

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de Technologie



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Hydraulique Urbaine

Effectué par :

M^{elle} HAMDI Sarra (Paix à son âme) & M^{elle} BENSAFI Amina

Thème Intitulé :

***Etude d'un système hydraulique intelligent pour l'irrigation d'un périmètre de
multicultures (étude de cas)***

Devant le jury composé de :

Président	BOUCHELKIA Hamid	Professeur	Université Tlemcen
Examineur	BENMENSOUR Halim	Professeur	Université Tlemcen
Encadreur	BENADDA Lotfi	Maitre-assistant A	Université Tlemcen
Co-Encadreur	HABI Mohammed	Professeur	Université Tlemcen

Année universitaire 2020-2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donnés le courage, la patience et la chance ; qui a fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui.

Nos remerciements vont :

A notre encadreur **Mr BENADDA Lotfi** pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa grande patience, ses encouragements, ses orientations et ses conseils précieux.

A **Mr HABI Mohammed** ; nous vous remercions d'avoir enrichi nos connaissances et de nous avoir guidés durant toute cette année.

Notre gratitude va également aux membres du jury, en particulier **Mr BOUCHELKIA Hamid** notre chef département qui a accepté de présider et d'examiner ce travail en plus de la tâche qu'il occupe, et nos remerciements les plus chaleureuses vont à notre très cher professeur **Mr BENMANSOUR Halim** de nous avoir pour juger ce travail.

On remercie aussi tous les enseignants du département d'hydraulique pour la qualité des enseignements reçus et les innombrables soutiens durant tout le cursus universitaire.

Je remercie le père de ma copine **SARRA Allah yerhamha** ; **Mr HAMDI** pour son aide, son soutien et son encouragement.

On remercie aussi tous les responsables, ingénieurs et employés des laboratoires d'analyse de notre faculté de technologie qui nous ont beaucoup aidés aux cours des expériences, en particulier **Mme BENAÏSSA**.

On remercie énormément tous les ingénieurs et les cadres de la **DRE**, de l'**ANBT**, de l'**ANRH** et de l'**AGIR** spécialement **Mr BEDRAOUI** ; pour la mise à notre disposition des données nécessaires et utiles pour l'achèvement de ce travail, qu'ils trouvent ici nos respects et nos grandes gratitude.

HAMDI Sarra & BENSAFI Amina

﴿ كُلُّ نَفْسٍ ذَائِقَةُ الْمَوْتِ وَإِنَّمَا تُوَفَّقُونَ
أَجْرَكُمْ يَوْمَ الْقِيَامَةِ فَمَنْ زُحِرَ عَنْ
النَّارِ وَأُدْخِلَ الْجَنَّةَ فَقَدْ فَازَ وَمَا الْحَيَاةُ
الدُّنْيَا إِلَّا مَتَاعُ الْعُرُورِ ﴾ آل عمران ١٨٥

Dédicace

A la mémoire de ma chère sœur et binôme

« Sarra HAMDI »

Qu'elle tenait absolument que ce travail voit le jour ; Malheureusement le COVID a été plus forte que son souhait

الله يرحمها برحمته الواسعة

Elle voulait absolument offrir ce travail à :

Ses chers parents **FOUZIA** et **MOHAMMED** pour leur patience ; leur amour ; leur soutien ; et leur encouragement elle les remercie pour tous ce qu'ils ont fait, que dieu les récompense pour tous leur bienfaits et qu'il trouve ici le fruit de leur fille.

A ses chers frères **MOUAD** et **MOHAMMED** ; à sa sœur **KHAWLA** pour son encouragement ; à toutes sa famille et sa belle-famille.

A son mari **ABDELGHANI** qui la soutenu et qui a été à ces côtés durant son parcours universitaire.

A tous ses collègues de Tlemcen et Maghnia.

A tous ses proches.

HAMDI Sarra

Dédicace

Je dédie ce travail

A celui qui a été toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à celui qui s'est changé la nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions ; à mon cher père **OMAR**, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A celle qui m'a bénie par ces prières ; la source de ma joie ; qui m'a soutenue durant toutes ma vie à ma chère maman **FATIMA ZOÛRA**.

Un dédicace spécial pour ma chère binôme **SARRA** 'Allah yerhamha' ; tu es ma sœur, la plus proche à mon cœur, ma confidente, ma force qui m'a toujours soutenue ; depuis que je t'ai connue tu as su ouvrir une partie de moi qui ne voulais pas sortir, tu m'as aidé à m'épanouir et tu as toujours été présente pour m'écouter et me conseiller ; je t'aime de tout mon cœur, repose en paix.

A mes chère frères **LAKHDER** et **MOHAMMED**, ma belle-sœur **HAYEM** ; à notre petit source de joie et de bonheur **KARAM** que dieu le protège.

A mon soutien moral ; mon fiancé **YOUNES** ; à ma chère sœur **RADIA** qui n'ont pas cessé de me conseiller ; encourager et soutenir tout au long de mes études.

A toutes ma famille ; ma belle-famille et mes copines.

Quels que soient les termes embrassés ; je n'arriverais jamais à leurs exprimer mon amour sincère.

BENSAFI Amina

RESUME

المخلص

يعتبر الماء موضوعا استراتيجيا و هاما كونه ثروة لا تعوض ويعتبر أهم وسيلة لتحقيق المستدامة . يهدف البحث الحالي إلى دراسة مدققة لمنطقة المفروش و سقيها عن طريق تقنيات حديثة ممثلة عن طريق أجهزة تساهم في معرفة كمية المياه المخصصة.

اشتملت الدراسة على جانب نظري حيث تطرقنا إلى تعريف المنطقة ووضع خطة لزراعة متعددة النوعية و طبقنا نظريا الطريقة المناسبة لسقي كل نوع من المحاصيل، إذ حسب نوعية النبات الفلاحي و كمية المياه المستغلة، استعملنا ثلاثة طرق للسقي و هي السقي بالغمر، بالرش المحوري و بالتقطير.

أما الجانب التطبيقي تطرقنا فيه إلى تخطيط و تحجيم المساحة المحددة في منطقة المفروش باستعمال برنامج

EPANET و برنامج **AUTOCAD**.

الكلمات المفتاحية: منطقة المفروش، الري، طرق الري.

RESUME

L'eau est considérée comme un enjeu stratégique et important car c'est une richesse irremplaçable et est considérée comme le moyen le plus important de parvenir à un développement durable.

La recherche actuelle vise à une étude de la zone de MEFFROUCHE et de son irrigation à travers des techniques modernes représentées par des dispositifs qui contribuent à connaître la quantité d'eau nécessaire.

L'étude a traité un aspect théorique, où nous avons discuté de la définition de la zone et de l'élaboration d'un plan de culture multi-qualité. Nous avons théoriquement appliqué la méthode appropriée pour arroser chaque type de culture. Selon le type de plante agricole et la quantité d'eau exploitée, nous avons utilisé trois méthodes d'irrigation, qui sont l'irrigation gravitaire, par aspersion et l'irrigation goutte à goutte.

Quant au côté pratique, nous avons traité le domaine de l'aménagement et du dimensionnement de la surface spécifiée dans la zone meublée à l'aide d'un programme AUTOCAD et EPANET.

Mot clé : zone de MEFFROUCHE ; Irrigation ; méthodes d'irrigation.

ABSTRACT

Water is considered a strategic and important source because it is an irreplaceable wealth and is considered the most important means of achieving sustainable development.

The current research account a study of the MEFFROUCHE zone and its irrigation through modern techniques represented by devices which contribute to knowing the necessary quantity of water.

The study dealt with a theoretical aspect, where we discussed the definition of the area and the development of a multi-quality cultivation plan. Theoretically, we applied the appropriate method to water each type of crop. Depending on the type of agricultural plant and the amount of water used, we used three irrigation systems, which are gravity, sprinkler and drip irrigation.

As for the practice, we dealt with the area of development and sizing of the surface defined in the furnished area using an AUTOCAD and EPANET program.

Keywords : MEFFROUCHE zone ; irrigation ; irrigation technique.

TABLES DES MATIERES

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR L'IRRIGATION ET LES PERIMETRES IRRIGUEES

1.1.	INTRODUCTION	5
1.2.	GENERALITE SUR L'IRRIGATION	5
1.2.1.	DEFINITION	5
1.2.2.	PERIMETRE D'IRRIGATION	5
1.2.3.	IMPORTANCE DE L'IRRIGATION	6
1.2.3.1.	APPORT SUR LE PLAN ECONOMIQUE	6
1.2.3.2.	L'AUTO-SUFFISANTE ALIMENTAIRE	7
1.2.3.3.	L'IRRIGATION UN REMPART A LA FAMINE	7
1.3.	METHODES DE LA DISTRIBUTION POUR L'IRRIGATION	7
1.3.1.	RESEAUX D'IRRIGATION.....	7
1.3.2.	RESEAU DE DISTRIBUTION CONTINU	8
1.3.3.	RESEAU DE DISTRIBUTION PAR ROTATION.....	8
1.3.4.	RESEAU DE DISTRIBUTION A LA DEMANDE.....	8
1.3.5.	RESEAU DE DISTRIBUTION INTELLIGENT.....	8
1.4.	LES BESOINS EN EAU DES CULTURES	9
1.4.1.	DEFINITION LES BESOINS EN EAU DES CULTURES	9
1.4.2.	PRECIPITATION EFFICACE (UTILE).....	9
1.4.3.	EVAPOTRANSPIRATION.....	9
1.4.4.	METHODES DETERMINAT L'EVAPOTRANSPIRATION	10
1.4.4.1.	LES METHODES DIRECTES.....	10
1.4.4.2.	LES METHODES INDIRECTES	12
1.5.	LES EAUX DE L'IRRIGATION	13
1.5.1.	QUANTITES ET QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION	13
1.5.2.	NORMES DE QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION	14
1.5.3.	LES ORIGINES D'EAU	15

CHAPITRE 2 : LES SYSTEMES D'IRRIGATION

2.1.	INTRODUCTION	17
2.2.	L'IRRIGATION GRAVITAIRE OU DE SURFACE	18
2.2.1.	IRRIGATION PAR BASSIN	18
2.2.2.	IRRIGATION PAR PLANCHES	19
2.2.3.	AVANTAGES ET INCONVENIENTS	21
2.3.	IRRIGATION LOCALISE OU MICRO-IRRIGATION	21
2.3.1.	EQUIPEMENT DE SYSTEME GOUTTE A GOUTTE.....	22
2.3.1.1.	UNITE DE TETE	22
2.3.1.2.	VANNES ET MANOMETRES	23
2.3.1.3.	LA FILTRATION.....	23
2.3.1.4.	LES GOUTTEURS.....	24
2.3.1.5.	LES GAINES.....	24

2.3.2.	AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	24
2.4.	IRRIGATION PAR ASPERSION	25
2.4.1.	IRRIGATION PAR RAMPE A VANNETTES	26
2.4.2.	LE PIVOT	27
2.4.3.	LES RAMPES FRONTALES	27
2.4.4.	L'ENROULEUR.....	28
2.4.5.	AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	28
2.5.	LE SYSTEME D'IRRIGATION INTELLIGENT	29
2.5.1.	LES RESEAUX CAPTEUR SANS FIL (RCSF)	29
2.5.2.	PRINCIPE DE L'IRRIGATION INTELLIGENTE RCSF	30
2.5.3.	Importance de RCSF dans l'irrigation intelligente :	31
2.6.	CHOIX DES TECHNIQUES D'IRRIGATION	31

CHAPITRE 3 : CONDITION DU MILIEU

3.1.	INTRODUCTION	32
3.2.	ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE DU SITE.....	32
3.2.1.	SITUATION GEOGRAPHIQUE	32
3.2.2.	TOPOGRAPHIE ET RELIEF	33
3.2.3.	SUPERFICIE DU PERIMETRE D'ETUDE	34
3.2.4.	SITUATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	34
3.2.5.	PEDOLOGIE DE LA REGION	35
3.2.6.	ASSOLEMENT ET CHOIX DES CULTURES	36
3.3.	ETUDE CLIMATOLOGIE	37
3.3.1.	LA TEMPERATURE	37
3.3.1.1.	TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES	37
3.3.1.2.	TEMPERATURES MOYENNES MAXIMALES	37
3.3.1.3.	TEMPERATURES MOYENNES MINIMALE	38
3.3.2.	LA PLUVIOMETRIE.....	38
3.3.3.	ELABORATION CLIMATOLOGIQUE	39
3.3.3.1.	QUOTIENT PLUVIOMETRIQUE « D'EMBERGER »	39
3.3.3.2.	INDICE D'ARIDITE DE DEMARTONE.....	40
3.3.4.	L'EVAPORATION	40
3.3.5.	L'INSOLATION ET ECLAIRAGE	41
3.3.6.	L'EVAPOTRANSPIRATION.....	41
3.4.	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL	44
3.4.1.	EAU DANS LE SOL	44
3.4.2.	ECHANTILLONNAGES DU SOL.....	45
3.4.3.	ANALYSE DES ECHANTILLONS DU SOL.....	46
3.4.3.1.	HUMIDITE DU SOL	47
3.4.3.2.	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE.....	48
3.4.3.3.	GRANULOMETRIE PAR SEDIMENTOMETRIE	49
3.4.3.4.	ANALYSE DE PERMEABILITE	51

3.4.4.	RESERVE UTILE (RU)	52
3.4.5.	RESERVE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)	52
3.5.	DEFICIT AGRICOLE ET BESOIN EN EAU	53
3.6.	PARAMETRES D'AROSAGE	54
3.6.1.	DOSE MAXIMALE THEORIQUE	54
3.6.2.	DOSE PRATIQUE D'ARROSAGE (D _p)	54
3.6.2.1.	ESPACEMENT D'ARROSAGE (N _i).....	54
3.6.2.2.	DOSE REELLE (D _r)	55
3.6.2.3.	MODULE m	55
3.6.2.4.	DEBIT FICTIF CONTINU	59
3.6.3.	IRRIGATION GRAVITAIRE	59
3.6.4.	IRRIGATION PAR ASPERSION	59
3.6.5.	IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE	60
3.6.6.	DUREE D'ARROSAGE (T)	61
3.6.6.1.	IRRIGATION GRAVITAIRE	61
3.6.6.2.	IRRIGATION PAR ASPERSION	61
3.6.6.3.	IRRIGATION LOCALISEE	61
3.7.	VOLUME D'EAU MOBILISE	62
3.8.	SYNTHESE	65

Chapitre 4 : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION

4.1.	INTRODUCTION	67
4.2.	PRESENTATION DU RESEAU	68
4.3.	SOURCE ET POMPAGE.....	69
4.4.	ADDUCTION DE REFOULEMENT	69
4.5.	STOCKAGE	69
4.6.	RESEAUX DE DISTRIBUTION	70
4.6.1.	CONDUITE PRINCIPALE DE D'ALIMENTATION	70
4.6.2.	REAU D'ALIMENTATION DE L'ARBORICULTURE	70
4.6.3.	RESEAU D'ALIMENTATION DE LA LUZERNE.....	70
4.6.4.	RESEAU D'ALIMENTATION DES CEREALES.....	71
4.6.5.	RESEAU D'ALIMENTATION DES MARICHAIRES	71
4.6.6.	COMPOSITION DU RESAU	71
4.7.	AUTOMATISATION DU RESEAU	71
4.8.	SYNTHESE	72
	CONCLUSION GENERALE.....	74

CHAPITRE 1

Figure 1.1 : Vue d'un périmètre d'irrigation.....	6
Figure 1.2: évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle	10
Figure 1.3: évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique	11
Figure 1.4:le bac évaporant	11
Figure 1.5: évaporomètre de PICHE	12
Figure 1.6: Origine de l'eau d'irrigation.....	16

CHAPITRE 2

Figure 2.1: schéma représente les systèmes d'irrigation	17
Figure 2.2 : Irrigation par bassin	18
Figure 2.3: irrigation par planches	19
Figure 2.4: Irrigation par sillons.....	20
Figure 2.5: Irrigation par siphon	20
Figure 2.6: irrigation localisé	21
Figure 2.7: irrigation localisé par gain souple.....	22
Figure 2.8 : Unité de tête (Bac, Pompes, Vannes et Manomètres)	23
Figure 2.9 : filtration à sable et à tamis	24
Figure 2.10 : Goutteur	24
Figure 2.11 : Gaines	24
Figure 2.12 : Asperseurs.....	26
Figure 2.13 : Irrigation à vannettes	27
Figure 2.14 : Irrigation par Pivot.....	27
Figure 2.15 : Irrigation par Rampes Frontales	28
Figure 2.16 : Irrigation par Enrouleurs.....	28
Figure 2.17: schéma d'un réseau capteur sans fil	30
Figure 2.18: Irrigation intelligent basée sur RCSF	30
Figure 2.19: schéma descriptif de choix de technique d'irrigation.....	31

CHAPITRE 3

Figure 3.1 : la situation géographique de village Terni.....	32
Figure 3.2 : situation du périmètre agricole par rapport au Chef-lieu de Wilaya	33
Figure 3.3 : situation du périmètre agricole par rapport au Chef-lieu Communal	33
Figure 3.4 : Vue générale du périmètre agricole Terni-Oued-FeL.....	34
Figure 3.5 : la situation géologique de village Terni.....	34
Figure 3.6 : la situation hydrogéologique de village terni.....	35
Figure 3.7 : Température moyenne mensuelle (période 1987 – 2005)	37
Figure 3.8 : Température moyenne maximum (période 1987 – 2005)	38
Figure 3.9 : Température moyenne maximum (période 1987 – 2005).....	38
Figure 3.10 :Répartition mensuelle des précipitations de la station de Meffrouche	39
Figure 3.11 : Evaporation moyenne mensuelle (période 2004 – 2013)	41
Figure 3.12: Ensoleillement moyenne mensuelle de la station de Tlemcen	41

Figure 3.13 : schéma descriptif les trois catégories de l'eau dans le sol.....	44
Figure 3.14 : L'eau dans le sol.....	45
Figure 3.15 : la tarière (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	45
Figure 3.16: Localisation des points des échantillons du périmètre agricole.....	47
Figure 3.17: la balance (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	47
Figure 3.18 : l'Étuve (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA.).....	48
Figure 3.19 : une batterie de 18 tamis (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	48
Figure 3.20: le vibrotamis électrique (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA).....	48
Figure 3.21: le 1000 g de sol (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	49
Figure 3.22 : Dé-floculant (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	49
Figure 3.23 : Agitateur mécanique (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	50
Figure 3.24: Les matériaux utilisés (photo prise par HAMDLS et BENSAFIA)	50
Figure 3.25: Essai de perméabilité à charge constante (photo prise par HAMDLS. et BENSAFIA.)	51
Figure 3.26 : implantation des asperseurs	60

CHAPITRE 4

Figure 4.1 : Vue du réseau sur le champ	68
Figure 4.2 : Adduction de refoulement	68
Figure 4.1 : Vue du réseau de distribution	69

CHAPITRE 1

Tableau 1.1 :les normes de la qualité des eaux d'irrigation	14
---	----

CHAPITRE 2

Tableau 2.1: les avantages et les inconvénients de l'irrigation de surface	21
Tableau 2.2: les avantages et les inconvénients de l'irrigation localisée	25
Tableau 2.3 : les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion	29

CHAPITRE 3

Tableau 3.1 : Choix de cultures et assolement	36
Tableau 3.2 : Quotient d'Emberger.....	39
Tableau 3.3 : Limite des climats d'après l'indice climatique de DEMARTONE	40
Tableau 3.4 : L'évapotranspiration avec la formule de Turc	42
Tableau 3.5 : L'évapotranspiration avec la formule de TRONTHWAITE	42
Tableau 3.6 :L'évapotranspiration avec la formule de BLANEY-GRIDDLE.....	43
Tableau 3.7 : Récapitulation des calculs de l'Etp (en mm)	43
Tableau 3.8 : les formes de l'eau dans le sol	44
Tableau 3.9 : les échantillons et leurprofondeurs	46
Tableau 3.10 : Les caractéristiques de l'échantillonnage	46
Tableau 3.11 : résultats des coefficients de HAZEN et de courbure	49
Tableau 3.12 : Analyses de laboratoire - Caractéristiques physiques du sol.....	52
Tableau 3.13: Réserves utiles et Reserve facilement utilisable du sol.....	53
Tableau 3.14: Déficit agricole et besoins en eau	54
Tableau 3.15 : Paramètre d'arrosage pour l'arboriculture (CERISIER).....	55
Tableau 3.16: Paramètre d'arrosage pour l'arboriculture (AMANDIER)	55
Tableau 3.17 : Paramètre d'arrosage pour l'arboriculture (POMMIER).....	56
Tableau 3.18 : Paramètre d'arrosage pour le Maraîchère (TOMATES).....	56
Tableau 3.19: Paramètre d'arrosage pour le Maraîchère (ROMME DE TERRE)	57
Tableau 3.20 : Paramètre d'arrosage pour la Céréaliculture (BLE)	57
Tableau 3.21 : Paramètre d'arrosage pour la Céréaliculture (POIS CHICHE).....	58
Tableau 3.22: Paramètre d'arrosage pour la Céréaliculture (HARICOT).....	58
Tableau3.23: Paramètre d'arrosage pour le fourrage (LUZERNE).....	59
Tableau 3.24 : Ca et Er de chaque culture.....	62
Tableau 3.25 : durée d'arrosage pour chaque système d'irrigation	62
Tableau 3.26 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les cerises	63
Tableau 3.27 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les amandes	63
Tableau 3.28 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les pommes.....	63
Tableau 3.29 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les tomates	63
Tableau 3.30 : QFC et volume d'eau mobilisé pour la pomme de terre	64
Tableau 3.31 : QFC et volume d'eau mobilisé pour le blé.....	64
Tableau 3.32 : QFC et volume d'eau mobilisé pour le pois chiche	64
Tableau 3.33 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les haricots.....	64

Tableau 3.34 : QFC et volume d'eau mobilisé pour la luzerne 65

CHAPITRE 4

Tableau 4.1 : dimensionnement de la conduite principal 70

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'irrigation est le processus d'amener l'eau aux plantes cultivées artificiellement pour augmenter la production et permettre leur croissance naturel, dans le cas du déficit hydrique provoquée par un des faibles précipitations ou une diminution de la nappe.

Pour assurer une bonne régie de l'eau, il est d'abord indispensable de connaître les besoins en eau de la culture et la variation de ceux-ci en fonction du stade de développement. Aussi, il est impératif de mesurer régulièrement la teneur en eau du sol. Cette information permettra de préciser le moment propice à l'irrigation et surtout si les quantités appliquées sont insuffisantes ou en excès par rapport au type de sol et au besoin de la culture.

De nombreux systèmes d'irrigation intelligents étaient disponibles et ont été utilisés pour calculer les besoins en eau des cultures à partir des données climatiques. Habituellement, l'irrigation intelligente était intégrée avec des contrôleurs intelligents et l'utilisation de données microclimatiques pour programmer l'eau d'irrigation. Les fonctions du contrôleur d'irrigation devaient régir les électrovannes dans le processus d'irrigation. Ce contrôleur décide quand démarrer et combien de temps irriguer, afin de ramener la variable contrôlée à la valeur désirée.

Les technologies d'irrigation intelligentes ont été considérées comme un outil prometteur pour réaliser des économies d'eau dans le paysage et réduire la pollution de source non ponctuelle. Actuellement, il y avait un certain nombre de systèmes d'irrigation intelligents qui peuvent fonctionner sans humain intervention.

C'est dans ce contexte, que nous somme intéressé à l'étude d'un système hydraulique intelligent pour l'irrigation d'un périmètre de multicultures, d'une ampleur économiquement industrielle ; par projection engineering sur un périmètre réel à l'état vierge, sis à la région du Terni dans les hauteurs de la ville de Tlemcen (dans l'Ouest Algérien), sur une surface étalée sur plus d'une vingtaine d'hectares.

Pour cela, la nature des cultures impose un système d'irrigation, il faut évidemment que les conditions naturelles conviennent à la fois à la plante et à son système d'arrosage. L'assolement peut amener à modifier le système d'irrigation au cours des années, pour que ces changements ne surprennent pas le cultivateur, ils doivent être prévus avant l'établissement du réseau d'arrosage, afin qu'il soit agencé en conséquence.

Les besoins en eau des plantes dépendent de plusieurs facteurs, intrinsèques ou extrinsèques à la culture: nature des plantes cultivées (espèce, variété), stade de végétation, nature et état d'humidité du sol, données climatiques (précipitations, insolation, vent...). Il convient de tenir compte des réserves en eau du sol, de l'évaporation au niveau du sol, de la transpiration des plantes et de l'évapotranspiration.

