

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Filière : "Sciences Agronomiques"

Spécialité: "Sciences du sol"

Thème

Impact des eaux d'irrigation sur le taux de carbone organique dans le sol : Cas de la région de Ksar Chellala – Wilaya de Tiaret.

Présenté par:

-SERKHANE hamida

- BOUDERGA Fatiha

- HAMOU Fatiha

Membres du jury:

- Président : Mme. OULBACHIR Karima

- Promoteur : Mr. BENAHMED Mohamed

- Examinatrice : Mme. BOUCHENAFI Nadia

Année universitaire : 2018 -2019

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à mes très chers parents qui m'ont apporté soutien et confiance au quotidien, sans tache, ce qui me permet d'exprimer toute ma gratitude pour ces mots.

Je dédie cet humble travail à:

Mes Chers frères : Youcef, Kamel

Ma chère sœur : Chaimaa

Mes grand-mères : Khadera et Fatima

Chers amies : Soraya, Ghania, Amina, Ahlam, Amel, Fatiha, Oum Elkhaire, Cherifa, Bochra, Hanane, Zohra, Zainb, Rougia, Djamila, Fatima, Fadhila, Hayet, nessema, kheira,... .. etc

Toute la famille est Serkhane

Pour tous les étudiants de ma classe, en particulier promotion deuxième année Master Science du sol

Enfin, tous ceux qui m'ont aidé, bientôt ou loin, trouvent ici une expression de gratitude.

Hamida

Remerciements

Au nom de Dieu le Miséricordieux et le Compatissant

Louange à Allah, l'unique qui, de par sa grâce, m'a permis de suivre mon cursus universitaire et de présenter ce travail aujourd'hui.

Je voudrais tout d'abord, remercier :

Mr. BENAHMED Mohamed Pour son soutien moral, ses orientations et conseils, dans mon projet et surtout d'avoir bien voulu m'encadrer.

Nous tiens à exprimer nos remerciements aux membres du jury qui honoré on acceptant d'examiner ce travail.

Mme. Oulbachir Karima, qui nous a fait l'honneur de bien vouloir présider le jury.

Mme. Bouchenafa Nadia, qui nous a fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail.

J'aimerais remercier tout le personnel de l'INSID pour son accueil et son aide en particulier Mr Behih Eddine.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés dans cet humble travail.

Mon camarade étudiant, pour son implication, son intérêt et surtout sa patience tout au long de l'étude.

Enfin, je remercie mes collègues de ma promotion et tous ceux qui ont pris part au passé ou au loin pour accomplir ce travail.

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Triangle textural.....	05
Figure 02 : Les matières organiques de sol.....	07
Figure 03 : Complexe argilo-humique.....	08
Figure 04 : L'agrégat, base de la structure.....	09
Figure 05 : Illustration des différences d'échelle entre porosité texturale et porosité structurale.....	10
Figure 06 : Différentes méthodes d'irrigation pratiquées.....	20
Figure 07 : Schéma montrant la perte de l'eau par filtration dans l'irrigation gravitaire.....	23
Figure 08 : Schéma d'un asperseur.....	24
Figure 09 : Schéma d'une installation de goutte à goutte.....	26
Figure 10 : Etats de l'eau dans le sol.....	29
Figure 11 : Localisation de la zone d'étude.....	33
Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de Bagnoulset Gausse de la région de Ksar Chellala (2003-2015).....	35
Figure 13 : Climagramme d'Emberger et la région de Ksar Chellala.....	36
Figure 14 : Répartition des températures moyennes mensuelles de Ksar Chellala (1990-2015).....	37
Figure 15 : Répartition des précipitations (mm) moyenne mensuelles de Ksar Chellala (1990-2015).....	38
Figure 16 : Variation de l'Humidité des sols étudiés.....	46
Figure 17 : Variation du pH des sols étudiés.....	47
Figure 18 : La conductivité électrique des sols étudiés.....	48
Figure 19 : Taux des sels dissous (TDS) des sols étudiés.....	50
Figure 20 : La teneur en calcaire total des sols étudiés.....	51
Figure 21 : La teneur en calcaire actif des sols étudiés.....	52
Figure 22 : Teneur en carbone organique des sols étudiés.....	53
Figure 23 : Perméabilité (KS) des sols étudiés.....	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Sept classes de particules de sols.....	03
Tableau 02 : Echelle granulométrique de la texture du sol.....	03
Tableau 03 : Types principaux de minéraux argileux dans un sol.....	04
Tableau 04 : Caractéristiques de la station météorologique de Ksar Chellala.....	37
Tableau 05 : Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude Ksar Chellala Période 1990-2015.....	37
Tableau 06 : Pluviométries moyennes mensuelles (mm) à la station météorologique de ksar Chellala Période : 1990 à 2015.....	38
Tableau 07 : Classification des sols selon le taux de calcaire.....	43
Tableau 8 : Analyse granulométrique des échantillons étudiés.....	45
Tableau 9 : L'humidité des sols étudiés.....	45
Tableau 10 : pH des sols étudiés.....	46
Tableau 11 : La densité apparente des sols étudiés.....	47
Tableau 12 : La conductivité électrique des sols étudiés.....	49
Tableau 13 : TDS des sols étudiés.....	49
Tableau 14 : Teneur en calcaire total des sols étudiés.....	50
Tableau 15 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol (proposées par	51
Tableau 16 : Teneur en calcaire total des sols étudiés.....	51
Tableau 17 : Teneur en carbone organique des sols étudiés.....	52
Tableau 18 : Perméabilité (KS) des sols étudiés.....	54
Tableau 19 : Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigations.....	55
Tableau 20 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.....	55

LISTE DES ABREVIATIONS

% : Pourcentage

°C : Degrés Celsius

T : Total

Act : Actif

C : carbone

C : Carbone de la matière organique ou du CO₂

CE : Conductivité électrique

Cm : centimètre

μS/cm : Mico siemens par centimètre

dS/m : Déci siemens par mètre

H : Humidité

Ha : Hectare.

m : Mètre

m/s : Mètre par seconde

m² : mètre carrée

m³ : mètre cube

mm : Millimètre

ml : millilitre

mg : milligramme

MO : Matière organique

MOS : matière organique stable ou matire organique du sol

mS/cm : Milli siemens par centimètre

N : azote

pH : Potentiel d'hydrogène

V : Volume

μm : Micromètre

(θ) :La teneur en eau

(ψ) :Potentiel hydrique

SOMMAIRE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	

Première Partie : Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Le Sol

I.1. Le sol.....	02
I.1.1. Les fractions du sol.....	02
I.2. Texture du sol.....	03
I.2.2.1. Propriétés des minéraux argileux.....	04
I.2.2.2. Conséquences.....	04
I.2.2.3. Triangle des textures.....	04
I.3. Structure du sol.....	06
I.4. Les matières organiques du sol.....	07
I.4.1. Les complexes argilo-humiques.....	08
I.4.1.1. Définition.....	08
I.5. Rôle de la matière organique dans le sol.....	09
I.6. Relations structuration/porosité.....	09
I.6.1. Structure du sol/porosité.....	09
I.6.2. Influence de la matière organique sur la structuration du sol.....	10
I.6.2.1. Conséquences sur la masse volumique apparente.....	11
I.6.2.2. Réorganisation de l'espace poral.....	11
I.6.2.3. Importance de la matière organique dans le sol.....	11
I.6.3. La stabilité structurale et la matière organique.....	12
I.7. Matière organique et propriétés hydriques du sol.....	13
I.7.1. Généralités.....	13
I.7.1.1. Propriétés de rétention d'eau.....	13
I.7.1.2. Propriétés de conductivité hydraulique.....	13

Chapitre II : Les eaux d'irrigation

II.1. L'irrigation : définition.....	14
II.2. L'eau d'irrigation.....	14
II.2.1. Ressources hydriques naturelles.....	14
II.2.1.1. Eaux souterraine.....	14

II.2.1.2. Eaux de surface.....	15
II.3. L'irrigation dans le monde.....	16
II.4. Importance de l'irrigation.....	16
II.4.1. Les avantages.....	16
II.4.2. Les inconvénients.....	17
II.5. Qualité des eaux d'irrigation.....	17
II.6. Normes de qualité des eaux d'irrigation.....	18
II.7. L'irrigation en Algérie.....	18
II.8. Différent types d'irrigation.....	20
II.8.1. Irrigation gravitaire.....	20
II.8.1.1. Types d'irrigation gravitaire.....	21
II.8.2. Irrigation par aspersion.....	24
II.8.2.1. Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion.....	25
II.8.3. Irrigation localisée.....	26
II.8.3.1. Types d'irrigation localisée.....	27
II.8.3.2. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation localisée.....	27
II.9. L'eau dans le sol.....	28
II.9.1. Rôle de l'eau dans le sol.....	29
II.9.2. Humidité du sol.....	29
II.10. Les facteurs influençant la capacité de rétention du sol.....	30
II.10.1. La texture.....	30
II.10.2. La structure.....	30
II.10.3. La nature des argiles.....	30
II.10.4. La matière organique.....	31
II.10.5. Point de flétrissement.....	31
II.10.6. L'humidité équivalente (HE).....	31

Première Partie : Matériel & Méthodes

I. Objectifs du travail.....	32
II. Présentation de la zone d'étude.....	32
II.1. Situation géographique.....	32
II.2. Situation administrative.....	32
II.3. Géologie.....	33
II.3.1. Stratigraphie.....	33
II.3.2. Les reliefs.....	34

II.3.2.1. Grands traits du relief.....	34
II.4. Synthèse climatique.....	34
II.4.1. Diagramme pluviométrique.....	35
II.4.2. Climagramme d'Emberger.....	35
II.4.3. Les paramètres climatiques.....	36
II.4.3.1. Température de l'air.....	37
II.4.3.2. Pluviométries.....	37
II.5. Ressources hydriques.....	38
II.5.1. Ressources en eau superficielle.....	39
II.5.2. Ressources en eau souterraine.....	39
III. Echantillonnage.....	40
III.1. Techniques d'échantillonnage du sol.....	40
IV. Analyses physico-chimiques du sol.....	40
IV.1. Humidité résiduelle du sol.....	40
IV.2. Le pH_{eau}	40
IV.3. Le pH_{KCl}	41
IV.4. La conductivité électrique (CE).....	41
IV.4. Perméabilité.....	41
IV.5. Analyse granulométrique.....	42
IV.6. La densité apparente.....	42
IV.7. Calcaire total et actif ($CaCO_3$).....	43
IV.8. Matières organique (Carbone organique).....	44
IV.8. Analyses physico-chimique des eaux d'irrigation.....	44

Troisième Partie : Résultats & Discussion

I. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques.....	45
I.1. Analyse granulométrique.....	45
I.2. L'humidité.....	45
I.3. Le pH.....	46
I.4. La densité apparente.....	47
I.5. La conductivité électrique (CE) et TDS.....	48
I.5.1. La conductivité électrique.....	48
I.5.1. Taux de sels dissous (TDS).....	49
I.7. Le calcaire Total.....	50
I.7. Le calcaire actif.....	51
I.8. Le carbone organique.....	52

I.8. Perméabilité (KS).....	53
II. Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation.....	54
Conclusion générale.....	56
Références bibliographiques.....	57
Résumé	

Introduction Générale

Introduction Générale

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il est constitué par un mélange de matériaux minéraux et organiques, qui sert de support et milieu naturel pour la croissance des plantes (Legros, J.P. 2007).

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe. La maîtrise de l'irrigation est donc un facteur qui permet de maintenir une production régulière, en quantité et en qualité des produits.

L'irrigation est l'application de l'eau au sol dans le but de rafraîchir le sol et l'atmosphère, par ce moyen réaliser les conditions les plus favorables pour la croissance des plantes. Mais quelque soit l'origine de l'eau (cours d'eau naturel, nappe souterraine, eau de barrage) et son mode de transport (canaux, conduite sous pression), le problème qui se pose est comment répartir cette eau sur le sol de façon que les plantes en tirent le maximum de profit. 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

L'objectif de ce travail est de faire ressortir l'impact des eaux d'irrigation sur le taux de carbone organique dans un sol steppique, il consiste à suivre l'évolution du taux de carbone dans le sol au cours du temps avant et après irrigation. La parcelle non irriguée a été retenue à titre comparatif, comme témoin.

La première partie de ce mémoire s'intéresse aux connaissances acquises sur le sol et la matière organique, son influence sur les propriétés physiques du sol et sa dynamique dans le sol et des données sur les eaux d'irrigation (Chapitre I à II). La deuxième partie est consacrée à la présentation de la zone d'étude : situation, hydrologie, géologie, climatologie et les méthodes d'analyses suivies pour les compartiments sols et l'évolution de la matière organique dans le sol avant et après irrigation. Enfin, une troisième et dernière partie, est consacrée à la présentation des résultats obtenus suivis d'une discussion et interprétation.

Première Partie

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Le Sol

Chapitre 1 : Le sol

I.1. Le sol

Le sol ou la couverture pédologique, forme la couche superficielle meuble qui recouvre la roche mère, son épaisseur varie de quelques centimètres à quelques mètres. Il est pour la plante un support et un milieu nutritif, avance que « les sols influent sur la végétation de façon encore plus déterminante que dans les zones non arides, en particulier, par le biais de leurs caractères hydrodynamiques qui peuvent exagérer ou au contraire atténuer l'aridité climatique.

Ces caractères sont essentiellement la texture, la profondeur, la position topographique, et le bilan hydrique qui en découle » (Pouget, 1980).

Le sol a de nombreuses fonctions, il est un milieu biologique dans et sur lequel se développent des organismes vivants. Ce développement dépend de la qualité de ce sol ou fertilité (quantité de carbone, d'azote, capacité d'échange ionique, etc.). Il est aussi un acteur déterminant du cycle de l'eau (stockage et régulation) et de la qualité de cette eau (source de pollution, capacité de rétention des polluants mais aussi biodégradation de ceux-ci). Mais le sol joue aussi un rôle prédominant dans tous les cycles biogéochimiques (QuénéaK., 2004).

I.1.1. Les fractions du sol

On détermine la composition élémentaire d'un sol par l'analyse mécanique ou granulométrique. Les systèmes américain et canadien reconnaissent sept classes de particules ; ce sont, en fait, les particules minérales de moins de 2,0 mm, dont les noms et les limites de taille sont indiquées dans le tableau 01.

Dans la pratique, on partage tous les sols minéraux arables en trois grandes fractions minérales selon la grosseur de leurs particules :

- ✚ Le sable, dont les particules grossières sont le principal constituant des sols légers.
- ✚ Le limon, dont les particules moyennes prédominent dans les sols francs ou loams.
- ✚ L'argile, dont les particules fines caractérisent les sols lourds. (Roger Doucet ; 2006).

Tableau 01: Sept classes de particules de sols.

Classe de sols	Diamétra des particules
Sable très grossier	De 2.0 à 1.0 mm
Sable grossier	De 1.0 à 0.5mm
Sable moyen	De 0.5à0.25mm
Sable fin	De 0.25 à 0.10mm
Sable très fin	De 0.10 à 0.05 mm
Limon	De 0.05 à 0.002mm
Argile	Moins de 0.002 mm

On distingue deux fractions dans le sol:

❖ Fraction minérale

Les minéraux constituent, en général, de 95 à 99% du sol. La composition minérale dépend de la nature de la roche-mère. La nature des minéraux peut être extrêmement diverse avec des tailles granulométriques différentes (Quénéa K., 2004) :

- Sable ($\emptyset = 2000$ à $50 \mu\text{m}$) ;
- Limon ($\emptyset = 50$ à $2 \mu\text{m}$) ;
- Argile granulométrique ($\emptyset < 2\mu\text{m}$).

