyen
C3	$0,75 < CE \leq 2,25$	Eau de risque élevé
C4	$CE > 2,25$	Eau de risque très élevé

Lorsqu'on alimente un même réservoir à partir de plusieurs forages ayant des débits et des conductivités électriques différents, l'eau se mélange et on obtient une conductivité moyenne globale.

Cette conductivité n'est pas une simple moyenne arithmétique, mais une moyenne pondérée par les débits : plus un forage débite, plus son eau influence la conductivité finale.

La formule utilisée est :

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

$$CE_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times CE_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

où :

Q_i = débit du forage i (L/s)

CE_i = conductivité de l'eau du forage i ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

CE_{eq} = conductivité équivalente dans le réservoir ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

$CE_{eq}=1995\mu\text{S}/\text{cm}$

La conductivité équivalente de l'eau du réservoir est d'environ 1995 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soit près de 2 dS/m, ce qui correspond à une salinité élevée classée C3 selon l'échelle de Richards. Une eau de classe C3 est considérée comme à utiliser avec précaution pour l'irrigation, car elle peut affecter fortement les cultures sensibles au sel et nécessite une bonne gestion du sol ainsi qu'un lessivage régulier.

II.2.3.3. Le coefficient d'adsorption du sodium S.A.R

Une eau trop riche en sodium peut se fixer sur le complexe du sol et provoquer une défloculation, ce qui altère la stabilité et la structure du sol. Pour estimer le risque alcalin, on compare alors la teneur en ions Na^+ à celles des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Cette analyse permet de mettre en évidence la tendance de l'eau à induire la dispersion des particules et à diminuer la perméabilité du sol.

$$SAR = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}{2}}}$$

$\text{Na}^+=139\text{mg}/\text{l}$

$\text{Mg}^{2+}=159\text{mg}/\text{l}$

$\text{Ca}^{2+}=360\text{mg}/\text{l}$

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

le SAR se calcule avec les concentrations en méq/L, pas en mg/L.

Donc, il faut convertir :

$$\text{méq/L} = \frac{\text{mg/L}}{\text{Poids équivalent}}$$

Pour Na^+ : $M=23 \text{ g/mol}$, $M=23 \text{ g/mol}$, valence = 1 $\rightarrow$ équivalent = 23

Pour Mg^{2+} : $M=24.3 \text{ g/mol}$, $M=24.3 \text{ g/mol}$, valence = 2 $\rightarrow$ équivalent = 12.15

Pour Ca^{2+} : $M=40 \text{ g/mol}$, $M=40 \text{ g/mol}$, valence = 2 $\rightarrow$ équivalent = 20

Conversion en méq/L :

Na^+ : $139/23 = 6.04139 / 23 = 6.04139/23 = 6.04 \text{ méq/L}$

Mg^{2+} : $159/12.15 \approx 13.09159 / 12.15 \approx 13.09159/12.15 \approx 13.09 \text{ méq/L}$

Ca^{2+} : $360/20=18.00360 / 20 = 18.00360/20 = 18.00 \text{ méq/L}$

Calcul du SAR :

$$SAR = \frac{6.04}{\sqrt{\frac{18.00+13.09}{2}}}$$

SAR=1.53

Le SAR calculé est de 1,53, ce qui correspond à un risque sodique faible. Selon la classification de Richards, une valeur de SAR inférieure à 10 indique que l'eau ne présente pas de danger significatif de sodisation des sols. Avec un SAR de 1,53, l'eau peut donc être utilisée en irrigation sans risque majeur de dispersion des argiles ou de dégradation de la structure du sol, à condition de maintenir une bonne gestion de l'irrigation et du lessivage des sels.

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

Tableau II.4 : Classification des eaux en fonction du SAR

Classe	S.A.R.	Risque d'alcalinisation
S1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
S4	$SAR > 26$	Risque très élevé

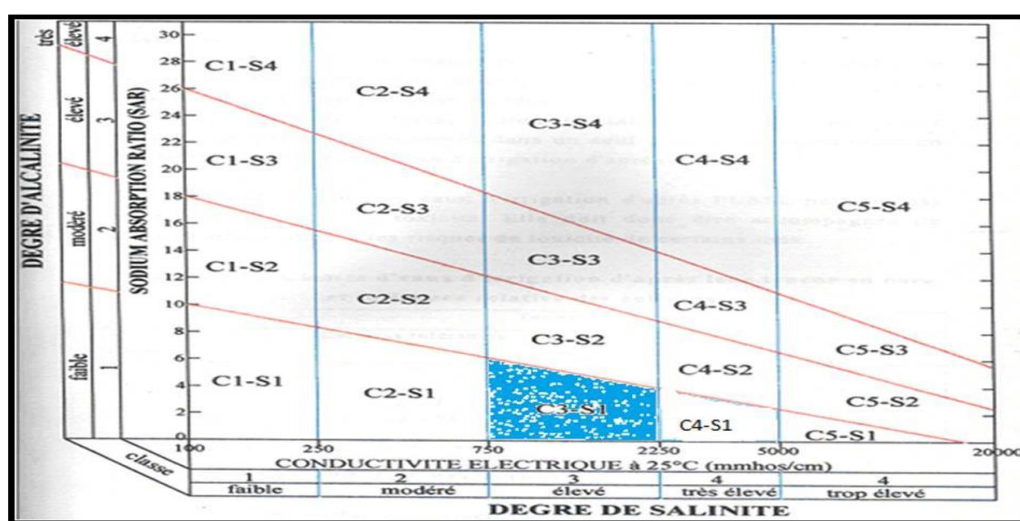


Fig II.4. Diagramme de classification des eaux d'irrigation

L'analyse de la qualité de l'eau révèle un SAR de **1,53**, correspondant à la classe **S1**, ce qui traduit un faible risque sodique. En revanche, la conductivité électrique mesurée à **1 995 μ S/cm** situe cette eau dans la classe **C3**, indiquant une salinité élevée. Elle reste donc utilisable pour l'irrigation, mais avec des précautions liées à la gestion de la salinité.

II.3 Ressources en sols

L'étude pédologique constitue une étape essentielle pour apprécier la fertilité potentielle des sols et orienter les choix techniques en matière d'aménagement agricole. Elle ne se limite pas à une simple description des profils pédologiques, mais vise également à identifier les contraintes physiques et chimiques qui peuvent limiter la productivité, telles que la salinité, la texture défavorable ou encore la faible capacité de rétention en eau.

En tant qu'ingénieur hydraulique, cette analyse permet de croiser les caractéristiques des sols avec la disponibilité en ressources en eau afin de proposer des solutions adaptées, qu'il s'agisse de l'ajustement des pratiques culturales, du choix des techniques d'irrigation ou de l'application de traitements spécifiques pour corriger certaines contraintes. L'étude pédologique joue ainsi un rôle déterminant dans la mise en valeur rationnelle des terres, en fournissant une base scientifique solide pour améliorer durablement la production agricole dans des conditions sahariennes souvent contraignantes.

II.3 .1 : Structure géomorphologique.

La vallée d'Oued-Righ est une large fosse de direction Sud Nord, prenant son origine au Sud de la palmeraie d'El- Goug et débouchant sur le chott Merouane.

La pente générale est de l'ordre de 1%. La dénivellation entre le haut et le bas du paysage est de quelques mètres seulement. Les pentes sont faibles et le relief est peu marqué, reposant sur les formations mio-pliocènes et éocènes qui s'enfoncent progressivement vers le Nord.

II.3 .2: Géologie.

La région de Touggourt fait partie du bas Sahara, et elle est limitée :

- Au nord, par l'accident sud Atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès.
- Au sud, par la falaise méridionale du TINHERT
- A l'est, par les affleurements crétacés du DAHRA.
- A l'ouest, par la dorsale du M'Zab

La région de Touggourt forme une cuvette synclinale du bassin sédimentaire du Bas-Sahara, entre le Hoggar au sud et l'Atlas Saharien au nord, couvrant environ 720 000 km² sur un diamètre de plus de 600 km. Elle s'étend des contreforts de l'Aurès au nord jusqu'au Tassili

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

au sud. Les terrains du Cambrien au Tertiaire y sont majoritairement masqués par le grand Erg oriental (125 000 km²), seuls quelques affleurements étant visibles en périphérie.

II.3 .3 : Pédologie :

Au Sahara, la couverture pédologique est très hétérogène et comprend principalement les classes suivantes : sols minéraux, sols peu évolués, sols halomorphes et sols hydromorphes. La fraction minérale est presque entièrement sableuse, tandis que la matière organique reste très faible, limitant la formation d'agrégats stables. Ces sols squelettiques présentent une fertilité très réduite en raison de leur faible capacité de rétention en eau.

Ere	Etages		Prof	Chronostratigraphie	Lithologie
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE		10m	Sable	
				Argile	
				Évaporite	
				Sable	
				Argile	
				Gravie	
				Grès	
				Argile	
	ÉOCÈNE	Moyen	180m	Argile Lagunaire	
		Inférieur		Dolomie	
MÉSOZOÏQUE	CRÉTACE	Sénonien	280m	Calcaire	
		Calcaire	500m	Evaporite	
				Anhydrite	
		Sénonien		Sel massif	
		Lagunaire		Argile	
				Marne	
		Turonien	1100m	Calcaire marneux	
		Chalkien	1160m	Dolomie	
				Argile	
				Anhydrite	
				Marne	
		Vraconien	1320m	Argile et dolomie	
		Albien	1450m	Sable	
				Grès	
				Argile sableuse	
		Aptien	1660m	Dolomie	
		Barrémien	1680m	Sable	
				Et	
				Grès	

Fig II.5.stratigraphique et l'hydrogéologie de la région de Touggourt (A.N.R.H.,2008)

II.3 .4 Etude des sols

L'étude des sols du périmètre d'El Hadjira a permis de distinguer deux (2) unités pédologiques homogènes, regroupées dans les classes suivantes :

- Classe des sols minéraux bruts ;
- Classe des sols peu évolués xériques (désert chauds).

Cette classification constitue une base essentielle pour comprendre les potentialités et les contraintes agricoles propres à la région.

Les résultats des analyses de sol

Description de profil type n°01

Localisation

Coordonnées : (UTM 31N)

X : 758586.28 E

Y : 3610131.65 N

Description du site :

- Géomorphologie : Replat inter-dunaire
- Lithologie : sables
- Pente : 0 - 3%, très faible à nulle
- Aspect de surface : éléments grossiers estimés de 3% (quartzeux de 0.1 à 0.2cm de diamètre).
- Occupation du sol : Terrain nu.

Classification (CPCS 1967) :

Classe : Sols Minéraux bruts **Sous Classe :** MB. Xériques

Groupe : MB Xériques inorganisés d'apport **Sous-Groupe :** éolisés en erg ,profonds

Description morphologique du profil

00 - 30 cm : Sec, couleur 7,5 YR 6/8 (jaune rougeâtre), Texture sableuse, structure particulaire, présence de graviers et granules de quartz (3% environ), pas de racines, matière organique non directement décelable, Activité biologique nulle, poreux, friable, pas d'effervescence à Hcl, transition diffus peu distinct.

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

30 - 60 cm : Sec, couleur 7,5 YR 6/6 (jaune rougeâtre), Texture sableuse, structure particulière, pas d'éléments grossiers, à l'exception des granules siliceux de forme arrondie de 1 à 2 cm de diamètre; pas de racines, matière organique non directement décelable, Activité biologique nulle, poreux, friable, pas d'effervescence à Hcl, transition diffus peu distinct. **60 - 120 cm et plus:** Sec, couleur 7,5 YR 6/8 (jaune rougeâtre), Texture sableuse, structure particulière, éléments grossiers 7% (graviers des grés), pas de racines, non organique, poreux, friable, pas d'effervescence à l'Hcl.

Tableau II.5 : Résultats analytiques profil type n°01:

Horizons		H1	H2	H3
Profondeur en cm		0-30	30-60	60-120
Granulométrie (en %)	A	0.10	0.20	0,10
	LF	0.4	0,70	0,40
	LG	1.00	0,90	0.90
	SF	36.50	39.00	19.6
	SG	62.00	59.20	79.00
Caco ₃ Total (en %)		4.13	3.75	4.13
Caco ₃ Actif (en %)				
CEC (en méq /300 g)		0,10	0,18	0,10
PH (au 1/5)		8,36	8,16	8,06
C.Emmhos/cm. (1/5)		0,10	0,18	0,10
C %		0,08	0,06	0,02
MO %		0,14	0,10	0,07

Description du profil n° 02

Localisation

Coordonnées :(UTM 31N) x; 760616.51E
y : 3609186.39 N

Description du site :

- Géomorphologie : légère dépression
- Lithologie : sables
- Pente : 0 - 3%, très faible à nulle
- Aspect de surface : voile quartzeux de 1 à 3 cm de diamètre, couvrant 10 % de la

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

surface du sol, avec accumulation d'une fine pellicule de sable d'apport éolien.

- Occupation du sol : Terrain presque nu. existence des touffes spontanées

Classification (CPCS 1967) :

Classe : Sols peu évolués

Sous Classe : Peu évolués Xériques

Groupe : Sols d'apport éolien

Sous-Groupe : modaux, profonds

Description morphologique du profil

00 - 30 cm : Sec, couleur 7,5 YR 7/8 (jaune rougeâtre), Texture sableuse, structure particulaire, présence de graviers et granules de quartz (3% environ), existence de trace des racines de racines, matière organique non directement décelable, activité biologique nulle, poreux, friable, pas d'effervescence à Hcl, transition diffus peu distinct.

30 - 60 cm : Sec, couleur 7,5 YR 7/6 (jaune rougeâtre), Texture sableuse, structure particulaire, pas d'éléments grossiers; pas de racines, matière organique non directement décelable, activité biologique nulle, poreux, friable, pas d'effervescence à Hcl, transition diffus peu distinct.

60 - 120 cm et plus: Sec, couleur 7,5 YR 6/4 (brun clair), Texture sableuse, structure particulaire, éléments grossiers composés de graviers estimé à 5%, pas de racines, non organique, poreux, friable, pas d'effervescence à l'Hcl.

Chapitre II : Ressources en eau et en sol

Tableau II.6 : Résultats analytiques profil type n°02:

Horizons		H1	H2	H3
Profondeur en cm		0-30	30-60	60-120
Granulométrie (en %)	A	0	0	0,10
	LF	0,10	0,30	0,60
	LG	0,80	0,60	1,00
	SF	16,90	28,60	24,90
	SG	82,20	70,50	73,40
Caco ₃ Total (en %)		3,38	4,13	3,75
Caco ₃ Actif (en %)				
CEC (en méq /300 g)		0,01	0,04	0,12
PH (au 1/5)		8,78	8,79	8,84
C.Emmhos/cm. (1/5)		0,05	0,04	0,05
C %		0,05	0,05	0,03
MO %		0,09	0,09	0,05

II.4 Erosion

Conformément aux termes de référence, l'évaluation de l'érosion repose sur la corrélation entre la carte lithologique et celle des pentes, complétée par des observations de terrain et des expériences locales issues de l'environnement immédiat du site.

Les orientations des aménagements projetés et les mesures antiérosives doivent s'inscrire dans le schéma établi, afin de garantir la durabilité des interventions. Dans ce périmètre, l'érosion est essentiellement éolienne, le réseau hydrographique étant quasi inexistant et les écoulements superficiels très limités.

La formation de amas de sable autour de la végétation traduit une activité éolienne modérée à soutenue, caractérisée par des accumulations relativement étroites et peu élevées. En revanche, dans les secteurs nord-est et ouest, la dominance de dunes à sommets saillants,

dépourvues de couverture végétale, constitue des obstacles topographiques significatifs. Ces dunes jouent un rôle de barrières orographiques et imposent des contraintes importantes pour la planification et la mise en valeur du site.

II.5 Conclusion

Les sols du périmètre présentent un profil morphologique relativement homogène, de type sables accumulés peu évolués, avec de légères variations de profondeur, de proportion de cailloutis, de type d'accumulation calcaire et, localement, du degré de salinité. Leur faible teneur en matière organique limite la capacité de stockage de l'eau, ce qui réduit la disponibilité hydrique. Néanmoins, leur texture sableuse et leur perméabilité élevée favorisent une infiltration rapide de l'eau d'irrigation, permettant une distribution efficace de l'humidité dans le profil du sol, à condition d'un arrosage régulier pour compenser la rétention limitée.

Ces sols sont adaptés aux cultures céréalières, maraîchères et à l'arboriculture, à condition d'une gestion optimisée de l'eau et d'un apport raisonné en engrais pour compenser leur faible fertilité chimique. Le suivi régulier de la salinité et de l'humidité du sol reste indispensable afin de maintenir l'efficacité de l'irrigation, prévenir la dégradation des sols et assurer la durabilité des aménagements agricoles dans ce contexte saharien.