Dans ce projet nous allons projeter un réseau d'irrigation pour l'arrosage des différents types des cultures. Le système projeté est de type intelligent en fonction des besoins en eau et du rendement agricole. Ce système contrôle automatiquement les cycles de l'irrigation et empêche le gaspillage d'eau, cette économie d'eau sera réalisée en faisant recours à une bonne étude préalable.

Ainsi ce travail s'articule sur quatre chapitres principaux :

- Chapitre 01 : Généralité sur l'Irrigation et Périmètre d'Irrigation.
- Chapitre 02 : Les Systèmes d'Irrigation.
- Chapitre 03 : Caractéristiques Générales de la Zone d'Etude.
- Chapitre 04 : Dimensionnement du réseau intelligent de l'irrigation.

CHAPITRE 01

GENERALITE SUR L'IRRIGATION ET LES PERIMETRES IRRIGUES

1.1. INTRODUCTION

Les eaux de l'irrigation doivent être appréciées selon leur nature, leur quantité et aussi leur qualité. Les ressources souterraines peuvent être exploitées à partir de puits, des forages, ou bien des ressources superficielles.

A ce propos, l'agriculture doit se garantir la disponibilité de l'eau en période voulu pour irrigation, car la connaissance de la quantité d'eau disponible en période de pointe permet de déterminer la surface à irriguer. Dotant plus qu'à l'état naturel l'humidité du sol est couramment insuffisante, et pour assurer un rendement optimum des cultures agricoles on a recours à l'irrigation [1].

Dans ce chapitre nous allons décrire les différentes techniques de l'irrigation en fonction des cultures ; cultivées au niveau des périmètres agricoles.

1.2. GENERALITE SUR L'IRRIGATION

1.2.1. DEFINITION

L'irrigation est l'application de l'eau au sol dans le but de rafraîchir le sol et l'atmosphère, par conséquent effectuer les plus convenables conditions pour le développement des plantes [2].

Mais quelque soit le point de prélèvement de l'eau (rivières, nappe d'eau souterraine, eau de barrage ou bien station d'épuration STEP) et son mode de transfert (canaux, conduite sous pression), Le problème est de savoir comment partager cette eau de manière à ce que chaque plante absorbe autant d'eau dont elle a besoin.

Cependant le moyen de répartition de l'eau sur le sol ne doit pas toujours répondre à ce critère d'une production maximale, donc on doit essentiellement envisager un choix minutieusement détaillé du mode d'irrigation et de la technique d'arrosage et compatibilité avec les contraintes de la région d'étude [3].

1.2.2. PERIMETRE D'IRRIGATION

En irrigation, on appelait périmètre dominé ; toute la superficie, quelque soit sa nature (terres, routes, villages, forêts, etc...), arrosée par le canal principal. En réalité ce terme a perdu son sens précis depuis que le développement du pompage et du recomptages mécanique permet d'arroser des zones situées à des cotes plus élevées que le canal principal. Il vaudrait donc mieux parler maintenant de périmètre d'irrigation, quoique les termes périmètres dominés restent d'usage courant même dans leur sens élargi.

La partie du périmètre d'irrigation admissible d'être arrosée avec profit s'appelle le périmètre irrigable ; la fraction qui en est nécessairement arrosée est le périmètre irrigué. Les rapports entre les dimensions de ces différents périmètres sont extrêmement changer en proportion de la région, l'importance et l'évolution des projets [4].



Figure 1.1 : Vue d'un périmètre d'irrigation

1.2.3. IMPORTANCE DE L'IRRIGATION

Jusqu'à présent l'irrigation reste le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres et les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus de production (et même dix fois en zone aride) [5].

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie.

1.2.3.1. APPORT SUR LE PLAN ECONOMIQUE

Depuis les années 60, la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde ; répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmenté par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement.

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé.

Cette évolution explique l'élévation du niveau de vie et les progrès de la diététique. Les changements dans les habitudes alimentaires ont souvent donné la préférence à des produits irrigués légumes et fruits notamment [4].

1.2.3.2. L'AUTO-SUFFISANTE ALIMENTAIRE

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produit qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie qui doit trouver des clients pour leurs agrumes à titre d'exemple [6].

1.2.3.3. L'IRRIGATION UN REMPART A LA FAMINE

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés [7].

Par la pratique de l'irrigation, le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplée. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais à partir des années 60, sans précédent historique, une expansion de la croissance des rendements et de la production, associé au doublement des surfaces irriguées [8].

Ceci dit, l'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages ; il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones humides, d'améliorer les rendements, et d'une façon générale d'intensifier et stabiliser la production en se libérant des variations climatiques.

L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maitrisée par l'homme [9] ; d'importantes quantités d'eau sont en effet nécessaires pour compenser les pertes des plantes et des sols par évapotranspiration.

En outre une majeure partie de l'eau d'irrigation retourne directement dans l'atmosphère, où elle est momentanément perdue pour d'autres usages. Cela est d'autant plus vrai que plus une plante dispose d'eau, plus son évaporation n'est importante.

1.3. METHODES DE LA DISTRIBUTION POUR L'IRRIGATION

Une fois déterminé le débit qui doit être amené en tête de la zone à irriguer, le problème qui ce pose est la distribution de l'eau sur les parcelles qui vont êtres utilisées ; de façon que chacune d'elles reçoivent une dose optimum au moment favorable.

C'est un problème délicat et compliqué, impliquant le type des sols, les dimensions des parcelles et les cultures dans le périmètre irrigué [4].

1.3.1. RESEAUX D'IRRIGATION

L'alimentation du réseau est généralement approvisionnée par un ouvrage de tête prise soit par un barrage de retenue, soit une rivière, ou bien captage d'une source, station de pompage sur puits ou par forage ... etc.

Le réseau d'irrigation nettement dit est formé par un certain nombre d'ouvrages et de canaux que l'on peut généralement classer en canaux primaires, secondaires, tertiaire et arroseurs divers destinés à assurer l'équilibrage de niveaux, le partage et la distribution de l'eau, ainsi que la sécurité de l'ensemble [4].

1.3.2. RESEAU DE DISTRIBUTION CONTINU

Le principe de cette méthode est de donner à chaque exploitation, d'une façon continue pendant toute la période des arrosages, le débit qui lui est souscrit.

Ce système présente un certains nombres d'avantage ; d'abord les rigoles comme tons les anneaux sont régulièrement en eau et fonctionne d'une manière continue, il en résulte que ces ouvrage out une section minimale puisqu'un volume déterminé est apporté par eux sans interruption ceci est par particulièrement avantageux lorsque l'eau amené par conduite souterraine car une réduction de la section des tuyaux permet une économie notable [5].

Par contre, cette méthode est non économique ; l'eau est distribuée continuellement sans tenir compte des périodes successives du développement végétal et sa répartition est mal mesurées sur les zones d'irriguer [5].

1.3.3. RESEAU DE DISTRIBUTION PAR ROTATION

Cette méthode est basée sur le principe d'appliquer un débit modulaire au niveau de chaque propriété a des intervalles de temps déterminées.

Cette méthode de rotation permet a tous les irriguant d'utiliser l'eau, mais elle ne tient pas compte de la variation des besoins de plante [10].

1.3.4. RESEAU DE DISTRIBUTION A LA DEMANDE

Cette méthode est la meilleure techniquement et la plus rationnel, sinon la plus économique en ce qui concerne l'établissement du réseau ; elle consiste à livrer l'eau à la demande quand les plantes ont besoin.

Mais cette méthode suppose que les agriculteurs connaissent très bien les besoins des plantes et suivent attentivement leur développement. Une vulgarisation des connaissances est donc indispensable.

La création de réseaux de distribution demande un effort intense de prospection du sol et de vulgarisation des techniques auprès des irriguants afin que l'eau soit utilisée dans les meilleurs conditions [4].

Ainsi, c'est la meilleur méthode et la plus rationnelle, puisque chaque irriguant peut arroser quand il juge que les plantes en ont besoin [5].

Du point de vue économique c'est la solution la plus coûteuse, parce qu'elle exige un réseau surdimensionné [5].

1.3.5. RESEAU DE DISTRIBUTION INTELLIGENT

L'utilisation efficace de l'eau par les systèmes d'irrigation est d'une importance cruciale pour le développement agricole durable, la sécurité alimentaire et la croissance économique en général. Cela est particulièrement vrai au regard de la croissance de la population mondiale, des changements climatiques et de la demande concurrentielle d'eau par les autres secteurs économiques.

Pour répondre à ce défi d'une meilleure façon, il est primordiale de se tourner vers l'irrigation de précision.

L'irrigation de précision est une technique qui applique aux cultures une quantité précise d'eau à des moments bien précis, afin d'optimiser le rendement des cultures et la productivité de l'eau. La technique consiste à apporter aux agriculteurs les outils nécessaires pour prendre les bonnes décisions d'irrigation afin d'améliorer leur productivité et réduire leur consommation d'eau.

Pour cela, elle combine une plateforme logicielle, du matériel et des capteurs déjà existants avec un nouveau module de système d'aide à la décision ; l'ensemble donne à l'utilisateur les meilleures recommandations d'irrigation au niveau de l'exploitation.

Il s'agit de mettre en place un programme d'aide à la décision, un modèle intégré de croissance des cultures, des capteurs pour les plantes et le sol, parfois des analyses de données satellitaires et des algorithmes de prévision. Les informations sont capturées par des capteurs de sol, d'eau et de plants placés à des endroits stratégiques autour du champ.

Ces informations sont combinées à des mesures météorologiques locales provenant de stations météorologiques, à des images satellitaires de télédétection, à des services de prévision météo et à des modèles hydrauliques et de cultures. Le système analyse ensuite ces données pour fournir aux agriculteurs des recommandations précises et fiables sur le moment où ils doivent irriguer leurs cultures, et avec quelle quantité d'eau. Ainsi, l'exploitant connaîtra le volume exact d'irrigation nécessaire, le nombre de fois où il faudra irriguer ainsi que les bons moments pour le faire, ce qui lui permet d'optimiser l'utilisation de l'eau et la consommation d'énergie.

1.4. LES BESOINS EN EAU DES CULTURES

1.4.1. DEFINITION LES BESOINS EN EAU DES CULTURES

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme les doses apportées à la plante dans des moments propices, afin de mettre celles-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir un rendement agricole maximal [3].

Ces besoins dépendent de deux facteurs très importants, les précipitations et l'évapotranspiration.

1.4.2. PRECIPITATION EFFICACE (UTILE)

C'est la portion d'eau tombée contribuant à la satisfaction des besoins en eau de la culture, ainsi, toute précipitation ne se transformant pas en ruissellement ou en eau de recharge de la nappe souterraine peut être considérée comme effective, au point de vue de l'irrigation [3] (Plus de détail au niveau de l'étude du milieu physique).

1.4.3. EVAPOTRANSPIRATION

Ensemble des phénomènes et des flux d'évaporation physique et de transpiration biologique, notamment de la végétation, qui interviennent dans le bilan d'eau d'un territoire, d'un hydro système terrestre, comme facteur de flux sortant.

Elle est exprimée le plus généralement en hauteur moyenne évaporée sur la surface considérée pendant une durée définie. La Quantité d'eau transférée du sol vers l'atmosphère par évaporation et transpiration des plantes [11].

Il existe trois types de l'évaporation, à savoir :

- L'évapotranspiration de références (ET) : définie comme le niveau de l'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15 cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau d'une façon non conditionnel [11].
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) : c'est l'évapotranspiration d'une culture (stade de développement végétatif max) bien fournie en eau et ou le sol est à sa capacité de rétention; c'est la limite maximale de l'évapotranspiration [11].
- L'évapotranspiration réelle (ETR) : c'est la valeur réelle de l'évapotranspiration, elle est inférieure à l'évapotranspiration potentiel ETP puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention [11].

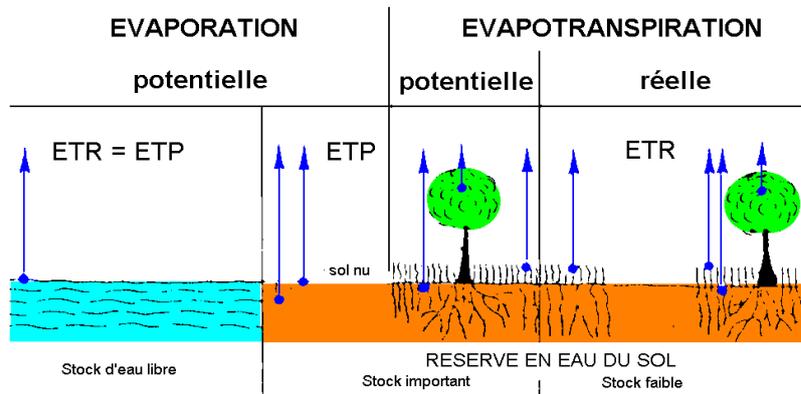


Figure 1.2 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle

1.4.4. METHODES DETERMINAT L'EVAPOTRANSPIRATION

Il existe deux façons permettant la détermination de l'évapotranspiration, en l'occurrence, méthodes directes reposant sur des mesures et méthodes dites indirectes s'appuyant sur des relation empiriques.

1.4.4.1. LES METHODES DIRECTES

Elles sont principalement de trois types :

- L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique : l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou couvert végétal [11].

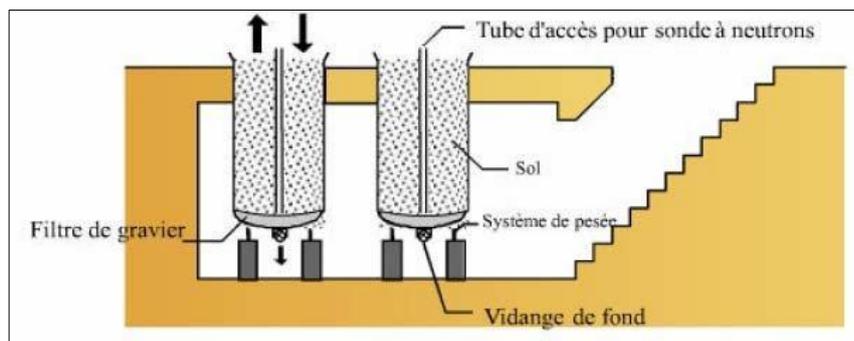


Figure 1.3 : évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique

- Le bac évaporant : Cet appareil très simple permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. Sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP [11].



Figure 1.4 : le bac évaporant

- L'évaporomètre de Piche : Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lie directement sur les graduations du tube [11].

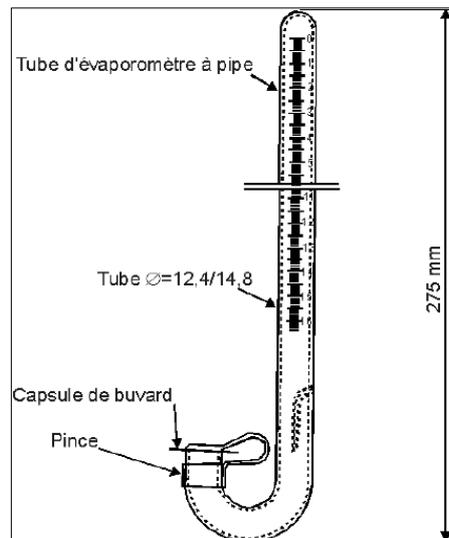


Figure 1.5 : évaporomètre de PICHE

1.4.4.2. LES METHODES INDIRECTES

Le plus souvent l'évapotranspiration est calculée par des formules à partir des données climatiques mesurées, mais ces formules ne sont pas toutes équivalentes, leurs représentativités varie selon les paramètres utilisés et les régions climatiques ou elles ont été établies [3].

• **Méthode de TURC :**

TURC a proposé une formule pour calculer l'évapotranspiration potentielle en fonction de la température et de l'intensité de rayonnement

Si l'humidité relative est supérieure à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par [11] :

$$ETP = 0.4(Ig + 50) \cdot \left(\frac{t}{t + 15}\right)$$

t : Température moyenne mensuelle en °C,

Ig : Radiation globale du mois considéré en (cal/cm² /j),

Si l'humidité relative de l'air est inférieure à 50%, l'ETP est donnée par :

$$ETP = 0.4(Ig + 50) \cdot \left(\frac{t}{t + 15}\right) \cdot \left(1 + \frac{50 - hr}{70}\right)$$

hr : Humidité relative de l'air (%)

La radiation solaire globale Ig est donnée par la formule suivante :

$$Ig = Ig_0 \left[0.18 + 0.62 \left(\frac{h}{H}\right)\right]$$

Ig₀ : Radiation maximale en fonction de la latitude.

h : Durée d'insolation de la station considérée, en heures / mois.

H : Durée mensuelle du jour, en heures / mois.

$\frac{h}{H}$: Insolation relative, en heures.

• **Méthode de TRONTHWAITE :**

TORNTHWAITE a mis au point une formule empirique basée sur la corrélation entre la température moyenne de l'air et le taux de transpiration des plantes [11].

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{I}\right)^a \quad \text{avec} \quad I = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

t : Est la température moyenne mensuelle de l'aire (°C) ;

I : Est le total des 1é valeurs mensuelle de l'indice de chaleur,

$$a = \left(\frac{1,6 \cdot I}{100}\right) + 0,5$$

$$ETPc = K \cdot ETP$$

K : Facteur de correction de latitude (= 0,95).

• **Méthode de BLANEY-GRIDDLE :**

La méthode de BLANEY-GRIDDLE est basée sur la relation entre la consommation d'eau des plantes, la température moyenne mensuelle, la longueur moyenne mensuelle du jour, les précipitations et du type de plantes représentées par leur coefficient cultural Kc.

L'équation de BLANEY-GRIDDLE est

$$ETP = Kc \cdot (8,13 + 0,45t)P$$

t : Température moyenne (en degré Celsius) durant la période considérée (généralement le mois) ;

P : Pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la même période, par rapport à la durée moyenne du jour pour l'année ;

Le coefficient K_c est exprimé par le rapport E_{tp}/E_{Tm} et définit le rythme de consommation d'eau de la culture. Il est déterminé expérimentalement pour chaque type de plantes.

1.5. LES EAUX DE L'IRRIGATION

Le domaine de l'irrigation ayant la plus grande consommation de l'eau, les régions agricoles représente environ 70% de l'eau utilisée dans le monde entier.

L'ingénieur chargé à réaliser le projet de 'irrigation d'un périmètre donné doit s'assurer tout d'abord la quantité d'eau nécessaire irrigué indépendamment du fait que le point d'origine de l'eau doit être approcher des mieux d'utilisation.

1.5.1. QUANTITES ET QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION

Le périmètre d'irrigation demande un débit très varié pendant l'année. Les ouvrages d'aménée de l'eau doivent être dimensionnés et calculés pour le débit de pointe, augmenté même des pertes inéluctable et d'une marge de sécurité, le débit de pointe d'eau peut être différent et même considérablement inférieur si l'on dispose d'un ouvrage régulateur, tel qu'un réservoir.

Il survient que, devant la manque des ressources conventionnelles, les exploitants agricoles sont basés sur différentes sources d'eaux pour l'irrigation de leurs cultures.

Il excite cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau destiné à l'irrigation ils sont les suivant :

- Salinité : contenu total en sels solubles.
- Sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- Alcalinité et dureté : concentration d'anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}).
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques.
- pH : de l'eau d'irrigation [13].

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excédent de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui préviennent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol contient beaucoup d'humidité, les plantes altèrent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui pose une difficulté d'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

On peut mesurer la salinité par deux méthodes

- Soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/l.
- Soit par la conductivité électrique exprimée en millisiemens/centimètre ($\mu S/cm$) qui est en moyenne l'équivalent de 640 ppm de sel [5].

1.5.2. NORMES DE QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau, ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sus cités.

Tableau 1.1 :les normes de la qualité des eaux d'irrigation

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
Salinité :			
• Conductivité (mS/cm)	< 0,75	0,75 – 3	> 3
• Matières dissoutes totales	<700	700 – 2000	> 2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3 – 9	> 9
Alcalinité ou duresté	80 – 120		>200
PH (risque de colmatage)	< 7	7 – 8	>8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0,2	0,2 – 1,5	>1,5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0,1	0,1 – 1,5	>1,5

Les normes ont pour objectif de :

- Protéger le public et les ouvriers agricoles.
- Protéger les consommateurs des produits agricoles.
- Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols.
- Protéger le matériel d'irrigation.
- Maintenir des rendements acceptables.

1.5.3. LES ORIGINES D'EAU

L'origine d'eaux d'irrigation est principalement de deux types ; les eaux superficielles et les eaux souterraines

Les eaux de surface comme des cours d'eau, des lacs, les barrages, et les rivières) sont des sources les plus utilisables dans l'irrigation et elles alimentent la majeure partie des arrosages, mais dans le cas où les eaux de surface, essentiellement les cours d'eau, font défaut, on est obligé à utiliser les eaux de souterraines (puits, forages, sources, galeries drainantes, etc...)

Le schéma suivant récapitule les différentes sources potentielles à l'irrigation :

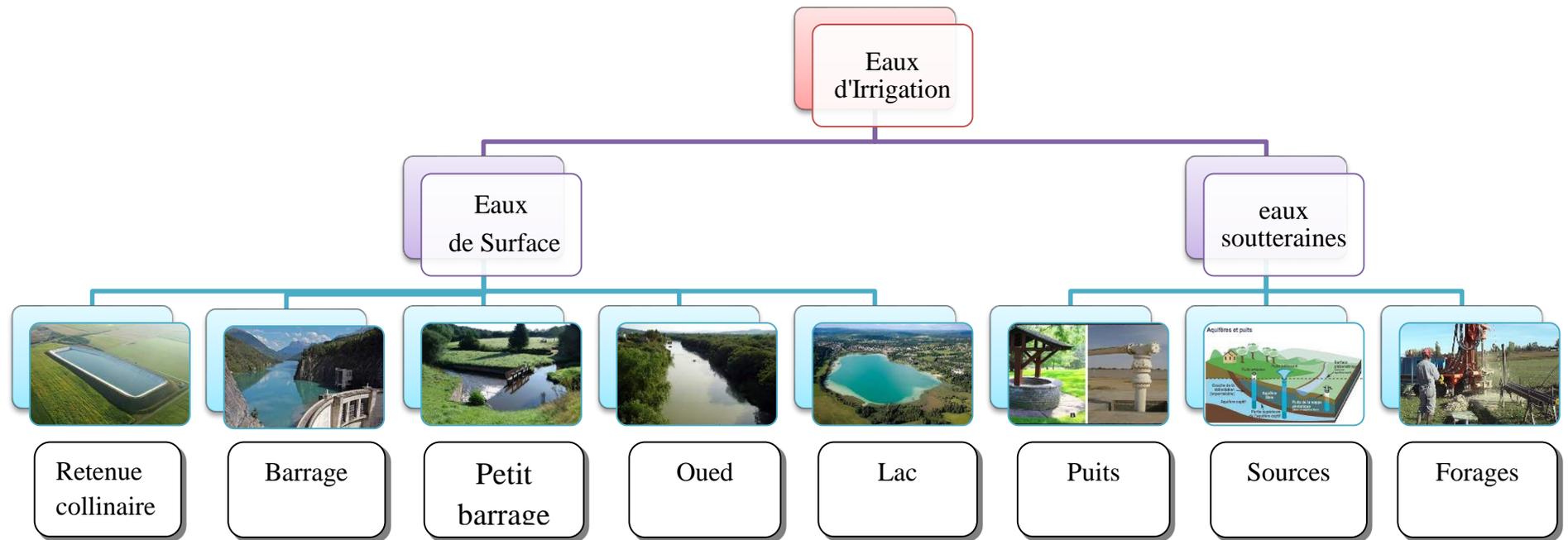


Figure 1.6 : Origine de l'eau d'irrigation

CHAPITRE 02

LES SYSTEMES D'IRRIGATION

2.1. INTRODUCTION

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures.

Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des désavantages, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

Quelle que soit la technique d'irrigation utilisée, le but final est d'avoir une récolte de qualité supérieure et une productivité élevée. Pour cela la bonne conception du réseau, sa bonne exécution et la pratique judicieuse des irrigations sont de première importance. Les travaux d'entretien qui ont pour objet de garder l'infrastructure du réseau et les ouvrages en bon état de fonctionnement sont souvent négligés. Ce fait a toujours amené la baisse du rendement (efficacité) de distribution d'eau et a conduit à la réduction du profit qu'on peut tirer des techniques d'irrigation [14].

Le choix de la méthode d'irrigation est basé sur la manière de répartition de l'eau sur le sol de façon à ce que les plantes tirent le maximum de profit et assurent la rentabilité finale de l'opération [15].