❖ Fraction organique

La fraction organique d'un sol est constituée à plus de 80% de matière organique morte (résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle) (Paul E.A. et Clark F.E., 1996).

I.2. Texture du sol

Le sol comporte 3 phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (solution du sol) et une phase gazeuse (air, CO_2 , CH_4).

On appelle texture la résultante du mélange de terres fines et grossières dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre. (Gobat J.M, et al, 2010).

Tableau 02 : Echelle granulométrique de la texture du sol (U.S.D.A., 1996).

Terre fins					Terre grossière	
Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Graviers	Cailloux
< 2 μm	2-20 μm	20-50 μm	50-200 μm	0,2-2mm	2-20mm	>20mm

I.2.2.1. Propriétés des minéraux argileux

- Très petite taille, haute porosité, grande surface, structure en feuillets, charge négative.
- Forment des solutions colloïdales qui flocculent quand leurs charges sont neutralisées par des cations comme Ca^{2+} .

I.2.2.2. Conséquences

- Adsorbe beaucoup d'eau réversiblement → réserve d'eau non liquide pour les plantes.
- Grande capacité d'échange cationique (CEC) et d'éléments nutritifs, fonctionne comme une résine adoucisse use d'eau.

La CEC est fonction de la teneur en argile, mais aussi de la matière organique) MO.

Types principaux de minéraux argileux dans un sol: illite > chlorite > smectites > vermiculite > kaolinite. Au cours du temps illite et chlorite peuvent se transformer en vermiculite et smectites. Attention à la notion de "terroir".

Tableau 03 : Types principaux de minéraux argileux dans un sol.

Minéral	Surface totale m ² /g	CEC meq/100g
Illite	100-175	10-40
Chlorite	100-175	10-40
Smaltites Montmorillonite	700-800	80-150
Vermiculite	760	100-150
Kao lité	10-30	5-10

I.2.2.3. Triangle des textures

La texture du sol est définie par la grosseur des particules qui le composent : % sable, limon, argile.

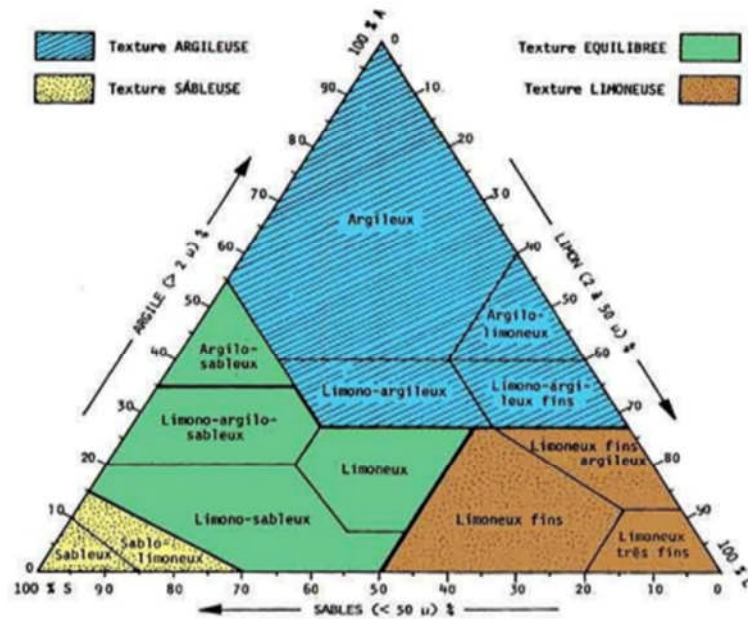


Figure 01 : Triangle textural (USDA, 1975).

A : argileux

AS : argilo-sableux

AL : argilo-limoneux

LA : limono-argileux

LAF : limono-argileux-fin

LAS : limono-argileux-sableux

L : limoneux

LS : limono-sableux

LFA: limoneux fins argileux

LF : limoneux fins

LTF : limoneux très fins

SL : sablo-limoneux

S : sableux

Les roches du sol sont composées principalement de silicates (Si) d'aluminium (Al) hydratés (argiles), de quartz (SiO_2), d'oxydes et d'hydroxydes de Fe et d'Al, de sulfure de Fe, de carbonate de Ca et Mg et d'éléments traces.

Les argiles confèrent au sol sa texture et ses propriétés mécaniques.

Elles sont généralement à l'état floculé par l'action des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} ce qui donne au sol ses bonnes qualités agronomiques: légère, bonne perméabilité à l'air et à l'eau, retrait modéré à la dessiccation.

Ce phénomène est réversible: les argiles se dispersent lorsque les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont remplacés (lessivage, excès d'engrais) par des cations plus petits, plus labiles, comme Na^+ , K^+ , H^+ , NH_4^+ (chargés négativement, les argiles se repoussent).

Mouillée, cette terre devient compacte, collante, asphyxiantes imperméable à l'eau et à l'air. Sèche, l'argile développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes.

Remède : on ajoute du Ca^{2+} sous forme de sulfates (gypse) ou de la matière organique (MO) pour ré-floculer les argiles.

I.3. Structure du sol

La structure du sol est déterminée par l'organisation des agrégats des éléments minéraux et organiques, qui donnent lieu à la matrice poreuse du sol, au sein de laquelle ont lieu les écoulements d'eau. (Carrillo-Avila, 1995).

La structure du sol correspond à la façon dont les argiles et la Matière Organique (MO) et plus particulièrement l'humus sont imbriqués dans le sol.

Seule la structure du sol peut être modifiée par ajout de MO et/ou de Ca^{2+} . La texture ne peut être modifiée à l'échelle humaine

En présence de sels minéraux (Fe/Al) et de MO les argiles forment des Complexes Argilo-Humiques (CAH).

Les argiles peuvent fixer la MO (humus) par adsorption sur/dans leurs feuillets par l'intermédiaire des oxydes et hydroxydes d'Al et de Fe qui forment un revêtement pelliculaire. Plus les argiles sont fins, plus la MO est retenue, et plus la minéralisation est lente.

Les CAH s'agglomèrent en agrégats en incorporant des filaments mycéliens, du mucus bactérien (polysaccharides) et des radicelles (Soltner D, 2004).

❖ Structure fragmentaire

Les agrégats permettent à la fois une rétention de l'eau et des échanges chimiques avec la solution du sol et les racines. C'est la structure la plus intéressante pour l'agriculture.

❖ Structure particulaire

Les particules de terre sont trop grandes et il n'y a pas d'agrégation entre elles (la plage de sable). Sa capacité d'infiltration est très élevée mais sa capacité de rétention très réduite, le sol est donc incultivable.

❖ Structure compacte

À l'opposé de la structure particulaire, les particules sont très fines (grande proportion d'argiles) et s'agglomèrent, elle limite fortement l'infiltration de l'eau dans le sol qui s'engorge, on le dit saturé en eau.

I.4. Les matières organiques du sol

La présence de matière organique dans les sols est à l'origine de l'apparition des propriétés physico-chimiques favorisant le développement des végétaux cultivés et naturel. L'augmentation de ces teneurs s'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau, de l'accroissement de la capacité de la rétention en eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (Leprun, 1988).

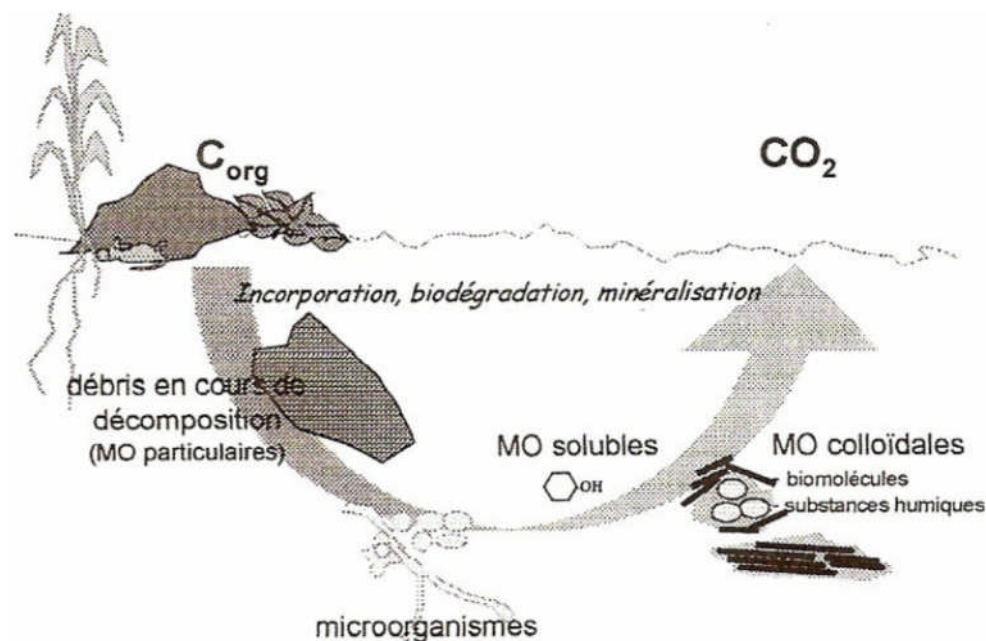


Figure 02 : Les matières organiques de sol (Chenu, 2003).

I.4.1. Les complexes argilo-humiques

I.4.1.1. Définition

Le complexe argilo-humique est une structure formée d'argile et d'humus. L'humus est la fraction "stable" de la matière organique du sol, c'est-à-dire qu'elle est peu sujette à la minéralisation, mais participe davantage à la structuration du sol. Les particules d'argiles et d'humus étant tous deux chargés négativement, ils retiennent les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ...), éléments essentiels à la plante. Des échanges de cations ont lieu entre le complexe argilo-humique et la solution du sol, ce qu'on appelle la capacité d'échange cationique (CEC). Plus elle est élevée, moins les cations seront lessivés : ils seront donc plus accessibles aux plantes. Ces aspects sont développés dans la partie fertilité chimique.

Mais comment deux structures chargées négativement, alors qu'elles devraient se repousser, peuvent-elle être si étroitement liées ? Par l'intermédiaire de ponts cationiques chargés positivement et de « colles biologiques » :

- ✚ Le calcium a une action stabilisatrice. Il s'intercale entre l'humus et les feuillets des argiles, formant des ponts calciques très résistants et aérant la structure du sol.

- ✚ Le magnésium forme lui aussi des ponts cationiques mais avec une action de resserrement de la structure.

- ✚ Des ponts constitués d'hydroxydes de fer peuvent également se mettre en place, mais ils sont moins solides que les ponts calciques.

- ✚ Enfin, l'activité biologique a un rôle fondamental. La présence de molécules organiques permet d'"enrober" les complexes, ce qui les stabilise en présence d'eau. Parmi ces substances, la glomaline, produite par certains champignons. Ces aspects sont développés dans la partie fertilité biologique.

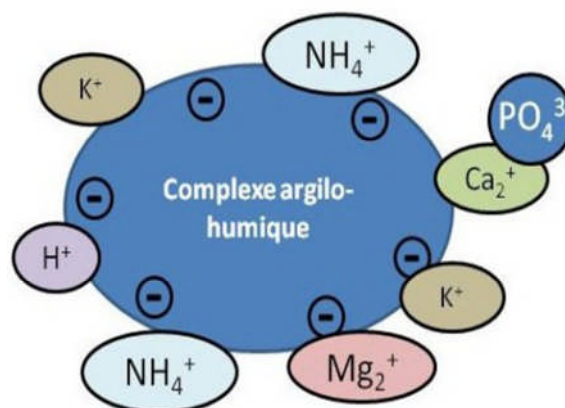


Figure 03 : Complexe argilo-humique.

I.5. Rôle de la matière organique dans le sol

Les matières organiques des sols; qui proviennent de la décomposition et transformation des matériaux végétaux par des processus biotiques ; ne constituent pas seulement un compartiment majeur du cycle terrestre du carbone mais ; sont aussi impliquées fondamentalement dans des processus et fonctions d'un grand intérêt :

- ✚ Les cycles des éléments et des composés nutritifs organiques et minéraux C.N.P.S.K.

- ✚ Les sources et les stocks d'énergie ; d'éléments majeurs et en trace pour les micro-organismes ; les plantes ; les animaux.

- ✚ La réactivité chimique et physico-chimique des sols par leur implication dans les phénomènes d'échange ; de complexations de réduction ; d'oxydation ...

- ✚ les propriétés physiques comme l'organisation et la structure des sols; leurs caractéristiques hydrauliques(Rouge D, 2006).

I.6. Relations structuration/porosité

I.6.1. Structure du sol/porosité

La structure du sol est l'agencement dans l'espace de ses constituants. Elle est déterminée par la forme des agrégats - les plus petits éléments indivisibles du sol. Ci-contre, les principales structures des sols.

La structuration naturelle des sols est liée à leur texture. Un sol argileux aura notamment une structure angulaire, avec formation de lamelles. Par contre, une structure grumeleuse (fréquente sous prairie) est plutôt liée à l'activité biologique.

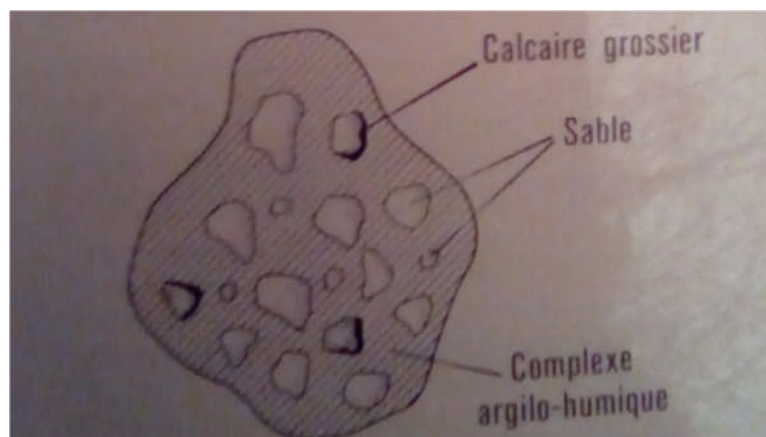


Figure 04 :L'agrégat, base de la structure (Rouge D, 2006).

➤ La porosité

La porosité est le volume des "vides" du sol, les pores. C'est par les pores que circulent l'eau et les gaz dans le sol. Ils sont donc importants par leur quantité, mais également par la qualité de leur organisation. Dans l'idéal, il y a autant de "macropores"(dans lesquels circule l'air) que de "micropores"(dans lesquels circule l'eau), l'essentiel étant que toute la porosité forme un réseau continu sans ruptures (semelles, compactions, mottes delta...).

Le tassement correspond à une perte de porosité et à une dégradation de ce réseau. C'est un problème récurrent lorsque le trafic sur la parcelle est mal géré et il conduit, s'il est prononcé, à des chutes de rendement (CalvetR. 2003).

Selon la dimension des intervalles, on peut distinguer :

- ✚ La macroporosité formée par les espaces lacunaires (les plus grands) qui sont remplis d'air dans un sol normalement ressuyé.

- ✚ La microporosité qui comprend les espaces les plus liant (espaces capillaires : de la taille d'un cheveu) qui sont occupés par l'eau dans un sol normalement ressuyé (Jean-louis E, 1979).