Chapitre III

Evaluation des besoins en eau de parcelle

Chapitre III : Evaluation des besoins en eau de parcelle

III.1. Introduction

Le besoin en eau d'irrigation, ou consommation en eau de la culture, correspond à la hauteur d'eau exprimée en millimètres et utilisée par l'évapotranspiration. En termes généraux, il représente la quantité d'eau nécessaire pour assurer une croissance optimale de la culture. Plus précisément, il est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture saine, indemne de maladies, implantée sur une surface supérieure à un hectare et évoluant dans des conditions optimales de sol, avec une fertilité et une humidité suffisante pour atteindre son potentiel de production. Ce chapitre présente ainsi l'estimation des besoins en eau des cultures, sur la base des éléments établis précédemment, notamment les conditions climatiques, les cultures envisagées, les systèmes agronomiques, les potentialités et la fertilité des sols ainsi que la disponibilité en eau, qui conditionnent la conception de notre projet.

III.2. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration correspond à la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur, à la fois par évaporation à partir du sol et par transpiration des cultures. Elle s'exprime généralement par unité de surface et de temps, soit en $\text{m}^3/\text{ha}/\text{jour}$, $\text{m}^3/\text{ha}/\text{mois}$, $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$, ou encore en mm/jour , mm/mois ou mm/an . On distingue trois formes principales :

l'évapotranspiration de référence (ET_0)

l'évapotranspiration potentielle (ETP)

l'évapotranspiration réelle (ETR)

III.2.1. L'évapotranspiration de référence (ET_0)

Est définie comme « le niveau d'évapotranspiration d'une surface implantée d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive ».

III.2.2. L'évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal dense, bien alimenté en eau, dans une situation où l'énergie disponible dans l'atmosphère constitue le seul facteur limitant l'évaporation. Elle correspond à l'évapotranspiration d'une culture présentant un développement foliaire maximum, au stade de pleine croissance, recouvrant totalement le sol maintenu à la capacité au champ. L'ETP peut donc être considérée comme l'expression de la demande climatique en eau, c'est-à-dire la quantité maximale que l'atmosphère peut extraire par évaporation et transpiration si l'eau du sol est disponible en permanence. Elle traduit ainsi le « pouvoir évaporant » de l'air, notion essentielle pour estimer les besoins hydriques des cultures et dimensionner correctement l'irrigation.

III.2.3. L'évapotranspiration réelle

Sur une période déterminée, qu'il s'agisse d'une journée, d'un mois ou de l'ensemble du cycle végétatif, chaque parcelle en culture subit des pertes en eau.

Ces pertes proviennent à la fois de la transpiration des plantes et de l'évaporation directe à partir de la surface du sol.

La quantité totale ainsi perdue est appelée évapotranspiration réelle (ETR).

Sa valeur peut varier en fonction des conditions de croissance : elle est égale à l'évapotranspiration potentielle (ETP) lorsque les besoins de la plante sont totalement satisfaits, mais elle devient inférieure dès que l'alimentation en eau ou les conditions du milieu ne sont pas optimales.

III.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration

Voilà les deux principaux types de méthodes généralement utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures.

Elles permettent d'estimer les besoins en eau des plantes selon les conditions climatiques et les caractéristiques du couvert végétal :

- Les méthodes directes (mesures directes).

- Les méthodes indirectes (formules empiriques).

III.3.1. Méthodes indirectes

La mise en place d'un dispositif de mesure directe de l'évapotranspiration potentielle étant complexe, il est souvent préférable d'utiliser des formules empiriques ou analytiques adaptées aux différents climats. Parmi les méthodes les plus connues, on retrouve celles de Blanney-Criddle, de Turc, de Thornthwaite ainsi que la formule de Penman-Monteith, aujourd'hui considérée comme la plus fiable. Ces approches permettent d'estimer l'évapotranspiration à partir de données climatiques, mais elles ne prennent pas toutes en compte l'ensemble des paramètres influents. Les formules de Blanney-Criddle et de Turc utilisent la température et la durée d'ensoleillement, celle de Thornthwaite se base uniquement sur la température, tandis que la méthode de Penman-Monteith intègre plusieurs variables (rayonnement, température, humidité et vent) offrant ainsi une estimation plus précise

Tableau III.1: les données requises pour chaque méthode.

Méthode	Températ.	Humidité	Vent	Insolation	Rayonnem.	Milieu
B. Criddle	*	**	**	**		*
Turc	*	***		*	**	
Thornthwaite	*					
Penman	*	*	*	*	***	**

- Données mesurées ** Données estimées *** Données non essentielles

III.3.1.1. Formule de Blaney et Criddle

$$ETP = K(0,46t + 8,13)P$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle (mm/jour),

t : température moyenne (°C),

P : pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la période considérée par rapport à la durée moyenne du jour sur l'année,

K : coefficient qui dépend du stade de développement de la culture et des conditions climatiques de la zone.

III.3.1.2. Formule de Turc :

Si Hr > 50 % :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \left(\frac{T}{T + 15} \right)$$

Si Hr < 50 % :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \left(\frac{T}{T + 15} \right) \left(1 + \frac{50 - Hr}{70} \right)$$

Avec :

- ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm/mois),
- T : température moyenne mensuelle (°C),
- Hr : humidité relative de l'air (%),
- Ig : rayonnement global mensuel (cal/cm²/jour),
- Iga : rayonnement maximal théorique,
- H : durée astronomique du jour (heures/mois),
- h : durée réelle d'insolation de la station (heures/mois),
- h/H : insolation relative (rapport).

III.3.1.3. Formule de Penman-Monteith (FAO-56 modifiée)

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Avec

ET₀ : évapotranspiration de référence (mm/jour)

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

R_n : rayonnement net à la surface (MJ/m²/jour)

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

γ : constante psychrométrique (kPa/°C)

T : température moyenne journalière à 2 m (°C)

u₂ : vitesse du vent à 2 m (m/s)

e_s : pression de vapeur saturante (kPa)

e_a : pression de vapeur réelle (kPa)

Cette formule est la méthode la plus précise et la plus utilisée par la FAO pour estimer l'ETP.

III.4. Calcul de l'évapotranspiration

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle a été effectuée à l'aide de la formule de **Penman-Monteith modifiée**, réputée pour sa précision. Le calcul a été réalisé avec le logiciel **CROPWAT**, en y intégrant les données météorologiques mensuelles de la station, à savoir : la température minimale et maximale (°C), l'humidité relative (%), l'insolation journalière (heures) ainsi que la vitesse du vent (m/s).

Tableau III.2 : Evapotranspiration de référence (ET_o) de la zone d'étude :

Pays	Location 8		Station	TOUGGOURT			
Altitude	85	m.	Latitude	33.11	°N	Longitude	6.13 °E
Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET _o
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m ² /jour	mm/jour
Janvier	3.3	16.7	79	164	6.6	11.2	1.50
Février	5.6	19.4	75	216	8.2	15.1	2.32
Mars	8.9	23.3	69	251	8.5	18.6	3.52
Avril	12.8	28.3	67	251	9.0	21.8	4.75
Mai	17.2	32.8	61	251	10.3	25.0	6.17
Juin	22.8	37.8	59	251	10.1	25.1	7.18
Juillet	25.0	41.7	46	156	11.4	26.7	7.58
Août	23.9	40.5	59	156	10.9	24.9	6.86
Septembre	21.1	36.1	60	147	9.6	20.8	5.42
Octobre	15.0	28.9	71	164	7.9	15.6	3.53
Novembre	8.9	22.2	85	147	6.6	11.7	1.91
Décembre	4.4	17.2	87	138	6.6	10.5	1.29
Moyenne	14.1	28.7	68	191	8.8	18.9	4.34

Les résultats issus du logiciel CROPWAT pour la station de Touggourt montrent une forte variabilité mensuelle de l'évapotranspiration de référence (ET_o). Les températures maximales varient entre 16,7 °C en janvier et 41,7 °C en juillet, traduisant un climat saharien marqué par des amplitudes thermiques élevées. L'humidité relative diminue fortement en été (46 % en juillet), ce qui accentue les pertes en eau par évapotranspiration. La vitesse du vent reste globalement importante tout au long de l'année, avec une moyenne de 191 km/jour, jouant un rôle non négligeable dans le processus d'évaporation. L'insolation est également très élevée,

atteignant plus de 11 heures/jour en juillet, renforçant la demande climatique. En conséquence, l' ET_0 est minimale en hiver (1,50 mm/jour en janvier) et atteint un maximum de 7,58 mm/jour en juillet. La moyenne annuelle de l' ET_0 s'établit à 4,34 mm/jour, reflétant des besoins en eau importants pour les cultures, en particulier durant la saison estivale.

III .5. Homogénéité de la série pluviométrique et Ajustement statistique des pluies.

L'étude de l'homogénéité des séries pluviométriques et l'ajustement statistique des pluies sont des étapes généralement nécessaires pour améliorer la qualité des données météorologiques. Cependant, dans le cas de la station de Touggourt, ces opérations ne présentent pas une grande utilité. En effet, cette région est caractérisée par un climat saharien aride où les précipitations sont extrêmement faibles, irrégulières et souvent aléatoires. Les cumuls annuels dépassent rarement quelques dizaines de millimètres, ce qui rend les variations interannuelles trop importantes pour permettre un ajustement fiable. Par ailleurs, la pluviométrie locale ne joue qu'un rôle très limité dans la satisfaction des besoins en eau des cultures. L'agriculture dans cette zone repose presque exclusivement sur l'irrigation issue des ressources souterraines, et non sur la pluie. De ce fait, les précipitations observées n'ont qu'un impact négligeable sur le bilan hydrique agricole. En outre, la rareté des événements pluvieux rend difficile toute analyse statistique robuste ou test d'homogénéité pertinent, car la série temporelle ne contient pas suffisamment de données significatives. Les éventuelles irrégularités ou discontinuités dans la série pluviométrique n'affectent donc pas l'évaluation des besoins en eau des cultures. De plus, l'effort méthodologique et le temps requis pour corriger ou ajuster ces données ne se justifient pas dans un contexte où l'eau de pluie n'est pas un facteur déterminant. Ainsi, pour des fins agronomiques, il est à la fois peu pratique et scientifiquement marginal de procéder à l'homogénéité et à l'ajustement statistique des pluies à Touggourt. L'attention doit plutôt être portée sur la gestion des ressources hydriques mobilisées pour l'irrigation et sur l'optimisation de leur utilisation.

De la même manière, la détermination d'une année de calcul représentative ou l'estimation des pluies efficaces et des pluies à 80 % de probabilité perdent leur pertinence dans le contexte de Touggourt. En effet, ces méthodes sont généralement utilisées dans les régions où la pluviométrie contribue de façon significative à la satisfaction des besoins en eau des cultures. Or, dans les conditions sahariennes, la pluie est trop rare, imprévisible et insuffisante pour être considérée comme une ressource exploitable de manière régulière. L'identification d'une année moyenne de calcul devient donc arbitraire, car aucune année n'est réellement représentative dans un régime

pluviométrique aussi irrégulier. De même, le calcul des pluies efficaces, qui vise à évaluer la part des précipitations réellement utilisable par les plantes, est quasiment nul dans cette zone. Enfin, l'utilisation des pluies à 80 % de probabilité n'apporte aucune valeur ajoutée, puisque même lors des années dites « humides », les apports restent marginaux et sans impact agronomique. Dans ce contexte, l'intérêt doit être porté sur la quantification précise de l'évapotranspiration et la gestion des apports d'irrigation, qui constituent les véritables leviers de la production agricole à Touggourt.

III.6. Calcul de l'évapotranspiration maximale ETM

Les besoins en eau d'une culture, appelés évapotranspiration maximale (ETM), correspondent à la quantité d'eau évaporée et transpirée par la culture au cours d'un stade végétatif donné. Pour les estimer à partir de l'évapotranspiration de référence (ET₀), on utilise le coefficient cultural (K_c), qui varie selon l'espèce cultivée, son stade de développement et les conditions climatiques locales. La relation est exprimée par la formule :

$$ETM = K_c \times ET_0$$

où K_c est le coefficient cultural, traduisant l'influence de la culture et de son développement sur la demande en eau

III.6.1. Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures.

Le besoin en eau d'irrigation (B) s'exprime par la relation suivante :

$$B = ETM - (P_{eff} + K \cdot RFU_{i-1})$$

Avec :

B : besoin en eau d'irrigation (mm),

ETM : évapotranspiration maximale (mm/mois),

P_{eff} : pluie efficace (mm),

K : coefficient dépendant des conditions climatiques (égal à 1/2 ou 1/3),

RFU_{i-1} : réserve facilement utilisable du sol au mois précédent (mm).

La réserve facilement utilisable (RFU) est calculée par la formule :

$$RFU = Y \cdot (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Z$$

Avec :

Y : degré de tarissement,

D_a : densité apparente du sol (1,26),

Z : profondeur d'enracinement (mm),

Hcc : humidité à la capacité au champ (10 %),

Hpf : humidité au point de flétrissement (4 %)

Dans le contexte saharien de Touggourt, les pluies efficaces ainsi que la réserve utile du sol sont très limitées et apportent une contribution négligeable aux besoins en eau des cultures. Les précipitations rares et irrégulières ne permettent pas de satisfaire une part significative de l'ETM. De même, la réserve utile du sol, souvent faible en raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière organique, ne constitue pas un apport durable. Ainsi, les besoins réels en eau des cultures sont pratiquement équivalents à l'ETM. En conséquence, le dimensionnement et la planification de l'irrigation doivent se baser principalement sur l'évapotranspiration maximale.

III.6.2. Réserve Facilement Utilisable RFU.

La réserve facilement utilisable (RFU) est définie comme la partie de la réserve en eau du sol que la plante peut extraire sans difficulté majeure. Elle correspond à une fraction de la réserve utile (RU), comprise entre la teneur en eau à la capacité au champ (HCC) et celle au point de flétrissement permanent (HPF). En d'autres termes, la RFU représente la quantité d'eau mobilisable par les racines avant l'apparition du stress hydrique. Cette notion repose sur le fait que les plantes ne peuvent pas utiliser l'ensemble de la réserve utile : seule une partie est facilement disponible, tandis que l'autre devient de plus en plus difficile à extraire à mesure que l'humidité du sol diminue.

La formule couramment utilisée est la suivante :

$$RFU = \frac{(HCC - HPF)}{100} \times DA \times Z \times Y$$

Ce calcul permet d'estimer, en millimètres d'eau, la réserve mobilisable par les cultures. Lorsque l'humidité descend sous le seuil de la RFU, les plantes commencent à réduire leur transpiration et leur croissance, signe de stress hydrique.

Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome: FAO.

Humidité à la Capacité au Champ HCC.

L'humidité à la capacité au champ correspond à la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir après un drainage libre. Lorsque le sol est complètement saturé, l'eau contenue dans les

Chapitre III : Evaluation des besoins en eau de parcelle

macropores s'écoule rapidement sous l'effet de la gravité. En revanche, l'eau qui reste piégée dans les micropores constitue une réserve stable et disponible pour les plantes, car elle est retenue par des forces de capillarité accessibles aux racines. Ainsi, plus un sol possède un équilibre favorable entre macropores et micropores, plus sa capacité au champ et donc sa réserve en eau sont importantes.

Humidité au Point de Flétrissement Permanent HPF.

Le point de flétrissement permanent représente le seuil d'humidité du sol en dessous duquel les plantes ne peuvent plus absorber l'eau. À ce stade, l'eau est principalement retenue dans les micropores très fins, où elle est fixée par des forces trop élevées pour être surmontées par les racines. Bien que le sol contienne encore de l'eau, celle-ci est considérée comme non disponible pour les plantes. En conséquence, la végétation flétrit de manière irréversible, même si l'humidité ambiante est favorable. Plus la proportion de micropores fins est élevée dans un sol, plus le HPF tend à être important, ce qui réduit la part d'eau effectivement utilisable par les cultures.

Densité Apparente DA.

La densité apparente est le rapport entre la masse du sol sec et son volume total, généralement exprimée en g/cm^3 ou t/m^3 . Elle traduit le degré de compacité du sol et joue un rôle important dans le calcul de la réserve en eau. En multipliant la teneur en eau par la densité apparente, on obtient la quantité réelle d'eau contenue dans une tranche de sol. Ainsi, plus le sol est dense, plus il contient d'eau pour un même volume.

Profondeur de la Zone Racinaire Z.

La profondeur racinaire correspond à l'épaisseur de sol réellement exploitée par les racines de la plante. Cette valeur dépend de l'espèce cultivée, de son stade de développement et de la structure du sol. Par exemple, les céréales explorent souvent 1 m de profondeur, tandis que les cultures maraîchères exploitent plutôt 0,3 à 0,6 m. Plus la profondeur racinaire est importante, plus la plante peut mobiliser une grande quantité d'eau.

Coefficient de Disponibilité Y.

Le coefficient de disponibilité, noté Y, exprime la fraction de la réserve utile qui est réellement accessible sans contrainte pour la plante. En effet, les racines ne peuvent pas extraire toute l'eau de la RU avec la même facilité : une partie de l'eau devient difficile à prélever à mesure que le sol sèche. Ainsi, on considère que seule une proportion de la RU est facilement utilisable, appelée RFU. La valeur de Y varie selon la culture, le climat et le sol, généralement entre 0,3 et 0,7.