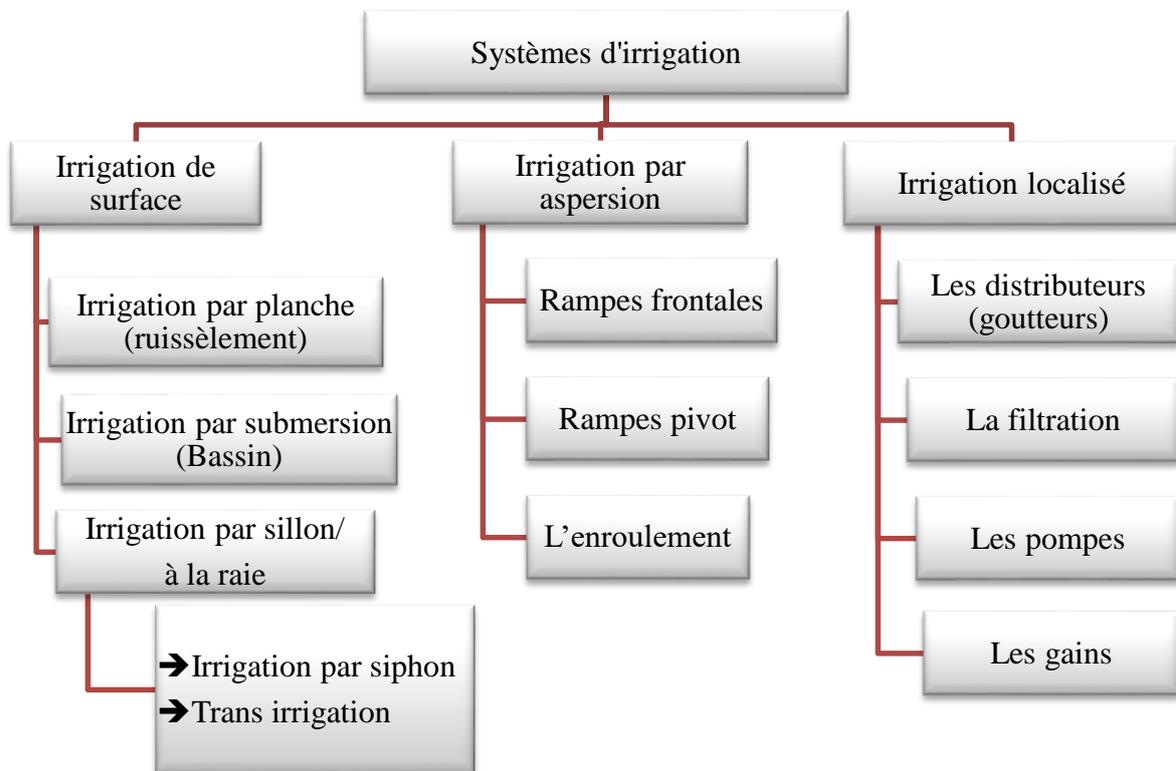


Figure 2.1 : schéma représente les systèmes d'irrigation

2.2. L'IRRIGATION GRAVITAIRE OU DE SURFACE

La technique de l'irrigation gravitaire consiste à arroser les cultures en faisant ruisseler l'eau à la surface du sol. C'était la seule méthode possible jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle. Dans la grande majorité des cas, le transport de l'eau se fait par canaux fonctionnant à surface libre.

Les faibles rendements de l'irrigation gravitaire sont dus à trois causes principales :

- Les pertes importantes des arrosages par ruissellement.
- La régulation extrêmement sommaire ou inexistante de nombreux réseaux.
- Le manque d'organisation des exploitants et des agriculteurs [16].

Les techniques d'arrosages par gravitaire peuvent être rangées en trois (03) classes, soit :

- Irrigation par bassin (submersions)
- Irrigation par planches (ruissellement)
- Irrigation à la raie (sillons)

2.2.1. IRRIGATION PAR BASSIN

Dans l'irrigation par submersion ou par bassins, il s'agit de cuvettes en terre, à fond plat, entourées de diguettes de faible hauteur ; ces diguettes sont conçues pour empêcher le passage de l'eau dans les champs adjacents.

Cette technique est utilisée en générale pour l'irrigation des arbres fruitiers, où les canaux d'arrivée d'eau sont très nombreux et les pertes par infiltration sont importantes dans les canaux [17].



Figure 2.2 : Irrigation par bassin

2.2.2. IRRIGATION PAR PLANCHES

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calant ou planches d'arrosage [14].

L'alimentation en eau des planches sont réalisée de plusieurs façon : soit par des siphons ou une gaine souple ou encore par des travaux d'alimentation passant à travers les berges du canal. La lame d'eau introduite en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci.

Pour obtenir une répartition régulière de l'irrigation, il faut absolument une parfaite horizontalité de la parcelle dans le sens de la largeur sinon l'eau s'écoulera en biais d'un seul côté ; ainsi un nivellement parfait



Figure 2.3: irrigation par planches

2.2.3. IRRIGATION PAR SILLONS

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons.

Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collecte pour une longue durée (12-24 heures).

Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'aménée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'aménée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'aménée [14].



Figure 2.4: Irrigation par sillons

2.2.4. IRRIGATION PAR SIPHON

L'irrigation par siphon s'adapte bien à l'irrigation des raies. Les siphons en général sont PVC relativement légers avec une charge hydraulique de 10 cm suffisante pour travailler dans des conditions adéquates.

On peut par ailleurs réaliser une irrigation à deux débits, soit en utilisant des diamètres différents, soit en utilisant des bouchons percés à l'extrémité des tubes ou tout simplement en jouant sur le nombre des siphons.

Dans ce type d'irrigation, l'amorçage des siphons nécessite un entraînement et une certaine agilité pour mieux maîtriser l'irrigation. Il existe aussi de petites pompes à main pour effectuer cette tâche, mais l'amorçage risque d'être plus lent.

Ce type d'irrigation permet également de réduire l'érosion du sol à la tête de la raie. Par ailleurs, l'irrigation par siphon permet une bonne répartition de l'eau et présente un avantage du fait que l'investissement est faible [18].



Figure 2.5 : Irrigation par siphon

2.2.5. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Les avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2.1 : les avantages et les inconvénients de l'irrigation de surface

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement est relativement faible • Besoin en énergie faible ou nul • Technique éprouvée • Insensibilité au vent • Bonne adaptation à l'épandage • Possibilités d'utiliser les eaux salées (en pratiquant le lessivage de sol) • Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire [2] 	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin important en main d'œuvre • Efficience d'arrosage à la parcelle généralement faible • Inadaptation aux sols très filtrants • Planage nécessaire à la parcelle • Desserte de la parcelle en générale assurée par des canaux, qui viennent cloisonner et figer les parcellaire. • Pertes d'eau dans les réseaux de canaux • Surface consommée par les canaux et rigoles [2].

2.3. IRRIGATION LOCALISE OU MICRO-IRRIGATION

L'irrigation goutte à goutte consiste à apporter régulièrement et de façon localisée au niveau des racines, la juste quantité d'eau dont la plante a besoin.

Les plus utilisés sont les goutteurs intégrés, les boutons et de moins en moins les goutteurs en ligne. Ces trois types de goutteurs sont des organes de distribution, dont la conception particulière permet de délivrer l'eau à faible débit, dans des conditions de régime turbulent. Ces différents goutteurs existent sous une forme autorégulant présentant l'avantage de délivrer un débit homogène, même quand la pression varie à l'intérieur d'une gamme [19].

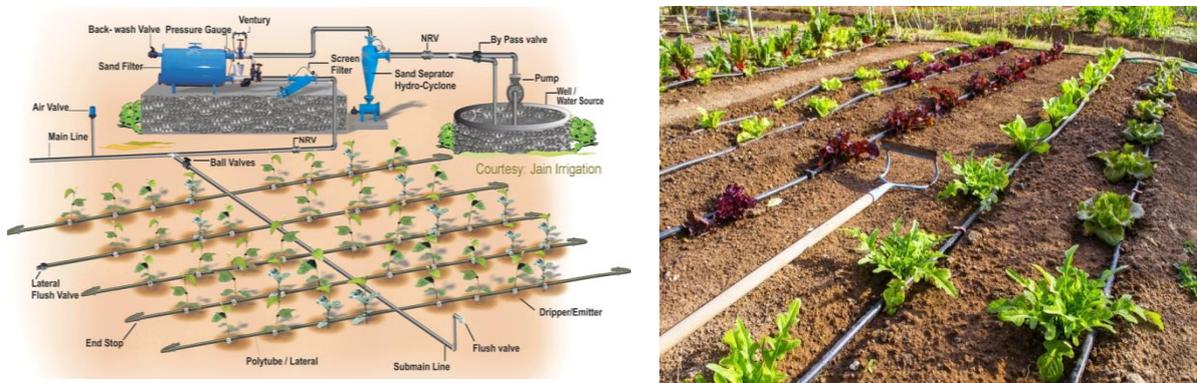


Figure 2.6 : irrigation localisé

En plus des goutteurs, l'irrigation localisée peut en cas par exemple des maraîchères reposée sur les gaines souples posée dans les rigoles préparées à l'avance pour éviter les déplacements des gaines une fois remplis d'eau. La pose peut être effectuée à l'aide d'un engin ou d'un petit tracteur. Les perforations peuvent être effectuées sur un ou deux cotés. Elles peuvent être standards ou selon les espacements des cultures. La gaine peut être munie de manchettes souples de dérivation qui permettent d'irriguer au centre des raies, sans se soucier d'un emplacement précis des perforations.

Les gaines sont facilement installées sur le terrain et demandent un investissement modeste. Cependant, elles présentent l'inconvénient d'être fragiles et ne peuvent en aucun cas être utilisées pour élever l'eau. [18]



Figure 2.7 : irrigation localisé par gain souple

2.3.1. EQUIPEMENT DE SYSTEME GOUTTE A GOUTTE

L'installation est composée d'une source d'eau, d'une station de pompage, d'une unité de tête, des canalisations principales et secondaires, des distributeurs, de station de filtration.

2.3.1.1. UNITE DE TETE

Cette unité est reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des portes rampes ou même des rampes.

Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles, azote en particulier [20].

2.3.1.2. VANNES ET MANOMETRES

Au niveau du réseau de distribution, les vannes permettent le passage de l'eau de la conduite d'amené au poste d'arrosage et commande l'irrigation d'un secteur, ainsi les manomètres sont des appareils indispensables au fonctionnement du réseau d'irrigation localisée, indiquant la pression à l'entrée et à la sortie des filtres et des secteurs d'irrigation à différents endroits [21].



Figure 2.8 : Unité de tête (Bac, Pompes, Vannes et Manomètres)

2.3.1.3. LA FILTRATION

L'irrigation goutte à goutte nécessite une filtration adéquate des impuretés contenues dans l'eau d'irrigation ainsi que celles qui peuvent se former en cours d'utilisation [22].

La filtration a pour objet d'extraire de l'eau, destinée à être injectée dans le réseau d'irrigation, les impuretés susceptibles d'obérer le bon fonctionnement de celui-ci notamment en obstruant les distributeurs.

Les dispositifs de filtration installés doivent être adaptés aux caractéristiques de l'eau brute à traiter et à celles requises par les distributeurs de l'installation [23]. Il existe deux types de filtration, en l'occurrence filtration à sable et filtration à tamis.



Figure 2.9 : filtration à sable et à tamis

2.3.1.4. LES GOUTTEURS

Les goutteurs délivrent ponctuellement de petits débits, c'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (quelques l/h). Ils sont montés à de faibles espacements sur des tuyaux souples constituant les rampes d'arrosage posées sur le sol le long des rangs de la culture [25].



Figure 2.10 : Goutteur

2.3.1.5. LES GAINES

Les gaines sont constituées de tuyaux en plastique qui assurent à la fois les fonctions de transport et de distribution de l'eau [23].



Figure 2.11 : Gaines

2.3.2. AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS

Les avantages et inconvénients de l'irrigation localisée sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2.2: les avantages et les inconvénients de l'irrigation localisée

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Economie en eau 50 à 70% d'eau et d'engrais. • Réduction de la pollution de la nappe phréatique. • Facilite l'exploitation des sols. • Possibilité d'exploitation des terrains à topographie et configuration irrégulières. • Accès facile aux parcelles pour la réalisation des différentes opérations culturales. • Augmentation du rendement et amélioration de la qualité des produits [1]. 	<ul style="list-style-type: none"> • La difficulté de la gestion de l'irrigation localisée, qui exige une technicité élevée. • Le risque d'un dessèchement rapide des plantes en cas d'arrêt spontané et prolongé de l'apport d'eau. • Le cout d'installation d'équipement et de matériel d'irrigation est plus élevé. • Le risque de colmatage ou de bouchage du distributeur constituant l'inconvénient majeur de ce système [1].

2.4. IRRIGATION PAR ASPERSION

Dans ce système d'arrosage l'eau est répandue sous forme de pluie artificielle sur le sol, grâce à l'utilisation d'appareil dits « asperseurs » alimentés en eau sous pression, ce mode d'irrigation permet un dosage précis des apports d'eau, donc une économie d'eau.

Employée depuis longtemps par les jardiniers horticulteurs et les arboriculteurs pour les cultures maraîchères florales, arbustives, fruitières, cette technique peut être utilisée pour les grandes cultures.

Le choix du type d'asperseur dépend de la nature du sol, du type de cultures et du mode d'installation qui peut être fixe ou mobile [26].



Figure 2.12 : Asperseurs

2.4.1. IRRIGATION PAR RAMPE A VANNETTES

Ce type de matériel correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage du débit par des vannettes coulissantes; qui offrent des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100%.

Il est constitué d'une conduite enterrée sur laquelle on fixe des cannes dont on peut régler le débit ainsi que l'orientation du jet. Cette technique présente l'avantage de ne pas gêner les travaux agricoles. [18]



Figure 2.13 : Irrigation à vannettes

2.4.2. LE PIVOT

Le pivot appelé rampe pivotante est un appareil d'irrigation mobile arrosant en rotation une surface circulaire ou semi-circulaire [23].

Il est en général à poste fixe, mais il peut être conçu pour être déplacé d'un poste à l'autre [23].

Il est constitué par une canalisation de grande longueur tournant autour d'un axe ou pivot par lequel se fait d'eau et d'électricité [23].

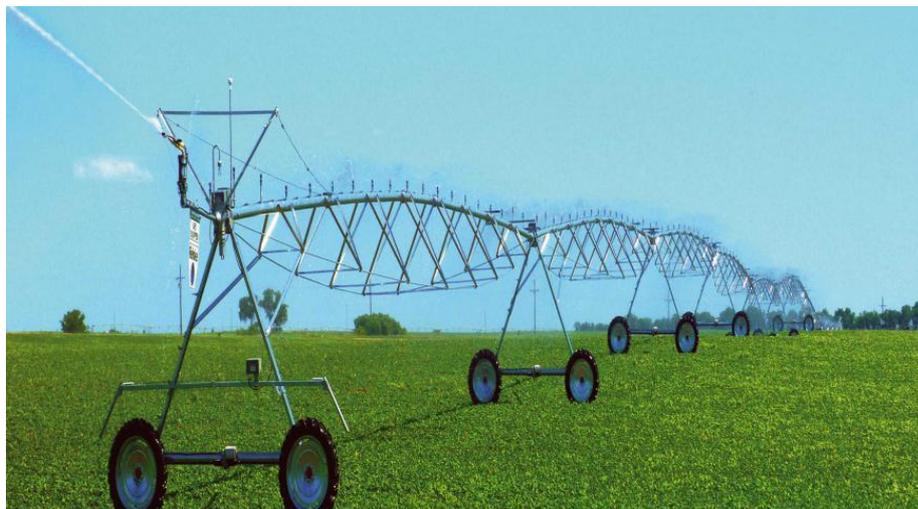


Figure 2.14 : Irrigation par Pivot

2.4.3. LES RAMPES FRONTALES

Les rampes frontales se déplacent en translation tout en arrosant. Elles sont guidées par une tour motrice qui fournit ou reçoit l'énergie.

En général, ces appareils sont conçus pour arroser des parcelles rectangulaires de faible largeur et de grande longueur [23].



Figure 2.15 : Irrigation par Rampes Frontales

2.4.4. L'ENROULEUR

L'enrouleur est constitué d'un canon d'arrosage monté sur un traineau ou sur un chariot tracté par un tuyau d'alimentation en eau en polyéthylène ; qui s'enroule sur une bobine (tambour) disposé sur un châssis et mue par un moteur hydraulique [23].



Figure 2.16 : Irrigation par Enrouleurs

2.4.5. AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS

Les avantages et inconvénients de l'irrigation localisée sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2.3 : les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Suppression de nivellement et de la préparation du sol. • S'adapte aux terrains perméables. • Economie de mains d'œuvre. • Lutte contre les gelées et parasites. • Lavage du feuillage. • Utilisation de petits débits continus. • Utilisation de sols peu profonds et une amélioration de la qualité des produits [1]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépenses élevés. • Entretien. • Amortissement préparation de l'eau par grand vent. • Encombrement des appareils • Terres gorgée d'eau • Risque d'accidents mécaniques [1].

2.5. LE SYSTEME D'IRRIGATION INTELLIGENT

Le système d'irrigation agricole intelligent est un système de contrôle automatique agricole.

C'est un système d'économiser l'eau dans le but d'assurer la demande en eau des cultures agricoles, cela signifie simplement que l'irrigation agricole n'a pas besoin de contrôle humain.

Le système peut mesurer dynamiquement quand l'irrigation est nécessaire et pendant combien de temps. Un système d'irrigation agricole intelligent peut automatiquement activer ou désactiver l'irrigation. La quantité d'irrigation peut être augmentée lorsque le sol est trop sec et diminuée lorsque le sol est trop humide [27].

2.5.1. LES RESEAUX CAPTEUR SANS FIL (RCSF)

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF ou WSN : Wireless Sensor Networks en anglais) est un réseau interconnecté de tels dispositifs, avec la capacité de détecter, traiter et transmettre des informations avec limitations, c'est un système distribué de grande échelle [28].

Ces capteurs peuvent être programmés pour enregistrer des mesures telles que la température et l'humidité. Toutes les données qui sont recueillies par les capteurs sont transférées à un nœud puits qui les envoyé à l'utilisateur final à travers le réseau sans fil, Internet ou LAN.

Les RCSF est révélée être utile dans des applications qui impliquent des données de surveillance en temps réel. Afin d'optimiser le rendement et l'utilisation des ressources disponibles, ils peuvent jouer un rôle important en raison de leur capacité de fournir des données en temps réel recueillies par les capteurs répartis dans l'espace.

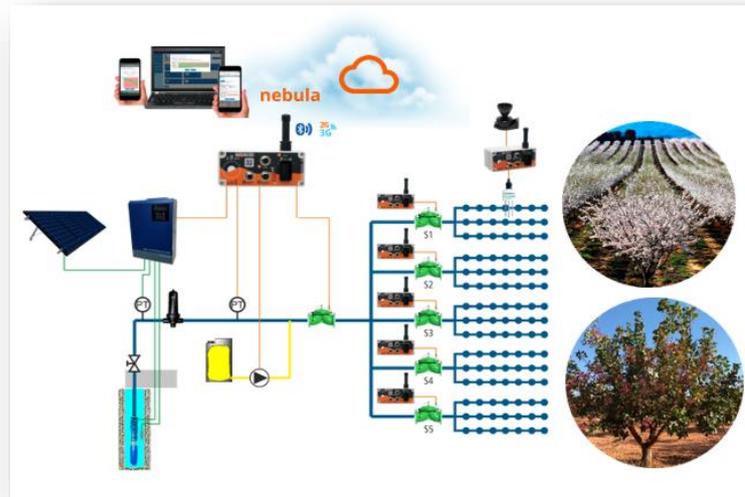


Figure 2.17 : schéma d'un réseau capteur sans fil

2.5.2. PRINCIPE DE L'IRRIGATION INTELLIGENTE RCSF

Le but principal de ce système est de présenter une solution complète d'irrigation pour l'agriculteur à la base de réseau de capteurs sans fil. Son principe est de créer un système d'irrigation automatisé qui possède différents paramètres pour mesurer la quantité efficace de l'eau nécessaire par les plantes.

Cette technologie consiste à utiliser des nœuds de capteurs d'humidité du sol et de température à faible coût ayant consommation de puissance réduite placés dans la zone des racines des plantes, selon la valeur que l'irrigation est contrôlée, ceci n'est rien d'autre qu'un système d'irrigation commandé par un programmeur, l'irrigation est déclenchée automatiquement par le programmeur aux jours et heures voulus, pour la durée programmée, sans intervention humaine [29].

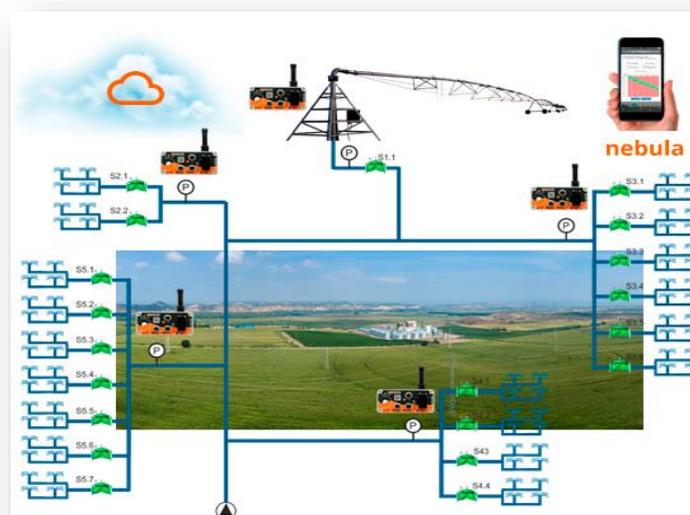


Figure 2.18 : Irrigation intelligent basée sur RCSF

2.5.3. Importance de RCSF dans l'irrigation intelligente :

Importance de ce système est de résoudre les deux grands problèmes dans l'agriculture : la sous-irrigation et la sur-irrigation, ce qui permet une meilleure production avec la possibilité de suivre le taux d'humidité de manière à conserver au maximum les plantes en vie, car chaque plante a besoin d'un taux d'humidité spécifique [15], à un débit adapté pour permettre l'absorption de cette eau.

L'irrigation à base de capteurs augmente l'efficacité de l'irrigation, tout en bénéficiant de l'environnement. D'où l'utilisation de l'accès sans fil pour les opérations d'irrigation offre beaucoup plus de potentiel pour un gain de temps et le coût des agriculteurs dans la gestion de l'eau des cultures. En outre il y a le contrôle sur vos besoins d'irrigation et de gagner plus de profit dont l'utilisation efficace de l'eau [30].

2.6. CHOIX DES TECHNIQUES D'IRRIGATION

Le choix de l'un ou de l'autre de ces techniques ne peut se faire au hasard, mais sur la base d'une analyse bien détaillée de ces différents modes et leur degré de compatibilité avec les contraintes de la région considérée du point de vue agronomique, naturel, technique et socioéconomique [31].