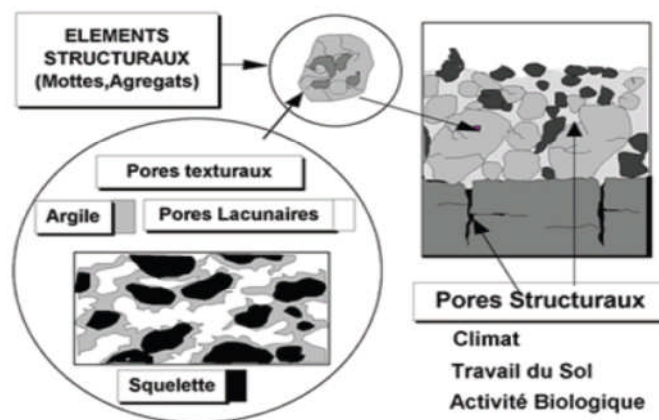


Figure 05 : Illustration des différences d'échelle entre porosité texturale et porosité structurale (Roger-Estrade)(www.agroparistech.fr).

I.6.2. Influence de la matière organique sur la structuration du sol

Les matières organiques les plus réactives sont constituées par les substances humiques sensu lato dont la localisation et la distribution dans les différents compartiments des sols peuvent être déterminées par des fonctionnements physiques (agrégat et/ou particules de divers tailles : argile ; limons ; sable) ainsi que chimiques et physiques (extraction ; précipitation par des réactives alcalins ou acides ; encombrement moléculaires ...). S'agissent

de macromolécule ; on peut aussi les caractérisés morphologiques (méthodes microscopiques; sub-microscopiques associées éventuellement à des observations spectroscopiques(Rouge D, 2006).

I.6.2.1. Conséquences sur la masse volumique apparente

Les matières organiques ont des masses volumiques réelles plus faibles que les matières minérales. Par simple effet de dilution, un apport de matière organique devrait donc diminuer la masse volumique apparente du sol (Khaleel et *al*, 1981 ; García-Orenes et *al*, 2005).

I.6.2.2. Réorganisation de l'espace poral

Toutes les classes de pores définies au préalable ne sont pas affectées de la même façon par un apport de matière organique. Un produit organique de texture grossière peut provoquer une augmentation significative de la macroporosité, mais jouer très peu sur la microporosité (Zeytinet Baran, 2003).

I.6.2.3. Importance de la matière organique dans le sol

Les matières organiques qui constituent une source de carbone ; d'énergie et de nutriments pour les organismes vivants du sol ; sont biodégradées ; bio transformées ; et bio minéralisées par des processus biochimiques impliquant pour la plus grands part des micro-organismes (bactéries et champignons). Différentes cinétiques et différentes vois de biodégradation et biotransformation se manifestent et dépendent de paramètre comme les conditions climatiques (précipitation ; température) ; la nature et la gestion des sols ; la nature et la disponibilité des produits organiques ; la présence ; la survie ; et l'activité des micro-organismes. Globalement ; 55 à 70 % des résidus animaux et végétaux qui arrivent au sol ; retournent à l'atmosphère sous forme de CO_2 l'année suivante ; mais des variabilités importantes s'observent. Par exemple ; il ne restera dans le sol que 36% du carbone pour des mousses de tourbière. Les matières organiques résiduelles (biomasse microbienne ; produits de métabolisme ; produits transformer ; produits hérites des matériaux végétaux ...) s'associent plus ou moins étroitement aux substances humiques et aux constituants minéraux. Ces produits résiduels plus ou moins stabilisés dans des structures organo-minérale (de structure moléculaire aux macros agrégat) seront soumis à de nouveau cycle de biodégradation et minéralisation. Les associations des composés organiques au les matières organiques humifiées et/ou aux constituants minéraux du sol favorisent en générale la stabilisation et limitent la biodégradation. Ceci a été observé pour divers composés organique

associées aux argiles et stabilisés dans des agrégats de petites tailles et pour des protéines et polysaccharides incorporés dans des substances humiques (Rouge D, 2006).

I.6.3. La stabilité structurale et la matière organique

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut se modifier en fonction des circonstances (pluie, vent, tassement par les engins et le piétinement par les animaux...). Ainsi la stabilité de la structure représente la capacité d'un sol à conserver l'arrangement de sa phase solide et de sa porosité quand il est exposé à des stress

La stabilité structurale est une caractéristique importante de la structure du sol. Elle est le plus souvent évaluée à l'échelle des agrégats. Cette stabilité peut être appréhendée selon deux approches complémentaires : les facteurs stabilisants qui conditionnent la formation et la stabilité des agrégats et les processus de désagrégation auxquels s'oppose la stabilité. (Kay, 1998).

De nombreux auteurs ont travaillé sur le manque de matière organique dans les sols.

Le Villio et *al.* (2001) ont travaillé sur les quantités de matière organique à apporter pour restaurer la fertilité physique des sols sensibles au phénomène de battance : pour les sols à texture limoneuse, la diminution du taux de matière organique à des teneurs inférieures à 2 ou 3% (massiques), souvent observée dans les sols cultivés au cours des dernières décennies, est un des paramètres déterminants de cette dégradation. Le Bissonais & Arrouays (1997) montrent que des sols limoneux sont sensibles à la battance pour une teneur en carbone inférieure à 15g kg⁻¹. Cependant, la matière organique n'est pas le seul facteur de stabilisation de la structure (Le Bissonais & Arrouays, 1997) : il faut tenir compte des teneurs en argile et en oxydes métalliques. De plus, l'existence d'un "seuil" minimal n'est pas prouvée : Chenu et *al.* (2000), Annabi (2005) observent des relations linéaires entre la stabilité des agrégats et la teneur en carbone organique. D'après Greenland et *al.* (1961), 0,1% à 1% massiques de sucres dans un sol suffisent à initier l'agrégation des particules. En effet ces matériaux, très labiles, stimulent l'activité microbienne, ce qui permet d'observer un pic de stabilité structurale très rapidement après l'incorporation. Mais Díaz et *al.* (1994) montrent que des doses inférieures à 19,5kg.m⁻² de compost (équivalent ici à 45tC ha⁻¹) améliorent très peu la stabilité structurale de façon durable.

Mais si des corrélations positives entre teneur en carbone et stabilité structurale sont souvent mesurées (Chenu et *al.*, 2000), leur caractère linéaire est sans doute lié aux faibles teneurs en carbone organique dans les sols étudiés.

I.7.Matière organique et propriétés hydriques du sol

I.7.1. Généralités

I.7.1.1. Propriétés de rétention d'eau

Dans les sols, la teneur en eau (θ) et le potentiel hydrique (ψ) sont les deux variables permettant de caractériser la phase hydrique. Ces variables varient simultanément, mais chaque couple de points (θ, ψ) dépend du type de sol dans lequel il est mesuré. La relation existant entre ces deux paramètres peut être représentée graphiquement par la courbe de rétention d'eau, et c'est un élément essentiel pour décrire la dynamique de la phase liquide en régime non saturé. Cette relation exprime les variations d'intensité des forces de capillarité et d'adsorption en fonction de la teneur en eau (Musy & Soutter, 1991). Comme ces forces dépendent de la taille et de la forme des pores, donc de la structure du sol, la courbe de rétention d'eau est une caractéristique spécifique d'un sol donné.

I.7.1.2. Propriétés de conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique est une manifestation de l'effet de résistance à l'écoulement dû aux forces de frottement (Musy et Soutter, 1991). La phase liquide circulant dans l'espace poral, la conductivité hydraulique dépend donc de la structure, et de la texture du sol. La forme et la taille des pores déterminent en effet les profils de vitesse et les trajectoires d'écoulement. En ce qui concerne la texture du sol, les surfaces spécifiques déterminent l'importance des phénomènes d'adsorption, dont les frottements sont une conséquence.

Lorsque le sol se dessèche, les micropores se vident en premier, si bien que la section d'écoulement diminue en même temps que la vitesse moyenne, suite à la disparition des zones de vitesse relativement élevées situées au centre des pores. L'eau circule donc dans des pores de plus en plus petits, ou le long des films d'hydratation qui subsistent au niveau des pores déjà vidangés. La longueur du cheminement de l'eau augmente, caractérisé par un paramètre de tortuosité et la conductivité hydraulique diminue rapidement.

Chapitre II

Les eaux d'irrigation

Chapitre II : Les eaux d'irrigation**II.1. L'irrigation : définition**

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (El-Asslouj et *al*, 2007).

La circulation de l'eau à l'intérieur du sol est soumise aux forces mécaniques et moléculaires et dépend du taux d'infiltration de l'eau de pluie ou d'irrigation dans le sol. La réduction de l'humidité du sol au-dessous de la capacité capillaire peut conduire, selon les propriétés physiques, à un flétrissement temporaire, ensuite permanent. La quantité d'eau absorbée par une plante dépend (El-Karaoui, 1977).

- des caractéristiques chimiques et de l'état dynamique de l'eau qu'elle contient ;
- du potentiel hydrique à la surface des racines ;
- et de l'efficacité du système racinaire.

C'est la transpiration à la surface des feuilles qui provoque l'ascension de l'eau à l'intérieur des feuilles de la plante à partir des cellules du xylème, elles-mêmes alimentées par le système racinaire. Ce processus est tributaire des conditions atmosphériques. Les données climatiques peuvent servir à prévoir le degré d'humidité du sol, l'évaporation possible, l'évapotranspiration et par conséquent, l'excès et le manque d'humidité du sol (Armitage, 1986).

II.2. L'eau d'irrigation**II.2.1. Ressources hydriques naturelles**

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.

II.2.1.1. Eaux souterraine

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

➤ Nappes captives : plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (Cardot C, 1999).

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

II.2.1.2. Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulant ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (Degremont, 1989).

Au bord de certains grands fleuves africains par exemple, les paysans cultivent les terrains susceptibles d'être légèrement inondés par les eaux grossières du fleuve à la saison des pluies, qu'ils ensemencent juste avant la montée des eaux.

Très utilisée en Asie, mais également en Afrique, notamment pour la culture du riz, la construction de tout un réseau de petits canaux et de digues permet de récolter les eaux de crue des rivières, de les distribuer en contrôlant leur niveau dans chaque parcelle et de les y retenir. En Inde et au Brésil, se développe également l'usage de petites retenues d'eau, dites collinaires, édifiées en amont des vallées. Ces petits barrages en terre, de faible profondeur, récupèrent et stockent, pendant la saison des pluies, les eaux de ruissellement et les eaux de pluie, lesquelles peuvent ensuite être utilisées au profit des cultures.

D'autres méthodes cependant consistent à pratiquer de véritables détournements d'eau.

Le recours aux puits, notamment, permet de prélever toute l'année l'eau de certaines nappes souterraines, en d'autant plus grandes quantités que l'on sait aujourd'hui forer jusqu'à de grandes profondeurs et pomper l'eau mécaniquement.

Une autre pratique consiste à détourner l'eau des rivières, et à la transporter par canaux, parfois très loin de son lieu de prélèvement, jusqu'à des régions moins bien dotées où elle manque.

Enfin, une technique qui s'est beaucoup développée au cours du XXe siècle est la construction, sur le cours des rivières, d'immenses barrages capables de stocker d'énormes réserves d'eau. De tels aménagements offrent un accès quasi permanent à l'eau (Ollier et Poirée, 1983).

II.3. L'irrigation dans le monde

La consommation d'eau agricole est très variable d'un pays à l'autre. Elle n'intéresse que 273 millions d'hectares dans le monde éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les pays qui irriguent le plus ne sont pas les pays au climat aride ou semi-aride. Dans ces régions, en effet, il ne peut y avoir de culture sans irrigation. Aussi, toutes les surfaces cultivées sont-elles irriguées. Mais, comme il ne peut y avoir d'irrigation sans eau, les surfaces cultivées demeurent réduites en superficie, limitées par la faiblesse des ressources en eau, et localisées là où ces ressources sont disponibles.

À l'inverse, dans les régions qui reçoivent suffisamment d'eau de pluie, la superficie des terres cultivées peut être très importante, surtout si le relief le permet. Bien que l'irrigation n'y soit pas indispensable, elle est néanmoins utilisée, et ce d'autant plus facilement que l'eau est disponible, afin de diversifier et d'améliorer les cultures, d'obtenir des récoltes multiples, ou encore d'augmenter les rendements. Même si elle n'est pas systématique, l'irrigation peut donc être conséquente. C'est ce qui se passe au Japon, en Chine, en Inde et au Pakistan (Milos, 1971).

II.4. Importance de l'irrigation

II.4.1. Les avantages

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera 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 selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production (Plauchu, 2003 cité par Djebli A, 2013).

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 (électricité, fuel, etc.).

II.4.2. Les inconvénients

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques. Elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions.

L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salification qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

Mal conduite, elle peut être néfaste pour les sols. Lorsqu'ils sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle le long des pentes. En s'évaporant, l'eau stagnante laisse en dépôt les sels qu'elle contient, favorisant une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes et doivent être abandonnés; c'est un phénomène que l'on observe surtout dans les régions arides et semi-arides.

Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, ce qui est énorme (Plauchu, 2004 cité par Djebli A, 2013). À l'échelle locale, la consommation immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain, est aujourd'hui 20 fois plus petit qu'il n'était il y a 35 ans.

II.5. Qualité des eaux d'irrigation

Selon Berkani et Benarfa (2005), Toutes les eaux naturelles utilisées pour l'irrigation contiennent des sels minéraux en solution, provenant des roches ou des matières solides à travers lesquelles elles sont filtrées. L'eau d'irrigation contient toujours des impuretés sous

formes de matières dissoutes ou en suspension dont la qualité et la nature permettent de déterminer l'utilité de l'eau à cette fin.

La teneur de l'eau en sels dissous, la quantité de solides en suspension et le volume des polluants d'origine humaine constituent de bons indicateurs de la qualité de l'eau.

Les sels dissous risquent d'affecter la croissance des plantes et les propriétés du sol. Les résidus agrochimiques peuvent compromettre l'équilibre biologique du sol. La matière en suspension peut avoir un effet néfaste sur les dispositifs d'alimentation en eau et de distribution.

Il est donc important de connaître les caractéristiques de l'eau ainsi que les effets particuliers et combinés des substances qui s'y trouvent (Yaron 1973 in Armitage, 1986).

II.6. Normes de qualité 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 de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin 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

Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes.

II.7. L'irrigation en Algérie

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques (Kadi, 1997).

Globalement, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 420.000 ha dont 100.000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.666.715 ha soit près de 5% de la surface agricole utile (SAU) (Messahel et al. 2003 cité par Djebli A,

2013). Les 320.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 4,6% de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion, il s'agit :

a) Des grands périmètres irrigués (GPI) relevant de l'Etat gérés par l'Office National des Irrigations et du Drainage. Ces périmètres sont irrigués à partir de barrages pour la plupart et de forages dans le Nord du pays (tableau 04). Dans le Sud l'irrigation des périmètres est assurée à partir de forages profonds dans les grandes nappes souterraines de l'albien. Leur superficie totale équipée actuelle est de l'ordre de 200.000 ha. La surface irrigable représente environ 150.000 ha (nettement inférieure à la surface équipée en raison des pertes occasionnées par la dégradation des sols). La surface effectivement irriguée est de l'ordre de 40.000 ha seulement. Des programmes de remise en état et de rénovation des systèmes de distribution sont en cours pour accroître cette surface. Les cultures pratiquées dans les GPI (en 2008) sont en grande partie l'arboriculture (64,6 % des surfaces irriguées), le maraîchage (28,5 %), des cultures industrielles (6,1 %) et le reste céréales et fourrages. Il y a lieu de remarquer le faible développement des cultures industrielles malgré la vocation des GPI pour ces spéculations, probablement dû à l'absence de valorisation par les filières de transformation. Faiblesse également de la production des cultures fourragères (Benblidia, 2011).

b) Classification des Systèmes d'irrigation : Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories : L'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. Cette dernière est classée en deux types l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. La figure ci-dessous présente une architecture de ces différentes méthodes d'irrigation pratiquées partout dans le monde (Azougah, 2001).