Tableau III.3 : Humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement.

Texture	Humidités pondérales en % du poids sec			Réserve utile volumétrique en mm
	A la rétention H _{cc}	Du flétrissement H _{PF}	Disponible (H _{CC} – H _{PF})	
Sableuse	9(6 à 12)	4 (2 à 6)	5 (4 à 6)	85 (70 à 100)
Sablo-limoneuse	14 (10 à 18)	6 (4 à 8)	8 (6 à 10)	120 (90 à 150)
Limoneuse	22(18 à 26)	10 (8 à 12)	12 (10 à 14)	170 (140 à 190)
Limono-argileuse	27(25 à 31)	13 (11 à 15)	14 (12 à 16)	190 (170 à 220)
Argilo-limoneuse	31(27 à 35)	15 (13 à 17)	16 (14 à 18)	210 (180 à 230)
Argileuse	35(31 à 39)	17 (15 à 19)	18 (16 à 20)	230 (220 à 250)

Source : Référence bulletin FAO d'irrigation et drainage

III .7.Estimation des besoins en eau

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

Chapitre III : Evaluation des besoins en eau de parcelle

Tableau III.4.Calcul des besoins en eau de l'amendier .

Mois	ETo_month (mm)	Z (m)	RFU	Kc	ETM (mm)
Janvier	46.5	1.2	30.2	0.6	27.9
Février	64.96	1.2	30.2	0.6	38.976
Mars	109.12	1.2	30.2	0.7	76.384
Avril	142.5	1.2	30.2	0.9	128.25
Mai	191.27	1.2	30.2	1	191.27
Juin	215.4	1.2	30.2	1	215.4
Juillet	234.98	1.2	30.2	0.9	211.482
Août	212.66	1.2	30.2	0.9	191.394
Septembre	162.6	1.2	30.2	0.8	130.08
Octobre	109.43	1.2	30.2	0.7	76.601
Novembre	57.3	1.2	30.2	0.6	34.38
Décembre	39.99	1.2	30.2	0.6	23.994

$$RFU = \frac{(10 - 4)}{100} \times 1,26 \times 1,2 \times \frac{1}{3}$$

RFU=30.2mm

Chapitre III : Evaluation des besoins en eau de parcelle

Tableau III.5.Calcul des besoins en eau du blé.

Mois	ETo_month (mm)	Z (m)	RFU_théo (mm)	Kc	ETM (mm)
Janvier	46.5	0.6	30.2	0.4	18.6
Février	64.96	0.6	30.2	0.6	38.976
Mars	109.12	0.6	30.2	1.05	114.576
Avril	142.5	0.6	30.2	1.05	149.625
Mai	191.27	0.6	30.2	0.4	76.508
Juin	215.4	0.6	30.2	0	0
Juillet	234.98	0.6	30.2	0	0
Août	212.66	0.6	30.2	0	0
Septembre	162.6	0.6	30.2	0	0
Octobre	109.43	0.6	30.2	0	0
Novembre	57.3	0.6	30.2	0	0
Décembre	39.99	0.6	30.2	0.2	8

$$RFU = \frac{(10 - 4)}{100} \times 1,26 \times 0,6 \times \frac{2}{3}$$

RFU=30.2mm

Chapitre III : Evaluation des besoins en eau de parcelle

Tableau III.6.Calcul des besoins en eau du Maïs.

Mois	ETo_month (mm)	Z (m)	RFU_théo (mm)	Kc	ETM (mm)
Janvier	46.5	1.0	25.2	0	0
Février	64.96	1.0	25.2	0	0
Mars	109.12	1.0	25.2	0	0
Avril	142.5	1.0	25.2	0	0
Mai	191.27	1.0	25.2	0	0
Juin	215.4	1.0	25.2	0	0
Juillet	234.98	1.0	25.2	0	0
Août	212.66	1.0	25.2	0.5	106.33
Septembre	162.6	1.0	25.2	0.8	130.08
Octobre	109.43	1.0	25.2	1.0	109.43
Novembre	57.3	1.0	25.2	1.0	57.3
Décembre	39.99	1.0	25.2	0.4	16.0

$$RFU = \frac{(10 - 4)}{100} \times 1,26 \times 1,0 \times \frac{1}{3}$$

RFU=25.2mm

Tableau III.7.Calcul des besoins en eau de l'orge.

Mois	ETo_month (mm)	Z (m)	RFU_théo (mm)	Kc	ETM (mm)
Janvier	46.5	0.6	40.3	0.35	16.275
Février	64.96	0.6	40.3	0.6	38.976
Mars	109.12	0.6	40.3	1.05	114.576
Avril	142.5	0.6	40.3	1.05	149.625
Mai	191.27	0.6	40.3	0	0
Juin	215.4	0.6	40.3	0	0
Juillet	234.98	0.6	40.3	0	0
Août	212.66	0.6	40.3	0	0
Septembre	162.6	0.6	40.3	0	0
Octobre	109.43	0.6	40.3	0	0
Novembre	57.3	0.6	40.3	0	0
Décembre	39.99	0.6	40.3	0.35	13.996

$$RFU = \frac{(10 - 4)}{100} \times 1,26 \times 0,8 \times \frac{2}{3}$$

RFU=40.3mm

III.8. Conclusion

L'étude des besoins en eau des cultures constitue une étape essentielle pour la planification et la gestion rationnelle de l'irrigation. En effet, la connaissance précise de l'évapotranspiration des cultures, de la réserve utile et de la réserve facilement utilisable permet de définir la quantité et la fréquence des apports hydriques nécessaires au bon développement végétatif et à l'atteinte d'un rendement optimal. Chaque culture présente des exigences spécifiques en fonction de sa profondeur d'enracinement, de sa sensibilité au déficit hydrique et de son cycle de croissance. Ainsi, l'évaluation des besoins hydriques ne se limite pas à un simple calcul, mais représente un outil de décision permettant d'adapter les pratiques agricoles aux conditions pédoclimatiques locales. En conclusion, la détermination des besoins en eau des cultures assure une utilisation efficiente des ressources en eau, améliore la durabilité de la production agricole et contribue à la préservation de l'environnement dans les zones irriguées.

Chapitre IV

Dimensionnement à la parcelle

Chapitre IV : Dimensionnement à la parcelle

IV.1 Introduction

Le dimensionnement hydraulique constitue une étape fondamentale dans la conception et la gestion des réseaux d'irrigation. Il vise à assurer un acheminement de l'eau depuis la source jusqu'aux plantes dans des conditions optimales de débit et de pression. Un dimensionnement approprié permet non seulement de satisfaire les besoins en eau des cultures, mais aussi de garantir une répartition homogène et efficace de l'eau sur l'ensemble de la parcelle. Dans ce cadre, il est nécessaire de prendre en considération plusieurs paramètres, tels que les caractéristiques hydrauliques des conduites, les pertes de charge, la pression requise aux bornes ou aux émetteurs, ainsi que le débit global à distribuer. La maîtrise de ces éléments permet d'optimiser le fonctionnement du réseau, de réduire les pertes d'énergie et d'eau, et d'assurer la durabilité des installations. Ainsi, l'étude du dimensionnement hydraulique représente un préalable indispensable à la réussite de tout projet d'irrigation moderne et performant.

IV.2. Réseau gouttes à gouttes

Le réseau d'irrigation goutte-à-goutte est un système moderne conçu pour apporter l'eau directement à la zone racinaire des plantes, sous forme de petites quantités continues ou intermittentes. Sa structure se compose de plusieurs éléments hiérarchisés :

La conduite principale.

Les conduites secondaires.

Les porte-rampes.

Les rampes.

Les goutteurs.

Dans le cadre de ce travail, et en raison du choix de l'amandier comme culture pérenne, nous avons opté pour l'utilisation d'une rampe en PEBD perforée au laser(dripline perforée au laser), équipée d'un labyrinthe hydraulique intégré pour chaque orifice. Ce labyrinthe a pour rôle de ralentir l'écoulement de l'eau, de créer une perte de charge et de réguler le débit, assurant ainsi une distribution homogène sur l'ensemble de la parcelle. Les orifices, réalisés par perforation laser, offrent une grande précision, une uniformité des débits et une meilleure résistance au colmatage.

Pour l'arboriculture, et plus particulièrement pour l'amandier, ces rampes fonctionnent généralement sous une pression comprise entre 0,65 et 1,3 bar, garantissant une irrigation efficace tout en limitant la consommation énergétique. Ce choix est particulièrement adapté à notre étude, car il répond aux besoins hydriques spécifiques de l'amandier et permet une gestion rationnelle de l'eau.

Ref: Irritec. (2025). Drip Irrigation for Almond Trees. Consulté le 14 juillet 2025, sur <https://irritec.com/drip-irrigation-for-almond-trees/>.

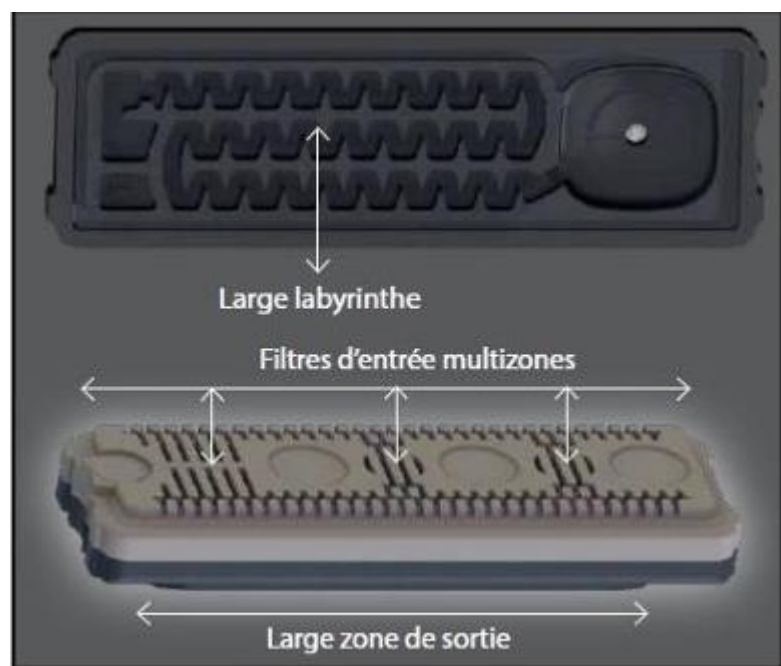


Fig.v.1. labyrinthe hydraulique.

IV.2.1 Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :

La valeur d'évapotranspiration (ET) retenue pour la conception de l'installation est la valeur maximale obtenue en multipliant l'évapotranspiration de référence (ET_0) par le coefficient cultural K_c pour chaque mois. Cette valeur maximale d'évapotranspiration est appelée **évapotranspiration maximale (ETM)**. Elle correspond aux besoins nets de la culture, c'est-à-dire à la quantité d'eau indispensable au développement de l'amandier durant les périodes où ses exigences hydriques atteignent leur niveau le plus élevé.

$$ETM = ET_0 \times K_c$$

Où ET_0 est l'évapotranspiration de référence (calculée à partir des données climatiques) et K_c le coefficient cultural dépendant du stade phénologique de la plante.

Doorenbos et Pruitt (1977)

IV.2.1.1. Le coefficient de réduction K_r :

En irrigation localisé (goutte à goutte) comme l'apport est individuel, on multiplie par un coefficient de réduction (K_r).

On peut avoir des valeurs approximatives avec les formule suivantes :

- **KELLER et KARMELI (1974) :**

$$K_r = \frac{C_s}{0.85}$$

- **La formule de Freeman et Garzoli :**

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s)$$

- **La formule de Decroix (CTGREF) :**

$$K_r = 0.1 + C_s$$

En appliquant le tableau du COI (1997) au cas étudié, on considère une plantation d'amandiers espacés de **3,5 × 1,5 m**. La largeur moyenne de la canopée est estimée à **L=1m**.

La surface projetée au sol par l'ombre de la canopée, S , est donc :

$$cs = \frac{1.5 \times 1}{1.5 \times (3.5 - 1)}$$

Le taux de couverture du sol par la végétation est alors :

$$C_s = 0.4$$

Étant donné que $cs=0.4$ et en appliquant La formule de Decroix (CTGREF) , la valeur appropriée du coefficient de réduction K_r est : $K_r = cs + 0.1 = 0.5$

V.2.1.2. L'évapotranspiration corrigée

L'évapotranspiration corrigée correspond à l'évapotranspiration réelle des arbres lorsqu'ils ne couvrent pas entièrement la surface du sol. Dans les jeunes vergers ou pour les cultures dont le taux de couverture végétale est inférieur à 100 %, toute la surface utile n'est pas exploitée par la canopée. Pour corriger ce déficit, on applique un coefficient de réduction, défini en fonction du taux de couverture du sol. Cette approche permet d'ajuster l'évapotranspiration maximale, obtenue à partir de l'évapotranspiration de référence et du coefficient cultural, afin de tenir compte de la fraction de sol réellement ombragée. L'évapotranspiration corrigée donne ainsi une estimation plus réaliste des besoins en eau des cultures, en particulier dans les systèmes arboricoles comme l'amandier, où la couverture végétale varie fortement selon l'âge et la densité de plantation.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome.

Tableau.IV.1.L'évapotranspiration corrigée.

Mois	Kr	ETM (mm)	ETc(mm)
Janvier	0.5	27.9	13.95
Février	0.5	38.976	19.5
Mars	0.5	76.384	38.192
Avril	0.5	128.25	64.13
Mai	0.5	191.27	95.64
Juin	0.5	215.4	107.7
Juillet	0.5	211.482	105.73
Août	0.5	191.394	95.7
Septembre	0.5	130.08	65.04
Octobre	0.5	76.601	38.3
Novembre	0.5	34.38	17.19
Décembre	0.5	23.994	12

IV.2.2. Réserve Facilement Utilisable (RFU) corrigée

La Réserve Facilement Utilisable (RFU) corrigée correspond à la fraction d'eau réellement disponible pour la plante, après avoir pris en compte les conditions de couverture du sol et de développement de la culture. En effet, la RFU classique est calculée à partir de la différence entre l'humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement, de la densité apparente du sol, de la profondeur explorée par les racines et du coefficient de disponibilité. Cependant, dans les systèmes arboricoles jeunes ou peu couvrants, toute cette réserve n'est pas exploitée efficacement par la plante. On introduit donc un coefficient de réduction, généralement lié au taux de couverture de la canopée, pour obtenir la RFU corrigée. Cette

approche permet d'évaluer plus justement la quantité d'eau accessible aux cultures, en particulier dans les premières années de mise en place des vergers.

$$RFUc=P \times RFU$$

IV.2.2.1 pourcentage de sol humide

Dans l'irrigation localisée, l'eau n'est fournie qu'à une partie du sol, donc à des fins de conception, il est donc nécessaire de déterminer un volume minimum de sol à humidifier, qui doit être suffisant

pour garantir à la plante l'approvisionnement en eau nécessaire à son développement adéquat.

$$\text{pourcentage de sol humide} = (\text{zone humide} / \text{zone total}) \times 100$$

Le choix des valeurs du pourcentage de sol humide (P) est important. Ainsi, des valeurs élevées de P augmente la sécurité du système, notamment en cas de pannes d'installation ou dans des situations une évapotranspiration élevée, car plus le volume de sol exploré est important, plus les racines ont plus grande probabilité d'extraire de l'eau.

avec une rampe de goutteur en ligne de **3.5 litres/heure**, espacés de 0.5 m

Si nous prenons le cas de deux rampes par ligne d'arbres, espacées de 0.5 m, on aura une bande humide de **1.0 m** de largeur, on aura donc:

Surface Zone humide = 1.0 × 100 × nombre de rangé / hectare

$$Sh = 10 \times 100 \times 28 = 2800 \text{ m}^2$$

La valeur de P sera :

$$P = 2800 / 10000 = 28\%$$

La RFUc sera donné donc dans le tableau suivant :

$$RFUc = 30.2 \times 0.28 = 8.5 \text{ mm}$$

Tableau.IV.2.Réserve Facilement Utilisable (RFU) corrigée

Mois	P (%)	RFU (mm)	RFUc (mm)
Janvier	28	30.2	8.5
Février	28	30.2	8.5
Mars	28	30.2	8.5
Avril	28	30.2	8.5
Mai	28	30.2	8.5
Juin	28	30.2	8.5
Juillet	28	30.2	8.5
Août	28	30.2	8.5
Septembre	28	30.2	8.5
Octobre	28	30.2	8.5
Novembre	28	30.2	8.5
Décembre	28	30.2	8.5

IV.2.2.2: Fréquence et tour d'arrosage

La gestion de l'irrigation repose sur deux paramètres complémentaires : la fréquence d'arrosage et le tour d'arrosage. La fréquence d'arrosage (**Fr**) exprime le nombre d'irrigations à réaliser au cours d'un mois pour couvrir les besoins hydriques de la culture. Elle permet d'estimer la charge de travail et d'organiser le calendrier des apports en eau. Le tour d'arrosage (**Tr**), quant à lui, correspond à l'intervalle de temps séparant deux irrigations successives, généralement exprimé en jours. Il traduit le rythme d'apport de l'eau et dépend des besoins réels de la plante (ETc) et de la réserve facilement utilisable du

sol (RFU). Ensemble, ces deux paramètres assurent une planification rationnelle de l'irrigation, en évitant aussi bien le déficit hydrique que les excès d'eau

$$Fr = \frac{ETc}{RFUc}$$

$$Fr = \frac{1}{Tr}$$

où :

ETc est l'évapotranspiration corrigée de la culture (mm/mois),

RFUc est la réserve facilement utilisable corrigée du sol (mm)

Tableau.IV.3.Fréquence et tour d'arrosage

Mois	ETc(mm/mois)	RFUc (mm)	ETc/RFUc	Fr	Tr(j)
Janvier	13.95	8.5	1.6	2	15
Février	19.5	8.5	1.94	2	15
Mars	38.192	8.5	4.57	5	6
Avril	64.13	8.5	7.54	10	3
Mai	95.64	8.5	11.25	15	2
Juin	107.7	8.5	12.67	15	2
Juillet	105.73	8.5	12.44	15	2
Août	95.7	8.5	11.26	15	2
Septembre	65.04	8.5	7.65	10	3
Octobre	38.3	8.5	4.5	5	6
Novembre	17.19	8.5	2.1	3	10
Décembre	12	8.5	1.4	2	15

V.2.3.La dose d'irrigation

IV.2.3.1. dose de lessivage

La **dose de lessivage** correspond à la quantité d'eau (exprimée en mm ou en m³/ha) qu'il faut apporter en excès, au-delà des besoins réels en eau de la culture, afin d'entraîner les sels solubles présents dans la zone racinaire vers les couches plus profondes du sol.

$$D_L = \frac{LR}{1 - LR} \times ET_c$$

DL = dose de lessivage (mm),

LR = fraction de lessivage ou leaching requirement (adimensionnel),

ET_c = besoin en eau de la culture (mm).