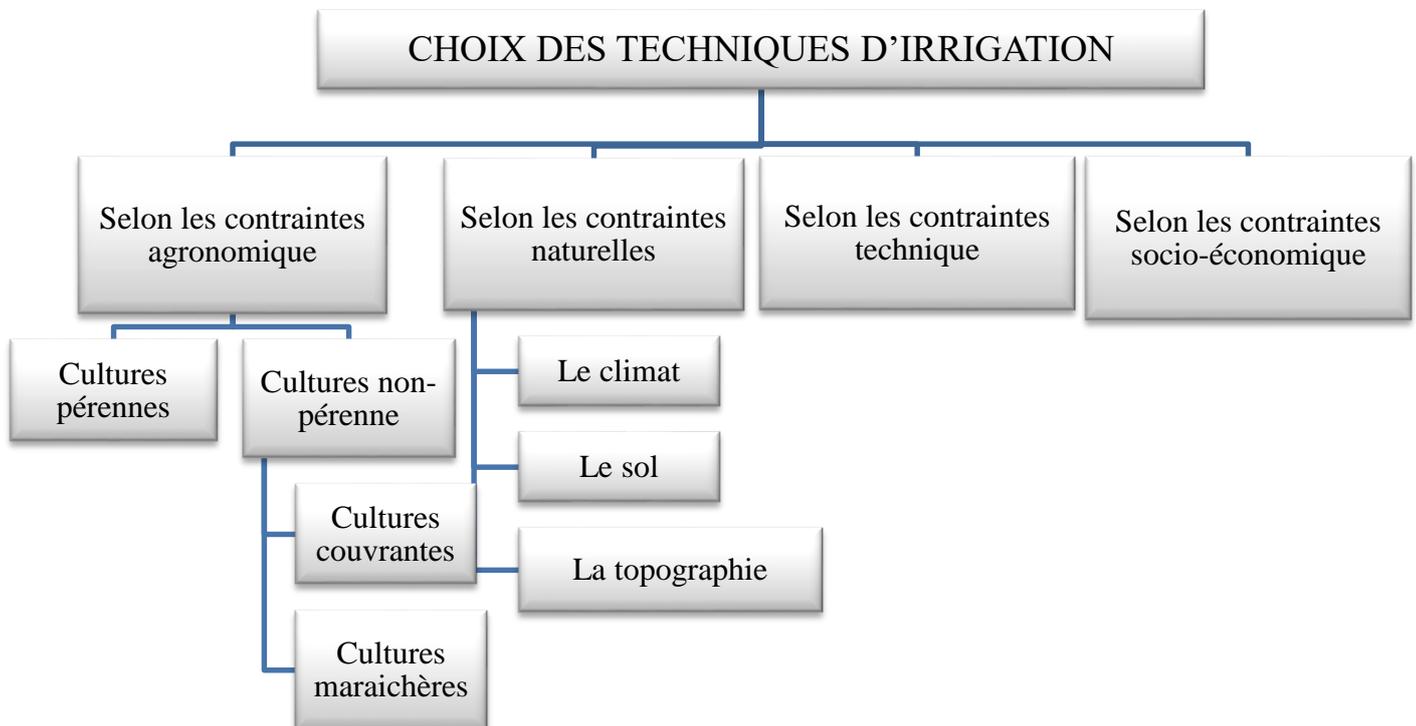


Figure 2.19 : schéma descriptif de choix de technique d'irrigation

CHAPITRE 03
CONDITIONS DU MILIEU

3.1. INTRODUCTION

L'élaboration des données concernant le milieu physique de la région d'étude fait appel à un certain nombre de disciplines spécialisées en géologie et hydrogéologie, climatologie, pédologie et ressources en eau, le but de ce chapitre est d'essayer à présenter convenablement notre zone d'étude.

3.2. ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE DU SITE

3.2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le site étudié est situé au juxtaposé du barrage Meffroucheà environ 3 Km à son Ouest.

Le périmètre appartient administrativement à la commune de Terni ; daïra de Mansourah ; Wilaya de Tlemcen, il est distant de 6 Km à l'Est du chef-lieu communal et à 12 Km au Sud du chef-lieu de la Wilaya de Tlemcen.

La délimitation géographique de la zone concernée par l'étude est indiquée dans la figure N°3.1, ainsi que la vue aérienne dans la figure N°3.1.



Figure 3.1 : la situation géographique de village Terni



Extrait de la carte Google Earth (le 28/05/2021)

Figure 3.2 : situation du périmètre agricole par rapport au Chef-lieu de Wilaya



Extrait de la carte Google Earth (le 28/05/2021)

Figure 3.3 : situation du périmètre agricole par rapport au Chef-lieu Communal

3.2.2. TOPOGRAPHIE ET RELIEF

Le relief de la zone d'étude varie d'une altitude de 1181m à 1122m ; le périmètre connaît des faibles pentes dans sa partie Nord ; par contre dans sa partie Sud sa topographie devient irrégulière avec des fortes pentes.

On enregistre deux points hauts ; le premier à 1176m au centre du périmètre agricole et le second à 1187m à la limite supérieure de périmètre. La pente moyenne du périmètre est de 6.65%.

3.2.3. SUPERFICIE DU PERIMETRE D'ETUDE

Le périmètre d'étude de à une superficie de 58.5Ha, et un périmètre de 4593m.



Extrait de la carte Google Earth (le 28/05/2021)

Figure 3.4 : Vue générale du périmètre agricole Terni-Oued-Fel

3.2.4. SITUATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Géologiquement, le périmètre agricole étudié enclave trois formations, dont deux importantes. Le jurassique supérieur de type tithonien est en prépondérance au Nord et Sud du périmètre et qui sont riche en dolomies cristallines, calcaires et marnes, cette formation est caractérisée par des épandages orientés vers le Sud/Est.

La seconde importante formation est celle de l'ère du crétacé inférieur de formation géologique dite berriasien-hauterivien, caractérisé par les calcaires dolomités et marne, cette formation englobe une grande partie du centre et le Sud/Est du périmètre.

Quant à la dernière formation, elle est peut représenter dans le périmètre ; elle est du quaternaire de type holocène, caractérisée par les alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulations de piémont, sables, graviers et argiles.



Figure 3.5 : la situation géologique de village Terni

Point de vue hydrogéologique, le périmètre étudié repose sur nappe aquifère de type karstique moyennement riche en eau, avec une moyenne de plus de 53 Mm³/an floctuant entre près de 100 Mm³/an dans les périodes humides et près de 13 Mm³/an en période sèche.

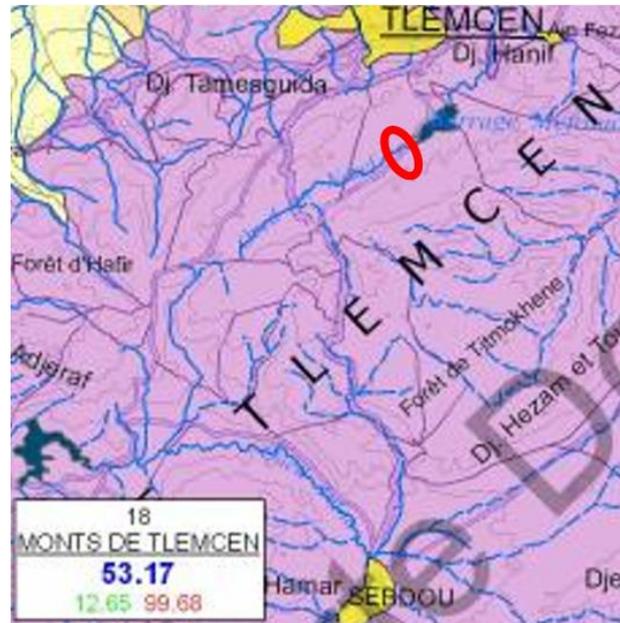


Figure 3.6 : la situation hydrogéologique de village terni

3.2.5. PEDOLOGIE DE LA REGION

Le sol est défini comme étant la couche superficielle qui couvre la roche mère. Il se développe en fonction de la nature de cette dernière, de la topographie et des caractéristiques du climat.

Le sol est le résultat de la transformation d'une roche mère sous l'influence des facteurs physiques, chimique et biologiques [33].

Dans la région du Meffrouche, la nature de la roche mère permet de distinguer deux grands types de sols [33]:

- Les sols rouges méditerranéens formés sur les calcaires ou les dolomies.
- Les sols typiquement lessivés ou même les sols podzoliques que l'on trouve sur les grès séquaniens.
- Les sols rouges méditerranéens ; Ce type de sol très important en raison de la grande extension des formations calcaires dans cette région, apparait lié à la présence d'une roche mère calcaire ou dolomitique dure, compacte, bien cristallisée et dont le mode d'altération a imprimé le paysage d'un faciès typique. On le trouve formé aussi bien en position de plateau qu'en position de pente. Les plus beaux exemples et les plus complets se trouvent sous couvert forestier (forêt de pins).
- Les sols lessivés podzoliques ; La perméabilité de la roche mère liée à la présence d'un humus acide, a favorisé le développement de sols dans lesquels le lessivage est plus exalté. Ces sols sont en général assez peu profonds.

3.2.6. ASSOLEMENT ET CHOIX DES CULTURES

Pour la suite de l'étude et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, nous sommes amenés à choisir un assolement qui tient compte de l'aptitude des sols, des besoins des plantes et des conditions climatiques.

L'assolement n'est qu'une technique qui consiste à procéder à une rotation des cultures sur une surface donnée pour protéger les sols et éventuellement les enrichir et lutter contre leur appauvrissement en éléments nutritifs (nitrates, phosphates, potassium, oligo-éléments...).

Les avantages des assolements sont multiples et nous pouvons citer :

- La lutte contre les mauvaises herbes.
- Alimentation des plantes pour une bonne utilisation des éléments fertilisants, il faut faire alterner les plantes à racines profondes et celles à racines superficielles, les plantes améliorantes et les plantes épuisantes. Il peut y avoir aussi appauvrissement en oligo-éléments.
- Protection contre les insectes et les maladies en alternant les cultures (les parasites ne trouvant plus plantes auxquelles ils sont adaptés, sont arrêtés dans leur développement).

Pour déterminer les besoins hydriques, on adopte un assolement composé de plantes types.

Cet assolement doit tenir compte de l'aptitude agronomique des sols, des cultures existantes (l'arboriculture) et des cultures à introduire ou à développer.

Les plantes types retenues doivent représenter un ensemble de cultures et doivent être choisis de façon à être les plus grands consommateurs d'eau dans leur catégorie.

Tableau 3.1 : Choix de cultures et assolement

Cultures		Période de végétation	Superficie	assolement (%)	Coefficient cultural (kc)	Profondeur des racines h (m)
Arboriculture	cerise	Janvier – Mars	8,80	18,11	0,85	0,60
	amandes	Avril – Septembre	5,00	10,29	0,75	0,60
	pommier	Mars – Octobre	3,40	7,00	0,80	0,9
Maraîchères	Tomate	Janvier – Février	8,80	18,11	0,90	0,30
		Avril – Décembre				
	Pommes de terre	Septembre – Décembre Mars – Juin	7,60	15,64	1,05	0,60
Céréale	blé	Décembre – Juin	4,50	9,26	1,10	0,10
	pois chiche	Octobre	1,00	2,06	1,00	1,00
	haricot	Juin – Septembre	1,00	2,06	1,20	1,00
Fourrages	Luzerne	Février – Septembre	8,50	17,49	0,70	0,12

3.3. ETUDE CLIMATOLOGIE

L'étude du climat peut être réalisée à partir :

- Des méthodes de visualisation des périodes sèches et des périodes humides.
- Des indices climatiques annuels et mensuels.

Pour déduire le modèle climatique il faut d'abord déterminer les facteurs climatiques ils sont comme suit :

3.3.1. LA TEMPERATURE

3.3.1.1. TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

La figure N°3.7 montre la variation des Températures moyennes mensuelles de la série étudiée. On peut remarquer que la température moyenne annuelle autour de 12,25°C, la température moyenne la plus basse apparaît au mois de janvier avec 5,3°C, alors que la plus élevée se présente en aout où elle atteint 22,10°C.

La saison chaude s'étend de mai à octobre, mois pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide s'étend de novembre jusqu'à mars.

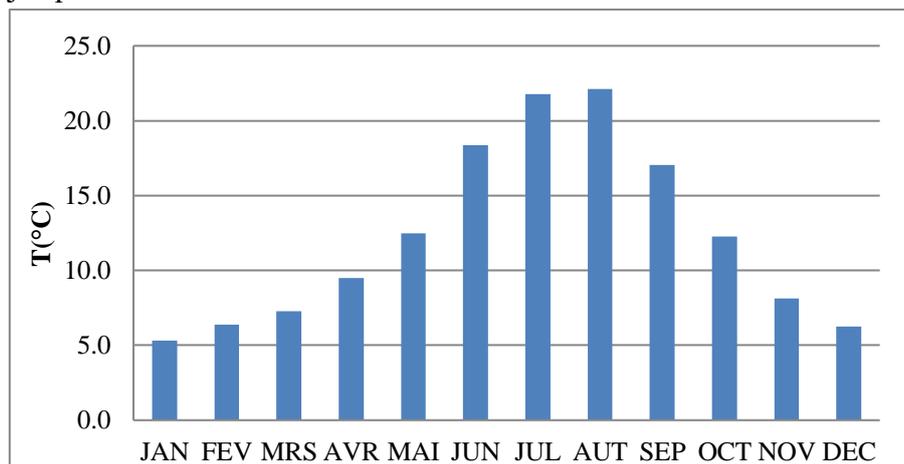


Figure 3.7 : Température moyenne mensuelle (période 1987 – 2005)

3.3.1.2. TEMPERATURES MOYENNES MAXIMALES

La figure N°3.8 montre la variation des Températures moyennes maximales de la série étudiée. On peut remarquer que la température moyenne maximale autour de 26,7°C, la température moyenne maximale la plus basse apparaît au mois de janvier avec 17,50°C, alors que la plus élevée se présente en juillet où elle atteint 36,5°C.

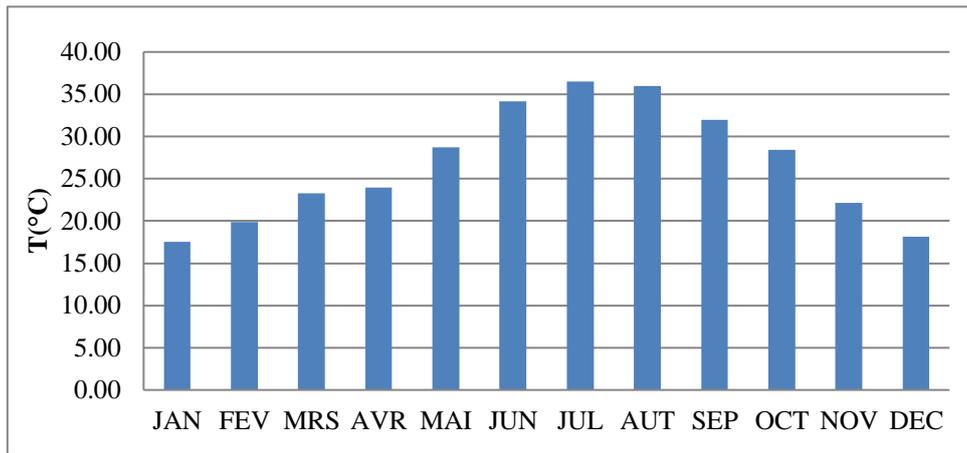


Figure 3.8 : Température moyenne maximum (période 1987 – 2005)

3.3.1.3. TEMPERATURES MOYENNES MINIMALE

La figure N°3.9 monte la variation des Températures moyennes minimales de la série étudiée. On peut remarquer que la température moyenne minimale autour de 3,0°C, la température moyenne minimale la plus basse apparait au mois de février avec -3,1°C, alors que la plus élevée se présente en aout où elle atteint 11,6°C.

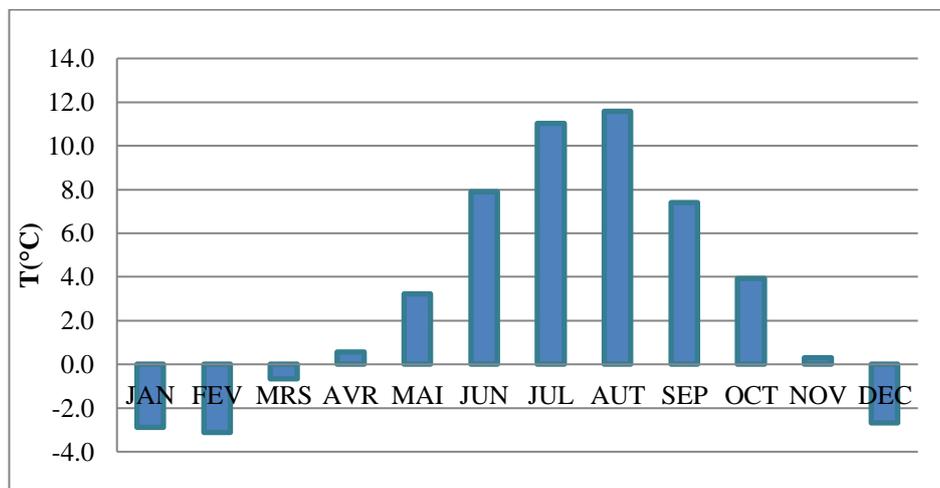


Figure 3.9 : Température moyenne minimum (période 1987 – 2005)

3.3.2. LA PLUVIOMETRIE

La station sélectionnée, est celle de Tlemcen qui par sa position semble être représentative de la région d'étude. La série de données pluviométriques utilisées est celle comprise entre 2005 et 2020.

D'après la figure N°3.10 nous avons remarqué que le mois le plus sec est juillet avec une moyenne de 3.21 mm et le mois le plus arrosé est le celui de novembre, qui présente la valeur maximale de précipitation, qui est égale à 89 mm.

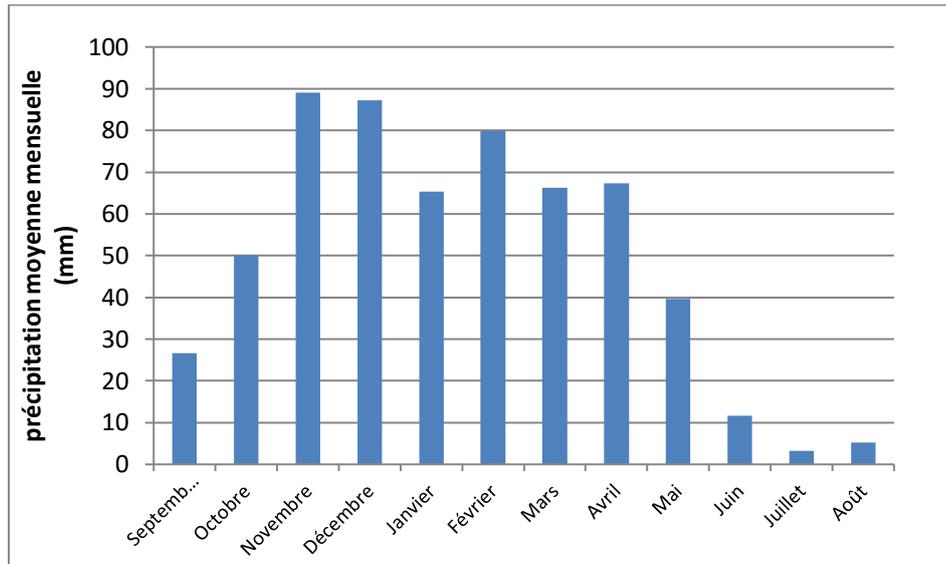


Figure 3.10 : Répartition mensuelle des précipitations de la station de Meffrouche

3.3.3. ELABORATION CLIMATOLOGIQUE

3.3.3.1. QUOTIENT PLUVIOMETRIQUE « D'EMBERGER »

$$Q = \frac{1000 \times P}{\frac{M+m}{2} \times (M - m)}$$

Avec :

P : précipitation annuelle ;

M : température moyenne du mois le plus chaud ;

m : température moyenne du mois le plus froid ;

(M et m en degré kelvin ' °K ').

Tableau 3.2 : Quotient d'Emberger

Mois	Pluviométrie	T° Max en °C	T° Min en °C
Septembre	26,68	31,99	7,39
Octobre	50,01	28,39	3,92
Novembre	89,03	22,13	0,29
Décembre	87,18	18,16	-2,68
Janvier	65,41	17,5	-2,89
Février	79,92	19,89	-3,11
Mars	66,22	23,27	-0,66
Avril	67,28	23,94	0,55
Mai	39,69	28,72	3,24
Juin	11,59	34,19	7,89
Juillet	3,21	36,51	11,03
Août	5,21	35,98	11,59
Pluviométrie annuelle		M (en °C)	m (en °C)
591,4256		36,51	-3,11
		M (en °K)	m (en °K)
		309,66	270,04
Quotient (Q)	51,5		

En reportant le quotient pluviométrique trouvé sur le climato gramme d'Emberger, on détermine la zone climatique de la région considérée.

Nous remarquons que notre périmètre appartient à une zone à climat «humide» ; Présentant des Hivers froids.

3.3.3.2. INDICE D'ARIDITE DE DEMARTONE

DEMARTONE propose la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I : indice climatique.

P : hauteur moyenne annuelle (mm).

T: température moyenne annuelle (°C).

Tableau 3.3 : Limite des climats d'après l'indice climatique de DEMARTONE

<i>Indice d'aridité</i>	<i>Climat</i>	<i>Irrigation</i>
P < 5	Extrêmement sec	Indispensable
5 < P < 10	Très sec	
10 < P < 20	Sec	Souvent Indispensable
20 < P < 30	Relativement humide	Parfois utile
30 < P < 50	Humide	Inutile
50 < P	Très humide	

Pour notre cas : P = 591.43 mm et T =12.246°C.

$$I = \frac{591.43}{12.246 + 10} = 26.59$$

Cette valeur traduit un climat Relativement humide, l'irrigation est parfois utile.

3.3.4. L'EVAPORATION

La quantité d'eau évaporée dans la région de Meffrouche est influencée par le degré de température et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa.

La figure N°3.11 montre la variation de l'évaporation moyenne mensuelle de la série étudiée.

On constate généralement la valeur plus élevée avec 0,20 mm apparaît au mois juillet, la valeur le moins élevée est enregistrée au cours de moins de janvier (0,04 mm).

L'évaporation annuelle à la station de Tlemcen est de l'ordre 0,1mm.

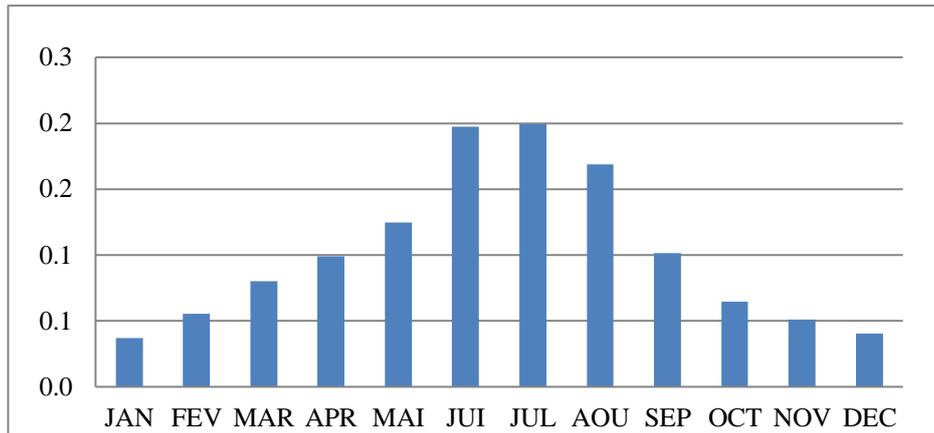


Figure 3.11 : Evaporation moyenne mensuelle (période 2004 – 2013)

3.3.5. L'INSOLATION ET ECLAIRAGE

Pour estimer les caractéristiques thermiques de la zone d'étude nous définissons :

- Le pourcentage d'heures diurnes du mois considéré par rapport au total annuel des heures diurnes (p) exprimé en %,
- La durée d'insolation effective (h) mesurée par héliographe,
- La durée du jour astronomique (H) en heures et
- La radiation maximale théorique (I0) en cal/cm².j.

La figure N°3.12 montre la variation mensuelle moyenne de l'ensoleillement au niveau de la station de mesure de Tlemcen, Le maximum d'ensoleillement est relevé en juin avec 14,29 h, et le minimum au mois de décembre avec 9,81 h.