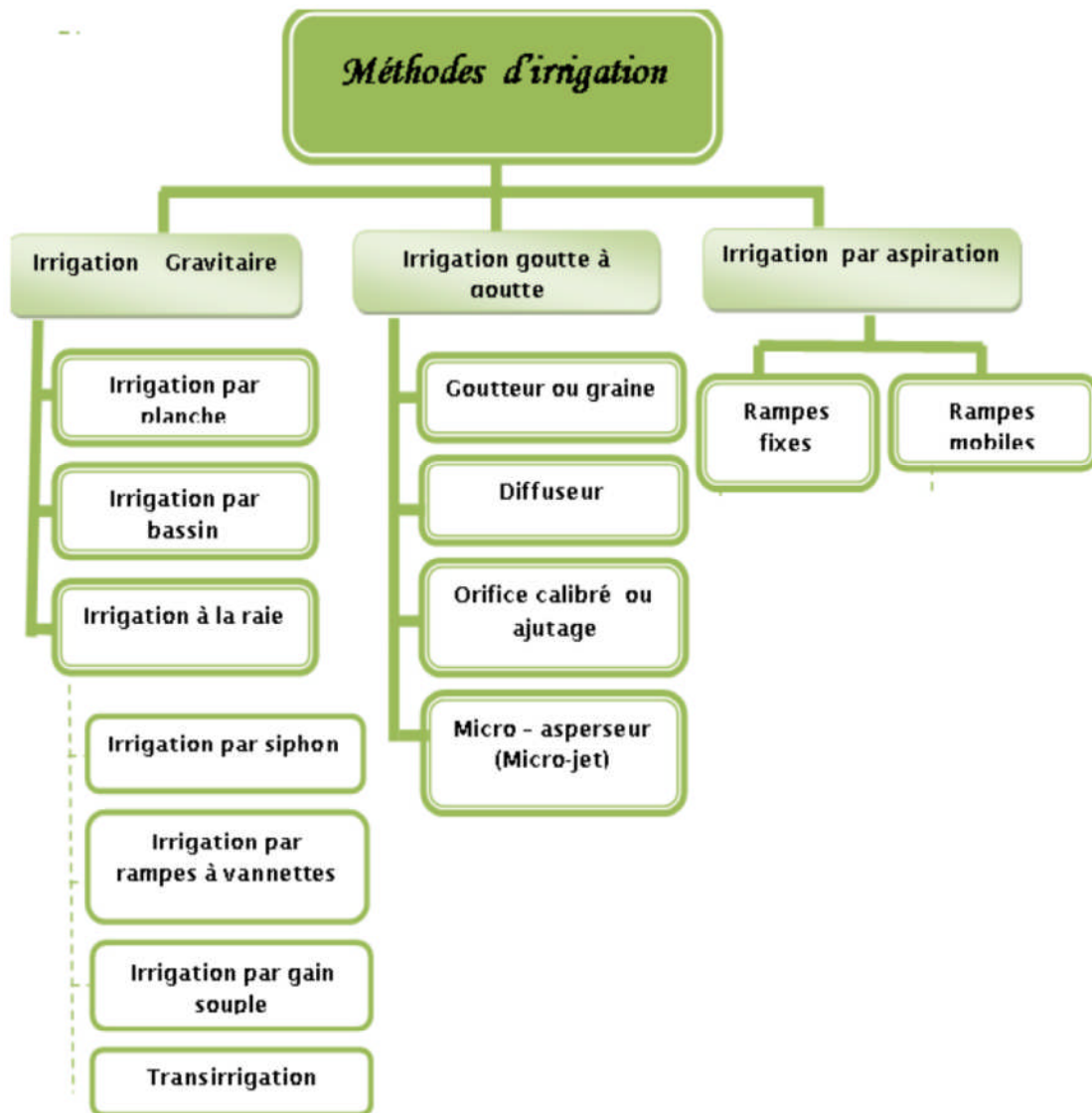


Figure 06 : Différentes méthodes d'irrigation pratiquées (Azougagh, 2001).

II.8. Différent types d'irrigation

II.8.1. Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste à répartir l'eau sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans les sillons (irrigation à la raie) ou en nappe (irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin).

Elle reste le mode le plus répandu dans les périmètres irrigués dans le monde. Cette technique trouve sa large utilisation dans le fait qu'elle est adaptée aux parcelles de mauvais état de nivellement.

II.8.1.1. Types d'irrigation gravitaire

Dans l'irrigation gravitaire il y a plusieurs types d'irrigation dont les trois suivants sont les plus connus : l'irrigation à la raie, l'irrigation par planche ainsi que l'irrigation par bassin.

L'irrigation à la raie est divisée aussi en quatre types principaux (Azouggah, 2001) :

Par siphon

Les siphons sont des tuyaux de petit diamètre (20 à 50mm) d'une longueur comprise entre 1 m et 1,50m. Ils sont réalisés en matériaux rigides ou semi-rigides, les plus courants étant en PVC. Ils nécessitent une faible charge de 10 à 20cm et permettent, sous ces charges, de délivrer un débit pouvant varier de 0,4 à 2 l/s environ. Les siphons présentent l'avantage de ne pas coûter cher, ils permettent d'assurer une bonne répartition des débits.

Par gaines souples

Les gaines souples sont constituées d'une manche souple en matière plastique placée en tête de parcelle sur laquelle sont fixées des manchettes de dérivation qui alimentent les raies. Ces manchettes sont souvent munies d'un dispositif permettant d'écraser plus ou moins le tube pour limiter les débits, elles ont un diamètre de 50mm et une longueur de 0,50m. L'utilisation correcte des gaines nécessite une charge de 40cm à 1 m de colonne d'eau. A titre indicatif, le débit à pleine ouverture d'une dérivation est de l'ordre de 2 l/s pour une charge de 50 à 60cm.

Les gaines souples présentent l'avantage de pouvoir être installées rapidement, elles peuvent être pliées et rangées aisément en fin de campagne. L'inconvénient majeur est de ne pas permettre un réglage précis des débits admis dans les raies.

Par rampe à vannettes

Ce type de matérielle correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'intervention sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage des débits par des vannettes coulissantes ; qui offrent des positions d'ouverture 25, 50, 75 et 100% par rapport aux siphons, on évite l'opération d'amorçage qui est un travail lent et fatigant. L'autre avantage réside dans le fait que les débits obtenus sont plus précis et faibles et de ne pas gêner les travaux agricoles. Par contre une étude de dimensionnement est nécessaire. Lorsque l'irrigation de toute la parcelle se fait en même temps, toutes les sorties sont ouvertes, sinon les sorties non utilisées doivent être fermées d'une manière étanche.

Transirrigation

Le système transirrigation est constitué d'un tuyau rigide posé avec une pente régulière en tête de parcelle et percé d'orifices calibrés qui alimentent les raies. Le déplacement automatique d'un piston à l'intérieur du tube entraîne le déplacement de la main d'eau sur l'ensemble de la parcelle. Le nombre de trous alimentés est toujours le même, et le débit de chaque trou décroît progressivement jusqu'à s'annuler au fur et à mesure que le piston se déplace vers l'aval du trou. Le tuyau est en PVC rigide traité anti ultra-violet de diamètre de 150mm il est posé avec une pente comprise entre 2.5 et 6mm par mètre et les orifices sont calculés en fonction du débit que l'on souhaite obtenir, la main d'eau délivrée est de l'ordre de 30 à 50 l/s. Ce dispositif présente l'avantage de nécessiter peu de travail pendant l'irrigation. Il permet par ailleurs une très bonne maîtrise de la dose apportée grâce à la modulation automatique des débits décroissants à chaque trou ; ce qui permet de réduire les pertes en colature. L'installation peut être en surface ou enterrée avec des cannes de sortie sur chaque orifice.

Par planche

L'irrigation par planche Consiste à faire couler une mince couche sur un sol incliné de 0.2 à 3 %. Le débit à déverser en fonction de la pente, de largeur et de longueur de la planche. Cette méthode est loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables. Une des formules pratiques est celle de Crevat qui consiste à déterminer la longueur de la planche qui dépend de l'infiltration du sol, ce qui correspondrait au temps de ruissellement. Autrement dit, l'aiguadier ouvre la vanne et attend que l'eau arrive au bas de la planche, et à ce moment-là il ferme la vanne d'arrivée (Azougagh, 2001).

Par bassin

L'irrigation par bassin est la plus connue dans l'irrigation gravitaire. Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0.1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin. La taille des bassins est de 40 à 50m² (Azougagh, 2001).

Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire présente plusieurs avantages tels que :

- ❖ les coûts d'investissement sont souvent relativement faibles,
- ❖ les besoins énergétiques sont faibles ou nuls,

- ❖ ces techniques sont anciennes, bien connues et éprouvées et sont insensibles au vent,
- ❖ les végétaux ne sont généralement pas mouillés, ce qui est plus favorable sur le plan phytosanitaire,
- ❖ les techniques sont assez bien adaptées à l'épandage d'eaux de sortie de station d'épuration par exemple ;
- ❖ contribution à l'alimentation des nappes phréatiques.

Néanmoins, ce système présente aussi des inconvénients :

- besoin en main d'œuvre important,
- faible rendement (sauf s'il y a recyclage des eaux de colatures),
- terrassements, souvent, importants et impliquent la possibilité d'apparition de zones plus ou moins stériles en surface,
- techniques inadaptées sur des sols filtrants,
- desserte des parcelles par des canaux entraîne des pertes de place (ce qui disparaît si l'on peut recourir à des canalisations enterrées et fonctionnant à basses pressions),
- parcellaire est souvent figée,
- pertes (et parfois des vols) d'eau dans les canaux selon la nature du sol et parfois des problèmes de qualité de l'eau,
- nécessité un terrain plat ou un nivellement,
- difficultés de l'estimation du volume réellement consommé,
- possible pollution par déversement,

Salinisation des sols

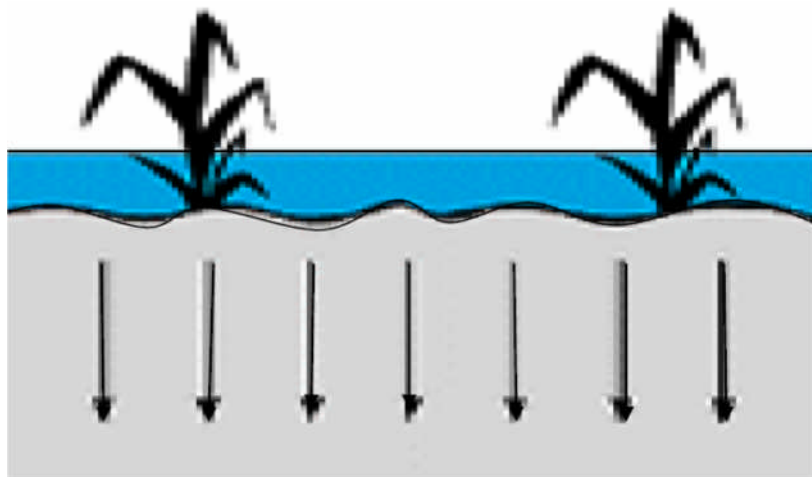


Figure 07 : Schéma montrant la perte de l'eau par filtration dans l'irrigation gravitaire (Azougagh, 2001).

II.8.2. Irrigation par aspersion

En irrigation par aspersion, l'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimentés sous pression, choisis et disposés de façon à obtenir la répartition la plus uniforme possible de la pluviométrie (figure 8). Il existe deux grandes catégories d'arrosage par aspersion en fonction du matériel utilisé (Azougghagh, 2001) :

- Les rampes mobiles.
- Les rampes fixes.

Une installation d'irrigation sous pression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants.

L'irrigation par aspersion reproduit le phénomène naturel de la pluie, en maîtrisant l'intensité et la hauteur de la précipitation. Cette technique nécessite des conditions de pression moyenne à forte (de 3 à 6 bars à la buse) (Azougghagh, 2001).

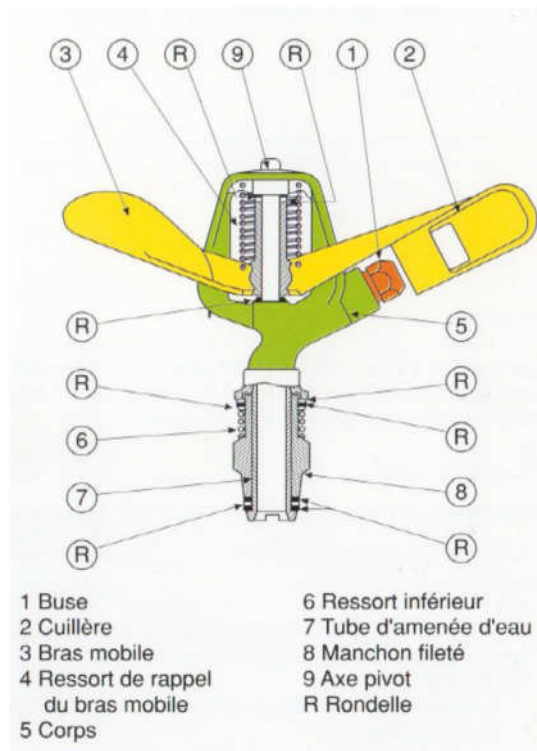


Figure 08: Schéma d'un asperseur(Azougghagh, 2001).

II.8.2.1. Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion

Parmi les avantages de l'irrigation par aspersion, on peut citer :

- ✓ Besoins en main-d'œuvre généralement faibles (mais très variables selon le degré d'automatisation),
- ✓ Absence de nivellement préalable. Cependant, la pente générale du sol ne doit pas en principe dépassé 10 %,
- ✓ Possibilité d'arroser tous les types de sol. On peut obtenir la même efficacité d'arrosage sur les sols les plus sableux que sur les sols les plus argileux, grâce à la large gamme des intensités pluviométriques offertes par les différents matériels. La pluviométrie maximale admissible varie en effet en fonction du type de sol, de la couverture du sol et de la pente,
- ✓ Possibilité de contrôle précis des doses appliquées, ce qui permet un bon rendement des arrosages (à condition que la technique soit bien maîtrisée par les irrigants),
- ✓ Bon rendement des réseaux de canalisation qui, avec une bonne efficacité d'arrosage à la parcelle, réduit les consommations en eau par rapport à l'irrigation de surface,
- ✓ Automatisation très poussée permise par le réseau sous pression,
- ✓ Possibilité de réaliser des arrosages à faible dose et à cadence rapide (levée de semis en l'absence de pluie : cultures de contre-saison, céréaliculture en zone désertique),
- ✓ Facilité de mesure des consommations d'eau, permettant la facturation au volume,
- ✓ Possibilité de mélanger, facilement, des engrais et pesticides à l'eau d'irrigation,
- ✓ Suppression des surfaces perdues en emprises de canaux et rigoles,
- ✓ Oxygénation de l'eau projetée en pluie, favorable dans le cas d'utilisation d'eaux résiduaires réductrices,
- ✓ Le matériel gêne rarement les façons culturales et est constitué de structures souples, mobiles, adaptables à tous les cas particuliers,

Par ailleurs les inconvénients peuvent être ainsi résumés :

- ✚ Coûts d'investissement élevés, - Exigence un certain niveau de compétence de la part de l'irrigant permettant de garantir la maintenance des équipements,
- ✚ Dépense énergétique élevée, parfois prohibitive dans les pays où l'énergie est chère,
- ✚ Difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées,
- ✚ Obligation de multiplier les traitements phytosanitaires en raison du mouillage des feuilles favorisant les maladies cryptogamiques chez certaines espèces végétales,

- ✚ Mauvaise adaptation aux sols « battants », susceptibles de tassement superficiel sous l'impact des gouttes d'eau,
- ✚ Possibilités réduites pour l'arrosage avec des eaux résiduaires (formation d'aérosols),
- ✚ Déplacement du matériel difficile dans les zones à cultures hautes (inconvenient supprimé dans le cas des systèmes automatisés),
- ✚ Ne convient pas aux eaux salées sur beaucoup de cultures (risque de brûlure du feuillage, ou de dépôts inesthétiques sur les fruits).