La fraction de lessivage (LR)

$$LR = \frac{EC_w}{5 \times EC_e - EC_w}$$

EC_w = conductivité électrique de l'eau d'irrigation (1995 dS/m),

EC_e = conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol tolérée par la culture (2400 dS/m).

LR=19.94%

Donc on peut se permettre de prendre LR=20%

DL=0.9mm

IV.2.3.2.Calcul de la dose brute :

La dose brute d'irrigation correspond à la quantité d'eau qu'il faut réellement apporter à la culture au champ en tenant compte non seulement des besoins nets de la plante mais aussi des pertes liées au système d'irrigation (efficacité d'application, homogénéité de distribution, etc.). Ainsi, elle représente le volume d'eau à fournir pour que les besoins réels de la culture soient effectivement couverts.

Dans le cas de l'amandier, le mois de juin est considéré comme la période de référence pour le dimensionnement, car il correspond au mois où l'évapotranspiration corrigée atteint sa valeur maximale. Pour ce mois, la valeur calculée est de 150,8 mm/mois, ce qui correspond à un besoin journalier moyen d'environ 5 mm/jour. C'est sur cette base que la dose brute d'irrigation est déterminée afin de garantir un apport suffisant et éviter le stress hydrique en période de forte demande.

$$\text{Dose brute (Db)} = \frac{Tr \times ET_{c_j}}{CU \times Eff} + (DL \times Tr)$$

Où

Tr : tour d'arrosage (2 jours),

ETcj : évapotranspiration corrigée journalière (3.59 mm/j),

CU : coefficient d'uniformité du système (0.9)

Eff : efficacité d'application (0.9)

DL : dose de lessivage journalière (0.9 mm/j)

Db=10.67mm

IV.2.4. Durée d'irrigation :

Les besoins nets par arbre pour un arrosage = dose brute d'irrigation * l'espacement des arbres/Tr

$B_{net}=10.67 \times 1.5 \times 3.5=56l/arbre=28l/arbre/jour$

Pour l'irrigation de chaque arbre, **on a opté pour l'installation de 4 goutteurs**, chacun ayant un **débit de 3,5 L/h**. Ce choix permet de répartir uniformément l'eau autour de la zone racinaire et de contrôler précisément la quantité d'eau appliquée, en tenant compte des besoins en eau de l'arbre et de la dose de lessivage.

.

Durée d'arrosage journalier :

$$Ta = \frac{D_{brut}}{q_g \times n_g}$$

Dbrut=56l/arbre

qg=3,5 L

ng=4n

Ta=4h

IV.2.5. CONCEPTION HYDRAULIQUE

Données Générales:

Avec la conception hydraulique, les composants, les dimensions du réseau et le fonctionnement de l'installation d'irrigation ont été déterminés de manière à pouvoir répondre aux besoins en eau de l'Amanderaie dans le temps établi, en tenant compte de la conception agronomique préalablement réalisée.

1- La parcelle à une forme uniforme rectangulaire : 2000 m x 1000 m, pour donner à notre réseau une uniformité de distribution, on a choisis l'option de la scinder d'une façon symétrique en :

✚ **05 BLOC de 40 Hectares; BI, BII, BIII, et BIV, BVI** 400 m x 1000 m

✚ Chaque bloc comprend: 04 Secteurs de 10 Hectares; 200 m x 500 m

✚ Chaque secteur est composé de 05 sous secteurs de 02 Hectares; 200 m x 100 m

Cette dernière qui sera sectionné avec une vanne, c'est l'unité de base pour le calcul hydraulique du réseau, dont ces besoin en débit et en pression détermine les diamètres et les longueurs de la tuyauterie, la puissance des pompes et capacité des filtres.

2000 m

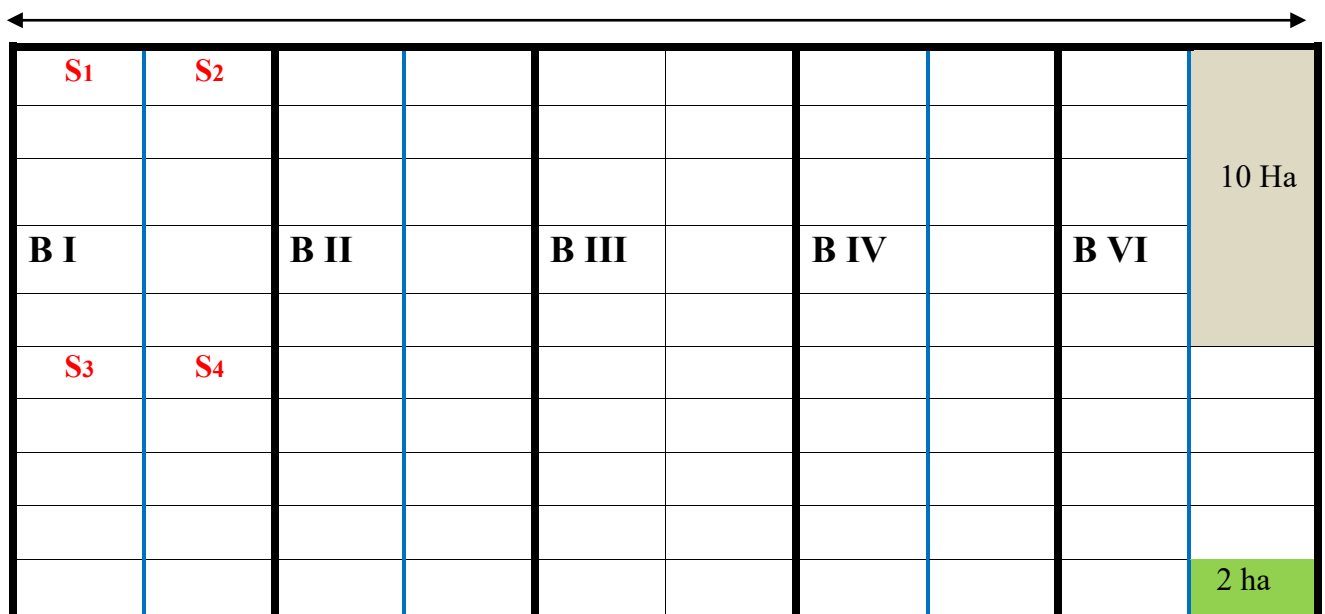


FIG .IV .2.Schéma général de découpage des différentes Unité parcellaires.

Le terrain de la parcelle du projet est généralement plat, le levée topographique à l'aide du logiciel GLOBAL MAPER nous à indiquer l'existence d'une pente légère de 2.3 %, et -1.1 %, et un gain d'élévation de 6,4 m entre les deux points le plus et le moins élevé de la parcelle, donc des travaux de nivellement du terrain sont nécessaires pour la plantation et l'installation du réseau d'irrigation, ce dernier va être équipé avec des vannes menu de régulateurs de pression pour éviter les problèmes de pertes de charge lié à la pente.

IV.2.5.1. Choix de La rampe goutteurs:

La distribution de l'eau par les goutteurs doit être aussi uniforme que possible, c'est-à-dire que chaque émetteur doit appliquer à peu près la même quantité d'eau. Cette uniformité constitue le fondement de la conception hydraulique de toute installation d'irrigation localisée.

Pour garantir une bonne uniformité, nous avons choisi des rampes de goutteurs très performantes sur le plan technologique : des **goutteurs à débit autocompensé**, équipés de filtres intégrés et de labyrinthes suffisamment larges. Ces caractéristiques assurent non seulement une utilisation flexible, mais permettent également d'installer des rampes de longueur appréciée par les concepteurs de réseaux d'irrigation.

Le choix de rampe a été fait par l'utilisation du logiciel irritools de IRRITEC S.P.A.

Le logiciel Irritools est un outil gratuit conçu pour aider à la conception et à la gestion des systèmes d'irrigation, en particulier dans le domaine de la micro-irrigation. Développé par Irritec S.P.A., il est destiné aux professionnels de l'agriculture, de l'aménagement paysager et de l'irrigation.

Fonctionnalités principales

Conception de plans d'irrigation : Irritools permet de créer des schémas de réseaux d'irrigation, en définissant les zones, les types de goutteurs ou de tuyaux, et les autres composants du système.

Calculs hydrauliques : Le logiciel effectue des vérifications de base sur les débits, les pressions et les pertes de charge, assurant ainsi que le système est équilibré et efficace.

Comparaison de scénarios : Il offre la possibilité de tester différentes configurations pour évaluer leur performance et choisir la meilleure option.

Chapitre IV: Dimensionnement à la parcelle

Interface intuitive : L'interface utilisateur est conçue pour être accessible, même pour ceux qui n'ont pas une expertise technique approfondie en hydraulique ou en conception d'irrigation.

Avantages

Gain de temps : En automatisant les calculs et la création de plans, Irritools réduit le temps nécessaire à la conception d'un système d'irrigation.

Optimisation de l'utilisation de l'eau : Le logiciel aide à concevoir des systèmes plus efficaces, réduisant ainsi le gaspillage d'eau et les coûts associés.

Accessibilité : Étant gratuit, il est accessible à un large éventail d'utilisateurs, des petites exploitations agricoles, aux grandes entreprises d'irrigation, aux étudiants et enseignants.

The screenshot shows the Irritools software interface for calculating irrigation system parameters. The 'G à G - Longueur max' tab is active. The sidebar on the left contains navigation icons for various calculation types. The main workspace is divided into input fields and a results panel. Input fields include 'Goutteur' (Multibar 016 3,80 l/h), 'Espace standard (cm)' (50,0), 'Tube 1', 'Pression initiale (mce)' (18,0), 'Topographie' (Pente (%): -1,0), and 'Données facultatives' (Ecartement entre rampes (m): 1,0, Superficie (ha): 2,0, Genre d'installation: Double rampe). The 'RESULTATS' panel on the right displays calculated values: Pression finale (mce) 7,75, Debit du premier goutteur (l/h) 3,75, Debit du dernier goutteur (l/h) 3,57, Pluviométrie (mm/h) 14,74, Debit total (l/s) 75,26, Numero de goutteurs 71112, Longueur total des rampe (m) 53334, Perte de charge (mce) 10,25, and Longueur maximale (m) 112,5. A 'Calculer' button is located at the bottom right of the interface.

Fig.v.3. resultats des calcul de longueur, pertes de charges et debit de goutteurs dans les rampe (irritools).

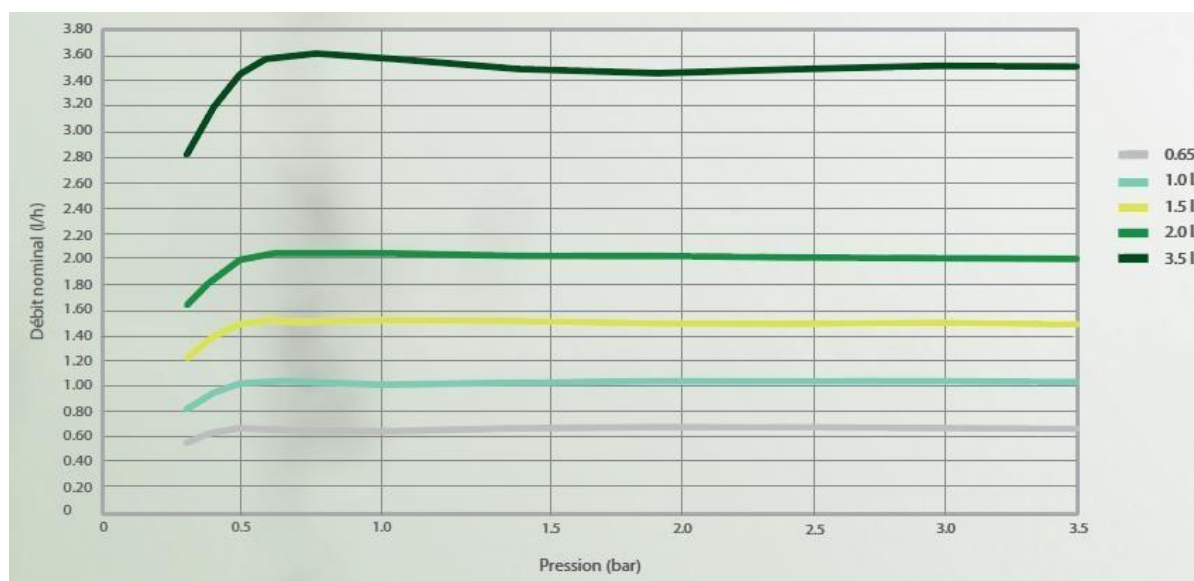


FIG. IV .4.Courbe d'uniformité de distribution de la rampes choisis (avec variation de pression)

Tableau :IV.4.Critère de la rampe goutteurs

Débit L	Espacement entre goutteurs cm	Pression de fonctionnement bar	Diamètre Nominal mm	Longueur maximum m
3.5	100	0.7	16	113

IV.2.5.2.LE RESEAU A LA PARCELLE :

Selon le désir du client, et la disponibilité d'un seul bassin d'accumulation, et par conséquent un seule local technique et station de tête composé de (5+2) pompes de refoulement (plus les filtres), la conception de réseau sera la suivante:

Le réseau est constitué des Tube en PEHD, de différents diamètres allant de 315 mm qui représente la conduite principale qui sorte de la tête de station et pénètre dans la parcelle, et le diamètre diminue télescopiquement pour arriver au diamètre 90 et 63 qui représentent les porte rampe qui distribuent l'eau dans les rampes de diamètre 16 menues de goutteurs de 3.5 litres Tout le réseau sera enterré a une profondeur de 60 cm sauf la rampe goutteur elle sera apparente.

Conception des tracés des conduites :

Une dénivelé de 06 mètres est marques sur le bloc VI ,secteur 1 , parcelle 5 , qui ne coïncide pas avec le point le moins favori d'irrigation sur les 200 hectares.

Conduites principales :

La distribution d'eau d'irrigation est assurée par des conduites en PEHD qui commencent à partir de la station de tête avec un diamètre de 400 mm pour le premier tronçon de 50 m, transportant le débit maximal de 150 l/s. La conduite se poursuit par les tronçons principaux de 800 m en 400 mm et 500 m en 400 mm, puis se dégrade progressivement en 250 mm, 200 mm et 150 mm, suivant la distribution en route vers les tronçons suivants.

Les tronçons secondaires de 125 mm alimentent directement les bornes d'irrigation, assurant la desserte des parcelles avec des débits plus faibles et répartis de manière efficace le long du réseau.

Toutes les conduites sont en PEHD de classe PN10, garantissant une vitesse maximale de 1,7 m/s et une pression finale de 1,8 bar au point le plus éloigné.

Pour les portes rampes les diamètres dégradés de 90mm à 63mm en PN 10 sont les résultats de calculs et qui transportent l'eau d'irrigation à l'intérieur de parcelle de 02 hectares ; les port-rampes en doubles entrepose en symétrie l'un contre l'autre par rapport à une électrovanne de 6''.