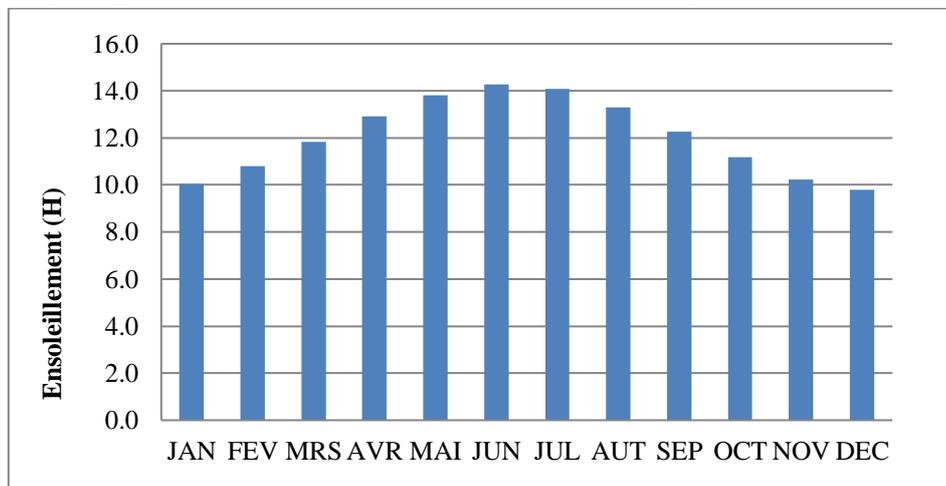


Figure 3.12: Ensoleillement moyenne mensuelle de la station de Tlemcen

3.3.6. L'EVAPOTRANSPIRATION

Comme indiqué au chapitre 01, l'évapotranspiration est calculée par les méthodes indirectes, suivant les relations de TURC, TRONTHWAITE et BLANEY-GRIDDLE

Nous résumons les calculs de l'évapotranspiration par les différentes méthodes dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 3.4 : L'évapotranspiration avec la formule de Turc

Mois	I ₀ (en Cal/cm ² .j)	h	H (en heures)	I _g (Cal/cm ² .j)	T (°C)	Etp (mm)
Janvier	332,780	198,000	10,047	4125,997	5,314	436,98
Février	440,610	158,000	10,804	4074,326	6,392	492,95
Mars	564,980	176,000	11,825	5315,279	7,289	701,86
Avril	677,970	213,000	12,925	7049,131	9,500	1101,09
Mai	745,320	278,000	13,825	9426,263	12,499	1722,88
Juin	765,130	291,000	14,288	9799,310	18,347	2167,59
Juillet	741,010	335,000	14,079	11065,108	21,774	2632,50
Août	679,870	318,000	13,304	10197,780	22,100	2441,79
Septembre	582,550	255,000	12,263	7615,350	17,058	1631,48
Octobre	462,660	233,000	11,179	6061,977	12,279	1100,46
Novembre	353,110	188,000	10,217	4091,993	8,126	582,18
Décembre	299,890	197,000	9,808	3788,540	6,274	452,80

Tableau 3.5 : L'évapotranspiration avec la formule de TRONTHWAITE

<i>Mois</i>	<i>f</i>	<i>T</i>	<i>i</i>	ETP (cm)	(mm)
<i>Janvier</i>	0,88	5,31	1,10	1,50	14,96
<i>Février</i>	0,85	6,39	1,45	1,83	18,33
<i>Mars</i>	1,03	7,29	1,77	2,63	26,31
<i>Avril</i>	1,09	9,50	2,64	3,91	39,15
<i>Mai</i>	1,21	12,50	4,00	6,19	61,86
<i>Juin</i>	1,21	18,35	7,16	10,14	101,39
<i>Juillet</i>	1,23	21,77	9,28	12,85	128,47
<i>Août</i>	1,16	22,10	9,49	12,35	123,50
<i>Septembre</i>	1,03	17,06	6,41	7,86	78,58
<i>Octobre</i>	0,97	12,28	3,90	4,85	48,47
<i>Novembre</i>	0,86	8,13	2,09	2,53	25,26
<i>Décembre</i>	0,85	6,27	1,41	1,79	17,90
		I	50.69	68.42	684.2
		a	1.29		

Tableau 3.6 :L'évapotranspiration avec la formule de BLANEY-GRIDDLE

Mois	t (°C)	P (%)	Etp (mm)									Etp (mm)
			cerise	amandes	poires	Tomate	Pommes de terre	blé	Pois chiche	haricot	Luzerne	
Janvier	5,31	6,97	4,40	-	-	2,20	-	0,76	-	-	-	7,36
Février	6,39	5,56	3,67	-	-	1,84	-	0,64	-	-	0,73	6,88
Mars	7,29	6,20	4,24	-	10,61	-	4,24	0,74	-	-	2,12	21,95
Avril	9,50	7,50	-	5,58	13,96	2,79	5,58	0,97	-	-	2,79	31,67
Mai	12,50	9,79	-	8,08	20,20	4,04	8,08	1,40	-	-	4,04	45,83
Juin	18,35	10,25	-	10,07	25,19	5,04	10,07	1,75	-	16,79	5,04	73,94
Juillet	21,77	11,80	-	12,69	31,72	6,34	-	-	-	21,15	6,34	78,25
Août	22,10	11,20	-	12,14	30,36	6,07	12,14	-	-	20,24	6,07	87,03
Septembre	17,06	8,98	-	8,52	21,29	4,26	8,52	-	-	14,19	4,26	61,03
Octobre	12,28	8,20	-	-	16,80	3,36	6,72	-	11,20	-	-	38,09
Novembre	8,13	6,62	-	-	-	2,34	4,68	-	-	-	-	7,02
Décembre	6,27	6,94	-	-	-	2,28	4,56	0,79	-	-	-	7,63
Total												466,68

Tableau 3.7 : Récapitulation des calculs de l'Etp (en mm)

	Turc	Thorntwaite	Blaney-Griddle
Janvier	436,98	14,96	7,36
Février	492,95	18,33	6,88
Mars	701,86	26,31	21,95
Avril	1101,09	39,15	31,67
Mai	1722,88	61,86	45,83
Juin	2167,59	101,39	73,94
Juillet	2632,50	128,47	78,25
Août	2441,79	123,50	87,03
Septembre	1631,48	78,58	61,03
Octobre	1100,46	48,47	38,09
Novembre	582,18	25,26	7,02
Décembre	452,80	17,90	7,63
Total	15464,56	684,17	466,68

Nous remarquons que les valeurs données par les différentes formules sont relativement dispersées.

En effet, l'Etp est rarement mesurée, elle est le plus souvent calculée par des formules à partir de données climatiques mesurées.

Ces trois formules ne sont pas toutes équivalentes, leur validité et leur représentativité varient selon les paramètres utilisés.

Nous adoptons pour notre étude la relations de Blaney-Griddle, parce qu'elle intègre les conditions du milieu et les caractéristiques des plantes par l'intermédiaire du coefficient cultural Kc.

3.4. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL

Le sol est un milieu vivant avec des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques qui ont chacune un rôle déterminé pour le développement des plantes.

Dans ce paragraphe nous étudions les caractéristiques physiques du sol.

3.4.1. EAU DANS LE SOL

L'eau se trouve dans le sol sous diverses formes, selon sa position par rapport aux particules terreuses et selon son origine.

L'eau dans le sol se répartit en trois catégories représentées dans le schéma suivant :

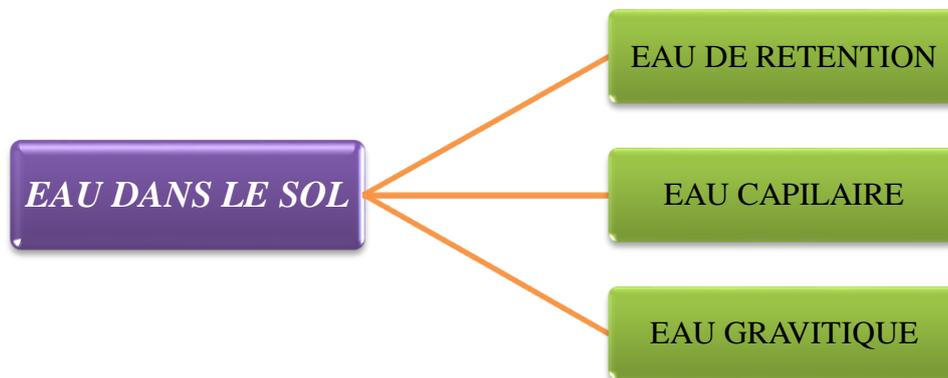


Figure 3.13 : schéma descriptif des trois catégories de l'eau dans le sol

Tableau 3.8 : les formes de l'eau dans le sol

EAU DE RETENTION	EAU CAPILLAIRE	EAU GRAVIFIQUE
<p>L'eau hygroscopique se trouve au contact des particules solides en quantité variable en fonction surtout de la texture. Cette eau ne peut être utilisée par les plantes à cause de la très forte attraction des particules qui dépasse fortement la force de succion des plantes.</p> <p>L'eau pelliculaire appelée aussi d'adhésion, entoure les particules du sol. Elle peut être en partie (la couche superficielle de la pellicule) utilisée par certaines plantes à fort pouvoir de succion.</p>	<p>L'eau capillaire occupe une partie des interstices du sol. On distingue l'eau capillaire isolée qui ne subit pas à l'action de la gravité, et l'eau capillaire continue qui se retrouve dans les zones inférieures.</p>	<p>Elle occupe les espaces restés libres et subit l'action de la gravité. Elle forme avec l'eau capillaire continue la catégorie des eaux libres. Les eaux gravifiques disparaissent rapidement par écoulement et ne sont pratiquement d'aucune utilité pour les plantes.</p>

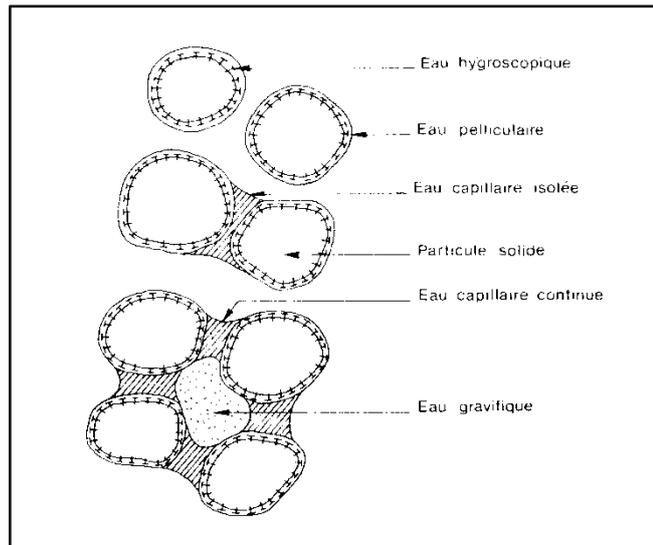


Figure 3.14 : L'eau dans le sol

3.4.2. ECHANTILLONNAGES DU SOL

Pour déterminer les caractéristiques physiques du sol qui sont nécessaires pour l'étude, nous avons effectué des prélèvements d'échantillons de sols en différents points du périmètre, à l'aide d'une tarière de 150 cm d'hauteur,

À l'aide de Google Earth, les profondeurs des échantillons prélevés sont présentés dans le tableau N°3.9.



Figure 3.15 : la tarière (photo prise par HAMDLS et BENSFLA)

Tableau 3.9 : les échantillons et leur profondeurs

N° du site	N° de l'échantillon	Profondeur (cm)
1	1	0-25
	2	25-50
	3	50-75
	4	75-100
	5	100-125
2	1	0-25
	2	25-50
	3	50-75
	4	75-100
	5	100-125
3	1	0-25
	2	25-50
	3	50-75
	4	75-100
4	1	0-25
	2	25-50
	3	50-75
	4	75-100
	5	100-125

Les caractéristiques de l'échantillonnage sont :

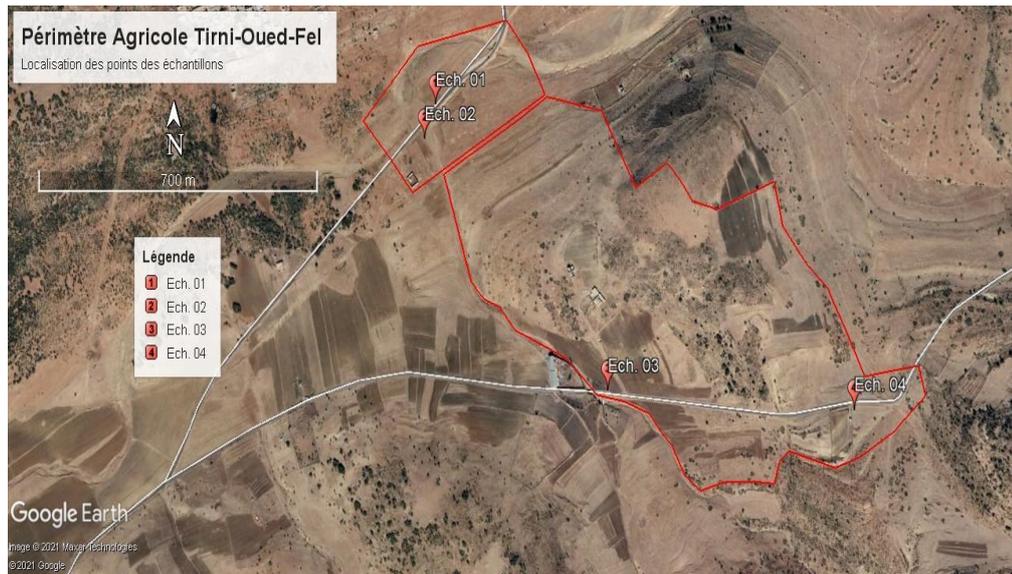
Tableau 3.10 : Les caractéristiques de l'échantillonnage

Date de prélèvements	23/05/2021
Topographie	Pente Forte
Situation	Meffrouche
Temps	Nuageux
Occupation du sol	inexistante
Saison d'étude	Printemps.

3.4.3. ANALYSE DES ECHANTILLONS DU SOL

Pour déterminer les caractéristiques physiques du sol qui sont nécessaires pour l'étude, nous avons procédé à des prélèvements d'échantillons de sols en différents points du périmètre.

Les échantillons prélevés ont servi à des analyses de perméabilité, de densité apparente, d'humidité relative et de granulométrie au niveau laboratoire de mécanique de sol et géotechnique à l'université Abou BekrBelkaid-Tlemcen.



Extrait de la carte Google Earth (le 28/05/2021)

Figure 3.16: Localisation des points des échantillons du périmètre agricole

Ces résultats nous permettront de déterminer les paramètres de base pour le calcul des besoins agricoles, notamment les réserves du sol en quantité d'eau, ainsi que l'aptitude des sols aux cultures.

3.4.3.1. HUMIDITE DU SOL

Le test de la teneur en eau permet la détermination de la quantité d'eau existante dans le sol naturel (échantillon).

$$Te(\%) = \frac{Pe}{Ps} \times 100$$

Avec :

$Pe = P_h - P_s$: Masse de l'eau dans le sol (échantillon) ;

P_h : Masse des particules humide du sol (échantillon) ;

P_s : Masse des particules solides du sol (échantillon).



Figure 3.17: la balance (photo prise par HAMDLS et BENSALIA)



Figure 3.18 : l'Étuve (photo prise par HAMDI S. et BENSALIA.)

3.4.3.2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

Dans cet essai, on traitera la granulométrie par TAMISAGE, cette dernière aura pour but de définir les différentes caractéristiques des granulats afin de déterminer la nature du sol.

On utilise une série de tamis (passoires normalisées) monter l'un sur l'autre, avec des diamètres décroissants, ceci va nous donner des résultats qu'on va traduire en courbe appelée courbe granulométrique.

Pour effectuer l'analyse par voie sèche il est important d'éliminer les fines poussières et impuretés sur le matériau, pour cela on lave méticuleusement et on passe l'échantillon à l'étuvage. La quantité de sol retenu dans chaque tamis est appelée refus du tamis, celle qui passe au travers d'un tamis est appelée tamisât du tamis.



Figure 3.19 : une batterie de 18 tamis (photo prise par HAMDLS et BENSALIA.)



Figure 3.20: le vibrotamis électrique (photo prise par HAMDLS et BENSALIA.)



Figure 3.21: le 1000 g de sol (photo prise par HAMDLS et BENSFLA)

D10, D30 et D60 étant respectivement les diamètres correspondant à 10%, 30% et 60% d'éléments de dimension inférieure.

- Le coefficient d'uniformité ou de Hazen $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
- Le coefficient de courbure $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.11 : résultats des coefficients de HAZEN et de courbure

	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04
D10	0,65	0,22	0,37	0,56
D30	3,32	1,47	1,94	1,94
D60	5,52	3,84	4,10	4,04
Cu	8,56	17,80	11,00	7,18

3.4.3.3. GRANULOMETRIE PAR SEDIMENTOMETRIE

La sédimentométrie complète l'analyse granulométrique par tamisage ; elle donne la répartition des grains de diamètre inférieure à 80µm.



Figure 3.22 : Dé-floculant (photo prise par HAMDLS et BENSFLA)



Figure 3.23 : Agitateur mécanique (photo prise par HAMDLS et BENSFLA)

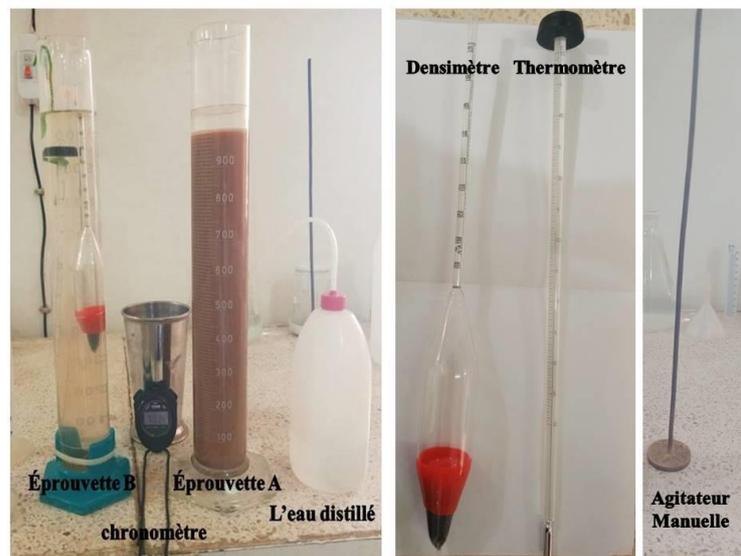


Figure 3.24: Les matériaux utilisés (photo prise par HAMDLS et BENSFLA)

Lors de la décantation de grains solides en suspension dans l'eau, les grains les plus gros chutent plus rapidement que les plus petits. La vitesse de chute est directement liée à leur diamètre (loi de Stokes). Cette relation s'écrit :

$$V = g \times \frac{\delta_s - \delta_w}{18 \cdot \eta} \times D^2$$

Avec :

$$D = K \cdot \sqrt{\frac{H_r}{t}}$$

Et

$$K^2 = \frac{18 \cdot \eta}{\delta_s - \delta_w}$$

Et

$$H_r = H - 100 \cdot H_1 \cdot (R_c - R_t) - H_c$$

Avec :

V : La vitesse de décantation de la particule ;

G : Accélération de la pesanteur ;

δ_s : Poids spécifique de la particule (valeur moyenne $26,5 \text{ kN/m}^3$) ;

δ_w : Poids spécifique de l'eau = 10 kN/m^3 ;

η : Viscosité du liquide de décantation c'est en fonction de la température de liquide ;

D : Diamètre de la particule ;

H_r : Profondeur du centre de poussée dans la suspension à l'instant t ;

T : le temps de lecture ;

R_c : La lecture de densimètre dans l'éprouvette A à l'instant t ;

R_t : La lecture de densimètre dans l'éprouvette B (témoin) ;

Les calculs sont résumés dans les tableaux dans annexe C.

3.4.3.4. ANALYSE DE PERMEABILITE

Cette méthode d'essai consiste à déterminer le coefficient de perméabilité par une méthode à charge constante pour l'écoulement laminaire de l'eau à travers les sols grenus. La procédure comporte à établir des valeurs représentatif du coefficient de perméabilité des sols granulaire qui peuvent apparaitre dans les dépôts naturels placés dans les remblais, ou lorsqu'ils sont utilisé comme couches de base sous les chaussées, afin de limiter les influences de la consolidation. L'appareil utilisé est composé de :

- Perméamètre à charge constante ;
- Cylindre gradué ;
- Thermomètre ;
- Tubes en caoutchouc ;
- Chronomètre.



Figure 3.25: Essai de perméabilité à charge constante (photo prise par HAMDIS. et BENSAFIA.)

La perméabilité est égale à :

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$

Avec :

K : perméabilité (cm/s)

A : la surface de l'échantillon (cm²)

Q : débit moyen (cm³)

t : le temps (s)

h : la hauteur de la charge (cm)

L : longueur de l'échantillon (cm)

Les résultats obtenus sont résumés et rangés dans le tableau 3.12 ci-dessous :

Tableau 3.12 : Analyses de laboratoire - Caractéristiques physiques du sol

N° Echantillon	Profondeur (cm)	Temps (Sec)	K (cm/s)
Ech 01	25	4620	5,41E-03
Ech 02	7	908	7,71E-03
Ech 03	7	1098	6,38E-03
Ech 04	9	444	2,03E-02

3.4.4. RESERVE UTILE (RU)

Elle est fonction de la densité du sol, du point de flétrissement, du taux d'humidité maximum et de la profondeur des racines, elle est donnée par :

$$RU = \sum_0^h \frac{H_r - H_f}{100} \cdot dz$$

Avec :

RU : réserve utile.

h : profondeur des racines.

H_r : capacité de rétention.

H_f : point de flétrissement.

dz : tranches de sol.

En général : H_f = 0.55 × H_r, soit :

$$RU = \sum_0^h \frac{0,45 \cdot H_r}{100} \cdot dz$$

Remarque :

On a pris les valeurs d'humidité équivalente H_e obtenue par l'essai « HUMIDITÉ DU SOL » égale à H_r.

3.4.5. RESERVE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)

La réserve utile RU n'est pas entièrement utilisée par les plantes du fait des pertes dues principalement à l'évaporation. On définit alors la réserve facilement utilisable RFU.

Cette grandeur qui dépend de facteurs aléatoires variables comme le couvert végétal est estimée par l'observation. Pour notre contré, nous adopterons la valeur des 2/3 de la RU. Cette valeur est communément admise dans le bassin méditerranéen.

$$Rfu = \frac{2}{3} Ru$$

Les calculs de la RU et la RFU sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 3.13: Réserves utiles et Reserve facilement utilisable du sol

Cultures		Profondeur des racines h (cm)	RU (%)	RFU (%)
arboriculture	Cerisier	60	51,14	34,09
	Amandier	60	51,14	34,09
	Pommier	90	110,68	73,78
maraîchères	Tomate	30	10,17	6,78
	Pommes de terre	60	43,34	28,89
céréales	blé	10,4	1,38	0,92
	pois chiche	100	87,02	58,01
	haricot	100	87,02	58,01
fourrages	Luzerne	12	1,53	1,02

3.5. DEFICIT AGRICOLE ET BESOIN EN EAU

La plante puise continuellement l'eau contenue dans le sol, d'une part pour sa propre constitution, et d'autre part lors du processus de l'évapotranspiration. Cette élimination de l'eau du sol est compensée par des apports extérieurs, sous formes de précipitations, rosée, condensation...etc.

Dans beaucoup de régions, la compensation est généralement insuffisante, et pendant certaines périodes les plantes manqueront d'eau. On dit alors qu'il y a un déficit agricole.

Par la suite, nous négligerons les apports en rosée et en condensation, et le déficit agricole sera fonction uniquement de l'Etp, des précipitations et de la RFU :

$$D_i = ETP_i - P_i - K_{i-1}(RFU)$$

Avec :

D_i : déficit agricole du mois i ;

P_i : précipitation pendant le mois i ;

K_{i-1} (RFU) : est la fraction de la réserve facilement utilisable non consommée le mois précédant et qui est susceptible d'être utilisée par les plantes pendant le mois en cours.

Les besoins B_i en eau varient suivant les plantes, les mois et les années et correspondent à l'apport d'eau complémentaire équivalente aux déficits agricoles donnés par la relation :

$$B = ETP_i - P_i - K_{i-1}(RFU)$$

Nous résumons dans le tableau suivant les résultats des calculs des déficits agricoles et des besoins en eau mensuels :

Tableau 3.14: Déficit agricole et besoins en eau

	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
cerise	-	-	-	-	4,40	3,67	4,24	-	-	-	-	-
amandes	8,52	-	-	-	-	-	-	5,58	8,08	10,07	12,69	12,14
poires	21,29	16,80	-	-	-	-	10,61	13,96	20,20	25,19	31,72	30,36
Tomate	4,26	3,36	2,34	2,28	2,20	1,84	-	2,79	4,04	5,04	6,34	6,07
Pommes de terre	8,52	6,72	4,68	4,56	-	-	4,24	5,58	8,08	10,07	-	12,14
blé	-	-	-	0,79	0,76	0,64	0,74	0,97	1,40	1,75	-	-
pois chiche	-	11,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
haricot	14,19	-	-	-	-	-	-	-	-	16,79	21,15	20,24
Luzerne	4,26	-	-	-	-	0,73	2,12	2,79	4,04	5,04	6,34	6,07
Etp (mm)	61,03	38,09	7,02	7,63	7,36	6,88	21,95	31,67	45,83	73,94	78,25	87,03
Précipitation (mm)	26,7	50,0	89,0	87,1	65,4	79,9	66,2	67,3	39,7	11,6	3,21	5,21
K _{i-1} (RFU) (mm)	-	11,9	82	79,5	58	73,04	44,3	35,60	-	-	-	-
Déficit (mm)	34,35	-	-	-	-	-	-	-	-	2,35	75,03	81,81
Besoins (mm)	34,35	-	-	-	-	-	-	-	-	2,35	75,03	81,81

3.6. PARAMETRES D'AROSAGE

3.6.1. DOSE MAXIMALE THEORIQUE

La dose maximale théorique est la quantité maximale d'eau que le sol est capable d'emmagasiner et qui est susceptible d'être utilisée par les plantes.