II.8.3. Irrigation localisée

L'irrigation localisée ou irrigation goutte à goutte est l'ensemble d'apport d'eau localisée au voisinage des racines des plantes, avec des doses réduites mais, à fréquences élevées.

Dans son principe, l'irrigation localisée, n'est en fait qu'une amélioration des techniques traditionnelles. Il consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines de chacune des plantes et à la distribuer au compte-goutte, en surface ou en souterrain, à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés. Bien menée, cette technique permet de, notamment, diminuer la consommation d'eau : elle n'humidifie que la portion de sol située au voisinage immédiat des racines, et elle limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde (Azougagh, 2001).

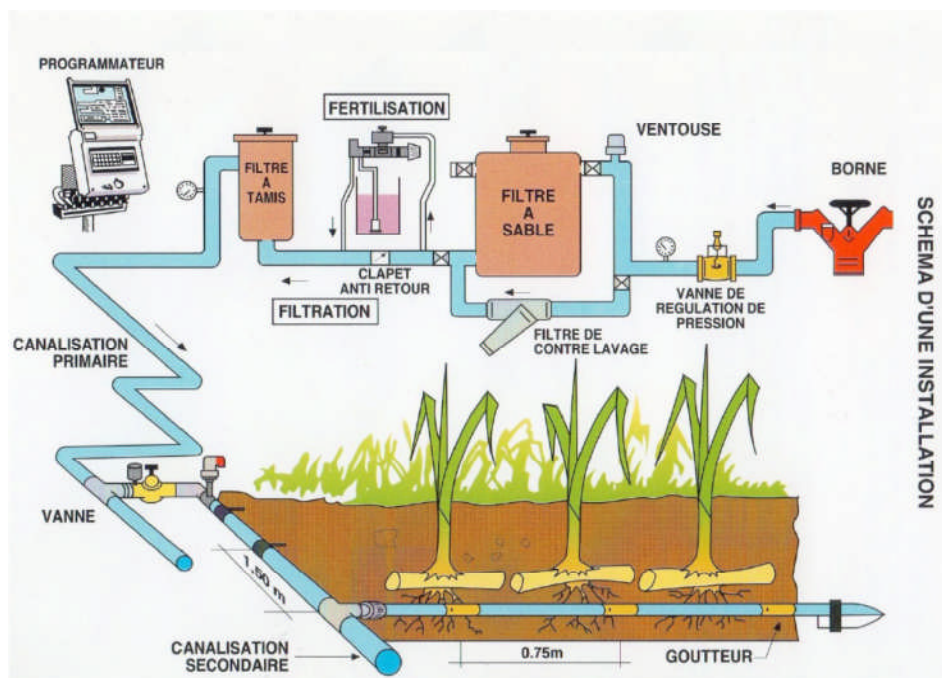


Figure 09 : Schéma d'une installation de goutte à goutte (Azougagh, 2001).

II.8.3.1. Types d'irrigation localisée

Dans l'irrigation localisée, il y a 4 types : goutteur ou gaine, diffuseur, orifice calibré ou ajustage et micro asperseur.

II.8.3.2. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation localisée

Par rapport à l'aspersion ou à l'irrigation gravitaire, l'irrigation localisée présente les avantages suivants (Azouggah, 2001) :

✓ Economie d'eau : La surface de contact eau-air étant très faible (quelque dm^2 les pertes par vaporisation sont donc faibles. D'autre part, la ligne de goutteurs étant en général, placée au voisinage immédiat des cultures, le développement des adventices est limité et de ce fait les phénomènes de concurrence se trouvant réduits. Les doses étant faible dont les pertes par percolation se trouvent limitées.

✓ Contrôle précis des quantités d'eau apportées : à condition que l'installation soit bien dimensionnée.

✓ - Pression de fonctionnement faible : La pression nominale des distributeurs est en général de 10m.c.e (mètre colonne d'eau, 10m.c.e = 1 Bar). Si on estime que les pertes des charges au niveau d'une station de tête se situent entre 10 à 15m selon la complexité de l'installation, la pression nécessaire en tête de parcelle est de 20 à 25m contre 30 à 40m pour l'aspiration.

✓ Enherbement réduit : la localisation de l'eau limite le développement des adventices (mauvaises herbes).

✓ Possibilité d'arrosage sous paillage plastique : cas par exemple des fraisiers ou des melons.

✓ Réduction du tassement du sol et maintien d'une structure favorable

✓ Contrôle de fertilisation.

✓ Possibilité d'automatiser.

✓ La distribution dans le champ est uniforme, L'eau est apportée directement à l'endroit nécessaire, au niveau des racines.

Malgré ces avantages il présente aussi des inconvénients qui permet être reconnus ainsi:

✚ Bouchage (abstraction des goutteurs) : les inconvénients les plus importants sont ceux liés au problème de bouchage soit en raison de la qualité d'eau soit à cause de l'utilisation de certains engrais, d'où l'intérêt d'utiliser les filtres pour améliorer la qualité de l'eau,

✚ Salinisation excessive du sol (accumulation des sels) : toute eau d'irrigation contient des sels dissous, la plante prend d'eau et les sels restent dans le sol, durant la saison d'irrigation ces sels généralement refoulés à la limite externe du bulbe humide, en apportant plus d'eau que la plante n'en consomme de la zone racinaire et risque de provoquer de sérieux dégâts sur la culture,

✚ Investissement ; l'équipement se fait pour la parcelle donnée sans possibilité de rotation sur d'autre parcelle,

✚ Mauvaise répartition de l'eau dans le sol : l'irrigation localisée n'assure l'humidification que d'une fraction du volume du sol susceptible d'être exploré par les racines. Aussi en zone aride le développement racinaire de la culture se limite-t-il à la zone humidifiée par l'ensemble des distributeurs.

II.9. L'eau dans le sol

Sous nos climats, l'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluie, neige, rosée et brouillard. Toute l'eau des précipitations n'atteint pas le sol: une part est évaporée directement pendant et après la pluie; les gouttes peuvent être interceptées en partie par le feuillage. L'eau qui atteint le sol ruisselle, s'infiltre et ré-humecte le sol. Les racines absorbent cette eau que la tige et les feuilles évaporent par transpiration. Une fraction réduite finalement gagne la profondeur et atteint la nappe. Un profil habituel de la quantité d'eau contenu dans une coupe du sol et du sous-sol habituel de la quantité d'eau contenu dans une coupe du sol et du sous-sol montre une augmentation de la teneur en eau avec la profondeur.

L'eau peut se trouver dans plusieurs états à l'intérieur d'un sol, suivant l'intensité des forces liant ses molécules aux particules solides (figure 10). On distingue (Choisel E. et Noilhan J. (1995), Coulomb C. (1992), vers de terre : <http://www.regenwurm.ch/fr>.

❖ Eau de constitution, qui entre dans la composition chimique des minéraux dont les particules de sol sont formées.

❖ Eau liée ou absorbée, à la surface des grains très fins, qui est orientée par les forces d'attraction moléculaire et les forces électrostatiques ; elle a une viscosité élevée et ne transmet pas les pressions.

❖ Eau libre, qui circule librement dans les pores du sol sous l'effet des forces de pesanteur.

❖ Eau capillaire, qui est, dans les sols non saturés, en présence d'air ou d'autres gaz, est retenue dans les canaux les plus fins du sol par les forces capillaires.

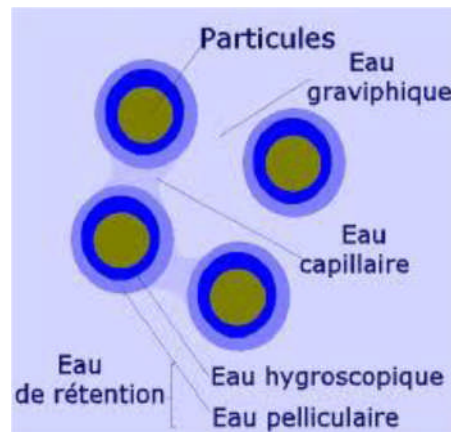


Figure 10 : Etats de l'eau dans le sol (Choisel E et Noilhan J, 1995).

II.9.1. Rôle de l'eau dans le sol

L'eau est une composante essentielle de la matière alimentaire où elle joue un rôle primordial dans toutes les transformations. Composante majeure ou mineure. Il est nécessaire selon les recettes d'ajouter de l'eau ou d'en enlever. Si l'eau entre dans la formulation de l'aliment, il s'agit alors d'un fluide alimentaire, mais elle joue un rôle tout aussi important comme fluide technique et l'eau utilisée à ce titre dans certains processus technologiques peut se retrouver partiellement incorporée au produit et faire ainsi partie de ses constituants. Cette eau requerrera donc une qualité alimentaire au même titre que l'eau de formulation. (Gérard G, 1999).

II.9.2. Humidité du sol

Quantité d'eau contenue dans un produit et généralement exprimée en pourcentage du poids d'eau dans le produit avant déshydratation (Gérard G, 1999).

C'est la masse d'eau relative à la masse des particules de sol sec, souvent dénommée la « teneur en eau gravimétrique ». Le terme « sol sec » est généralement défini par le sol séché à l'équilibre dans une étuve à 105°C. quoique l'argile contienne souvent des quantités encore appréciables d'eau à cet état de dessiccation et même à plus hautes températures. Un sol séché à l'air à température ordinaire contient plus d'eau que le sol séché à l'étuve. Ceci est dû à la vapeur d'eau qui reste absorbée et est souvent appelé l'« hygroscopicité » du sol. Dans un sol minéral saturé, w peut varier entre 25 et 60% selon la densité apparente. L'humidité à saturation est en général plus élevée dans les sols argileux que dans les sols sableux. Dans les sols organiques, tels que les tourbes, l'humidité saturante sur base de poids peut parfois dépasser 100%. (Daniel H, 1988).

II.10. Les facteurs influençant la capacité de rétention du sol

La valeur de la capacité au champ, mesurée habituellement, varie de 4% (en poids) pour les sables à 45% pour des sols argileux lourds et jusqu'à 100% et plus pour certains sols organiques (Daniel H, 1988).

II.10.1. La texture

La texture d'un sol, soit la répartition de la taille de ses éléments constitutifs, est caractérisée par une courbe granulométrique. Cette courbe indique, sur une base pondérale et en fonction du diamètre apparent, les taux de particules solides de taille inférieure et supérieure à ce diamètre. Elle s'obtient en appliquant successivement diverses techniques de séparation (tamisage, sédimentation, etc.) à un échantillon de sol. (Marc S et al, 2007).

On appelle texture du sol sa composition granulométrique définie d'après la proportion des particules minérales inférieures à 2mm, classées, après destruction des agrégats, par catégories de grosseur en fractions principales. Les particules minérales supérieures à 2mm (graviers, cailloux...) constituent le refus par opposition à la terre fine inférieure à 2mm. (Clément M et al, 2007).

Les sols argileux retiennent l'eau en plus grande quantité et pendant plus longtemps que les sols sableux. Par conséquent, plus la structure est fine et plus la capacité au champ apparente sera élevée, et plus lentement sera-t-elle atteinte et sa valeur sera moins distincte (Daniel H, 1988).

II.10.2. La structure

La structure d'un sol peut être caractérisée de manière purement qualitative par le mode d'arrangement de ses particules élémentaire (structures particulaire, fragmentaire, continue etc.). (Marc S et al, 2007).

II.10.3. La nature des argiles

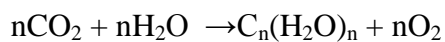
La fraction qui détermine d'une manière décisive le comportement physique du sol est l'argile colloïdale puisqu'elle exhibe la surface spécifique la plus grande et par conséquent, la plus active dans les processus physico-chimiques. Les particules d'argile absorbent l'eau et donc provoquent le gonflement et le retrait du sol selon qu'il se mouille ou se dessèche (Grim, 1958). La plupart de celles-ci sont chargées négativement et il se forme une double couche électrostatique avec les ions échangeables. Les sables et les limons ont des surfaces spécifiques et des activités physico-chimiques relativement réduites. Ces fractions peuvent

être dénommées le squelette du sol, tandis que l'argile, par analogie, peut être considérée comme la chair du sol. Ensemble, elles forment la matrice solide du sol.

Plus la teneur en montmorillonite est élevée, plus la teneur en eau absorbée et retenue à n'importe quel moment sera forte (Daniel H, 1988).

II.10.4. La matière organique

L'eau entre dans la constitution des matières organiques. Dans la photosynthèse, par exemple, les premiers produits peuvent être considérés comme le résultat de la condensation de gaz carbonique et d'eau suivant le schéma :



L'eau a aussi un rôle de régulateur de la température des tissus ; en effet, sous le climat tempéré, 1kg d'eau produit 3g de matière sèche qui, si elles contiennent 50% de carbone, gardent également 1.5g d'eau qui restent fixés. La différence traverse la plante et s'évapore. (Clément M et *al*, 2007).

Les sols organiques permettent de retenir plus d'eau quoique la quantité de matière organique normalement présente dans les sols minéraux soit trop petite pour avoir beaucoup d'influence (Daniel H, 1988).

II.10.5. Point de flétrissement

Il a été longtemps défini d'une façon statique comme la teneur en eau à pF 4,2 (16 atmosphères), cette teneur en eau variant avec la texture du sol, Hallaire a montré (1960) que l'eau était utilisable par les plantes de part et d'autre de cette limite de façon variable selon l'espèce végétale la vitesse instantanée du dessèchement du sol (Bonneau et Souchier, 1979).

II.10.6. L'humidité équivalente (HE)

Au laboratoire, il est impossible de reconstituer exactement le terrain et ce qui s'y passe réellement. On ne peut opérer que sur un échantillon prélevé en lui appliquant une contrainte pour déplacer l'eau en excès jusqu'à atteindre un pseudo-équilibre censé correspondre à la capacité au champ. Pendant longtemps, il a été admis que la contrainte nécessaire était une pression de 1 bar ou son équivalent théorique, une force centrifuge de 1000g. C'est cela, l'humidité équivalente : la quantité d'eau retenue contre une succion de 1 bar ou 1 Kg/cm² (pF=3) (Denis Baize, 2000).

Deuxième Partie

Matériel & Méthodes

I. Objectifs du travail

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact des eaux d'irrigation sur le taux de carbone organique dans un sol steppique, il consiste à suivre l'évolution du taux de carbone organique dans le sol au cours du temps avant et après irrigation. La parcelle non irriguée a été retenue à titre comparatif, comme témoin.

II. Présentation de la zone d'étude

II.1. Situation géographique

La région de Ksar Chellala se situe à environ 250 km au sud d'Alger, dans la vallée de l'Oued Touil au cœur des hautes plaines algériennes représentant un plateau dont l'altitude se situe entre les cotes de 700 à 800 mètres. Ces coordonnées géographiques (Terchoune M, 2015)

- Altitude : 800 m
- Latitude : 35,1° latitude Nord.
- Longitude : 2,12° Longitude Est.