Pour les rampe chaque ligne comporte deux rampes avec goutteur intégrés d'espacement de 0.5m de l'arbre et un espacement à un débit de 3.5l/h à 10 mètres colonne d'eau (suivant le catalogue du constructeur). Le diamètre de la rampe PE est 16 mm en PN4.

Dimensionnement des tuyaux :

Un objectif de degré d'uniformité (90%) est la base de notre calcul pour une variation de pression admissible qui ne dépasse pas les $\Delta H=4.2\text{m}$ à l'intérieur des unités hydrauliques. et pour ce la qu'on a inclus dans notre matérielles d'irrigation les électrovannes munies d'une puce pilote régulateurs de pression .

On s'appuie dans notre calcul hydraulique sur les abaques conventionnels, les formules hydrauliques et les logiciels de calculs (Irritools d'IRRITEC).

Vitesse $V = (4.Q) / (3.14 D^2)$.

D'où :

V : vitesse d'écoulement

Q : débit d'écoulement

D : diamètre intérieure de la conduite

$$J=1.15 \lambda v^2/2gd$$

D'où :

J : perte de charge totale linéaire.

λ : coefficient de perte de charge déterminé par la formule de NUKIRADZE.

Pour un régime turbulent.

$$1/f\lambda=1.14-2\log(k/d)$$

D'où :

K : rugosité absolue de la conduite ; est égale à 0.0001m, il convient dans les conditions normales, pour les conduites posées suivant les règles de l'art et transportant des eaux suffisamment filtrées et traitées pour ne pas créer de problème de dépôt et de sédimentation.

IV.2.6. Calcul de la perte de charge

IV.2.6.1. Calcul de la perte de charge dans les rampes :

Np: nombre plan/rampe, Ng: nombre goutteurs /rampe, Qg: débit goutteur,

Qr: Débit de la rampe, L: longueur de la rampe en m, J perte de charge, V: vitesse d'écoulement

Tableau :IV.5.la perte de charge dans les rampes.

Parcelle	Np/Ramp	Ng/Ramp	Qg l/h	Qr l/h	Ø en mm PN4	L-m	J mce	V-m/s	Déniv .
P1	66	133	3.5	465.50	16	100	3.78	1.00	0%
P2	66	133	3.5	465.50	16	100	3.78	1.00	0%
P3	66	133	3.5	465.50	16	100	3.78	1.00	0%
P4	66	133	3.5	465.50	16	100	3.78	1.00	0%
P5	66	133	3.5	465.50	16	100	3.78	1.00	0%

IV.2.6.2.Calcul de la perte de charge dans les portes-rampes:

Tableau :IV.6. la perte de charge dans les portes-rampes(90 Ømm).

Parcelle	N rampe/p-rampe	Qr L/h	Q p-rampe m³/h	Ø mm PN6	L-m	Jmce	V-m/s
P1	58	465.50	27.00	90	50	0.40	1.39
P2	58	465.50	27.00	90	50	0.40	1.39
P3	58	465.50	27.00	90	50	0.40	1.39
P4	58	465.50	27.00	90	50	0.40	1.39
P5	58	465.50	27.00	90	50	0.40	1.39

Tableau :IV.7. la perte de charge dans les portes-rampes(63Ømm).

Parcelle	N rampe/p-rampe	Q L/h	Q p-rampe m³/h	Ø mm PN6	L-m	J mce	V-m/s
P1	30	465.50	13.97	63	50	0.71	1.47
P2	30	465.50	13.97	63	50	0.71	1.47
P3	30	465.50	13.97	63	50	0.71	1.47
P4	30	465.50	13.97	63	50	0.71	1.47
P5	30	465.50	13.97	63	50	0.71	1.47

IV.2.6.3.Calcul de la perte de charge dans les conduites secondaires :

Tableau :IV.8.la perte de charge dans les conduites secondaires (125 Ømm).

Parcelle	Q L/h	Q m³/s	Ø mm PN6	L-m	J mce	Vm/s
P1	27.00	0.015	125	100	1.218383	1.22231
P2	27.00	0.015	125	100	1.218383	1.22231
P3	27.00	0.015	125	100	1.218383	1.22231
P4	27.00	0.015	125	100	1.218383	1.22231
P5	27.00	0.015	125	100	1.218383	1.22231

IV.2.6.4 Calcul de la perte de charge dans les conduites principales :

Tableau :IV.9. la perte de charge dans les conduites principales .

Tronçon	Nombre de conduite Secondaire / Tronçon	Débit de conduite Secondaire m ³ /S	Débit (l/s)	Diamètre Ø mm PN10	Longueur conduite Principales m	Jmca	V-m/s
T1	0	0.015	150	400	50	0.20334	1.193662
T2	0	0.015	150	400	800	2.926637	1.193662
T3	10	0.015	150	400	500	1.815532	1.193662
T4	02	0.015	120	315	100	0.767292	1.539821
T5	02	0.015	90	315	100	0.431602	1.154866
T6	02	0.015	60	250	100	0.609191	1.22231
T7	02	0.015	30	150	100	1.958563	1.697653

IV.2.6.5. Calcul de la perte de charge

Calcul de la perte de charge du point le moins favori sur le réseau:

La pression nominale du goutteur autorégulant pour attient un débit de 3.5l/h est 7.5mca

Donc la perte de charge total à l'arrivé au dernier goutteur est de : 30.43mca = 3.05bars.

$$\text{HMT} = J_{\text{tot}} + h_g + h_r = 30.43 + 6 + 7.5 = 44.43 \text{ mce}$$

IV.2.7. Calcul de la perte de charge Puissance de la pompe de refoulement

Nous avons opté pour une installation composée de cinq pompes en fonctionnement et de deux pompes supplémentaires en réserve, chaque pompe assurant un débit de 30,6 L/s pour une hauteur manométrique totale (HMT) de 44.5 m

$$P_u = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta}$$

où :

P_u = puissance utile (W)

ρ = densité de l'eau $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$

g = gravité = $9,81 \text{ m/s}^2$

Q = débit en m^3/s

H = HMT en m

η = rendement de la pompe (en fraction, donc $76 \% \rightarrow 0,76$)

$P_u = 16.6 \text{ kw}$

En conclusion Le dimensionnement de notre installation de pompage a été réalisé en tenant compte des besoins en débit et en pression. Nous avons opté pour une configuration de 5 pompes en service avec 2 pompes en réserve, assurant chacune un débit de $30,6 \text{ L/s}$ et une HMT de 44.5 m . Ce choix garantit la continuité du service et la sécurité de l'installation en cas de panne d'une ou plusieurs pompes.

Le dimensionnement des conduites a été réalisé de manière à limiter les pertes de charge tout en assurant une distribution uniforme du débit, ce qui optimise l'efficacité hydraulique du réseau. Enfin, la puissance utile des pompes a été calculée en fonction du rendement, permettant un fonctionnement économique et fiable de l'ensemble du système.

Le Temps d'irrigation par secteur **2 h** , et la fréquence d'irrigation chaque jour au mois de pointe,

Débit de la section de $01 \text{ ha} = 27 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour faire le tour d'irrigation de tous les 200 ha ,

$$27 \text{ m}^3 \times 200 \text{ ha} \times 2 = 10800 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Dans notre cas **01 bassin de 40 000 m³** est prévu pour assurer 4 rotations d'irrigation .

IV.3. ETUDE GENERALE SUR LE SYSTEME DE PIVOT

La recherche de la réduction des coûts de main-d'œuvre a conduit au développement de systèmes d'irrigation permettant de couvrir de grandes surfaces sans nécessiter de déplacements fréquents du matériel. Le pivot central, principal dispositif utilisé, est équipé d'une rampe mobile qui tourne autour d'un point fixe, alimenté en eau, souvent par pompage souterrain. Différents types de buses peuvent être montés sur cette rampe afin d'adapter l'irrigation aux besoins des cultures.

IV.3. 1.Description des éléments principaux du pivot

1) La tour centrale :

La tour centrale constitue le point fixe du pivot et assure la distribution de l'eau provenant du forage vers les travées et les asperseurs. Elle permet également le passage du courant électrique depuis la source principale vers les différentes tours mobiles.

2) Centrale de commandes :

La centrale de commandes représente le cœur moteur du pivot. Elle agit comme point d'interaction entre le courant entrant et le courant sortant et sert de centre de contrôle pour le personnel, permettant de définir les conditions d'exploitation souhaitées.

3) La travée :

La travée se compose d'une canalisation d'alimentation en eau, supportant soit les arroseurs, soit des tubes verticaux portant les extrémités des buses. Elle est articulée aux travées adjacentes par des raccords suffisamment flexibles pour permettre un certain débattement. La longueur de chaque travée (L) varie selon les spécifications du constructeur.

4) Accouplement :

L'accouplement est le système mobile reliant deux travées successives. Les travées sont assemblées via une rotule multidirectionnelle, permettant un angle pouvant atteindre 30° entre elles, ce qui rend le pivot adapté aux terrains accidentés.

5) La tour mobile :

La tour mobile repose sur des roues entraînées par un moto-réducteur électrique de faible

puissance, variant de 1,25 à 1,15 CV. Elle supporte les travées à l'une de ses extrémités et assure leur déplacement autour du point central.

6) Contacteur d'alignement de la tour mobile :

Monté sur la plaque de fond de la commande de direction, ce contacteur permet de déplacer la tour mobile vers l'avant ou vers l'arrière lorsqu'il est actionné.

7) Porte-à-faux :

Le porte-à-faux permet à l'irrigation par aspersion de dépasser la dernière tour mobile. À son extrémité, il peut être équipé d'un dessabler pour la purge et, si nécessaire, d'un canon à retour lent pour l'arrosage des angles. Modulable en éléments de 5,6 à 6 m, sa portée maximale ne dépasse pas 24 m afin d'éviter toute déformation due au battement du canon d'extrémité (BASSEZ et DIJBALLEN, 1987).

IV.3. 2.Type d'installation du pivot

1) Installation fixe :

L'installation est dite fixe lorsque la station de pompage et le réseau de canalisation sont placés de manière permanente. Ce type d'installation réduit considérablement la main-d'œuvre, mais entraîne des coûts d'établissement généralement élevés.

2) Installation mobile :

Dans ce type, l'ensemble de l'équipement peut être déplacé. Il nécessite donc davantage de main-d'œuvre, mais permet une utilisation optimale du matériel pendant toute la période d'irrigation, assurant ainsi un meilleur amortissement de l'investissement.

IV.3.3.Déplacement du pivot

Le pivot central Valley installé sur cette parcelle de 30 ha est constitué de cinq travées articulées sur son bras. Le déplacement du pivot ne se produit pas simultanément sur toutes les travées, mais selon un fonctionnement séquentiel. Ainsi, la travée la plus éloignée du point pivot, située à l'extrémité du bras, démarre en premier. Les travées suivantes, de la quatrième vers la première adjacente au pivot central, s'engagent avec un léger décalage temporel. Cette organisation est nécessaire pour plusieurs raisons : la travée la plus éloignée subit la plus grande résistance mécanique due à l'inertie et au frottement, et un démarrage simultané de

Chapitre IV: Dimensionnement à la parcelle

toutes les travées pourrait entraîner une surcharge des moteurs et des systèmes de transmission.

Chaque travée est équipée d'un moteur indépendant et, dans les modèles modernes, d'un système de contrôle électronique permettant de synchroniser leur vitesse afin que toutes les travées avancent de manière harmonisée. Ce fonctionnement séquentiel garantit que le pivot décrit un cercle parfait tout en assurant un démarrage progressif et sécurisé. Par conséquent, il permet de protéger les composants mécaniques et électriques et d'assurer une uniformité optimale de l'application d'eau sur l'ensemble de la parcelle.

Vitesse angulaire du pivot (rad/min) : $\omega = 2\pi/T$

où :

T = durée d'un tour complet (min).

Vitesse linéaire d'une travée (m/min) : $v = \omega \cdot R_{\text{travée}}$

où :

$R_{\text{travée}}$ = distance de la travée par rapport au pivot central.

Tableau :IV.10.vitesses de chaque travées du pivot

Travée	Rayon depuis pivot (m)	Vitesse linéaire m/min
1 (centrale)	62,36	0,87
2	124,72	1,75
3	187,08	2,62
4	249,44	3,49
5 (extrémité)	311,78	4,36

$$\omega = 0.014 \text{ rad/min}$$

IV.3.4. calcul hydraulique des cultures en pivot.

IV.3.4.1. Besoins d'irrigation des cultures.

La dose brute.

Le calcul de la dose brute est effectué pour un pivot irriguant une surface de 30 ha, avec un débit de 45 L/s et une pression de service de 3.5 bars.

$$\text{Dose brute} = \frac{\text{Dose nette}}{\text{Efficacité}} + \text{Dose de lessivage}$$

Le temp d'arrosage

$$\text{Temps d'arrosage (h)} = \frac{\text{Dose brute (mm)}}{\text{Lame d'eau fournie par heure (mm/h)}}$$

Lame d'eau fournie en une heure = $1.5 \times 3.6 / 10 = 0.54$

1. le blé (pivot 2,3 et 7)

Tableau :IV.11.les paramètres hydro-agronomiques du blé.

Mois	ETM (mm)	RFU (mm)	ETM/RFU	Fr	Tr(j)	Dose net(mm)	Dose de lessivage	Dose brut(mm)	Ta (h)
Janvier	18.6	30.2	0.62	2	15	9.3	1.86	14.26	26.4
Février	38.976	30.2	1.3	2	15	19.5	3.9	29.9	55.4
Mars	114.576	30.2	3.79	5	6	22.9	4.6	35.1	65
Avril	149.625	30.2	4.95	5	6	29.9	6	45.1	83.5
Mai	76.508	30.2	2.5	3	10	25.5	5.1	39.1	72.4

2. Maïs. (pivot 1,4,5 et 6)

Tableau :IV.12.les paramètres hydro-agronomiques du Maïs.

Mois	ETM (mm)	RFU (mm)	ETM/RFU	Fr	Tr(j)	Dose net(mm)	Dose de lessivages	Dose brut(mm)	Ta (h)
Août	106.33	25.2	4.2	5	3	21.27	4.25	32.61	60.4
Septembre	130.08	25.2	5.16	6	5	21.68	4.34	33.25	61.6
Octobre	109.43	25.2	4.34	5	6	21.9	4.38	33.6	62.22
Novembre	57.3	25.2	2.27	3	10	19.1	3.82	29.3	54.26
Décembre	16.0	25.2	0.64	2	15	8	1.6	12.27	22.7

3.l'orge. (pivot 8)

Tableau :IV.13.les paramètres hydro-agronomiques de l'orge.

Mois	ETM (mm)	RFU (mm)	ETM/RFU	Fr	Tr(j)	Dose net(mm)	Dose de lissivage	Dose brut(mm)	Ta (h)
Décembre	13.996	40.3	0.35	2	15	7	1.4	10.74	20
Janvier	16.275	40.3	0.4	2	15	8.14	1.63	12.5	23.2
Février	38.976	40.3	0.97	2	15	19.5	3.9	29.9	55
Mars	114.576	40.3	2.8	3	10	38.2	7.64	58.6	108.5
Avril	149.625	40.3	3.7	5	6	30	6	46	85.2

On remarque que les pivots n'interfèrent pas avec les périodes les plus exigeantes de l'amandier, ce qui simplifie grandement la gestion de l'irrigation. Il n'est donc **pas nécessaire de modifier la station de pompage** pour les différentes cultures, car la capacité prévue suffit à alimenter les pivots selon les besoins.

Pour planifier l'irrigation, les besoins en eau ont été calculés sur une base mensuelle. Cette approche permet d'anticiper les variations de consommation des cultures et de s'assurer que chaque pivot reçoit un débit adéquat sans provoquer de surconsommation ou de déséquilibre dans le réseau.

Dans le cadre du projet, nous avons envisagé l'utilisation de **3 pivots pour le blé, 4 pivots pour le maïs et 1 pivot pour l'orge**, en répartissant les surfaces de manière optimale. Pour ces surfaces, il est possible d'utiliser un **pivot standard avec un débit de 1,5 L/s/ha**, ce qui correspond à un **pivot de 45 L/s pour une surface d'environ 30 ha**.

IV.3.4.2. Choix du pivot.

Pour répondre aux besoins en irrigation du projet, nous avons retenu le **pivot de 30 ha** proposé par la société *Valley*. Ce choix se justifie par plusieurs critères techniques et économiques. En effet, ce pivot présente un **débit de 45 L/s**, une **pression de service de 3.5 bars**, et permet d'irriguer efficacement une surface de **30,55 ha** avec une pluviométrie uniforme de **4,06 mm** par tour complet.