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{H_{ri} - H_{fi}}{100} \times h_i$$

Avec :

v : dose maximale théorique (mm) ;

h_i : profondeur des racines (mm) ;

H_r et H_f en % du volume.

Pour un hectare : V = 10. v (en m³/ha).

Elle est égale au volume des eaux capillaires et dépend des caractéristiques des sols.

3.6.2. DOSE PRATIQUE D'ARROSAGE (D_p)

Elle est estimée généralement à :

$$D_p = \frac{2}{3} V (\text{En m}^3/\text{ha})$$

Ceci pour tenir compte des différentes pertes qui se produisent dans le sol.

3.6.2.1. ESPACEMENT D'ARROSAGE (N_i)

Le nombre d'arrosage pendant le mois i est donné par la relation :

$$N_i = \frac{B_i}{D_p}$$

Comme N_i n'est généralement pas entier, on prendra comme nombre d'arrosages le nombre entier juste supérieur à N_i.

3.6.2.2. DOSE REELLE (Dr)

La dose réelle est la quantité d'eau qu'on répartira sur la parcelle pendant la durée d'arrosage :

$$D_r = \frac{B_i}{N_i} (\text{En m}^3/\text{ha})$$

3.6.2.3. MODULE m

Le module (m) est fonction de la perméabilité du sol (K). Il faut donner autant d'eau que le sol est capable d'en absorber par infiltration. Il conviendrait cependant de relier le module (m) à la vitesse de filtration (K) :

$$m = K \times S (\text{En m}^3/\text{s})$$

Nous résumons dans les tableaux suivants les calculs des premiers paramètres d'arrosage pour chaque type de plantes.

Tableau 3.15 : Paramètre d'arrosage pour l'arboriculture (CERISIER)

Mois	P (mm)	Cerise						
		Etp (mm)	Bi (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	Ni	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	4,401	-	511,42	41	-	-	0.47
Fév.	79,92	3,674	-			-	-	
Mars	66,22	4,243	-			-	-	
Avril	67,28	-	-			-	-	
Mai	39,69	-	-			-	-	
Juin	11,59	-	-			-	-	
Juill.	3,21	-	-			-	-	
Août	5,21	-	-			-	-	
Sep.	26,68	-	-			-	-	
Oct.	50,01	-	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	-	-			-	-	

Tableau 3.16: Paramètre d'arrosage pour l'arboriculture (AMANDIER)

Mois	P (mm)	Amandes						
		Etp (mm)	Bi (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	Ni	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	-	-	511,42	341	-	-	0.27
Fév.	79,92	-	-			-	-	
Mars	66,22	-	-			-	-	
Avril	67,28	5,582	-			-	-	
Mai	39,69	8,078	-			-	-	
Juin	11,59	10,074	-			-	-	
Juill.	3,21	12,689	9,474			0,3	315,81	
Août	5,21	12,143	6,929			0,2	346,45	
Sep.	26,68	8,515	-			-	-	
Oct.	50,01	-	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	-	-			-	-	

Tableau 3.17 : Paramètre d'arrosage pour l'arboriculture (POMMIER)

Mois	P (mm)	Pommier						
		Etp (mm)	B _i (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	N _i	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	-	-	1106,82	738	-	-	0.18
Fév.	79,92	-	-			-	-	
Mars	66,22	10,61	-			-	-	
Avril	67,28	13,96	-			-	-	
Mai	39,69	20,20	-			-	-	
Juin	11,59	25,19	13,60			0,2	679,8	
Juill.	3,21	31,72	28,51			0,4	712,6	
Août	5,21	30,36	25,14			0,3	838,13	
Sep.	26,68	21,29	-			-	-	
Oct.	50,01	16,80	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	-	-			-	-	

Tableau 3.18 : Paramètre d'arrosage pour le Maraîchère (TOMATES)

Mois	P (mm)	Tomate						
		Etp (mm)	B _i (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	N _i	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	2,20	-	101,70	67,80	-	-	0.47
Fév.	79,92	1,84	-			-	-	
Mars	66,22	-	-			-	-	
Avril	67,28	2,79	-			-	-	
Mai	39,69	4,04	-			-	-	
Juin	11,59	5,04	-			-	-	
Juill.	3,21	6,34	3,13			0,5	62,6	
Août	5,21	6,07	0,86			0,1	86	
Sep.	26,68	4,26	-			-	-	
Oct.	50,01	3,36	-			-	-	
Nov.	89,03	2,34	-			-	-	
Déc.	87,18	2,28	-			-	-	

Tableau 3.19: Paramètre d'arrosage pour le Maraîchère (ROMME DE TERRE)

Mois	P (mm)	Pommes de terre						
		Etp (mm)	B _i (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	N _i	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	-	-	433,37	289	-	-	0.41
Fév.	79,92	-	-			-	-	
Mars	66,22	4,24	-			-	-	
Avril	67,28	5,58	-			-	-	
Mai	39,69	8,08	-			-	-	
Juin	11,59	10,07	-			-	-	
Juill.	3,21	-	-			-	-	
Août	5,21	12,14	6,93			0,2	346,5	
Sep.	26,68	8,52	-			-	-	
Oct.	50,01	6,72	-			-	-	
Nov.	89,03	4,68	-			-	-	
Déc.	87,18	4,56	-			-	-	

Tableau 3.20 : Paramètre d'arrosage pour la Céréaliculture (BLE)

Mois	P (mm)	blé						
		Etp (mm)	B _i (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	N _i	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	0,76	-	13,82	9	-	-	0.24
Fév.	79,92	0,64	-			-	-	
Mars	66,22	0,74	-			-	-	
Avril	67,28	0,97	-			-	-	
Mai	39,69	1,40	-			-	-	
Juin	11,59	1,75	-			-	-	
Juill.	3,21	-	-			-	-	
Août	5,21	-	-			-	-	
Sep.	26,68	-	-			-	-	
Oct.	50,01	-	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	0,79	-			-	-	

Tableau 3.21 : Paramètre d'arrosage pour la Céréaliculture (POIS CHICHE)

Mois	P (mm)	pois chiche						
		Etp (mm)	B _i (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	N _i	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	-	-	870,19	580	-	-	0.05
Fév.	79,92	-	-			-	-	
Mars	66,22	-	-			-	-	
Avril	67,28	-	-			-	-	
Mai	39,69	-	-			-	-	
Juin	11,59	-	-			-	-	
Juill.	3,21	-	-			-	-	
Août	5,21	-	-			-	-	
Sep.	26,68	-	-			-	-	
Oct.	50,01	11,20	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	-	-			-	-	

Tableau 3.22: Paramètre d'arrosage pour la Céréaliculture (HARICOT)

Mois	P (mm)	haricot						
		Etp (mm)	B _i (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	N _i	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	-	-	870,19	580	-	-	0.05
Fév.	79,92	-	-			-	-	
Mars	66,22	-	-			-	-	
Avril	67,28	-	-			-	-	
Mai	39,69	-	-			-	-	
Juin	11,59	16,79	5,20			0,1	520	
Juill.	3,21	21,15	17,93			0,3	597,66	
Août	5,21	20,24	15,02			0,3	500,66	
Sep.	26,68	14,19	-			-	-	
Oct.	50,01	-	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	-	-			-	-	

Tableau3.23: Paramètre d'arrosage pour le fourrage (LUZERNE)

Mois	P (mm)	Luzerne						
		Etp (mm)	Bi (mm)	V (m ³ /Ha)	Dp (m ³ /Ha)	Ni	Dr (m ³ /Ha)	m (m ³ /s)
Jan.	65,41	-	-	15,25	10	-	-	0,45
Fév.	79,92	0,73	-			-	-	
Mars	66,22	2,12	-			-	-	
Avril	67,28	2,79	-			-	-	
Mai	39,69	4,04	-			-	-	
Juin	11,59	5,04	-			-	-	
Juill.	3,21	6,34	3,13			3,1	10,17	
Août	5,21	6,07	0,86			0,8	10,75	
Sep.	26,68	4,26	-			-	-	
Oct.	50,01	-	-			-	-	
Nov.	89,03	-	-			-	-	
Déc.	87,18	-	-			-	-	

3.6.2.4. DEBIT FICTIF CONTINU

C'est la quantité d'eau distribuée en continu par hectare ; elle varie d'un mode d'irrigation à un autre. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Q_{FC} = \frac{B_i}{E_r} \times C_a \quad \text{En l/s/ha}$$

Avec :

E_r est l'efficacité de répartition, il correspond au rendement de chaque système d'irrigation et il doit être inférieur à 1 ;

C_a est coefficient d'application au champ, qui est le rapport de tous les volumes mouillés entourant les champs des racines de toutes les plantes par le volume de toute la zone irriguée qui est égale à la surface de la zone en question par la profondeur des racines des plantes de cette même zone ; ce coefficient doit être inférieur ou égal à 1.

3.6.3. IRRIGATION GRAVITAIRE

L'eau est répartie par submersion sur l'ensemble de la parcelle concernée par l'irrigation, de façon qu'aucune partie de ces parcelles ne soit épargnée. Le coefficient d'application au champ (C_a) est égal à 1, ce qui occasionne d'importantes pertes par évaporation et infiltration entraînant une faible efficacité d'utilisation de la ressource hydrique (E_r) que nous prendrons égale à 50%.

Pour notre étude, l'irrigation gravitaire n'est pas prise en considération.

3.6.4. IRRIGATION PAR ASPERSION

En irrigation par aspersion, l'application de l'eau sur l'aire occupée e par les cultures est uniforme, entraînant une efficacité d'irrigation de l'ordre de 70%.

L'implantation des asperseurs suit une configuration géométrique rectangulaire, carrée ou triangulaire de façon que toutes les parties de la parcelle soient irriguées ce qui entraînerait un coefficient d'application au champ (Ca) égal à 1.

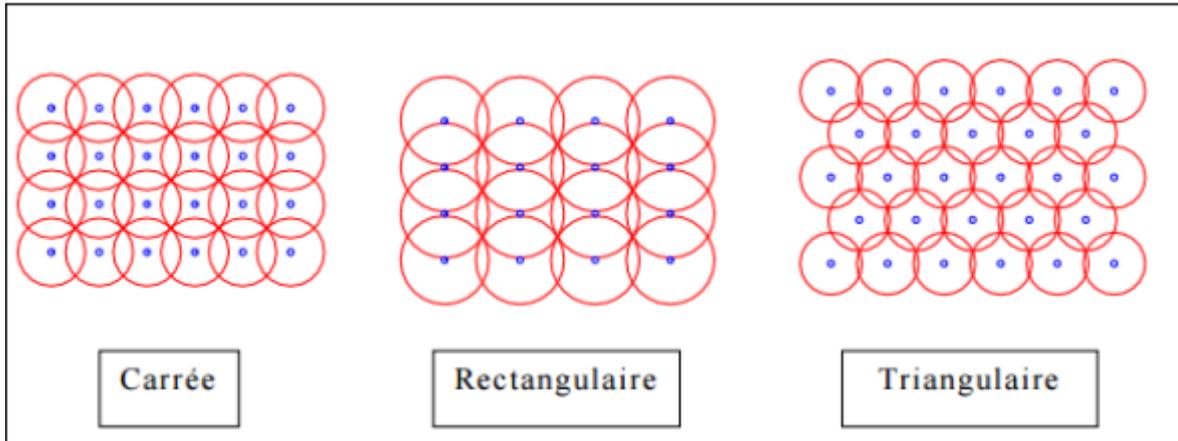


Figure 3.26 : implantation des asperseurs

La disposition triangulaire offre un nombre réduit d'asperseurs et une meilleure répartition de la pluviométrie avec un recouvrement minimum, c'est cette disposition que nous recommandons. Le nombre d'appareils (N_0) dans l'hectare est donnée par :

$$N_0 = \frac{S}{\delta} \times (1 - \% \text{ DE RECOUVREMENT})$$

N_0 : nombre d'asperseurs utilisés dans un hectare,

S : La surface d'un hectare, la surface irriguée par l'asperseur,

σ : Le nombre d'asperseurs final (N) par hectare correspond au nombre d'asperseurs utilisés dans un hectare (N_0) par l'espacement d'arrosage (N_i) :

$$N = \frac{N_0}{N_i}$$

Pour notre projet, nous adopterons l'aspersion pour les fourrages et les céréales.

3.6.5. IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

Les distributeurs fournissent à la plante juste la quantité d'eau nécessaire à son développement et pendant toute la période végétale en maintenant l'humidité nécessaire au développement des cultures. L'efficacité d'irrigation sera donc élevée, et sera prise égale à 80%.

L'eau sortant d'un ou de plusieurs distributeurs crée dans le sol une zone humide dite « bulbe » dans lequel l'eau se transmet par capillarité en un écoulement non saturé vers la périphérie du bulbe. La forme du bulbe dépend du type du sol, du débit et de la durée totale de l'arrosage et est proche d'un demi-ellipsoïde géométrique.

Pour plus de sécurité nous considérons des bulbes cylindriques dont le volume est donné par :

$$V_{bulbe} = \pi r^2 h \text{ En m}^3$$

Le coefficient d'application au champ (Ca) est déterminé par le rapport du volume mouillé de tous les bulbes par le volume égal au produit de la surface de la parcelle par la profondeur des racines :

$$Ca = \frac{N \times V_{bulbe}}{S \times h}$$

- N : le nombre des bulbes ;
 V_{bulbe} : le volume de bulbe ;
 S : la superficie à irriguer ;

Le nombre de distributeurs dépend du type de cultures implantées et de leurs besoins en eau. Il varie d'un à plusieurs distributeurs par arbre pour l'arboriculture et à un distributeur par plante pour les cultures maraichères. L'écartement entre les distributeurs est fonction de la distance entre les plantes.

Dans notre cas nous utilisons l'irrigation goutte à goutte pour l'arboriculture et les maraichères (à partir des gaines goutte à goutte).

3.6.6. DUREE D'ARROSAGE (T)

C'est le temps nécessaire pour déverser sur le sol la dose réelle d'arrosage.

3.6.6.1. IRRIGATION GRAVITAIRE

$$T = \frac{D_r}{m} \text{ En heures}$$

3.6.6.2. IRRIGATION PAR ASPERSION

La durée d'arrosage (T') en aspersion dépend de la densité d'aspersion ; cette dernière est une caractéristique technique qui dépend de l'asperseur au même titre que la pression de service.

Elle est fixée indépendamment de la caractéristique du sol, et n'est pas nécessairement égale à la vitesse de filtration K ($\delta \leq K$). La surface de l'unité parcellaire d'arrosage (s) est déterminée par le rapport du module m par la densité d'aspersion (δ en mm) et la durée (T') est définie par le rapport de la dose réelle par la densité d'aspersion :

$$T' = \frac{D_r}{\delta} \text{ En heure}$$

3.6.6.3. IRRIGATION LOCALISEE

La durée d'arrosage par goutte à goutte est plus importante que les autres types d'arrosage. Elle varie selon le débit du distributeur utilisé et la nature de la culture :

$$T'' = \frac{B_i}{q_g \times N_p} \times Ca$$

- B_i : besoins journaliers en m^3 ;
 q_g : débit du goutteur en m^3/h ;
 N_p : nombre de plantes par ha.

Le débit des distributeurs est une caractéristique technique définie lors de la fabrication de l'appareil. Comme l'eau est distribuée en petite quantité à la plante, la fréquence d'arrosage sera plus importante et se fera journallement en fonction de la demande.

Tableau 3.24 : Ca et Er de chaque culture

Cultures		Période de végétation	Superficie	assolement (%)	Coefficient cultural (kc)	Profondeur des racines h (m)	Ca%	Er%	
Arboriculture	cerise	Janvier – Mars	8,80	18,11	0,85	0,60	17%	80%	Goutte à goutte
	amandes	Avril – Septembre	5,00	10,29	0,75	0,60	19%		
	Pommier	Mars – Octobre	3,40	7,00	0,80	0,90	24%		
Maraîchères	Tomate	Janvier – Février	8,80	18,11	0,90	0,30	100%	70%	asperersion
		Avril – Décembre							
	Pommes de terre	Septembre – Décembre Mars – Juin	7,60	15,64	1,05	0,60			
Céréale	blé	Décembre – Juin	4,50	9,26	1,10	0,10	100%	70%	asperersion
	pois chiche	Octobre	1,00	2,06	1,00	1,00			
	haricot	Juin – Septembre	1,00	2,06	1,20	1,00			
Fourrages	Luzerne	Février – Septembre	8,50	17,49	0,70	0,12			

Nous résumons dans le tableau suivant, les temps d’arrosage pour chaque système d’irrigation et pour chaque type de plantes :

Tableau 3.25 : durée d’arrosage pour chaque système d’irrigation

	CERISE	AMANDES	POMMIER	TOMATES	POMME DE TERRE	BLE	POIS CHICHE	HARICOT	LUZERNE
DUREE D'AROSAGE (HEURE)									
MOIS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
JAN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MARS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVRIL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAI	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JUIN	-	-	3	-	-	-	-	2	-
JUIL	-	4	2	3	-	-	-	3	3
AOUT	-	4	2	3	-	-	-	2	4
SEP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NOV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEC	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.7. VOLUME D’EAU MOBILISE

C’est la quantité d’eau en m³ livrée à tout le périmètre pendant toutes les périodes d’arrosage

$$V = Q_{FC} \times T \times S$$

Avec :

V: volume d’eau livré aux cultures en m³ ;

QFC: le débit fictif continu en m³/s.ha ;

T: la période d’arrosage ;

S: la superficie du périmètre.

Nous résumons dans les tableaux suivants les résultats de calcul du débit fictif continu et du volume d’eau mobilisé :

Tableau 3.26 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les cerises

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	-	-	-	-	4,40	3,67	4,24	-	-	-	-	-
Qfc(mm)	-	-	-	-	0.935	0.79	0.90	-	-	-	-	-
Qfc(m ³ /s)	-	-	-	-	0.0007	0.0006	0.0007	-	-	-	-	-
V(m ³ /s)	-	-	-	-	520.6	540.9	499.6	-	-	-	-	-
Vtot(m ³ /ha)	1561											
Vtot(m ³)	13737											

Tableau 3.27 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les amandes

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	-	-	-	-	-	5,582	8,078	10	12,689	12,143	8,515	-
Qfc(mm)	-	-	-	-	-	1.3	1.9	2.3	3.01	2.8	2.02	-
Qfc(m ³ /s)	-	-	-	-	-	0.0006	0.0008	0.001	0.001	0.002	0.0009	-
V(m ³ /s)	-	-	-	-	-	428.3	490.2	321.5	326.7	422.6	469.2	-
Vtot(m ³ /ha)	2458											
Vtot(m ³)	12290											

Tableau 3.28 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les pommes

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	21,29	16,80	-	-	-	-	10,61	13,96	20,20	25,19	31,72	30,36
Qfc(mm)	6.38	5.04	-	-	-	-	3.18	4.18	6.06	7.55	9.51	9.1
Qfc(m ³ /s)	0.001	0.002	-	-	-	-	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003
V(m ³ /s)	305.9	269.3	-	-	-	-	120.5	115	205.2	212.3	208	210
Vtot(m ³ /ha)	1546											
Vtot(m ³)	5257											

Tableau 3.29 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les tomates

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	-	-	-	-	2,20	1,84	-	-	-	-	-	-
Qfc(mm)	-	-	-	-	2,75	2,3	-	-	-	-	-	-
Qfc(m ³ /s)	-	-	-	-	0.012	0.025	-	-	-	-	-	-
V(m ³ /s)	-	-	-	-	520	423	-	-	-	-	-	-
Vtot(m ³ /ha)	943											
Vtot(m ³)	8298											

Tableau 3.30 : QFC et volume d'eau mobilisé pour la pomme de terre

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	8,52	6,72	4,68	4,56	-	-	4,24	5,58	8,08	10,07	-	12,14
Qfc(mm)	10,65	8,4	5,85	5,7	-	-	5,3	6,975	10,1	12,5875	-	15,175
Qfc(m ³ /s)	0.016	0.025	0.023	0.018	-	-	0.006	0.071	0.009	0.001	-	0.002
V(m ³ /s)	521	486.2	423	480	-	-	483.5	510	493.6	470.8	-	427.3
Vtot(m ³ /ha)	4295											
Vtot(m ³)	32645											

Tableau 3.31 : QFC et volume d'eau mobilisé pour le blé

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	-	-	-	0,79	0,76	0,64	0,74	0,97	1,40	1,75	-	-
Qfc(mm)	-	-	-	1.13	1.09	0.91	1.06	1.39	2.00	2.50	-	-
Qfc(m ³ /s)	-	-	-	0.002	0.008	0.002	0.001	0.006	0.001	0.007	-	-
V(m ³ /s)	-	-	-	621	520	537.5	440.1	513.2	523.2	498.6	-	-
Vtot(m ³ /ha)	3653											
Vtot(m ³)	33832											

Tableau 3.32 : QFC et volume d'eau mobilisé pour le pois chiche

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	-	11,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qfc(mm)	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qfc(m ³ /s)	-	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V(m ³ /s)	-	540.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vtot(m ³ /ha)	540.5											
Vtot(m ³)	540.5											

Tableau 3.33 : QFC et volume d'eau mobilisé pour les haricots

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	14,19	-	-	-	-	-	-	-	-	16,79	21,15	20,24
Qfc(mm)	20.27	-	-	-	-	-	-	-	-	23.98	30.21	28.91
Qfc(m ³ /s)	0.0016	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.009	0.007
V(m ³ /s)	520.1	-	-	-	-	-	-	-	-	423.2	520	452.3
Vtot(m ³ /ha)	1915											
Vtot(m ³)	1915											

Tableau 3.34 : QFC et volume d'eau mobilisé pour la luzerne

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
besoin (mm)	4,26	-	-	-	-	0,73	2,12	2,79	4,04	5,04	6,34	6,07
Qfc(mm)	6.08	-	-	-	-	1.04	3.02	3.98	5.77	7.2	9.01	8.67
Qfc(m ³ /s)	0.006	-	-	-	-	0.007	0.001	0.003	0.008	0.007	0.005	0.006
V(m ³ /s)	516	-	-	-	-	480.3	422.6	510.2	413.2	310.9	428.6	520
Vtot(m ³ /ha)	3601.8											
Vtot(m ³)	30615.3											

3.8. SYNTHESE

Dans ce chapitre nous avons présenté le milieu physique du périmètre agricole à irriguer, ensuite nous avons déterminé tous les paramètres physiques à partir desquels nous avons estimé les besoins en eau de l'ensemble des cultures appliquées sur le périmètre.

Le volume d'eau annuel en utilisant les techniques de l'irrigation économique est estimé à l'ordre de 139130 m³/an, soit une consommation en eau journalière de l'ordre de 400 m³/j.

CHAPITRE 04

DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION

4.1. INTRODUCTION

Dans les chapitres précédents, nous avons déterminé les besoins en eau des plantes et les débits nécessaires à l'irrigation. Dans ce chapitre, nous allons dimensionner les différents ouvrages qui doivent véhiculer les quantités d'eaux déterminées jusqu'à la parcelle pour être réparties entre les plantes. Ces ouvrages se composent d'une tête morte et d'un réseau de distribution.