II.2. Situation administrative

La commune de Ksar Chellala a une superficie de 134,29 km² avec une densité populaire de 428/Km² se situe au sud-ouest de la capitale Alger d'une distance par route de 250Km, elle est situé environ 116 km au sud-est de la wilaya de Tiaret (Sarri F, 2002).

Elle est limitée administrativement par :

- l'Est par la commune de Serguine.
- Au Nord par la commune de Djalfa.
- Au Sud Zmal et Elamir Abdelkader.
- A l'Ouest la commune de Rechaiga.

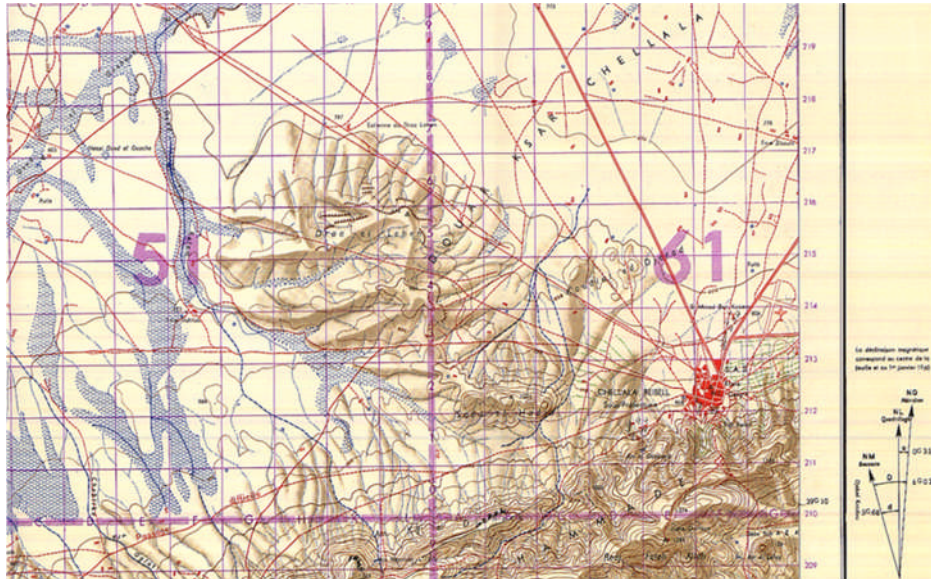


Figure 11: Localisation de la zone d'étude.

Extrait de : CANEVAS-CARTE AU 50 000 REIBEL feuille N° 249.

II.3. Géologie

La zone de Ksar Chellala se présente sous forme d'une cuvette où les altitudes vont décroissant du Sud vers le Nord d'une part, et d'autre part de la zone Nord-Nord-Ouest et Ouest vers l'oued Touil. Cette zone Nord-Nord-Ouest et Ouest, est constituée de structures dont le point culminant est à 1300m pour le Djebel Ben Hammade. Plus au Sud, le Djebel Hachemia par rapport au Djebel Ben Hammade constitue la terminaison Est de l'anticlinal du Djebel Nador. L'essentiel des formations de ces structures sont d'âge Jurassique. Dans la plaine, celle-ci est recouverte sur de vastes surfaces de formations d'âge Quaternaire (qui tapissent la vallée du Touil proprement dite), Tertiaire (Mio-Pliocène) et Crétacé. (Ayad A, 1997).

II.3.1. Stratigraphie

La description lithologique des terrains affleurant ou mis en évidence par forage se présente comme suit:

❖ Trias

Il est constitué d'argiles bariolées, de gypses, de dolomies grises cristallines, de marnes grises, de calcaires noirs et gris foncés. La puissance de cette formation n'a pas été déterminée.

❖ Jurassique

Les formations appartiennent au Jurassique moyen et supérieur (Dogger et Malm).

❖ Dogger

Celui-ci est représenté par des calcaires gris bleu, à silex et à microfilmant, affleure de façon restreinte près de Ben Hamade.

❖ Callovo-oxfordien

Ces formations sont représentées par alternances d'argiles gréseuses, de marno-calcaire gris bleu dont la puissance n'excède pas les 150-200m.

❖ Kimméridgien inférieur

Présent à l'extrémité Nord-Est, Sud-Ouest et dans la partie centrale, cet étage est représenté par des dolomies cristallines à passées de marnes et de calcaires de la base vers le sommet. La puissance de ces formations est de l'ordre de 250-400m (Ayad A, 1997).

II.3.2. Les reliefs

Les montagnes de Ksar-Chellala sont érodées et constituent le prolongement géologique nord oriental du Djebel Nador (1475 m) formées d'un ensemble de chaînes subparallèles allongées selon une direction NE-SW et constituent pour le réseau hydrographique local une ligne de partage des eaux (Si Youcef S, 2015).

II.3.2.1. Grands traits du relief : (INSID)**▪ Topographie et altimétrie**

L'altitude moyenne est de 840m apporte des températures froides en hiver et chaudes en été en raison d'un fort ensoleillement, ceci est le cas dans notre zone d'étude.

▪ Pentes

Les pentes sont généralement inférieures à 6%, nous notons qu'avec ces pentes, il n'existe pas pratiquement un risque majeur d'érosion.

II.4. Synthèse climatique

La combinaison des données des précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviothermique de Gaussen et le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climagramme d'Emberger) et/ou le calcul de l'indice d'aridité (Si youcef S, 2015).

II.4.1. Diagramme pluviométrique

On se base sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, On peut établir le diagramme pluviométrique dont le but est de déterminer les saisons sèche et celle humide de la région étudiée.

Le mois sec est lorsque le rapport précipitation (P) sur température (T) est inférieure à 2 ($P/T < 2$). Sur la base de l'équation $P = 2T$, nous avons réalisé le diagramme ombrothermique de la région de Ksar Chellala.

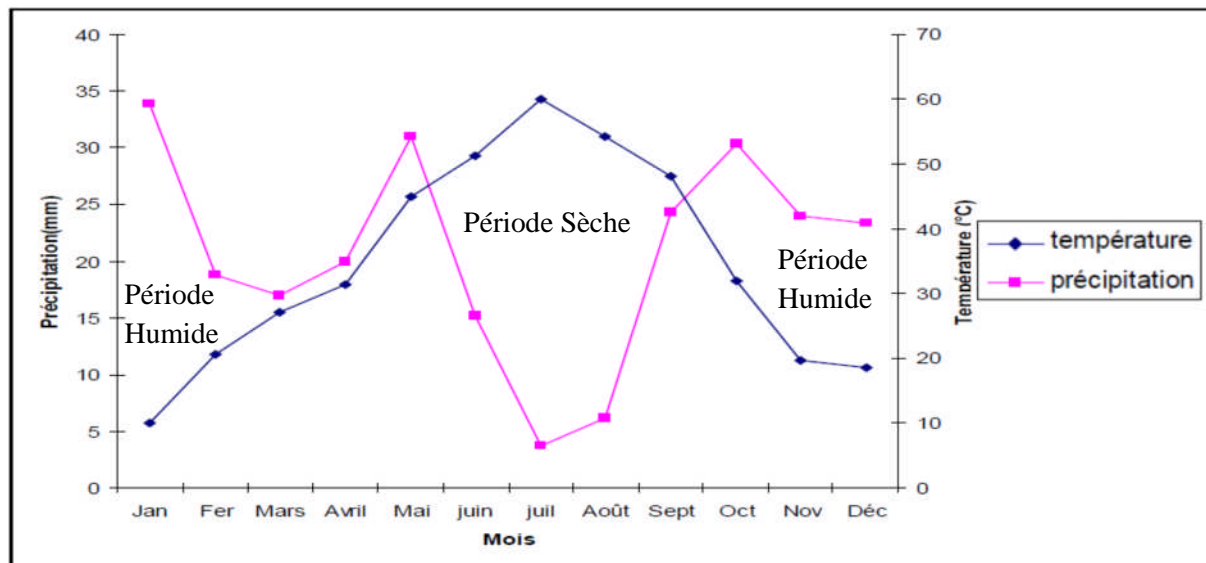


Figure 12: Diagramme Ombrothermique de Bagnoulset Gaussen de la région de Ksar Chellala (2003-2015).

Selon le diagramme ombrothermique de gaussen la saison sèche (l'intersection entre courbe de précipitation et celle de température) commence en mois mai et se termine le mois de septembre. La saison humide s'étale de septembre à mars. (Terchoune M, 2015)

II.4.2. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen représente un rapport entre les précipitations et les températures moyennes annuelles. Il permet une classification bioclimatique des milieux (Soltner, 1984). Il est déterminé par la formule suivante : $Q = 3.43 \times P / (M - m)$ où :

- Q : quotient pluviométrique en mm/°C,
- 3.43 : constante relative à la région : Algérie – Maroc.
- M : température maximale du mois le plus chaud en °C.
- m : température minimale du mois le plus froid en °C.

➤ P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

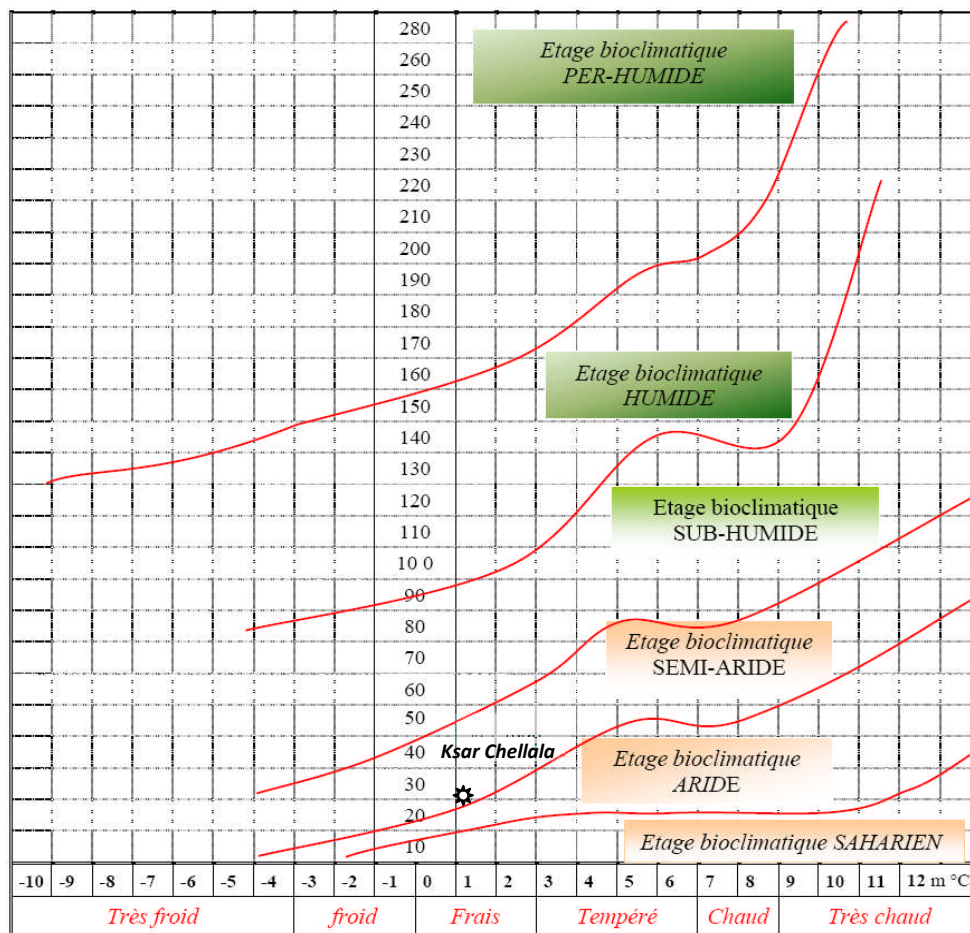


Figure 13 : Climagramme d'Emberger la région de Ksar Chellala.

Après avoir reporté la valeur du quotient pluviométrique d'Emberger sur le climatogramme, nous avons conclu que la zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique Semi-aride à hiver frais (figure 13).

II.4.3. Les paramètres climatiques

Les données climatiques de la région d'étude durant une période de 25 ans (1990-2015) sont enregistrées au niveau de station climatique d'ONM de Ksar Chellala (Si Youcef S, 2015).

Ces paramètres ont permis de caractériser le climat de notre zone d'étude. Les principaux facteurs climatiques qui sont intégrés dans la majorité des indices climatiques sont la pluviométrie et la température.

Tableau 04 : Caractéristiques de la station météorologique de Ksar Chellala.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période
Ksar Chellala	20°19'	35°10'	800	1990-2015

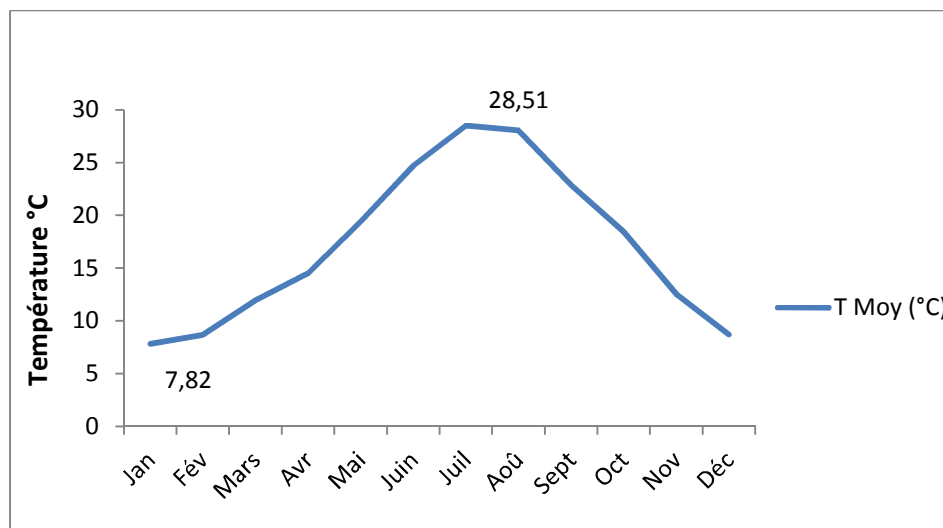
II.4.3.1. Température de l'air

La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration). Le tableau 05 résume les données concernant ce paramètre, mesurées à la station de Ksar Chellala. (Si youcef S, 2015)

Tableau 05 : Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude Ksar Chellala Période 1990-2015.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
T Moy (°C)	7,82	8,67	11,94	14,52	19,40	24,71	28,51	28,05	22,88	18,44	12,52	8,71	17,18

D'après la figure 14, on observe que le mois de Janvier présente la température °C mensuelle minimale (7.82 °C), alors que le mois de Juillet présente la température mensuelle maximale (28.51°C). La moyenne annuelle pour la période (1990-2015) est de l'ordre de 17.18°C.

**Figure 14: Répartition des températures moyennes mensuelles de Ksar Chellala (1990-2015).**

II.4.3.2. Pluviométries

L'étude de la pluviométrie sert à l'évaluation globale des eaux tombées qui influence sur la variation du niveau d'eau de surface et souterraine.