De plus, sa conception à **5 travées** avec un rayon de **311,78 m** et un porte-à-faux de **8,23 m** offre une couverture optimale, tout en assurant une grande fiabilité et une facilité d'exploitation. Ce modèle constitue ainsi une solution adaptée aux exigences hydriques des cultures tout en garantissant un bon rendement et une gestion rationnelle de l'eau.

faut aussi souligné que dans notre cas on a pas besoin du porte a faux, ni de la vri-valley car le terrain est généralement plat sans dépressions ou bosses.

IV.2.4.3. Dimensionnement de la conduite d'amené pour pivot.

Dans le cadre de l'alimentation du pivot choisi (30 ha, débit nominal de 45 L/s, pression de service de 3.5 bar), le dimensionnement de la conduite principale constitue une étape essentielle afin de garantir une distribution de l'eau fiable et homogène. Le choix du diamètre conditionne non seulement la vitesse d'écoulement, mais également les pertes de charge, et donc le bon fonctionnement global de la station de pompage et des équipements d'irrigation.

Le présent calcul s'appuie sur la formule de Darcy–Weisbach, considérée comme une référence pour l'évaluation rigoureuse des pertes de charge linéaires dans les conduites sous pression. Le facteur de frottement est déterminé par l'équation de Swamee–Jain, ce qui permet d'éviter des itérations complexes.

Données de base

- **Débit requis (Q)** : 45 L/s = 0,045 m³/s
- **Pression de service souhaitée** : 3,5 bar (≈ 35 mCE)
- **Type de conduite** : PEHD (polyéthylène haute densité)
- **Rugosité absolue (ε)** : $1,5 \times 10^{-6}$ m (valeur usuelle pour PEHD)

- Viscosité cinématique de l'eau (ν) : $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Accélération de la pesanteur (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$

Trois diamètres commerciaux usuels ont été testés : **DN150, DN180 et DN200 mm**.

Méthodologie de calcul :

Vitesse d'écoulement :

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

Facteur de frottement (Swamee–Jain) :

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Perte de charge linéaire (Darcy–Weisbach)

$$\frac{h_L}{L} = f \cdot \frac{v^2}{2gD}$$

Tableau :IV.14.les Résultats des calculs de perte de charge

Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)	Re ($\times 10^5$)	Facteur f	Perte (m/100m)
200	1,43	2,86	0,0146	0,76
180	1,77	3,18	0,0143	1,27
150	2,55	3,82	0,0139	3,06

Le diamètre **DN200 mm** assure une vitesse modérée ($\approx 1,43$ m/s) et des pertes linéiques faibles (0,76 m/100 m). Il constitue donc une solution fiable pour les longues conduites, en limitant les surpressions et l'usure prématurée.

Le **DN180 mm** reste possible, mais les pertes augmentent (1,27 m/100 m), ce qui devient contraignant pour des distances importantes.

Le **DN150 mm** engendre des vitesses trop élevées ($> 2,5$ m/s) et des pertes conséquentes (3,06 m/100 m), ce qui n'est pas adapté pour une conduite principale d'irrigation.

Au vu des résultats, le choix d'une conduite en **PEHD DN200 mm** apparaît comme le compromis optimal entre coût d'investissement et performance hydraulique. Ce diamètre permet de respecter la pression de service disponible de 3,5 bar tout en minimisant les pertes de charge, garantissant ainsi une alimentation efficace du pivot et une meilleure uniformité d'irrigation.

IV.3.4.4. Dimensionnement des buses du pivot.

Le dimensionnement des buses d'asperseurs constitue une étape essentielle dans la conception hydraulique d'un pivot d'irrigation. L'objectif est de déterminer, pour chaque position radiale, le débit à appliquer, la taille d'orifice correspondante, ainsi que la

Chapitre IV: Dimensionnement à la parcelle

précipitation résultante, afin d'assurer une uniformité optimale d'application de l'eau sur l'ensemble de la parcelle. Cette démarche repose sur une succession d'étapes méthodiques basées sur des principes d'hydraulique appliquée aux systèmes sous pression.

Données utilisées.

Rayon du pivot : $R=311,78 \text{ m}$

Débit total pivot : $Q_{\text{total}}=45 \text{ L/s}=0,045 \text{ m}^3/\text{s}$

Nombre de travées : 5 (travées égales $\rightarrow$ longueur travée $=R/5$).

Portées (wetted radius) choisies par travée : travée 1&2 = 3,0 m ; travée 3&4 = 2,5 m ;
travée 5 = 2,0 m

Coefficient de décharge des buses (C_d), généralement compris entre 0,60 et 0,65.

Détermination des aires annulaire par asperseur.

Le pivot étant circulaire, chaque asperseur est associé à une couronne annulaire de surface :

$$A_i = \pi (r_{\text{outer},i}^2 - r_{\text{inner},i}^2)$$

où r_{inner} , et r_{outer} sont les limites internes et externes de l'anneau correspondant à la position de l'asperseur.

Cette méthode garantit que la totalité de la surface est répartie sans chevauchement ni omission.

Répartition des débits par asperseur.

Le débit total de la station (Q_{tot}) est réparti proportionnellement aux aires couvertes :

$$q_i = Q_{\text{tot}} \times \frac{A_i}{\sum_j A_j}$$

Chaque asperseur reçoit ainsi un débit proportionnel à la surface qu'il doit irriguer, ce qui favorise l'uniformité.

Dimensionnement hydraulique des buses.

L'écoulement à travers une buse est modélisé par l'équation d'un orifice :

$$Q_i = C_d \cdot A_{\text{buse},i} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

d'où l'aire de l'orifice nécessaire :

$$A_{\text{buse},i} = \frac{Q_i}{C_d \sqrt{2\Delta p / \rho}}$$

et le diamètre équivalent :

$$D_{\text{buse},i} = \sqrt{\frac{4A_{\text{buse},i}}{\pi}}$$

où ρ est la masse volumique de l'eau ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$).

(Réf. Li et al., 2019 ; FAO, 2010).

Calcul de la précipitation

La précipitation appliquée par chaque asperseur s'exprime par :

$$P_i = \frac{Q_i \times 3600 \times 1000}{A_i}$$

où P_i est la précipitation en mm/h. Cette grandeur permet de comparer l'application réelle aux besoins hydriques de la culture.

Ajustement aux buses commerciales.

Les diamètres théoriques obtenus ne correspondent pas toujours aux buses disponibles sur le marché, lesquelles sont standardisées (par ex. 2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, etc.).

Il est donc nécessaire :

D'arrondir chaque diamètre au plus proche standard.

De recalculer le débit réel obtenu avec la buse retenue.

D'évaluer l'impact sur la précipitation et l'uniformité.

(Réf. FAO, 2010 ; Rain Bird, 2021).

Considérations pratiques

Filtration : indispensable, surtout pour buses < 3 mm, afin de prévenir le colmatage.

Régulation de pression : en cas de variations de pression le long de la rampe, des buses compensées en pression peuvent être utilisées pour maintenir l'uniformité.

Vérification des pertes secondaires : il est nécessaire d'évaluer les pertes dans les collecteurs secondaires pour ajuster la pression effective aux buses.

(Réf. USDA, 2016 ; Engineering Toolbox, 2022).

Après l'application de la méthodologie décrite précédemment, le dimensionnement des buses a été réalisé en tenant compte des surfaces arrosées par chaque asperseur, des débits correspondants ainsi que de la pression résiduelle disponible.

Les calculs ont permis de déterminer, pour chaque travée du pivot, le diamètre théorique des buses, le débit affecté, ainsi que la précipitation appliquée.

Voici les tableaux récapitulatifs du dimensionnement des buses pour chaque travée du pivot. Ces tableaux synthétisent l'ensemble des valeurs obtenues et permettent de visualiser la répartition des buses le long de la rampe.

Tableau:IV.15.dimensionnement hydraulique des buse de la 1ere travée

N° Asperseur (sur travée)	Distance depuis centre (m)	Débit asperseur (L/s)	Portée (m)	Espacement (m)	Surface arrosée (m2)	Surface arrosée (ha)	Nozzle_D_mm
1	3	0.0167	3	6	113.1	0.0113	1.15
2	9	0.05	3	6	339.29	0.0339	2
3	15	0.0833	3	6	565.49	0.0565	2.58
4	21	0.1167	3	6	791.68	0.0792	3.05
5	27	0.15	3	6	1017.88	0.1018	3.46
6	33	0.1833	3	6	1244.07	0.1244	3.83
7	39	0.2167	3	6	1470.27	0.147	4.16
8	45	0.25	3	6	1696.46	0.1696	4.47
9	51	0.2833	3	6	1922.65	0.1923	4.76
10	57	0.3827	3	6	2597.3	0.2597	5.53
Total		1.7327			11758.19	1.1757	

Tableau:IV.16.dimensionnement hydraulique des buse de la 2 eme travée

N° Asperseur (sur travée)	Distance depuis centre (m)	Débit asperseur (L/s)	Portée (m)	Espacement (m)	Surface arrosée (m2)	Surface arrosée (ha)	Nozzle_D_mm
1	65.356	0.4304	3	6	2921.04	0.2921	5.86
2	71.356	0.3964	3	6	2690.06	0.269	5.62
3	77.356	0.4297	3	6	2916.25	0.2916	5.86
4	83.356	0.4631	3	6	3142.45	0.3142	6.08
5	89.356	0.4964	3	6	3368.64	0.3369	6.29
6	95.356	0.5297	3	6	3594.84	0.3595	6.5
7	101.356	0.563	3	6	3821.03	0.3821	6.7
8	107.356	0.5964	3	6	4047.23	0.4047	6.9
9	113.356	0.6297	3	6	4273.42	0.4273	7.09
10	119.356	0.7686	3	6	5215.75	0.5216	7.83
Total		5.3034			35990.71	3.599	

Tableau:IV.17.dimensionnement hydraulique des buse de la 3eme travée

N° Asperseur (sur travée)	Distance depuis centre (m)	Débit asperseur (L/s)	Portée (m)	Espacement (m)	Surface arrosée (m2)	Surface arrosée (ha)	Nozzle_D_mm
1	127.212	0.7528	2.5	5	5109.04	0.5109	7.75
2	132.212	0.612	2.5	5	4153.56	0.4154	6.99
3	137.212	0.6352	2.5	5	4310.64	0.4311	7.12
4	142.212	0.6583	2.5	5	4467.72	0.4468	7.25
5	147.212	0.6815	2.5	5	4624.8	0.4625	7.38
6	152.212	0.7046	2.5	5	4781.88	0.4782	7.5
7	157.212	0.7278	2.5	5	4938.96	0.4939	7.62
8	162.212	0.7509	2.5	5	5096.04	0.5096	7.74
9	167.212	0.7741	2.5	5	5253.12	0.5253	7.86
10	172.212	0.7972	2.5	5	5410.2	0.541	7.98
11	177.212	0.8204	2.5	5	5567.28	0.5567	8.09
12	182.212	1.0456	2.5	5	7095.88	0.7096	9.14
Total		8.9604			60809.12	6.081	

Chapitre IV: Dimensionnement à la parcelle

Tableau:IV.18.dimensionnement hydraulique des buse de la 4eme travée

N° Asperseur (sur travée)	Distance depuis centre (m)	Débit asperseur (L/s)	Portée (m)	Espacement (m)	Surface arrosée (m2)	Surface arrosée (ha)	Nozzle_D_mm
1	189.568	1.081	2.5	5	7335.7	0.7336	9.29
2	194.568	0.9007	2.5	5	6112.53	0.6113	8.48
3	199.568	0.9239	2.5	5	6269.61	0.627	8.59
4	204.568	0.947	2.5	5	6426.69	0.6427	8.69
5	209.568	0.9702	2.5	5	6583.77	0.6584	8.8
6	214.568	0.9933	2.5	5	6740.85	0.6741	8.9
7	219.568	1.0164	2.5	5	6897.93	0.6898	9.01
8	224.568	1.0396	2.5	5	7055.01	0.7055	9.11
9	229.568	1.0627	2.5	5	7212.09	0.7212	9.21
10	234.568	1.0859	2.5	5	7369.17	0.7369	9.31
11	239.568	1.109	2.5	5	7526.25	0.7526	9.41
12	244.568	1.3449	2.5	5	9126.64	0.9127	10.36
Total		12.4746			84656.24	8.4658	109.16

Tableau:IV.19.dimensionnement hydraulique des buse de la 5eme travée

N° Asperseur (sur travée)	Distance depuis centre (m)	Débit asperseur (L/s)	Portée (m)	Espacement (m)	Surface arrosée (m2)	Surface arrosée (ha)	Nozzle_D_mm
1	251.424	1.26	2	4	8550.5	0.855	7.35
2	255.424	0.9459	2	4	6419.51	0.642	8.69
3	259.424	0.9608	2	4	6520.04	0.652	8.76
4	263.424	0.9756	2	4	6620.57	0.6621	8.82
5	267.424	0.9904	2	4	6721.1	0.6721	8.89
6	271.424	1.0052	2	4	6821.63	0.6822	8.96
7	275.424	1.02	2	4	6922.16	0.6922	9.02
8	279.424	1.0348	2	4	7022.69	0.7023	9.09
9	283.424	1.0496	2	4	7123.22	0.7123	9.15
10	287.424	1.0645	2	4	7223.75	0.7224	9.22
11	291.424	1.0793	2	4	7324.28	0.7324	9.28
12	295.424	1.0941	2	4	7424.81	0.7425	9.34
13	299.424	1.1089	2	4	7525.35	0.7525	9.41
14	303.424	1.1237	2	4	7625.88	0.7626	9.47
15	307.424	1.1385	2	4	7726.41	0.7726	9.53
16	311.424	0.6775	2	4	4597.9	0.4598	10.03
Total		16.5288			112169.8	11.217	

Le dimensionnement des buses d'asperseurs a permis d'adapter, pour chaque travée, le débit et le diamètre des orifices en fonction de la surface réellement arrosée. Cette démarche assure une répartition uniforme de l'eau sur l'ensemble de la parcelle et garantit la compatibilité entre la pression disponible et les exigences hydrauliques du système. L'ajustement final aux buses commerciales, associé aux précautions de filtration et de régulation de pression, permet de passer d'un calcul théorique à une application pratique fiable et efficace sur le terrain.

IV.3.4.5. Évaluation de la nécessité d'intégrer l'irrigation à dose variable (VRI) dans la gestion d'un pivot central Valley.

Du point de vue hydraulique, l'irrigation à dose variable (VRI) répond principalement au problème du ruissellement, fréquent dans les systèmes par pivot central lorsque l'application de l'eau dépasse la capacité d'infiltration des sols. En modulant le débit et la durée d'ouverture des buses à l'aide de vannes électromagnétiques pilotées par un système de contrôle centralisé, la VRI permet d'adapter la lame d'eau appliquée à la variabilité spatiale de la perméabilité et de la pente du terrain. Cette gestion dynamique réduit les excès d'apport dans les zones à risques, limitant ainsi l'accumulation d'eau en surface et le transport de particules ou de nutriments par écoulement. En optimisant la répartition de la charge hydraulique, la VRI contribue à maintenir une pression uniforme sur la rampe, tout en améliorant l'efficacité d'utilisation de l'eau et en minimisant les pertes énergétiques liées au pompage inutile. Ainsi, le recours à la VRI constitue une solution hydraulique efficace pour maîtriser le ruissellement, sécuriser la distribution de l'eau et préserver la durabilité du système d'irrigation.

Ref: (Evans, R. G., LaRue, J., Stone, K. C., & King, B. A. (2013). *Precision irrigation with center pivot systems on potato production. Potato Research*, 56, 233–250. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9235-8>).

Dans le cadre de l'étude et de la conception d'un système d'irrigation par pivot central (type Valley), l'enjeu principal réside dans la compatibilité entre l'intensité d'application des asperseurs et la capacité d'infiltration réelle du sol. Cette analyse conditionne directement le risque de ruissellement, en particulier sur des parcelles présentant une pente de l'ordre de 1,3 à 2,3 %. Afin d'évaluer l'intérêt potentiel d'intégrer une régulation par Variable Rate Irrigation (VRI), deux approches de modélisation de l'infiltration ont été retenues : la méthode empirique de Horton (1933) et la méthode physique de Green-Ampt (1911). La

comparaison entre la dose appliquée par le pivot et la dose infiltrée théorique issue de ces modèles permettra d'identifier les situations où le ruissellement devient probable et de juger de la pertinence d'une gestion différenciée des apports par VRI.

1. Méthode empirique de Horton (1933).

La méthode de Horton est une approche empirique qui décrit l'évolution du taux d'infiltration d'un sol en fonction du temps. Elle repose sur l'observation que l'infiltrabilité est initialement élevée puis décroît rapidement jusqu'à atteindre une valeur stable correspondant à l'infiltration finale.