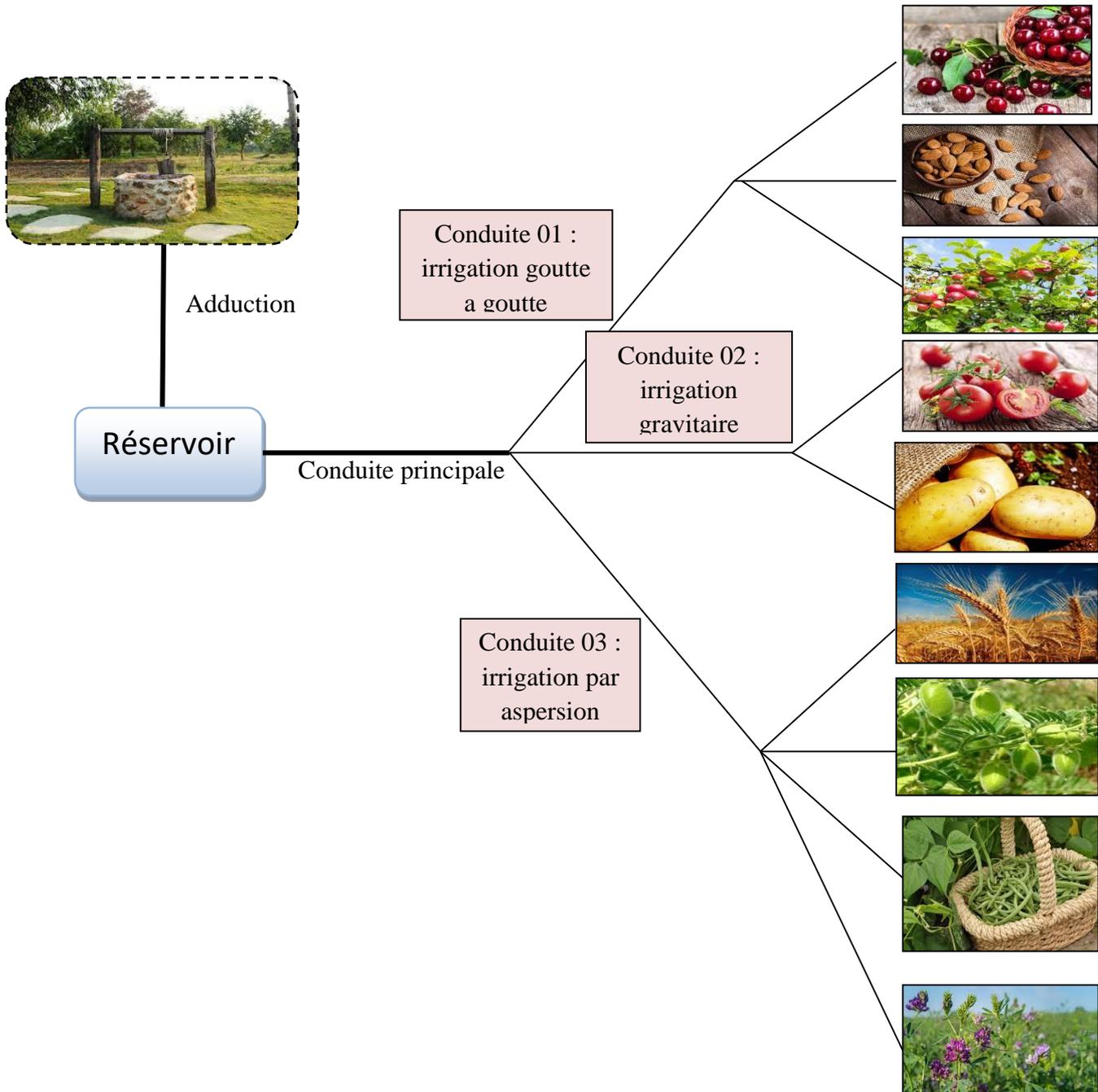


Figure 4.1 : schéma d'un réseau d'irrigation

4.2. PRESENTATION DU RESEAU

Le réseau d'irrigation est composé de plusieurs organes, en l'occurrence :

- La source d'alimentation : s'agissant d'un puits situé sur la rive droite de l'Oued Nachef, et est doté d'un système de pompage immergé ;
- La conduite de refoulement reliant la source à l'ouvrage de stockage ;
- Le bassin de stockage pour l'irrigation situé sur le point le plus élevé du périmètre ;
- Une conduite principale desservant l'ensemble des parcelles agricoles ;
- Une conduite secondaire alimentant en eau le verger des Cerisiers ;
- Une conduite secondaire alimentant en eau le verger des Amandiers ;
- Une conduite secondaire alimentant en eau le verger des Pommiers ;
- Une conduite secondaire desservant en eau les parcelles des céréales ;
- Une conduite secondaire desservant en eau les parcelles des pâturages (Luzerne) ;
- Deux conduites permettant l'alimentation en eau des deux parcelles des maraichères.
- Des conduites tertiaires pour l'alimentation en eau des différentes cultures, équipées de matériel spécifique d'arrosage en fonction de la nature des cultures.

Ci-dessous la figure du réseau :



Figure 4.1 : Vue du réseau sur le champ

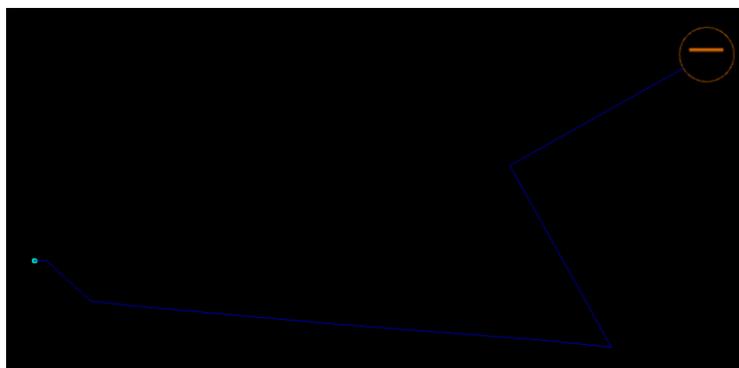


Figure 4.2 : Adduction de refoulement

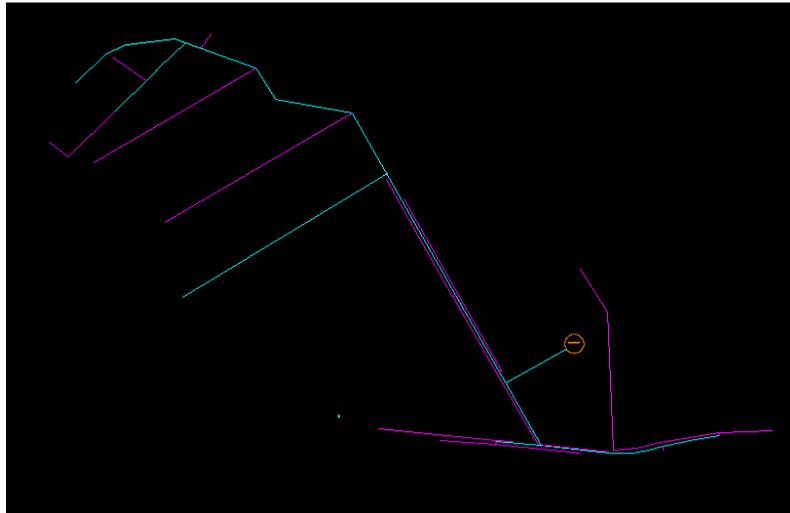


Figure 4.1 : Vue du réseau de distribution

4.3. SOURCE ET POMPAGE

Le puits a une profondeur de 15m, les essais de débit effectué le 29 Mai 2021 de 10h00 jusqu'à 19h ont montré que le niveau statique est de 1,6 m de profondeur par rapport au terrain naturel, le rabattement était de 2 m stabilisé après 5 heures de pompage continu, soit un niveau dynamique de 1,8 m de profondeur, sachant que le diamètre intérieur du puits est de 1,4 m et que les eaux jaillissent en surface d'une façon artésienne au niveau de l'Oued en période sèche à 20 m du puits ; le débit du puits est donc égal à :

$$Q_p = 0,040 \text{ m}^3/\text{s} = 4 \text{ L/s.}$$

La dénivelée entre la pompe, calée à 10 m de profondeur, et le bassin de stockage, en considérant une charge de 1 m au-dessus du bassin, est de 44 m. Ainsi la HMT est égale à :

$$\text{HMT} = 45,3 \text{ m}$$

La puissance de la pompe est égale à :

$$P = 2,5 \text{ Kw}$$

Ainsi, nous avons besoin d'une pompe d'une HMT de 50 m et d'une puissance de 5 Kw, qui sera branchée directement sur la ligne de basse tension au juxtaposée du puits.

4.4. ADDUCTION DE REFOULEMENT

L'adduction de refoulement alimente le bassin de stockage sur une longueur de 625 ml, le diamètre de la conduite est calculé par la relation de BONIN, il est égale à :

$$D_{\text{cal}} = 0,199 \text{ m}$$

En considère un diamètre normalisé en PEHD DN250 mm PN16 ayant une épaisseur de 22,7 mm.

4.5. STOCKAGE

Le bassin de stockage est un ouvrage en terre argileuse creusé dans le sol, et protégé par la géomembrane, sur une profondeur de 2,5 m, il a une forme circulaire de diamètre de 16 m.

Sa capacité totale de stockage est de 400 m³.

4.6. RESEAUX DE DISTRIBUTION

La tête morte du réseau à une longueur de 125 m, elle permet de véhiculer un débit d'irrigation de 5 L/s, le diamètre calculé de la conduite forcée est de

$$D_{cal} = 0,080 \text{ m}$$

Soit un diamètre normalisé en de DN110 mm en PEHD PN16 (épaisseur 10 mm), les pertes de charge calculées (Annexe E) sont négligeables. La vitesse d'écoulement de l'est est de 0,52 m/s.

4.6.1. CONDUITE PRINCIPALE DE D'ALIMENTATION

La conduite de distribution principale par la même démarche de calcul de la tête morte (conduite forcé), le dimensionnement de la conduite principale est résumée dans le tableau suivant :

Tronçon	Longueur (m)	Diamètre PEHD (mm)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m)	Pression (mCE)
O – Amandier (A)	22	110	0,55	0,45	9,7
A – Cerisier (C)	157	110	0,54	1,05	12
O – Pommiers (P)	40	110	0,55	0,51	6,5
C – Luzerne (L)	690	90	0,63	4,63	34
L – Céréale (Cr)	725	75	0,84	6,28	39
P – Maraichères (M)	435	90	0,64	4,32	21

4.6.2. REAU D'ALIMENTATION DE L'ARBORICULTURE

Trois conduites secondaires branchées sur la conduite principale alimentent indépendamment les différents arbres fruitiers du périmètre.

A partir de ces conduites des branchements de conduites en PEBD DN20 sont installés d'une façon horizontale (pente $I = 0,0\%$) et espacées de 5 m sur lesquelles des goutteurs sont installés à 20 cm du tronc de chaque arbre.

$$\underline{DN_{CERISE} = 90 \text{ mm}, V = 0,66 \text{ m/s}, P_{défavorable} = 32 \text{ mCE}}$$

$$\underline{DN_{AMANDIER} = 90 \text{ mm}, V = 0,66 \text{ m/s}, P_{défavorable} = 31 \text{ mCE}}$$

$$\underline{DN_{POMMIER} = 90 \text{ mm}, V = 0,66 \text{ m/s}, P_{défavorable} = 25 \text{ mCE}}$$

4.6.3. RESEAU D'ALIMENTATION DE LA LUZERNE

Les calculs (annexes E) ont montrés que la luzerne est irriguée à partir d'une conduite secondaire de DN75 mm de diamètre, une vitesse de $V = 0,79 \text{ m/s}$ est une pression au point le plus défavorable de 42,5 mCE.

La pression est favorable pour l'installation d'un enrouleur à canon de faible vitesse pour l'irrigation de la parcelle de pâturage.

4.6.4. RESEAU D'ALIMENTATION DES CEREALES

Les calculs ont montré que les différentes cultures céréales choisi par l'assollement sont irriguées à partir d'une conduite secondaire de DN50 mm, une vitesse de $V = 0,8$ m/s. La pression au point le plus défavorable de 48,75 mCE.

La pression est favorable pour l'installation des tiges asperseurs à canon diffuseur, espacés de 4 m, avec un rayon d'arrosage de 2,5 m, aménagés d'une manière rectangulaire et permettant l'arrosage sur la totalité des parcelles céréales.

4.6.5. RESEAU D'ALIMENTATION DES MARICHAIRES

Les maraichères sont desservies par deux conduites secondaires, la première alimente la partie Ouest et la seconde la partie Est ; dont les calculs ont montrés qu'elles ont le même diamètre de DN75 mm, ainsi qu'une même vitesse de $V = 1,05$ m/s est une pression au point le plus défavorable de 26,25 mCE.

La pression est favorable pour l'installation sur les conduites secondaires, d'une façon horizontale, des gaines perforées en PEBD de DN20 mm espacé suivant le type de culture entre 0,5 m et 1,5 m.

4.6.6. COMPOSITION DU RESAU

Le réseau est composé d'électrovanne de sectionnement, de diamètres confondus suivant le réseau, allant du DN100, DN90, DN75, DN50 et DN20 ; ces électrovanne sont situées à la sortie du réservoir, au niveau de la fin de la tête morte, à chaque branchement des conduite secondaire et sur les branchements des conduites tertiaires des goutte à goutte.

D'autre équipement, tel que le débitmètre, les ventouses au niveau des points hauts sur la conduite principale, et des vidanges à la fin des conduites secondaires

4.7. AUTOMATISATION DU RESEAU

Notre réseau est automatisé à partir d'une armoire de commande, installée dans la partie technique du périmètre, il s'agit de la mise en place d'un certain nombre tensiomètre à sonde à des différents endroits de chaque parcelle agricole ; ces tensiomètres sont réglés pour fournir l'information sur l'humidité du sol par un câble de courant faible, enterré et bien protégé, à l'automate situé dans l'armoire, celui-ci est programmé pour ordonner l'ouverture ou la fermeture des électrovannes en fonction de la valeur émise de l'humidité.

En plus, l'armoire est dotée également d'un émetteur/récepteur et d'un enregistreur permettant d'emmagasiner l'information sur un disque, et permettant également de gérer à distance par un téléphone portable l'irrigation selon les données envoyées par l'émetteur.

4.8. SYNTHESE

Dans ce chapitre nous avons dimensionné notre réseau hydraulique, par la détermination du type de pompage, tracé et dimensionnement du refoulement, dimensionnement du bassin de stockage et enfin le tracé et le dimensionnement des réseaux d'arrosage.

Notre périmètre une fois réalisé pourra constituer une ferme d'investissement agricole de type industrielle pouvant porter un plus économique en matière de la sécurité alimentaire, par le biais d'une gestion moderne, moins coûteuse et rentable.

CONCLUSION GENERALE

Tout au long de la préparation de notre projet de fin d'étude, nous avons essayé de mettre en pratique les connaissances acquises durant nos cinq années études universitaires et cela dans le but de réaliser un modèle d'irrigation intelligent.

On a pris plaisir à travailler sur ce thème, parce que ce projet est une idée extraordinaire qui nous aide dans notre vie ; ce système intelligent est un élément nécessaire qui peut aider à améliorer l'économie de l'eau.

Le but principal de cette étude est la mise en valeur des terres agricoles de MEFFROUCHE par la proposition de création d'un périmètre d'irrigation sans négliger tous les facteurs essentiels intervenant dans le choix du mode d'irrigation, tel que les données climatiques, pédologique, hydrologique et hydrogéologique.

Le dimensionnement du réseau a nécessité la proposition de différents ouvrages (les réservoirs de mise en charge, des conduites de raccordement et refoulement), pour un bon fonctionnement du réseau.

Cette étude elle doit être complétée par:

- Proposition de nouveaux assolements en introduisant de nouvelles cultures.
- Encouragement de l'irrigation par aspersion et goutte à goutte.
- La réalisation des profils en long.
- Ce travail doit être élargi pour qu'il puisse cerner les problèmes liés à l'irrigation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BENSALIM IMAN. BOUHENNA NADIA. 2017 : « Étude de faisabilité de l'extension du périmètre irrigué de MAGHNIA » mémoire pour l'obtention du diplôme master en hydraulique. Université de Tlemcen.
- [2] CHIKH. H.A. 2013. «Etude de possibilité de création d'un périmètre d'irrigation à Ain El HOUTZ» ; mémoire pour l'obtention du diplôme master en hydraulique. Université de Tlemcen.
- [3] OLLIER. CH, POIREE. M. 1983. «Irrigation ; Les réseaux d'irrigation théorie ; technique et économie des arrosages» sixième édition, édition Eyrolles-paris.
- [4] Johnny .L. j. 2008. «Etude de faisabilité de l'aménagement hydro agricole de la plaine de Lhomond dans la 11ème section communale d'Aquin : zone frangipagne» Mémoire pour l'obtention du diplôme l'Ingénieur agronome. Université d'état d'Haïti/ FAMV.
- [5] JEAN. R. T, ALAIN.V. 2006. «Traité d'irrigation» deuxième édition, éditions TEC & DOC, Paris.
- [6] TUTIEMPO. Site internet, donnée climatique Algérie _ GHARDAÏA_..
- [7] BOUAROU DJ Sara 2012 : « Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation », mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Écologie.
- [8] Couture I. 2006. (a) Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est AGRI-VISION 2003-2004. 8p.
- [9] I. 2006. (b) Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation Colloque sur l'irrigation l'eau, source de qualité et de rendement 10 février 2006, Hôtel Mortagne, Boucherville.
- [9] PLAUCHU. 2004. Economies de l'environnement.
- [10] CONAC f. 1978. Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens et danubiens.
- [11]FAO 1975. Food alimentation organisation les besoins en eau des cultures. Bull Fao n° 24.
- [12] TIERCELIN. 1998. Traité d'irrigation, Lavoisier tec & doc, paris .1011p.
- [13] HORNING H M., 1973. Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations. Séminaire régional Fao/pnud damas. 7-13 décembre 1971. 10-21p., (PLAUCHU. 2004. Economies de l'environnement.).
- [14] C. BROWER 1990 (gestion des eaux en irrigation : Méthodes d'irrigation .FAO n°5).

- [15] LOUNIS.M.2003 « étude d'une prise d'eau sur le oued CHELIFF (W.AIN DAFLA) mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Ecole national supérieur en hydraulique .
- [16] Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provençale Pierre ROUSSET.
- [17] CLEMENT.M, PAUL.A, JEAN.C.C. 2007. «Bases techniques de l'irrigation par aspersion » éditions TEC & DOC, Paris.
- [18] les différents systèmes d'irrigation (Par Prof. Mohammed AZOUGGAGH).
- [19] OUAATOU. H, TELOUATI. K. 2011. «Impact de la turbidité des eaux du canal de la Rocade sur le projet de reconversion du système d'irrigation dans le périmètre du N'Fis (région de Marrakech-Tensift-Alhaouz, Maroc)»Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme licence Sciences et Techniques. Université de Marrakech.
- [20] AOUATA Ibrahim 2015 : « ÉTUDE ET DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION SOUTERRAINE EN ALGERIE » mémoire pour l'obtention du diplôme master en hydraulique. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI ABDALLAH-.
- [21] EL OUAHABI Khadija & BENJELLOUN Salma 2013 : « Performance de l'irrigation localisée et son impact sur le sol dans le périmètre de N'fis » Licence Sciences et Techniques Faculté des sciences et Techniques –Marrakech.
- [22] SALIM MAHDAB 2018 : « Etude et réalisation d'un Système d'irrigation automatique » En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en automatique, Université DJILALI BOUNAAMA de KHEMIS Milian.
- [23] LEOPOLD RIEUL, PIERRE RUELLE 2003: guide pratique irrigation 3^e édition.
- [25] TAIBI Hamida & KASTALI Fatima 2018: « dimensionnement d'un réseau d'irrigation du périmètre HESSAINE (W.MOSTAGANEM) » mémoire pour l'obtention du diplôme master en aménagement hydro-agricole. Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana.
- [26] TINA OUMELKHEIR 2015 : « Etude d'un périmètre d'irrigation à Kef Doukhane, à partir des eaux épurées de la station d'épuration d'EL-Atteuf à Ghardaïa » mémoire pour l'obtention du diplôme master en science de l'eau et l'environnement. Université GHARDAIA.

[28] F. KHEDIM, Détection des attaques par répliation dans un réseau de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université de Tlemcen, juillet 2013.

[30] I. BELKACEM, L'irrigation intelligente, GDN, 15th Annual Global Development Conference, Ghana, 2014.

[31]HLAVEK R., 1992. Critères de choix d'un système d'irrigation -CIID. New Delhi diffusion A feid .Antony .

[32]M FELIDJ 2011 : « contribution à l'étude des plantes aromatiques et médicinales du parc national de Tlemcen, taxonomie, écologie, caractéristiques chimiques » thèse doct. ecol. vég. univ. ABOU BAKR BELKAID. Tlemcen.

[33] KAZI TANI HICHAM ABDESSLAM : « estimation et modélisation des transports solides, utilisation du SIG pour la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique. Application au bassin versant du barrage MEFFROUCHE » Diplôme de Docteur en science En Hydraulique.

[34] BENHEDID HADJIRA & HARROUZ NADJET., « Contribution à l'étude de la performance d'une station d'épuration des eaux usées par lagunage (Ouargla) », Mémoire. Ingénieur. En Ecologie et Environnement Univ. KASDIMERBAH- Ouargla, 2011.

WEBOGRAPHIE

[24] <https://www.yamit-f.com/wp-content/uploads/2020/09/9006306000-F600-YAMIT-FRENCH-Bermad.pdf>. Consulté le (04/05/2021).

[27] <https://www.iotsss.com/fr/news/blog/intelligent-agricultural-irrigation-system-2/>. Consulté le (28/06/2021).

[29] <http://www.arrosage.comprendrechoisir.com/comprendre/> arrosage-automatique Consulté le (24/07/2021).

ANNEXE A

Prélèvement des échantillons du terrain

1^{er} Echantillon







2^{ème} Echantillon



ANNEXE A : prélèvement des échantillons du terrain





3^{ème} Echantillon





4^{ème} Echantillon







ANNEXE B

Analyse au laboratoire

I. HUMIDITE DU SOL

• Mode opératoire

- 1) Peser Le Récipient Muni Du Couvercle (P_0) A L'aide Une Balance ;
- 2) Identifier Le Avec Une Etiquette ;
- 3) Placer L'échantillon A L'état Naturel Dans Le Récipient Et Peser L'ensemble (Echantillon + Récipient), (P_h). ;
- 4) Place L'ensemble (Echantillon + Récipient) Dans L'étuve Avec Température Réglée A 105°C ;
- 5) Après 24h Retirer Le Récipient Avec Le Sol Sec. Et Peser (P_s) En Utilisant La Même Balance ;
- 6) Déterminer La Teneur En Eau (Te) Exprimée En Pourcentage.

II. ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

• Mode opératoire

- 1) Commencer par dresser la colonne des tamis; les ouvertures des tamis doivent être de bas en haut. Les tamis prendre en compte sont en mm(8-6,3-5- 4-3.15- 2- 1,25-1-0,8- 0,63-0.5 -0,4-0,32-0.2- 0.125- 0,10-0.08) ;
- 2) Prendre 1Kg de sol ;
- 3) Verser le sol sur le tamis supérieur ;
- 4) Procéder à l'agitation mécanique à l'aide un vibrotamis électrique pendant environ 5min ;
- 5) Procéder à la pesée cumulée des refus des tamis en commençant par le tamis supérieur.

III. ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR SEDIMENTOMETRIE

• Mode opératoire

- 1) Prendre deux éprouvettes à essais de **1 litre** de contenance ;
- 2) Prendre 60 cm³ de défloculant et ajouter **440 cm³** d'eau distillé pour obtenir une solution de **500 cm³** ;
- 3) Diviser la solution obtenue entre les deux éprouvettes à raison de **250 cm³** chacune ;
- 4) Prendre l'une des deux éprouvettes et la compléter avec de l'eau distillée jusqu'à **1 litre**. Cette éprouvette sera appelée dorénavant **l'éprouvette B** (l'autre éprouvette sera nommée **l'éprouvette A**) ;
- 5) Prendre **40g** de sol ;
- 6) Verser 40g dans le récipient de l'agitateur mécanique et verser dessus une certaine quantité de la solution de **l'éprouvette A** ;
- 7) Procéder à l'agitation mécanique pendant **3 minutes** ;
- 8) Verser la suspension dans **l'éprouvette A** (bien rincer le récipient et les ailettes pour ne pas perdre le matériau) ;

- 9) Compléter l'**éprouvette A** avec de l'**eau distillée** jusqu'à **1** litre ;
- 10) Procéder à une homogénéisation de la suspension à l'aide de l'agitateur manuel ;
- 11) Introduire le densimètre dans la suspension et procéder aux lectures (on les appellera **R₁**).les temps de lecture sont (30s 1min 2min 5min 10min 30min 60min 2h 4h 24h) ;

Remarque

- Pour les 5 premières lectures, le densimètre n'est pas retiré de la suspension.
 - Après la cinquième lecture ; une fois celle-ci effectuée, et ça sera le cas pour le reste des lectures,le densimètre est retiré de la suspension, nettoyer et ranger soigneusement .
 - Pour reprendre les lectures et à chaque fois, le densimètre est introduit dans la suspension environ 30s avant la lecture.
- 12) A la fin des lectures le densimètre est retiré de l'**éprouvette A**, introduit dans l'**éprouvette B** ;
 - 13) Procéder à la lecture de la densité de la solution de l'éprouvette B (on l'appellera **R_B**) ;
 - 14) Retirer le densimètre, le nettoyer et le ranger définitivement ;
 - 15) A l'aide du thermomètre, procéder à la lecture de la température de la solution de l'**éprouvette B**.