La station de Ksar Chellala a enregistré une moyenne annuelle de pluviométrie de 267,40 mm pour la période allant 1990 à 2015. (Si Youcef S, 2015)

❖ Pluviométries moyennes mensuelles :

Pendant une période de 25 ans depuis 1990 jusqu'à 2015, les précipitations moyennes mensuelles de notre zone d'étude sont regroupées dans le tableau ci-dessus :

Tableau 06: Pluviométries moyennes mensuelles (mm) à la station météorologique de Ksar Chellala Période : 1990 à 2015.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
P (mm)	17,06	23,40	23,30	22,96	27,83	13,48	7,63	11,27	35,64	29,07	35,28	20,50	267,40

D'après l'histogramme (figure 15), la pluviométrie maximale est de l'ordre de 35,64 ; 35,28 mm pendant les mois de Septembre, Novembre; minimum est de l'ordre de 7.36 mm observée pendant le mois de juillet, la moyenne annuel est 267,40mm.

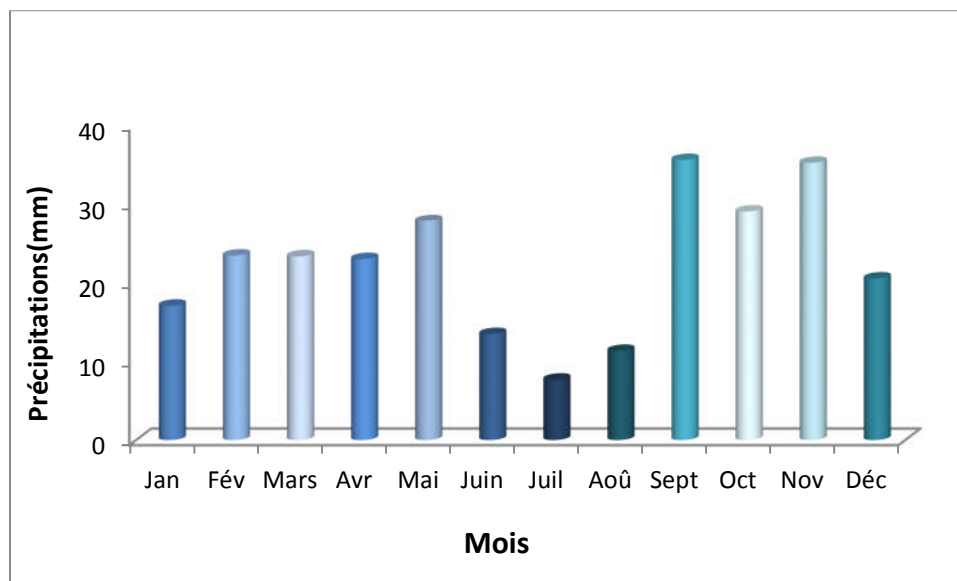


Figure 15: Répartition des précipitations (mm) moyenne mensuelles de Ksar Chellala (1990-2015).

II.5. Ressources hydriques

Elles sont importantes (nappes aquifères non exploitées pouvant donner un débit de 60 à 100l/s), mais restent à quantifier en fonction du développement.

Recensement de 165 puits et sources de types traditionnels dont les majeures parties ne sont plus fonctionnels.

L'Oued Touil est le principal cours d'eau de la région. Il est endoréique et alimenté par un important réseau hydrographique. Il rejoint Nahr Ouassel avant de se jeter dans la Sebkhah de Bougezoul qui s'ouvre sur le Cheliff.

Les nappes proviennent soit des formations plio-quadernaires, soit des formations gréseuses du crétacé inférieur ou des formations carbonatées du jurassique supérieur (Sarri F., 2002).

II.5.1. Ressources en eau superficielle

D'après l'étude Australienne, les ressources en eau de la zone s'élèvent à environ 3600 litres/s.

- Les crues de l'Oued Touil qui se jettent dans la mer sont estimées à environ 17000 m³/s, ce qui suppose d'importantes possibilités de recharge de la nappe et de collecte des eaux de ruissellement.

- Il existe un certain nombre de forages dans la zone dont la profondeur varie de 100 à 200 mètres,

- Le territoire de la commune de Ksar Chellala est drainé par un réseau hydrographique Représenté par Oued Touil.

D'une façon générale, les ressources en eau de la zone sont importantes, mais malheureusement mal prospectées (Si Youcef S, 2015).

II.5.2. Ressources en eau souterraine

La nappe aquifère est bien développée, c'est la nappe principale de la région limitée par les chaînes de montagnes de Chellala et Z'malt el Amir AEK. Elle est alimentée par les précipitations atmosphériques tombant en amont ainsi que dans les limites du périmètre. Une quantité importante d'eau s'écoule à travers les dépôts des graviers et de galets du faciès du lit de l'Oued Touil.

Elles sont estimées à environ 10 millions de m³ dont seulement 3.5 millions exploitables pour l'irrigation en agriculture. Sept localités ont été délimitées pour l'exploitation des eaux souterraines malheureusement mal prospectées (Si youcef S, 2015).

III. Echantillonnage

III.1. Techniques d'échantillonnage du sol

Le sol a été prélevé selon un protocole d'échantillonnage aléatoire. Les sols analysés sont prélevés dans des parcelles avant et après irrigation. Au niveau de chaque parcelle cinq (5) prélèvements ont été effectués en surface (0-30 cm). Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une tarière pédologique avant et après irrigation. Ces échantillons correctement étiquetés ont été acheminés vers le laboratoire où ils ont été étalés et séchés à l'air libre, puis tamisés à 2 mm et conservés.

IV. Analyses physico-chimiques du sol

Avant de procéder à l'analyse, les échantillons doivent subir impérativement un traitement préalable. Ce prétraitement consiste à laisser sécher les échantillons à l'air libre pendant une nuit. Les échantillons sont ensuite tamisés par un tamis dont la maille est de 2 mm afin d'obtenir une terre fine d'une part et de se débarrasser de toute matière grossière d'autre part.

IV.1. Humidité résiduelle du sol

L'humidité du sol est déterminée par une différence des pesées avant et après séchage d'un échantillon du sol dans une étuve à 105 °C pendant 24h. Le résultat de l'humidité obtenu est exprimé en pourcentage.

L'humidité résiduelle H est exprimée en pourcentage massique et elle est calculée par la relation suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = (\text{Poids humide} - \text{Poids sec}) / \text{Poids sec} * 100$$

Poids humide : étant la masse initiale d'échantillon et poids sec sa masse finale, après séchage à 105 °C et refroidissement.

IV.2. Le pH_{eau}

L'activité chimique des ions hydrogènes (H⁺) doit être déterminée, afin d'avoir une idée sur l'acidité ou l'alcalinité du sol. On la détermine souvent par la méthode potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre. Il est déterminé dans une suspension sol/eau distillée suivant un rapport 1/5.

IV.3. Le pH_{KCl}

Le pH_{KCl} a été mesuré par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH-mètre. Il est déterminé dans une suspension sol /Solution KCl suivant un rapport 1/5.

IV.4. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre comme dans le cas des eaux mais avec un protocole différent. Cette conductivité (mS/cm) exprime la capacité d'un sol mis en solution à se faire traverser par un courant électrique. La mesure de ce paramètre nécessite une petite préparation décrite ci-dessous :

- On pèse 10 g de terre qu'on met dans un flacon, puis on ajoute 50 ml d'eau distillée (rapport de 1/5), l'ensemble est mélangé à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 20 min.

- Après 20 min d'agitation, on mesure la conductivité à l'aide d'un conductimètre en prenant en considération la température du mélange eau-sol.

II.4. Perméabilité

Afin de pouvoir établir des comparaisons entre différents échantillons de terre, la mesure de la perméabilité en laboratoire est effectuée sur des sols préalablement séchés à l'air et prélevés sur le terrain suivant des conditions précédemment.

Dans un tube de verre ouvert aux 2 extrémités, on place une certaine quantité de terre fine obtenue après traitement particulier du prélèvement. Au travers de celle-ci on fait passer de l'eau sous une charge constante. La quantité d'eau recueillie permet de calculer un coefficient K (hauteur d'eau infiltrée par heure sous une charge de 1 cm au travers d'une colonne de terre d'une épaisseur de 1cm).

Cette valeur de K varie d'une part avec le moment de filtration et d'autre part avec l'époque de l'année au cours de laquelle a été fait le prélèvement ; d'où la nécessité de tenir compte de ces facteurs lors de l'établissement des comparaisons.

Au laboratoire, le cylindre a été fixé sur une table. Un système d'alimentation en eau réglable est mis en haut des cylindres afin d'assurer une alimentation continue sur les échantillons du sol prélevés. Une charge d'eau constante sur la surface du sol est assurée à l'aide d'un trop plein qui évacue tout excès d'eau durant l'expérience.

L'eau qui s'infiltré est récupérée dans un bac en aluminium placé sous les cylindres. La quantité (Q) d'eau récupérée après la saturation du sol représente une heure de mesure d'infiltration du sol. $K_s = Q \text{ (cm}^3\text{)}/S \text{ (cm}^2\text{)}/1\text{heure}$.

K_s : coefficient de la conductivité hydraulique à la saturation (cm/heure).

Q : volume d'eau percolé (cm³).

S : section en (cm²).

IV.5. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à séparer la partie minérale du sol en fractions selon les dimensions des particules et à déterminer, en poids, les proportions relatives de ces fractions.

La détermination des différentes fractions granulométriques est faite, selon la méthode AFNOR (1994). Après destruction de la matière organique, par attaque à l'eau oxygénée, on procède à la dispersion des particules minérales par ajout d'un agent défloculant tel que l'hexamétaphosphate. Néanmoins, elle diffère des autres méthodes internationales, dites à la pipette de Robinson, par le fait que 30g de sol sont d'abord attaqués à l'eau oxygénée puis 20g en sont prélevés (après séchage du sol) et traités à l'hexamétaphosphate, pour subir alors les prélèvements des argiles et des limons. Dans le cas de notre étude la décarbonation à l'acide chlorhydrique n'a pas été faite.

La fraction totale des sables est séparée par tamisage du contenu du flacon suivi par un séchage puis un tamisage pour ainsi obtenir les différentes fractions du sable total (gros et fin), tandis que les limons et les argiles sont séparés par sédimentation.

Le prélèvement des particules fines inférieures à 50µm (limons et argile), basé sur la loi de Stokes, se fait à la pipette Robinson (dans des conditions bien déterminées de température et de temps).

Les trois fractions ainsi déterminées permettent, avec l'utilisation du triangle texturale Américain (FAO, 1968) de connaître la texture du sol.

IV.6. La densité apparente

L'analyse de la densité apparente a été effectuée par la méthode du cylindre au niveau du premier horizon (0-25 cm).

$$(V \text{ en cm}^3) \cdot Da(\text{g/cm}^3) = \frac{P}{V}$$

IV.7. Calcaire total et actif (CaCO₃)

L'objectif est de déterminer à l'aide d'un acide fort (HCl), le volume de CO₂ dégagé, ce dernier est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium. (CaCO₃) contenu dans le sol. Ces carbonates sont déterminés selon le mode opératoire suivant :

- ✓ On pèse 1g de terre qu'on met dans un erlenmeyer.
- ✓ On verse 5 ml de HCl(50%) dans un flacon en polyéthylène qu'on met dans l'erlenmeyer, on raccorde l'erlenmeyer au calcimètre Bernard puis on agite.
- ✓ Tout en agitant, le volume d'eau coloré contenu dans le calcimètre baisse, une fois stabilisé on note sa valeur.

La valeur lue sur le tube gradué du calcimètre est remportée sur un tableau qui représente la quantité de CaCO₃ contenu dans le sol en fonction du CO₂ dégagé au cours de l'expérience et pour ce faire on doit obligatoirement prendre en considération la température.

$$\text{Calcul : } \text{CaCO}_3\% = \frac{\text{PT.V1}}{\text{V.P}} \times 100$$

Ou :

PT : Poids de CaCO₃ pur.

P : Poids de sol.

V1 : Volume de CO₂ produit par le sol.

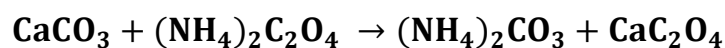
V : Volume de CO₂ produit par le CaCO₃ pur.

Tableau07 : Classification des sols selon le taux de calcaire.

Taux de CaCO ₃ total	Qualification du sol
CaCO ₃ ≤ 5%	Sol non calcaire
5 < CaCO ₃ ≤ 12,5%	Sol faiblement calcaire
12,5 < CaCO ₃ ≤ 25%	Sol modérément calcaire
25 < CaCO ₃ ≤ 50%	Sol fortement calcaire
CaCO ₃ > 50%	Sol très fortement calcaire

Le calcaire actif est une partie de calcaire total qui se trouve dans le sol à des dimensions très fines. Pour doser le calcaire actif, on a exploité la propriété de calcaire à se combiner aux oxalates pour précipiter sous forme d'oxalate de calcium.

Alors le principe de dosage se résume :



L'oxalate précipité est déterminé par l'infiltration et l'oxalate en excès est dosé par manganimétrie.

IV.8. Matières organique (Carbone organique)

La détermination de la teneur en matière organique a été obtenue par le dosage du carbone et le taux de la matière organique :

Selon la méthode ANNE (1945), le carbone est oxydé par le bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. L'excès de bichromate est titré par le sel de MOHR en présence de diphénylamine et le fluorure de sodium.

Les bichromates vont être fixés avec les molécules de carbone, ce qui reste des bichromates va être oxydé par le sel de Mohr : $C\% = (Y-X) \times 0.615$

Y : la quantité du sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'essai à blanc.

X : la quantité de sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'échantillon du sol.

La teneur en carbone organique est liée à la matière organique par la relation suivante :
 $MO\% = C\% \times 1.72$.

Ou :MO%: Matière Organique.

C%: Carbone organique.

IV.8. Analyses physico-chimique des eaux d'irrigation

En vue de déterminer la qualité physicochimique des eaux d'irrigation, des analyses sur échantillons ont été effectuées au laboratoire. Les analyses physico-chimiques réalisées sont : le pH, la conductivité électrique, le TDS, le résidus secs, le sodium (Na^{++}), Potassium (K^+), calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}), chlorures (Cl^-), Carbonate (CO_3^{-2}), bicarbonates : (HCO_3^-) et les sulfates SO_4^{-2} .

Troisième Partie

Résultats & Discussion

I. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques

I.1. Analyse granulométrique

Tableaux 8 : Analyse granulométrique des échantillons étudiés.

Echantillon	Granulométrie			Texture
	Argile %	Limon %	Sable %	
SOL1	18,02	55,43	26,55	Limono-Sableuse
SOL2	15,15	58,20	26,65	Limono-Sableuse
SOL3	15,15	58,20	26,65	Limono-Sableuse
SOL4	15,63	55,72	28,65	Limono-Sableuse
SOL5	12,61	59,02	28,37	Limono-Sableuse

D'après le tableau 8 et le triangle de texture du sol on remarque que la texture des sols pris en considération est à dominance de la fraction limoneuse et sableuse. Le sol étudié présente une texture légère limono-sableuse. Cette texture favorisait le lessivage des éléments nutritifs par les irrigations abondantes surtout en présence de teneurs faibles en argiles et en matière organique et influe sur les propriétés physico-chimiques des sols.

I.2. L'humidité

Selon Lassen et *al*, (1955), l'infiltration représente le mouvement de l'eau près de la surface du sol. L'eau pénètre dans le sol par les pores, les fissures, les orifices pratiqués par les vers ou occasionnés par la pourriture des racines ainsi par les cavités résultants des labours ou de la préparation du sol pour la plantation (Avila, 1980).

Tableau 9 : L'humidité des sols étudiés.

Echantillons Paramètre	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
H (%) Sol Avant IR	1,03	1,23	0,83	1,21	1,26
H (%) Sol Après IR	2,90	2,91	3,63	2,57	2,72

D'après les résultats obtenus dans le tableau 9 et la figure 16, on remarque que les valeurs de l'humidité du sol avant irrigation varient entre 0.83 % et 1.26 %, tandis que dans les échantillons du sol irrigués ces valeurs varient entre 2.57% et 3.63 %. L'humidité du sol non irrigué est inférieure par rapport du sol après irrigation.