Taux instantané d'infiltration :

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

Infiltration cumulée :

$$F(t) = f_c \cdot t + \frac{(f_0 - f_c)}{k} \cdot (1 - e^{-kt})$$

f_0 : taux d'infiltration initial (**mm/h**)

correspond à la capacité d'infiltration maximale du sol sec, juste au début de l'irrigation.

valeurs typiques : 50–200 mm/h pour des sols sableux, 10–50 mm/h pour des sols limoneux ou argileux.

f_c : taux d'infiltration final ou d'équilibre (**mm/h**)

correspond au flux d'infiltration stable après saturation prolongée.

valeurs typiques : 20–50 mm/h (sable), 2–15 mm/h (argile).

k : constante de décroissance empirique (**h⁻¹**)

traduit la rapidité avec laquelle l'infiltration décroît de f_0 vers f_c

valeurs typiques : 0,2–2 h⁻¹.

t : temps écoulé depuis le début de l'irrigation (**h**).

$F(t)$: infiltration cumulée après un temps t (**mm**).

Tableau IV.20. Résultats des calculs du ruissellement par la méthode de Horton.

N°	Dist. (m)	q (L/s)	Surface arrosée (m²)	Ø buse (mm)	I (mm/h)	D_appl (mm)	F_Horton_corr (mm)	Ruissellement (mm)	V_R (m³)
1	251.424	1.26	8550.5	7.35	0.5304	3.978	297.9181	0	0
2	255.424	0.9459	6419.51	8.69	0.5304	3.978	297.9181	0	0
3	259.424	0.9608	6520.04	8.76	0.5304	3.978	297.9181	0	0
4	263.424	0.9756	6620.57	8.82	0.5304	3.978	297.9181	0	0
5	267.424	0.9904	6721.1	8.89	0.5304	3.978	297.9181	0	0
6	271.424	1.0052	6821.63	8.96	0.5304	3.978	297.9181	0	0
7	275.424	1.02	6922.16	9.02	0.5304	3.978	297.9181	0	0
8	279.424	1.0348	7022.69	9.09	0.5304	3.978	297.9181	0	0
9	283.424	1.0496	7123.22	9.15	0.5304	3.978	297.9181	0	0
10	287.424	1.0645	7223.75	9.22	0.5304	3.978	297.9181	0	0
11	291.424	1.0793	7324.28	9.28	0.5304	3.978	297.9181	0	0
12	295.424	1.0941	7424.81	9.34	0.5304	3.978	297.9181	0	0
13	299.424	1.1089	7525.35	9.41	0.5304	3.978	297.9181	0	0
14	303.424	1.1237	7625.88	9.47	0.5304	3.978	297.9181	0	0
15	307.424	1.1385	7726.41	9.53	0.5304	3.978	297.9181	0	0
16	311.424	0.6775	4597.9	10.03	0.5304	3.978	297.9181	0	0

2. Méthode physique de Green-Ampt (1911).

La méthode de Green-Ampt repose sur une modélisation physique de l'avancée du front d'infiltration dans le sol. Elle suppose l'existence d'un front humide net séparant une zone saturée en surface et une zone sèche en profondeur. L'infiltration est gouvernée par la conductivité hydraulique du sol et par la succion capillaire exercée à l'avant du front humide.

Infiltration cumulée :

$$F(t) = K_s \cdot t + \Psi \cdot \Delta\theta \cdot \ln \left(1 + \frac{K_s \cdot t}{\Psi \cdot \Delta\theta} \right)$$

Vitesse instantanée d'infiltration :

$$f(t) = K_s \cdot \left(1 + \frac{\Psi \cdot \Delta\theta}{F(t)} \right)$$

Ks : conductivité hydraulique saturée du sol (mm/h)

Chapitre IV: Dimensionnement à la parcelle

caractérise la vitesse de percolation de l'eau à travers un sol complètement saturé.

valeurs typiques :

sable : 50–300 mm/h

limon : 10–50 mm/h

argile : 1–10 mm/h

Ψ : succion au front d'infiltration (**mm**)

mesure de la force capillaire que le sol exerce pour aspirer l'eau.

dépend de la texture et de la structure du sol.

valeurs typiques :

sable : 30–60 mm

limon : 100–200 mm

argile : 200–300 mm

$\Delta\theta$: variation de teneur en eau volumique

$\Delta\theta = \theta_s - \theta_i$

θ_s : teneur en eau à saturation (porosité totale).

θ_i : teneur en eau initiale du sol.

t : temps d'infiltration (**h**).

$F(t)$: infiltration cumulée après un temps t (**mm**).

$f(t)$: taux instantané d'infiltration (**mm/h**).

Tableau.IV.21.resultat des calculs du ruissellement par la méthode de Green-Ampt.

N°	Dist. (m)	q (L/s)	Surface arrosée (m²)	Ø buse (mm)	I (mm/h)	D_appl (mm)	F_GA_corr (mm)	Ruissellement (mm)	V_R (m³)
1	251.424	1.26	8550.5	7.35	0.5304	3.978	386.4234	0	0
2	255.424	0.9459	6419.51	8.69	0.5304	3.978	386.4234	0	0
3	259.424	0.9608	6520.04	8.76	0.5304	3.978	386.4234	0	0
4	263.424	0.9756	6620.57	8.82	0.5304	3.978	386.4234	0	0
5	267.424	0.9904	6721.1	8.89	0.5304	3.978	386.4234	0	0
6	271.424	1.0052	6821.63	8.96	0.5304	3.978	386.4234	0	0
7	275.424	1.02	6922.16	9.02	0.5304	3.978	386.4234	0	0
8	279.424	1.0348	7022.69	9.09	0.5304	3.978	386.4234	0	0
9	283.424	1.0496	7123.22	9.15	0.5304	3.978	386.4234	0	0
10	287.424	1.0645	7223.75	9.22	0.5304	3.978	386.4234	0	0
11	291.424	1.0793	7324.28	9.28	0.5304	3.978	386.4234	0	0
12	295.424	1.0941	7424.81	9.34	0.5304	3.978	386.4234	0	0
13	299.424	1.1089	7525.35	9.41	0.5304	3.978	386.4234	0	0
14	303.424	1.1237	7625.88	9.47	0.5304	3.978	386.4234	0	0
15	307.424	1.1385	7726.41	9.53	0.5304	3.978	386.4234	0	0
16	311.424	0.6775	4597.9	10.03	0.5304	3.978	386.4234	0	0

Pour chaque buse de la travée, l'intensité appliquée pendant une révolution de 7,5 h est d'environ 0,5304 mm/h, soit une profondeur appliquée de $\approx 3,98$ mm par tour.

Les deux modèles d'infiltration (Horton et Green–Ampt), corrigés pour la pente de 2,3 %, donnent des infiltrations cumulées sur 7,5 h de $\approx 297,9$ mm (Horton corrigé) et $\approx 386,4$ mm (Green–Ampt corrigé). Ces valeurs sont très supérieures à la profondeur appliquée par bus ; le calcul du ruissellement donne 0 mm pour toutes les buses.

Dans les conditions simulées (sol sableux type Touggourt, paramètres Horton/Green–Ampt cités, pente 2,3 %), aucune buse de la travée ne génère de ruissellement lors d'un tour complet de 7,5 h. Par conséquent, et pour l'objectif de gestion de la ressource et de limitation des pertes par ruissellement, l'utilisation d'un VRI (Valley VRI) n'est pas nécessaire.

IV.4. Dimensionnements des conduites de refoulements des forage.

Dans le cadre de la conception du réseau d'adduction depuis les forages, il est indispensable de dimensionner correctement les conduites d'amenée ainsi que les pompes associées. Le calcul repose sur les débits disponibles à chaque forage, les longueurs de conduite, les dénivelés topographiques ainsi que les niveaux statiques et dynamiques de la nappe. Afin d'assurer un fonctionnement hydraulique fiable et économique, les diamètres des conduites ont été choisis en fonction d'une vitesse maximale admissible de 1,8 m/s, tandis que les pertes de charge linéaires et singulières ont été évaluées selon la formule de Darcy-Weisbach. La Hauteur Manométrique Totale (HMT) a ensuite été déterminée en intégrant les pertes de charge, les dénivelés et le niveau dynamique de chaque forage, permettant de déduire la puissance requise pour chaque pompe en tenant compte du rendement.

Tableau.IV.22.Dimensionnements des conduites de refoulements des forage.

Forage	Débit (l/s)	Débit (m3/s)	Longueur (m)	Diamètre théorique (m)	Diamètre normalisé (mm)	Vitesse réelle (m/s)
F1	41	0.041	1710	0.1703	200	1.305
F2	43	0.043	1801	0.1744	200	1.369
F3	36	0.036	1355	0.1596	200	1.146
F4	43	0.043	1512	0.1744	200	1.369
F5	38	0.038	1909	0.1639	200	1.21
F6	39	0.039	2115	0.1661	200	1.241
F7	41	0.041	2033	0.1703	200	1.305
F8	11	0.011	1127	0.0882	90	1.729

Tableau IV.23. Dimensionnements des pompes des forage.

Forage	Débit (l/s)	Perte linéaire (m)	Perte singulière (m)	Dénivelé (m)	Niveau dynamique (m)	HMT totale (m)	Puissance pompe (kW)
F1	41	14.844	0.174	6	154.5	175.518	94.127
F2	43	17.197	0.191	3	154.5	174.888	98.364
F3	36	9.069	0.134	7	153.3	169.503	79.815
F4	43	14.437	0.191	0	154.6	169.228	95.181
F5	38	14.236	0.149	0	154.4	168.785	83.893
F6	39	16.613	0.157	0	154.5	171.27	87.368
F7	41	17.648	0.174	2	154.5	174.322	93.485
F8	11	38.163	0.305	1	150.9	190.368	27.39

IV.5. Dimensionnement du réservoir en géomembrane.

Dans le cadre de la présente étude, il a été nécessaire de concevoir un réservoir de stockage en géomembrane destiné à emmagasiner un volume utile de 40 000 m³ d'eau. Le bassin envisagé présente une forme rectangulaire avec des berges en talus trapézoïdal, conformément aux normes de conception habituellement retenues pour ce type d'ouvrage. Les dimensions en surface ont été fixées à 105 m de longueur et 83 m de largeur, avec un fruit de talus de 1H/1V.

IV.5. 1. calcul du volume :

Le bassin étant de forme trapézoïdale, son volume correspond à celui d'un prisme tronqué de base rectangulaire. L'expression générale du volume s'écrit ainsi :

$$V = \frac{h}{3} \times (A_f + A_c + \sqrt{A_f \cdot A_c})$$

avec :

V : volume utile du réservoir,

h : profondeur utile,

A_f : surface du fond (A_f=L_f×l_f)

A_c : surface en crête (A_c=L_c×l_c)

$$L_c = L_f + 2hL$$

$$l_c = l_f + 2hl$$

Cette formulation prend en compte la géométrie trapézoïdale des berges, assurant un calcul précis de la capacité de stockage.

IV.5. 2.Surface de géomembrane nécessaire

La surface de géomembrane correspond au développement des parois du bassin (fonds + talus). On distingue :

Surface du fond :

$$S_f = A_f = 8\,715 \text{ m}^2$$

Surface des talus latéraux :

Chaque talus est calculé à partir de sa longueur inclinée :

$$d = \sqrt{h^2 + (h \times m)^2} \quad \text{avec } m = 1$$

$$d = \sqrt{h^2 + h^2} = h\sqrt{2}$$

Ainsi, pour $h=4,1 \text{ m}$, on a $d=5,8 \text{ m}$.

La surface de chaque talus est obtenue par :

$$S_{\text{talus}} = \text{périmètre de fond} \times d$$

où le périmètre du fond est :

$$P_f = 2(L_f + l_f) = 376 \text{ m}$$

On obtient :

$$S_{\text{talus}} = 376 \times 5,8 = 2\,181 \text{ m}^2$$

Surface totale de géomembrane :

$$S_{\text{tot}} = S_f + S_{\text{talus}} = 8\,715 + 2\,181 = 10\,896 \text{ m}^2$$

Résultats du dimensionnement :

Le réservoir dimensionné présente les caractéristiques suivantes :

Longueur au fond : 105 m

Largeur au fond : 83 m

Profondeur utile : 4,1 m

Pente des talus : 1H/1V

Volume de stockage : 40 000 m³

Surface totale de géomembrane : 10 896 m²

IV.6. Conclusion :

L'étude a permis de dimensionner deux systèmes d'irrigation adaptés aux cultures : le goutte-à-goutte et les pivots.

Le réseau de goutte-à-goutte a été conçu pour répondre aux besoins maximaux du mois de juin, avec une conduite principale en PEHD de 315 mm, des secondaires de 125 mm, des porte-rampes de 90 et 63 mm, et des rampes de 16 mm. Chaque arbre est alimenté par 4 goutteurs de 3,5 L/h, assurant une irrigation localisée, efficace et homogène.

Pour les grandes cultures, le choix s'est porté sur un pivot de 30 ha avec un débit de 45 L/s et une pression de 3–3,5 bars, soit un standard de 1,5 L/s/ha, permettant une irrigation régulière sans nécessiter de modifications de la station de pompage.

L'ensemble est alimenté par une station composée de 5 pompes en service et 2 en réserve, soit un débit total de 150 L/s pour une HMT de 42 mCE, garantissant fiabilité et continuité du réseau.

Ainsi, la combinaison du goutte-à-goutte et des pivots constitue une solution durable pour optimiser la gestion de l'eau et sécuriser les rendements agricoles dans le contexte pédoclimatique de la région.

Chapitre V

Calcul technico- économique

Chapitre V: Calcul technico-économique .

V.1.Introduction

L'évaluation économique et financière constitue une étape fondamentale dans l'étude d'un projet agricole. Au-delà des aspects techniques et agronomiques, elle permet de vérifier la faisabilité et la rentabilité de l'investissement envisagé. En effet, un projet ne peut être viable que si les coûts engagés sont maîtrisés et que les bénéfices attendus couvrent non seulement les charges d'exploitation, mais assurent également une rentabilité satisfaisante à long terme.

Cette démarche repose sur plusieurs volets complémentaires. Elle commence par l'estimation du coût global du projet, englobant les investissements initiaux (infrastructures, équipements, pompage, irrigation) ainsi que les charges de fonctionnement annuelles. Vient ensuite l'évaluation des recettes prévisionnelles ou du chiffre d'affaires, calculées à partir de la production attendue et des prix de vente sur le marché.

L'analyse se poursuit par la détermination des résultats d'exploitation prévisionnels, qui permettent de mesurer la capacité du projet à générer des excédents financiers. À partir de ces résultats, il est possible d'apprécier la rentabilité financière, en étudiant des indicateurs clés tels que la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI) ou encore la période de récupération du capital investi. Enfin, une analyse économique globale met en évidence l'impact du projet sur le développement agricole et local, en termes de création de valeur ajoutée, de sécurisation de la production et d'utilisation rationnelle des ressources.

Ainsi, cette évaluation vise non seulement à juger la rentabilité immédiate du projet, mais également à garantir sa durabilité et sa pertinence dans un contexte économique et agricole en constante évolution.

V.2.Présentation d'aménagement de périmètre

À la lumière des potentialités et des contraintes mises en évidence dans les chapitres précédents de l'étude, et en tenant compte des objectifs fixés dans le cadre du programme de concessions, il est proposé un programme d'actions de mise en valeur articulé autour des axes suivants :

Mobilisation et distribution de la ressource en eau ;

Aménagement, valorisation et protection des terres.

V.2. 1 Actions de mobilisation et de distribution de la ressource en eau

Ces actions sont indispensables à la réalisation de ce périmètre qui ne peut être conçu que par un aménagement hydro-agricole.

La carte d'implantation des actions fait apparaître les constituants de ce chapitre et leur répartition dans l'espace à mettre en valeur.

Il s'agit dans le cas de ce périmètre de fonçage de puits pour pouvoir faire face aux besoins nécessaires à la concrétisation de cet aménagement hydro-agricole.

V.2. 1.1- mobilisation de l'eau

Dans le cadre du projet, huit forages ont été réalisés à l'extérieur du périmètre d'aménagement. Ces ouvrages présentent un débit cumulé de 292 L/s, permettant d'assurer une ressource en eau suffisante pour l'irrigation des cultures prévues. L'eau captée par ces forages est acheminée vers un réservoir de stockage d'une capacité de 40 000 m³, qui joue un rôle central dans la régulation et la sécurisation de l'approvisionnement. Ce réservoir constitue ainsi une réserve stratégique, garantissant la continuité de l'irrigation, notamment durant les périodes de forte demande en eau.

V.2. 1.2-distubution de l'eau

La distribution de l'eau depuis le réservoir est assurée par des conduites d'amenée via un système de pompage, garantissant une alimentation continue et fiable. L'organisation hydraulique repose sur deux réseaux indépendants : le premier, constitué d'un réseau de goutte-à-goutte, spécialement conçu pour les cultures arboricoles afin d'assurer des apports localisés et

réguliers ; le second, destiné aux grandes cultures, est assuré par des pivots d'irrigation de marque Valley, reconnus pour leur robustesse et leur efficacité. Cette double structuration permet d'adapter les pressions et les débits aux besoins spécifiques de chaque type de culture, tout en optimisant l'utilisation de l'eau et en assurant une gestion rationnelle de la ressource.