IV. ANALYSE DE PERMEABILITE

• Mode opératoire

- 1) Déterminer la masse de tube d'éprouvette en plastique, les pierres poreuse, le ressort et les deux bouchons en caoutchouc (**W1**) ;
- 2) Glissez la pierre poreuse inférieure dans le tube d'échantillon, puis fixez le tout ;
- 3) Verser le sol grenu dans le tube d'échantillon en petites couches et compacter par des vibrations et/ou d'autres moyens de compactage ;
- 4) Lorsque la longueur du tube d'échantillon est d'environ deux tiers de la longueur du tube ; glisser la pierre supérieure poreuse dans le tube pour le poser fermement sur l'échantillon ;
- 5) Placez un ressort sur la pierre poreuse supérieure, si nécessaire ;
- 6) Fixez avec le bouchon supérieur ;
- 7) Déterminer la masse de l'assemblage (**W2**) ;
- 8) Mesurez la longueur (**L**) de l'échantillon compacté dans le tube ;
- 9) Faites couler l'eau dans le haut su grand entonnoir fixé au support à travers un tube en plastique à partir de l'entrée d'eau .l'eau circulera à travers l'échantillon jusqu'à la chambre à charge constante. Après un certain temps l'eau s'écoulera dans l'évier à travers la sortie dans la chambre à charge constante ;
- 10) Ajustez l'alimentation en eau de l'entonnoir pour que le niveau d'eau dans l'entonnoir reste constant .Simultanément, laissé l'écoulement se poursuivre pendant environ **10 minutes** pour saturer l'échantillon ;

- 11) Après avoir établi un débit constant (c'est-à-dire, une fois que la différence de hauteur h est constante) recueillir l'eau d'écoulement de la chambre à charge constante (Q) dans un cylindre gradué. Enregistrez le temps de collecte (t) avec un chronomètre ;
- 12) Répéter l'étape 11 trois fois. Gardez le temps de collecte (t) identique et déterminez Q . Ensuite, trouvez la valeur moyenne de Q .

ANNEXE C

Résultats d'analyse au laboratoire

Tableau A.C.1: analyse granulométrique par tamisage pour échantillon 01(laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels Ri(g)	Masse des refus Cumulés Rn(g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/Ps) x100(%)	Pourcentage des tamis cumulés 100- (Rn/Ps) x100(%)
8,00	0,00	0,00	0,0000	100,0000
6,30	279,50	279,50	28,0237	71,9763
5,00	200,00	479,50	48,0764	51,9236
4,00	169,50	649,00	65,0711	34,9289
3,15	61,50	710,50	71,2374	28,7626
2,50	53,50	764,00	76,6015	23,3985
2,00	31,00	795,00	79,7096	20,2904
1,25	62,50	857,50	85,9761	14,0239
1,00	29,00	886,50	88,8838	11,1162
0,80	0,22	886,72	88,9058	11,0942
0,63	12,00	898,72	90,1090	9,8910
0,50	14,50	913,22	91,5628	8,4372
0,40	8,50	921,72	92,4151	7,5849
0,32	12,00	933,72	93,6182	6,3818
0,20	14,50	948,22	95,0720	4,9280
0,125	20,50	968,72	97,1274	2,8726
0,10	2,50	971,22	97,3781	2,6219
0,08	16,00	987,22	98,9823	1,0177
Masse sol (g) =	1000			
Fond (g): F =	10,15			
Ps = Rn + F	997,37			
Perte (g)	2,63			

Tableau A.C.2: analyse granulométrique par tamisage pour échantillon 02(laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels Ri(g)	Masse des refus Cumulés Rn(g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/Ps) x100(%)	Pourcentage des tamis cumulés 100-(Rn/Ps) x100(%)
8,00	0,00	0,00	0,000	100,000
6,30	35,50	35,50	3,550	96,450
5,00	99,00	134,50	13,450	86,550
4,00	243,50	378,00	37,800	62,200
3,15	118,50	496,50	49,650	50,350
2,50	84,50	581,00	58,100	41,900
2,00	46,00	627,00	62,700	37,300
1,25	103,50	730,50	73,050	26,950
1,00	52,00	782,50	78,250	21,750
0,80	0,50	783,00	78,300	21,700
0,63	23,00	806,00	80,600	19,400
0,50	28,50	834,50	83,450	16,550
0,40	18,50	853,00	85,300	14,700
0,32	22,00	875,00	87,500	12,500
0,20	29,00	904,00	90,400	9,600
0,125	37,50	941,50	94,150	5,850
0,10	8,00	949,50	94,950	5,050
0,08	33,00	982,50	98,250	1,750
Masse sol (g) =	1000,00			
Fond (g): F =	17,50			
Ps = Rn + F	1000,00			
Perte (g)	0,00			

Tableau A.C.3: analyse granulométrique par tamisage pour échantillon 03(laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels Ri(g)	Masse des refus Cumulés Rn(g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/Ps) x100(%)	Pourcentage des tamis cumulés 100- (Rn/Ps) x100(%)
8,00	0,000	0,00	0,0000	100,0000
6,30	30,000	30,00	3,0148	96,9852
5,00	106,000	136,00	13,6670	86,3330
4,00	291,600	427,60	42,9706	57,0294
3,15	119,500	547,10	54,9794	45,0206
2,50	93,500	640,60	64,3754	35,6246
2,00	47,000	687,60	69,0986	30,9014
1,25	105,000	792,60	79,6503	20,3497
1,00	44,500	837,10	84,1222	15,8778
0,80	0,500	837,60	84,1724	15,8276
0,63	18,000	855,60	85,9813	14,0187
0,50	22,500	878,10	88,2424	11,7576
0,40	13,000	891,10	89,5488	10,4512
0,32	14,000	905,10	90,9557	9,0443
0,20	18,000	923,10	92,7645	7,2355
0,125	22,500	945,60	95,0256	4,9744
0,10	5,500	951,10	95,5783	4,4217
0,08	25,500	976,60	98,1409	1,8591
Masse sol (g) =	1000			
Fond (g): F =	18,5			
Ps = Rn + F	995,10			
Perte (g)	4,90			

Tableau A.C.4: analyse granulométrique par tamisage pour échantillon 04(laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels Ri(g)	Masse des refus Cumulés Rn(g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/Ps)x100(%)	Pourcentage des tamis cumulés 100-(Rn/Ps) x100(%)
8,00	0,00	0,00	0,0000	100,0000
6,30	17,50	17,50	1,7518	98,2482
5,00	97,50	115,00	11,5115	88,4885
4,00	295,50	410,50	41,0911	58,9089
3,15	125,00	535,50	53,6036	46,3964
2,50	102,00	637,50	63,8138	36,1862
2,00	53,00	690,50	69,1191	30,8809
1,25	118,50	809,00	80,9810	19,0190
1,00	53,50	862,50	86,3363	13,6637
0,80	1,00	863,50	86,4364	13,5636
0,63	22,50	886,00	88,6887	11,3113
0,50	25,00	911,00	91,1912	8,8088
0,40	14,00	925,00	92,5926	7,4074
0,32	13,50	938,50	93,9439	6,0561
0,20	15,00	953,50	95,4454	4,5546
0,125	16,00	969,50	97,0470	2,9530
0,10	3,00	972,50	97,3473	2,6527
0,08	19,50	992,00	99,2993	0,7007
Masse sol (g) =	1000			
Fond (g): F =	7			
Ps = Rn + F	999,00			
Perte (g)	1,00			

Tableau A.C.5 : Analyse granulométrique par sédimentomètre pour l'échantillon 01 (labo d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Temps (Sec)	T (°C)	liquide A	liquide B	A-B	μ (Pas.s)	δ_{eau} (N/m ³)	δ_{sol} (N/m ³)	K	Hr (cm)	Hr (m)	Diamètre (m)	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)
20	22	1,018	0,990	0,0280	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	11,56	0,1156	7,76E-05	77,59	5,780E-02
30	22	1,018	0,990	0,0275	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	11,75	0,1175	6,39E-05	63,87	3,917E-02
60	22	1,017	0,990	0,0265	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	12,13	0,1213	4,59E-05	45,89	2,022E-02
120	22	1,016	0,990	0,0260	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	10,92	0,1092	3,08E-05	30,79	9,100E-03
300	22	1,015	0,990	0,0250	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	11,3	0,113	1,98E-05	19,81	3,767E-03
600	22	1,015	0,990	0,0245	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	11,49	0,1149	1,41E-05	14,12	1,915E-03
1800	22	1,013	0,990	0,0230	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	12,06	0,1206	8,35E-06	8,35	6,700E-04
3600	22	1,012	0,990	0,0215	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	12,63	0,1263	6,05E-06	6,05	3,508E-04
7200	22	1,011	0,990	0,0210	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	12,82	0,1282	4,31E-06	4,31	1,781E-04
14400	22	1,0110	0,990	0,0210	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	12,839	0,12839	3,05E-06	3,05	8,916E-05
86400	22,5	1,005	0,990	0,0150	9,4365E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	15,1	0,151	1,34E-06	1,34	1,748E-05

Temps (Sec)	T (°C)	liquide A	liquide B	A-B	μ (Pas.s)	δ_{eau} (N/m ³)	δ_{sol} (N/m ³)	K	Hr (cm)	Hr (m)	Diamètre (m)	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)
20	22	1,020	0,980	0,0400	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7	0,07	6,04E-05	60,38	3,500E-02
30	22	1,019	0,980	0,0390	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,38	0,0738	5,06E-05	50,62	2,460E-02
60	22	1,018	0,980	0,0380	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,76	0,0776	3,67E-05	36,70	1,293E-02
120	22	1,016	0,980	0,0360	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,12	0,0712	2,49E-05	24,86	5,933E-03
300	22	1,015	0,980	0,0350	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,5	0,075	1,61E-05	16,14	2,500E-03
600	22	1,015	0,980	0,0345	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,69	0,0769	1,16E-05	11,55	1,282E-03
1800	22	1,013	0,980	0,0325	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	8,45	0,0845	6,99E-06	6,99	4,694E-04
3600	22	1,012	0,980	0,0320	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	8,64	0,0864	5,00E-06	5,00	2,400E-04
7200	22	1,011	0,980	0,0305	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	9,21	0,0921	3,65E-06	3,65	1,279E-04
14400	22	1,0095	0,980	0,0295	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	9,59	0,0959	2,63E-06	2,63	6,660E-05
86400	22,5	1,006	0,980	0,0255	9,4365E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	11,11	0,1111	1,15E-06	1,15	1,286E-05

Tableau A.C.6 : Analyse granulométrique par sédimentomètre pour l'échantillon 02 (labo d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Temps (Sec)	T (°C)	liquide A	liquide B	A-B	μ (Pas.s)	δ_{eau} (N/m ³)	δ_{sol} (N/m ³)	K	Hr (cm)	Hr (m)	Diamètre (m)	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)
20	22	1,020	0,980	0,0400	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7	0,07	6,04E-05	60,38	3,500E-02
30	22	1,019	0,980	0,0390	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,38	0,0738	5,06E-05	50,62	2,460E-02
60	22	1,018	0,980	0,0380	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,76	0,0776	3,67E-05	36,70	1,293E-02
120	22	1,016	0,980	0,0360	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,12	0,0712	2,49E-05	24,86	5,933E-03
300	22	1,015	0,980	0,0350	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,5	0,075	1,61E-05	16,14	2,500E-03
600	22	1,015	0,980	0,0345	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	7,69	0,0769	1,16E-05	11,55	1,282E-03
1800	22	1,013	0,980	0,0325	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	8,45	0,0845	6,99E-06	6,99	4,694E-04
3600	22	1,012	0,980	0,0320	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	8,64	0,0864	5,00E-06	5,00	2,400E-04
7200	22	1,011	0,980	0,0305	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	9,21	0,0921	3,65E-06	3,65	1,279E-04
14400	22	1,0095	0,980	0,0295	9,548E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,02E-03	9,59	0,0959	2,63E-06	2,63	6,660E-05
86400	22,5	1,006	0,980	0,0255	9,4365E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	11,11	0,1111	1,15E-06	1,15	1,286E-05

Tableau A.C.7 : Analyse granulométrique par sédimentomètre pour l'échantillon 03 (labo d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Temps (Sec)	T (°C)	liquide A	liquide B	A-B	μ (Pas.s)	δ_{eau} (N/m ³)	δ_{sol} (N/m ³)	K	Hr (cm)	Hr (m)	Diamètre (m)	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)
20	23	1,020	0,995	0,0250	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	12,7	0,127	8,04E-05	80,37	6,350E-02
30	23	1,020	0,995	0,0245	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	12,89	0,1289	6,61E-05	66,11	4,297E-02
60	23	1,019	0,995	0,0235	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	13,27	0,1327	4,74E-05	47,43	2,212E-02
120	23	1,017	0,995	0,0220	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	12,44	0,1244	3,25E-05	32,47	1,037E-02
300	23	1,016	0,995	0,0205	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	13,01	0,1301	2,10E-05	21,00	4,337E-03
600	23	1,015	0,995	0,0200	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	13,2	0,132	1,50E-05	14,96	2,200E-03
1800	23	1,013	0,995	0,0180	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	13,96	0,1396	8,88E-06	8,88	7,756E-04
3600	23	1,012	0,995	0,0165	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	14,53	0,1453	6,41E-06	6,41	4,036E-04
7200	23	1,011	0,995	0,0155	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	14,91	0,1491	4,59E-06	4,59	2,071E-04
14400	23,5	1,010	0,995	0,0150	9,218E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,00E-03	15,1	0,151	3,25E-06	3,25	1,049E-04
86400	23,5	1,007	0,995	0,0120	9,218E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,00E-03	16,24	0,1624	1,37E-06	1,37	1,880E-05

Tableau A.C.8 : Analyse granulométrique par sédimentomètre pour l'échantillon 04 (labo d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

Temps (Sec)	T (°C)	liquide A	liquide B	A-B	μ (Pas.s)	δ_{eau} (N/m ³)	δ_{sol} (N/m ³)	K	Hr (cm)	Hr (m)	Diamètre (m)	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)
20	23	1,020	0,990	0,0300	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	10,8	0,108	7,41E-05	74,12	5,400E-02
30	23	1,020	0,990	0,0295	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	10,99	0,1099	6,10E-05	61,05	3,663E-02
60	23	1,019	0,990	0,0290	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	11,18	0,1118	4,35E-05	43,54	1,863E-02
120	23	1,018	0,990	0,0280	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	10,16	0,1016	2,93E-05	29,35	8,467E-03
300	23	1,017	0,990	0,0270	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	10,54	0,1054	1,89E-05	18,91	3,513E-03
600	23	1,016	0,990	0,0260	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	10,92	0,1092	1,36E-05	13,61	1,820E-03
1800	23	1,015	0,990	0,0245	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	11,49	0,1149	8,06E-06	8,06	6,383E-04
3600	23	1,013	0,990	0,0230	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	12,06	0,1206	5,84E-06	5,84	3,350E-04
7200	23	1,012	0,990	0,0215	9,325E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,01E-03	12,63	0,1263	4,22E-06	4,22	1,754E-04
14400	23,5	1,010	0,990	0,0200	9,218E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,00E-03	13,2	0,132	3,04E-06	3,04	9,167E-05
86400	23,5	1,007	0,990	0,0170	9,218E-04	1,00E+04	2,65E+04	1,00E-03	14,34	0,1434	1,29E-06	1,29	1,660E-05

Tableau A.C.9: résultats d'analyse de perméabilité pour l'échantillon 01 (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

N° D'essai	1	2	3	4	5	6
Qmoy (cm³)	210	460	860	1260	1620	2350
t (min)	2	5	10	15	20	30
t (s)	120	300	600	900	1200	1800
L (cm)	12	12	12	12	12	12
h (cm)	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5
A (cm²)	68,4	68,4	68,4	68,4	68,4	68,4
K (cm/s)	2,71E-03	2,37E-03	2,22E-03	2,16E-03	2,09E-03	2,02E-03
Kmoy (cm/s)	2,26E-03					
W1 (Kg) =	3,110					
W2 (Kg) =	3,510					
Diamètre (cm) =	5,7					

Tableau A.C.10: résultats d'analyse de perméabilité pour l'échantillon 02 (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

N°D'essai	1	2	3	4	5	6
Qmoy (cm³)	210	480	900	1350	1725	2400
t (min)	2	5	10	15	20	30
t (s)	120	300	600	900	1200	1800
L (cm)	11	11	11	11	11	11
h (cm)	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5
A (cm²)	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7
K (cm/s)	2,71E-03	2,47E-03	2,32E-03	2,32E-03	2,22E-03	2,06E-03
Kmoy (cm/s)	2,35E-03					
W1 (Kg) =	3,110					
W2 (Kg) =	3,475					
Diamètre (cm) =	5,7					

Tableau A.C.11: résultats d'analyse de perméabilité pour l'échantillon 03 (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

N°D'essai	1	2	3	4	5	6
Qmoy (cm³)	70	150	265	400	560	860
t (min)	2	5	10	15	20	30
t (s)	120	300	600	900	1200	1800
L (cm)	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
h (cm)	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5
A (cm²)	65,55	65,55	65,55	65,55	65,55	65,55
K (cm/s)	9,02E-04	7,73E-04	6,83E-04	6,87E-04	7,21E-04	7,39E-04
Kmoy (cm/s)	7,51E-04					
W1 (Kg) =	3,110					
W2 (Kg) =	3,49					
Diamètre (cm) =	5,7					

Tableau A.C.12: résultats d'analyse de perméabilité pour l'échantillon 04 (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

N°D'essai	1	2	3	4	5	6
Qmoy (cm³)	44,7	75	130	190	245	340
t (min)	2	5	10	15	20	30
t (s)	120	300	600	900	1200	1800
L (cm)	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
h (cm)	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5
A (cm²)	69,54	69,54	69,54	69,54	69,54	69,54
K (cm/s)	5,76E-04	3,86E-04	3,35E-04	3,26E-04	3,16E-04	2,92E-04
Kmoy (cm/s)	3,72E-04					
W1 (Kg) =	3,110					
W2 (Kg) =	3,53					
Diamètre (cm) =	5,7					

ANNEXE D

Analyse climatologique

Tableau A.D.1 : les températures moyennes de la station de Tlemcen (période 1987 – 2005)

Mois	JAN	FEV	MRS	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
T Moy Mens	5,314	6,392	7,289	9,500	12,499	18,347	21,774	22,100	17,058	12,279	8,126	6,274
T Moy Min	-2,895	-3,105	-0,658	0,553	3,237	7,895	11,026	11,595	7,395	3,921	0,289	-2,684
T Moy Max	17,50	19,89	23,27	23,94	28,72	34,19	36,51	35,98	31,99	28,39	22,13	18,16

Tableau A.D.2 : la série pluviométrique de la station de Tlemcen (période 2005 – 2020)

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
2004	2,9	27,8	62,5	64,1								
2005	15,5	21	75,9	25,8	24	67,7	83,8	33,6	1,8	2,5	6	
2006	35	16,5	11,3	77,8	59,9	111,7	30,4	45,1	62	11,2		
2007	16,9	94,4	76,9	20,8	29,4	50,2	65,7	130,8	27,3			
2008	42,3	104,3	109,3	206,4	33,8			13,3	33			
2009	78,5	1,6	46	75,9	207,1	67,9	53,9	59,2	14,7	1,1	3,9	1
2010	25,3	78	87,8	59,9	49,8	90,6	152	52,4	42	19,7	0,5	10,1
2011	8,8	147,6	133,5	45,8	34,2	70,7	27,8	123,8	115,4	29,6		8,8
2012	12,7	50,5	377,2	23	23,8	82,4	33,4	74	24,6	1,8	4,8	0,4
2013	34,3		54,2	243,3	182,2	146,6	103	159,8	83,1		1,4	5,4
2014	28,8	35,2	75,9	154,4	86,2	156,4	85	15,6	30,7	44,5		
2015	17,6	52,3	41,2									
2016	4,8	1,2	84,2	105,2	41,2	138,5	78,8	153,6	38,1	2,6	0,5	
2017		30,5	6	95,7	70,3	24,6	28,3	13,8	14,2			6,5
2018	70,7	85,3	71,3	24,2								
2019	27,7	45,5	195,5	66,4	75	26,1	6,5	57,6	32,3	0,8	5,4	4,3
2020	5	8,4	4,8	106,2	38,9		59	9,3	36,5	2,1		
2021					25,3	5,5	119,5					

ANNEXE D

Tableau A.D.3 : Evaporation de la station de Tlemcen (période 2004 – 2013)

Année	JAN	FEV	MAR	APR	MAI	JUI	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
2004									0,117	0,08	0,029	0,023
2005	0,023	0,018	0,048	0,072	0,118	0,139	0,149	0,159	0,073	0,044	0,019	0,012
2006	0,001	0,001	0,028	0,035	0,035	0,048	0,059	0,035	0,003	0,003		
2007				0,03	0,056	0,058	0,07	0,066	0,033	0,011	0,009	0,005
2008	0,003	0,006	0,022	0,024	0,009	0,035	0,013	0,015				0,02
2009	0,048	0,139	0,145	0,279	0,297	0,638	0,397	0,285	0,147	0,12	0,125	0,09
2010	0,063	0,084	0,117	0,121	0,163	0,205	0,31	0,225	0,195	0,09	0,053	0,071
2011	0,045	0,088	0,073	0,102	0,105	0,158	0,221	0,177	0,105	0,077	0,05	0,037
2012	0,035	0,03	0,064	0,094	0,163	0,215	0,242	0,221	0,138	0,091	0,071	0,067
2013	0,077	0,079	0,145	0,132	0,175	0,278	0,331	0,335				
La moyenne	0,037	0,056	0,080	0,099	0,125	0,197	0,199	0,169	0,101	0,065	0,051	0,041

Tableau A.D.4: Les données d'éclairages et d'insolations de la station de Tlemcen

	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
h	198	158	176	213	278	291	335	318	255	233	188	197	2840
P en %	6.97	5.56	6.2	7.5	9.79	10.25	11.8	11.2	8.98	8.2	6.62	6.94	100

	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Durée du jour (en heures)												
1er jour	10.033	10.333	11.267	12.400	13.433	14.183	14.317	13.767	12.800	11.717	10.633	9.850
11ème jour	9.817	10.633	11.633	12.767	13.717	14.300	14.200	13.483	12.450	11.367	10.333	9.700
21ème jour	10.003	10.983	12.000	13.100	13.967	14.350	14.033	13.167	12.083	11.000	10.050	9.650
H (en h)	10.047	10.804	11.825	12.925	13.825	14.288	14.079	13.304	12.263	11.179	10.217	9.808

Tableau A.D.5 : les résultats des paramètres statistiques

Pmoy mensuel (X)	26,6750	50,0063	89,0294	87,1813	65,4067	79,9154	66,2214	67,2786	39,6929	11,5900	3,2143	5,2143
<i>Moyenne géométrique</i>	18,5931	28,5404	56,0071	67,1460	50,9327	60,7215	52,2792	46,3634	28,9234	4,7843	2,1499	3,4104
<i>Médiane (Me)</i>	21,4500	40,3500	75,9000	71,1500	41,2000	70,7000	62,3500	55,0000	32,6500	2,5500	3,9000	5,4000
<i>Mode (Mo)</i>	11,0000	21,0375	49,6412	39,0875	- 7,2133	52,2692	54,6071	30,4429	18,5643	- 15,5300	5,2714	5,7714
<i>Ecart-type</i>	22,1122	41,6425	87,9219	65,1972	56,1579	47,9709	40,5867	53,4205	29,6174	15,0892	2,3646	3,6558
<i>Ecart géométrique</i>	2,5070	4,1271	4,7721	4,4078	3,3351	4,4033	3,6589	3,6970	2,8494	6,8869	10,8924	7,6527
<i>Moment 3</i>	9693	43088	1372468	235372	195296	-113482	-51440	15402	14460	1496	-20	-85
<i>Moment 4</i>	734434	7545608	421986935	55575270	38512683	17019040	8996336	14908601	2768052	86188	75	528
<i>Cv</i>	0,8289	0,8327	0,9876	0,7478	0,8586	0,6003	0,6129	0,7940	0,7462	1,3019	0,7357	0,7011
<i>G1</i>	0,897	0,597	2,019	0,849	1,103	-1,028	-0,769	0,101	0,557	0,436	-1,520	-1,734
<i>G2</i>	0,0720	- 0,4907	4,0617	0,0759	0,8722	0,2138	0,3154	- 1,1693	0,5974	- 1,3374	- 0,5984	- 0,0415