V.2. 1.3 station de pompage

La station de pompage est équipée de sept pompes montées en parallèle, dont cinq en service et deux en réserve, afin d'assurer à la fois la continuité et la sécurité de l'exploitation. Chaque pompe présente un débit unitaire de 30,6 L/s et une hauteur manométrique totale (HMT) de 42 mCE, ce qui permet de répondre efficacement aux besoins hydriques du périmètre.

L'eau pompée est ensuite dirigée vers une unité de filtration composée de filtres à sable, destinés à retenir les matières organiques et colloïdales, suivis de filtres à particules, assurant l'élimination des éléments fins susceptibles d'obstruer les conduites et les goutteurs. Après cette étape essentielle de traitement, l'eau propre est acheminée vers les conduites principales d'amenée, avant d'être distribuée aux deux réseaux distincts : le réseau de goutte-à-goutte et les pivots.

V.2.2 Actions de mise en valeur et de protection des terres

L'investigation de terrain a permis d'identifier les actions structurantes du projet, en précisant et en évaluant les mesures à mettre en œuvre pour la lutte contre l'érosion, la protection et l'amélioration des sols, ainsi que pour l'ouverture de voies de désenclavement telles que les pistes rurales et agricoles.

V.2.2.1 Nivellement par Engins (200 has)

Cette opération consiste à niveler mécaniquement l'ensemble de la surface concédée afin de préparer le terrain pour la plantation ou l'ensemencement. Autrement dit, il s'agit d'aplanir la topographie de la parcelle à aménager, une étape préalable et essentielle à la mise en valeur de toute concession agricole.

V.2.2.4 Brise-vent périmétral en Casuarina (20Km)

Des lignes de brise-vent, d'une longueur totale de 20 km, sont prévues et constituées principalement d'espèces forestières, notamment le Casuarina, adaptées aux conditions du périmètre.

V.3.Evaluation du coût du projet.

V.3.1.reseau goutte a goutte.

Tableau.V.1 ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET

Devis quantitatif d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte 200 ha Amandier				
Désignation	QTTE	Dm	PRIX unitaire en DA	Totale
<u>Conduite PEHD PN10</u>				
PEHD Ø400	4150	ml	15000	62 250 000
PEHD Ø315	1000	ml	9300	9 300 000
PEHD Ø250	600	ml	5920	3 552 000
PEHD Ø150	400	ml	2120	848 000
<u>Conduite PEHD PN6</u>				
PEHD Ø125	10000	ml	1900	19 000 000
<u>Conduit port-rampe PN6</u>				
PEHD Ø90	10000	ml	1100	11 000 000
PEHD Ø63	10000	ml	500	5 000 000
<u>Rampes PN4</u>				
Rampe PE Ø16-0,75-3,5L/H	13500	U	700	9 450 000
<u>Accessoires réseau goutte à goutte</u>				
Croix PEHD Ø(400,315,250,150)	30	U	5500	165 000
Té BB égal Ø125	100	U	1500	150 000
Coude BB Ø315/90°	2	U	7850	15 700
Coude BB Ø125/90°	200	U	1550	310 000
Coude EF Ø 125/90°	100	U	2650	265 000
Coude PEHD égal 63/90°	100	U	780	78 000
Coude PEHD filte male Ø63	100	U	350	35 000
Manchon BB réduit Ø315/250	5	U	6850	34 250
Manchon BB réduit Ø315/125	100	U	7250	725 000
Manchon EF réduit Ø125/90	200	U	1900	380 000
Manchon EF réduit Ø90/63	200	U	1100	220 000
Manchon EF Ø125	100	U	1900	190 000
Manchon EF Ø90	10	U	1500	15 000

Chapitre V: Calcul technico-économique

Manchon EF Ø63		20	U	400	8000
Vanne à papillon Ø125		100	U	3150	315 000
Électrovanne régulateur de pression Ø125		100	U	7650	765 000
Vanne PVC fileté femelle Ø63		200	U	1300	260 000
Bride +Collet BB Ø125		400	U	1500	600 000
Collier prise en charge Ø125/1"		100	U	520	52 000
Ventouse 1"		100	U	2300	230 000
Joint plastic BRID Ø125		200	U	200	40 000
Joint départ XL		12000	U	37	444000
Bouchon fin de ligne 16		12000	U	65	132000
	Total HT				125 828 950
	TVA 19 %				23 907 501
	TTC				149 736 451

V.3.2.les pivots :

Le coût d'acquisition d'un pivot d'irrigation(30ha) de marque Valley en Algérie peut varier en fonction de la configuration (équipements, automatisation, filtration, transport et montage). Néanmoins, sur la base des offres disponibles sur le marché local, le prix d'un pivot standard est généralement estimé à environ 8 000 000 DA hors taxes, ce montant restant indicatif et susceptible d'évoluer selon les conditions techniques et commerciales retenues.

Donc pour les 8 pivot 64 000 000 DA Ht .

Donc le cout des pivot ttc est de 76 160 000 DA ttc.

On calcul le cout des conduites :

Tableau.V.2.cout des conduite d'alimentation des pivot.

Désignation	QTTE	Dm	PRIX unitaire en DA	Totale
<u>Conduite PEHD PN10</u>				
PEHD Ø250	3800	ml	5920	22 496 000
PEHD Ø150	2400	ml	2120	5 088 000

HT= 27 584 000 DA TVA (19%)= 5 240 960 DA TTC= 32 824 960 DA

Donc le totale est de 108 984 960 DA TTC

V.3.3.les forage.

D'après les informations fournies par l'entreprise chargée de l'exploitation du périmètre, le coût des huit forages est évalué à environ 90 000 000 DA hors taxes, et 107 100 000DA ttc Ces montants reflètent des estimations financières de base, susceptibles d'être ajustés en fonction des conditions techniques et économiques réelles du projet.

On doit ajouter les couts des conduites de refoulement ver le réservoir en géomembrane.

Tableau Tableau.V.3.le cout des conduites de refoulement à partir de forage.

Désignation	QTTE	Dm	PRIX unitaire en DA	Totale
<u>Conduite PEHD PN10</u>				
PEHD Ø200	12 435	ml	3750	46 631 250
PEHD Ø90	1127	ml	1100	1 239 700

HT=47 870 950 DA ; TVA(19%) = 9 095 480.5 DA ; TTC = 56 966 430.5 DA

Le cout totale des forages est de 164 066 430.5 DA

V.3.4.le réservoir en géomembrane.

avec un prix de 800da le m² et une surface de 10 890 m² et une majoration de 20% pour les travaux de nivellement, mise en niveau des berges et pose de la membrane le cout totale est de.

HT = 10 454 400 DA ; TVA (19%) = 1 986 336 DA ; TTC = 12 440 736 DA

V.4.conclusion

étude réalisée a permis de définir les choix techniques et financiers relatifs à la mise en place du projet d'irrigation, en combinant des systèmes adaptés tels que le pivot et le goutte-à-goutte. Ces solutions visent à améliorer l'efficacité hydraulique, sécuriser les rendements agricoles et optimiser l'utilisation de la ressource en eau.

Sur le plan économique, les estimations prennent en compte les **huit forages**, ainsi que le **bassin en géomembrane**, en plus des autres équipements, pour un montant global d'environ **435 228 577.5 de dinars TTC**.

Quatre cent trente-cinq millions deux cent vingt-huit mille cinq cent soixante-dix-sept dinars algériens et cinquante centimes.

Il est important de préciser que ce montant n'inclut pas les investissements liés à la **station de pompage**, ni les **travaux d'amélioration et de protection des sols**, qui viendront s'ajouter aux coûts globaux du projet.

En définitive, cette évaluation constitue une base solide pour la planification et la prise de décision, en fournissant une vision claire des investissements nécessaires à la réussite du projet et à la valorisation durable des potentialités agricoles de la zone étudiée.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'étude est de proposer un projet d'aménagement hydroagricole à travers la concession portant sur le **périmètre d'El Hadjira**, localisé dans la commune d'El Gueddachi (wilaya de Tougourt), d'une superficie totale de **1300 ha**.

Sur cette superficie, **440 ha sont destinés à la mise en valeur agricole**, dont **200 ha en vergers d'amandiers** irrigués par goutte-à-goutte, et **240 ha réservés aux cultures céréalières**, exploitées par le biais de **8 pivots de 30 ha chacun : 4 pour le maïs, 3 pour le blé et 1 pour l'orge**.

Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs étapes méthodologiques ont été menées. Une étude approfondie du milieu naturel et humain a permis de classer le climat comme saharien, caractérisé par une sécheresse quasi permanente. Ensuite, une analyse pédologique et hydrogéologique a été réalisée pour identifier les potentialités en sols et en ressources hydriques disponibles. Sur cette base, les besoins en eau des différentes cultures ont été calculés et intégrés dans le dimensionnement des parcelles et des systèmes d'irrigation. Enfin, une évaluation économique et financière a permis de déterminer la faisabilité de l'aménagement et de justifier les choix techniques retenus.

Les résultats ont permis d'estimer le **coût global du projet pour le périmètre d'El Hadjira à Quatre cent trente-cinq millions deux cent vingt-huit mille cinq cent soixante-dix-sept dinars algériens et cinquante centimes TTC**, soit un coût rapporté à la superficie et aux unités de production qui confirme la viabilité du projet et son intérêt pour le développement agricole de la région.

ANNEXES

Reference bibliographique

- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome: FAO. 50
- Ref: Irritec. (2025). Drip Irrigation for Almond Trees. Consulté le 14 juillet 2025, sur <https://irritec.com/drip-irrigation-for-almond-trees/>. 60
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome. 62
- Ref: (Evans, R. G., LaRue, J., Stone, K. C., & King, B. A. (2013). *Precision irrigation with center pivot systems on potato production*. *Potato Research*, 56, 233–250. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9235-8>). 92

Annexe

ANNEXES

Coefficients culturaux (Kc)

CULTURE	Stades de développement de la culture					Durée totale de la période végétative
	Initial	Développement	Mi-saison	Fin de saison	Récolte	
Banancier 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
Maïs sucré	0.3 -0.5	0.7 -0.9	1.05-1.2	1.0 -1.15	0.95-1.1	0.8 -0.95
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

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

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

ANNEXES

Tableau .Pluies mensuelles (Station : Tougourt). Source : ANRH Ouaregla

Années Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
1975	50.2	12.9	0	39	0	0	0	0	1.4	0	12.7	1.9
1976	19.7	16.5	34.5	0	1.6	0	0	0	7	5.3	21.4	1
1977	16	0	11.8	0.6	5.6	0	0	0	0.3	0	10.4	8
1978	12.6	18	0	32	1.8	0	0	3	0	1.5	0	0
1979	7.9	22.8	1.8	3.5	0.8	0	0	0	4.8	8	2.3	0
1980	10.1	14	64.7	10	0	0	0	0	0	0	50.2	4
1981	0	1.02	5.08	6.1	0.51	0	0	0	0	0	6.6	1.02
1982	0	2.03	7.11	0	2.03	1.02	0	0	0	0.25	2.03	13.97
1983	0	0	5.59	0.51	0	0	0	0	0	0	6.09	1.53
1984	0	0	5.59	0.51	0	0	0	0	0	0	6.09	1.53
1985	57.6	0	1.02	3.05	1.53	0	0	0	0	0	0	6.1
1986	1.02	0.25	19.3	9.91	3.3	0	0	0	0.51	6.09	6.1	9.15
1987	4.06	1.27	1.53	0	2.04	5.207	2.03	0	0	13.97	0	1.53
1988	0	0	2.03	0	1.78	4.57	0	0	5.04	6.096	83.32	51.3
1989	1.52	0	0	2.04	0	0	0	0	0	0	5.33	0
1990	56.13	0	6.61	10.42	30.21	0	0	16.15	0	0	0	0
1991	0	0	12.96	0	20.06	2.03	0	0	4.58	16	5.59	0.25
1992	34.7	0	48.01	12.95	22.35	0	11.41	0	0	0	2.03	9.91
1993	0	14.99	6.1	0	1.02	0	0	1.02	62.7	32.7	17.27	4.06
1994	0	0	16.51	3.05	0.51	1.02	0	0	8.89	10.16	0	0
1995	3.05	0	0	0	0	0	0	0.51	29	1.02	2.04	25.15
1996	40.39	12.45	17.28	0	0	0	1.09	0	4.07	0.25	0	0
1997	0	0	0	18.03	0	1.02	0	0	14	0	12.95	8.13
1998	0	0	1.02	0	0	7.87	0	0	3.05	19.3	2.03	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1.25
2000	0	0	1.25	1.52	14.99	1.02	0	0	1.52	19.31	0	1.78
2001	4.07	0	2.04	1.02	0	0	0	0	5.08	1.02	2.03	27.17
2002	5.08	0	0	0	4.06	0	9.39	3.55	3.56	7.11	8.65	0
2003	18.28	4.57	11.94	0	0	0	0	5.08	0	12.7	4.06	4.07
2004	59.94	0.76	16.52	11.94	0	1.53	0	0	10.9	0	39.12	7.12
2005	0	3.56	0.76	0	0	3.05	0	6.1	6.1	3.05	0	2.03
2006	19.82	1.02	0	2.03	0	0	0	2.04	15	13.97	2.03	6.1
2007	0	1.02	0.76	40.13	0	0	0	20.07	0	1.02	0	11.18

ANNEXES

2008	7.11	1.02	0	0	1.02	2.79	0	0	4.07	8.89	3.05	6.1
2009	89.66	0	25.66	11.94	5.33	0	0	0	23.4	1.02	0	1.02
2010	7.12	0.76	0	10.16	2.03	0	0	0	5.08	1.27	2.03	0
2011	1.02	0	7.87	2.04	6.09	0	0	2.03	0	6.1	0	0.51
2012	2.04	0	0	7.87	0	0	0	0	3.3	3.05	2.04	0
2013	3.56	1.53	0	16	0	0	0.51	8.13	0	0.25	6.1	19.31
2014	2.03	0	4.06	0	0.25	0.25	0	0	5.33	0	7.12	1.78
2015	0	29.97	12.19	0	0	0	0	1.02	8.13	1.02	0	0
2016	0	2.54	3.05	11.68	4.57	0.25	0	0	5.08	0	1.78	6.1

Caractéristiques hydriques de quelques sols

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

ANNEXES

Diamètres des conduites PEHD (Groupe CHIALI)

TABLEAU N° 1 – Diamètre extérieur

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

ANNEXES

Annexe 6

Guide d'estimation du pourcentage du sol humidifiée (P)

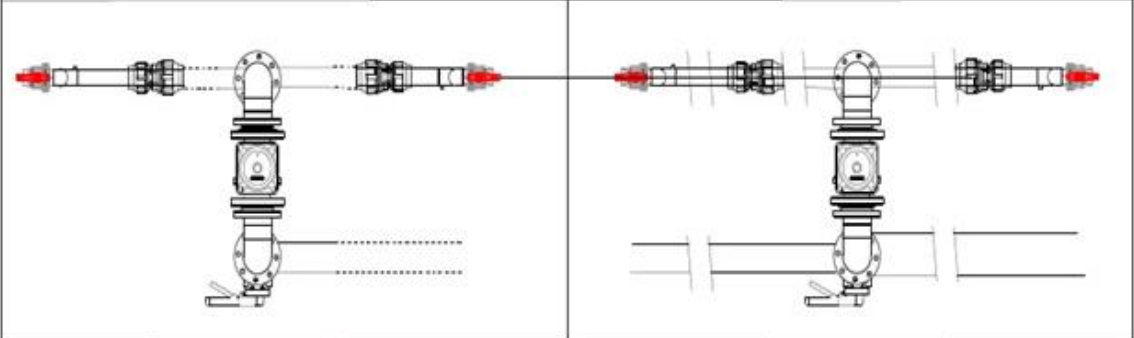
GUIDE D'ESTIMATION DE P															
(p = pourcentage de sol humidifié pour divers débits de distributeurs et divers espacements entre rampes et entre distributeurs dans le cas d'une seule rampe, rectiligne, équipée de distributeurs uniformément espacés délivrant une dose de 40 mm par arrosage sur l'ensemble de la surface)															
Ecartement entre rampes S _i en m	Débit des distributeurs														
	moins de 1,5 l / h			2 l / h			4 l / h			8 l / h			Plus de 12 l / h		
	Espacement recommandé des distributeurs sur la rampe, S _d en m														
	en sol de texture grossière (G), moyenne (M), fine (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0
Pourcentage en sol humidifié p %															
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

Les coordonnées des point de pivotation des pivots.

Numéro du pivot	Coordonnée x	Coordonnée y
1	759014.27	3608738.32
2	759790.46	3608757.93
3	760694.27	3608773.05
4	761340.05	3609407.95
5	761036.14	3610059.59
6	758187.93	3609949.3
7	759052.57	3610813.69
8	760079.22	3610834.54

ANNEXES

BORNE D'IRRIGATION D'UN SECTEUR

Borne d'irrigation		
Borne d'irrigation extreme	Vue de dessus	Borne d'irrigation interne
		
Vue de profil		Vue de face
		