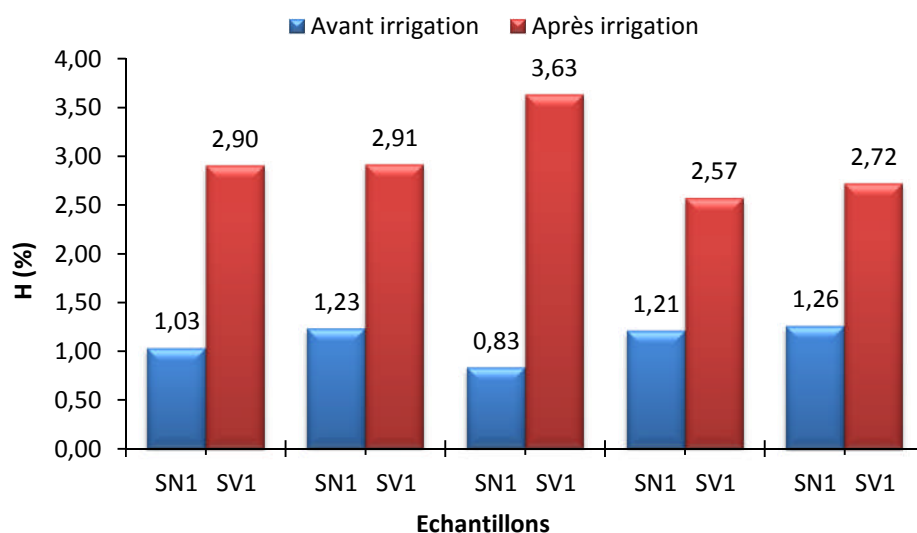


Figure 16 : Variation de l'Humidité des sols étudiés.

I.3. Le pH

Le pH est le premier indicateur de toute évolution physico-chimique des sols. Il s'agit d'un paramètre relativement facile à mesurer.

D'après le tableau 10 et la figure 17 on remarque que le pH eau du sol avant irrigation varie entre 8,10 et 7,85, le pH est légèrement basique à neutre ceci est dû à la présence de CaCO_3 . Concernant le sol après irrigation, le pH des échantillons du sol varie entre 07,46 % et 07,68 %.

Tableau 10 : pH des sols étudiés.

Paramètre	Echantillons				
	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
pH (%) Sol Avant IR	7,85	7,86	8,00	8,10	8,04
pH (%) Sol Après IR	7,48	7,46	7,63	7,68	7,64

Djili K (2000) a montré que dans le contexte des sols du Nord de l'Algérie, une augmentation des taux de calcaire entre 0 et 2,5% provoque une augmentation du pH jusqu'à une valeur maximale de 7,82. Au-delà du seuil de 2,5% de CaCO_3 , les particules de carbonate de calcium auront essentiellement un effet stérique sur les propriétés des sols.

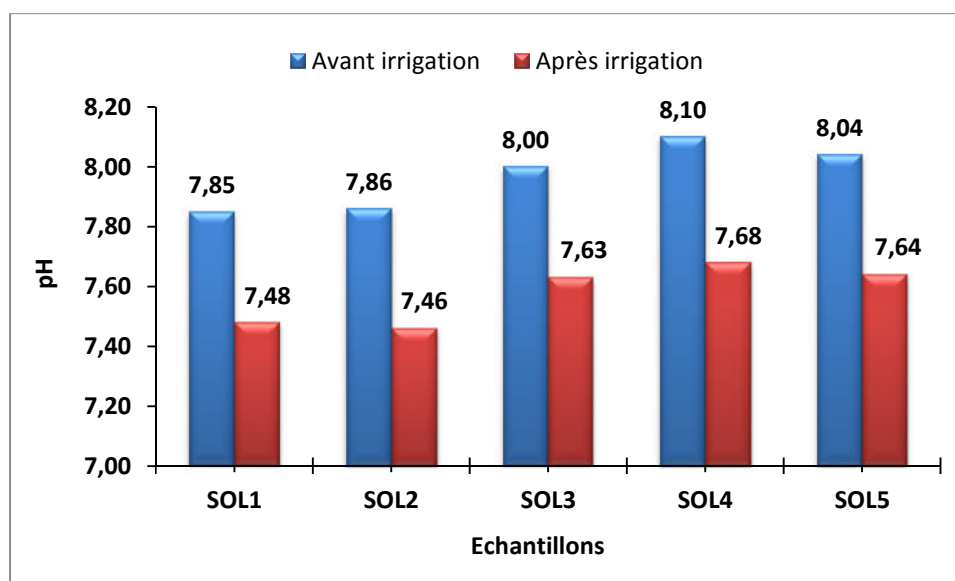


Figure 17 : Variation du pH des sols étudiés.

D'après la figure17, nous remarquons que le pH du sol après irrigation présente des valeurs inférieures par rapport au pH du sol avant irrigation. Ces résultats pourraient notamment expliqués par l'influence des eaux d'irrigation et quelques paramètres tels que la teneur en matière organique et le calcaire et le calcaire qui sont influencés par les eaux d'irrigation.

I.4.La densité apparente

Les résultats analytiques illustrés dans le (tableau 11) montrent que la densité apparente du sol varie entre $1,28 \text{ g/cm}^3$ et $1,32 \text{ g/cm}^3$ pour le sol étudié.

Tableau 11 :La densité apparente des sols étudiés.

Echantillons Paramètre	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
Da (g /cm³) Sol	1.30	1.28	1.31	1.29	1.32

La densité apparente (Da) du sol est un paramètre important pour la description de la qualité du sol et de ses fonctions écologiques. Elle est une des variables la plus importante dans les études portant sur la structure du sol et ; est en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (Chauvel, 1977).

I.5. La conductivité électrique (CE) et TDS

I.5.1. La conductivité électrique

La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Dans le sol non irrigué, les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre 431,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 696,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tandis que dans le sol après irrigation, la conductivité électrique varie entre 425,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 569,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure 18).

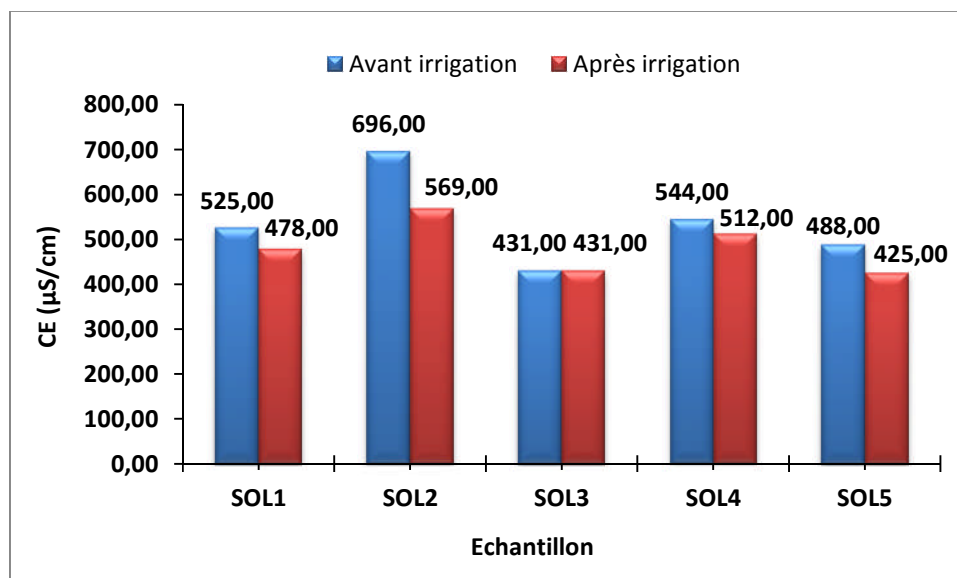


Figure 18: La conductivité électrique des sols étudiés.

La figure(18) indique que la conductivité électrique est influencée par les eaux d'irrigation, elle diminue dans le sol après irrigation, tandis qu'elle. Cette diminution peut être expliquée par l'eau qui entraîne la dissolution de sels calcaires dans le sol.

Un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de l'extrait saturé est supérieure à 4 dS/ m (400 mS/cm) à 25°C (Durand, 1983).

D'après nos résultats, on constate que les sols étudiés ne sont pas salés, puisque leurs conductivités est faible. La qualité des sols est bonne du point de vue salinité, l'effet des eaux d'irrigation n'est pas favorisé la salinisation excessive des sols.

Tableau 12 : La conductivité électrique des sols étudiés.

Echantillons Paramètre	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Sol Avant IR	525,00	696,00	431,00	544,00	488,00
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Sol Après IR	478,00	569,00	431,00	512,00	425,00

I.5.1. Taux de sels dissous (TDS)

La salinisation des sols est généralement associée aux apports de sels dissous, issus de l'hydrolyse du substrat édaphique constitué de roches endogènes ou exogènes (salinisation primaire) ou des activités éoliennes et hydriques: embruns marins, eau d'irrigation et nappe phréatique subaffleurende et salée (salinisation secondaire) (Dièye, 1994).

Tableau 13 : TDS des sols étudiés.

Echantillons Paramètre	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
TDS (mg/l) Sol Avant IR	498,00	623,00	401,00	511,00	443,00
TDS (mg/l) Sol Après IR	444,00	555,00	414,00	488,00	389,00

D'après les résultats obtenus dans la figure 19, la teneur en sels dissous dans le sol étudié avant irrigation varie entre 401,00 mg/l et 623 mg/l dans le sol avant irrigation à cause d'une accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Tandis qu'au niveau du sol après irrigation diminue le TDS varie entre 414. 00 mg/l et 555.00 mg/l, Le taux des sels dissous du sol est influencé par l'eau d'irrigation qui est susceptible de dissoudre ces sels, ces derniers se dissolvent et se déplacent avec l'eau.

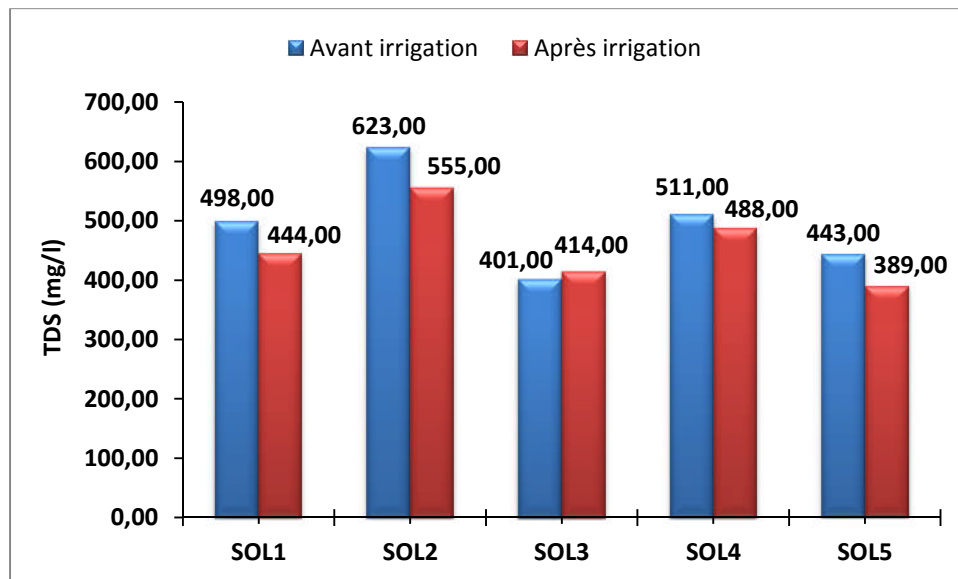


Figure 19 : Taux des sels dissous (TDS) des sols étudiés.

La conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous ; en plus la connaissance de la conductivité est nécessaire pour l'étude du complexe absorbant des sols salés (AubertG, 1986).

I.7. Le calcaire total

D'après les résultats illustrés dans la figure20, le taux de calcaire total dans le sol avant irrigation varie entre 14,50% et 15,25%, ce qui explique la basicité des sols étudiés. Cette quantité du carbonate diminue sous l'effet des eaux d'irrigation et varie entre 14,12% et 14,98%. Ces résultats révèlent que l'eau d'irrigation influe sur le taux de dissolution du calcaire dans le sol. L'eau est susceptible de dissoudre le calcaire, en faible quantité.

Tableau 14 : Teneur en calcaire total des sols étudiés.

Echantillons Paramètre	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
CaCO ₃ T (%) Sol Avant IR	15,03	15,25	14,50	15,25	14,78
CaCO ₃ T (%) Sol Après IR	14,74	14,98	14,12	14,75	14,50

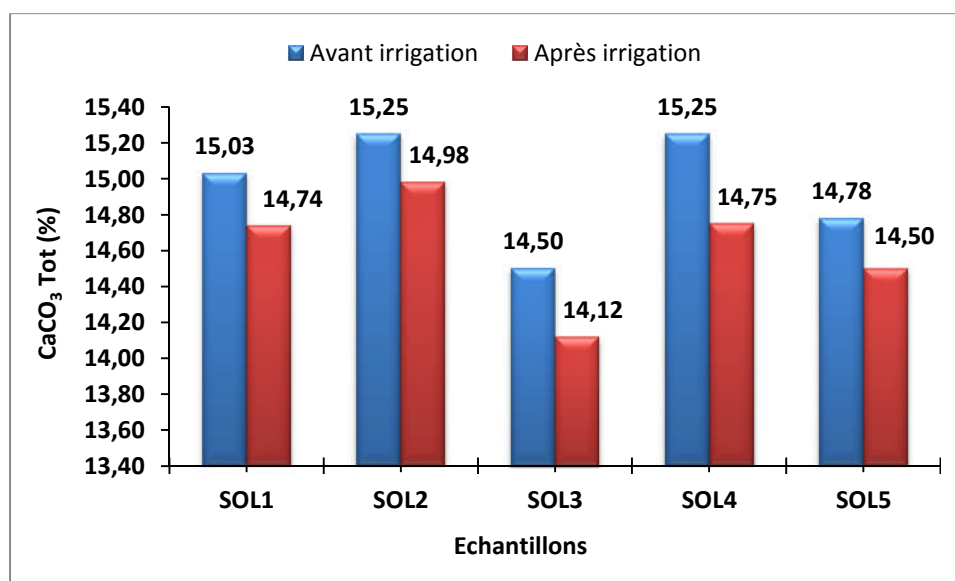


Figure 20 : La teneur en calcaire total des sols étudiés.

En comparant les valeurs obtenues à celles signalées par (Baize, 1988), (tableau 15), nous constatons que le sol étudié est modérément calcaire.

Tableau 15 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol (proposées par Geppa in Baize, 1988).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
Appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

I.7. Le calcaire actif

Nous remarquons que la teneur en CaCO_3 actif dans le sol avant irrigation est supérieure par rapport dans le sol après irrigation. La figure (21) montre la teneur en calcaire actif est en diminution incessante au niveau de la parcelle irriguée pendant la période expérimentale, ce qui fait sortir l'effet de l'eau d'irrigation sur ce paramètre.

Tableau 16 : Teneur en calcaire total des sols étudiés.

Paramètre	Echantillons				
	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
CaCO_3 Act (%) Sol Avant IR	4,75	4,75	4,50	4,88	4,75
CaCO_3 Act (%) Sol Après IR	4,78	4,68	4,55	4,60	4,61

Le calcaire actif augmente dans le même sens que le calcaire total et influe sur l'immobilisation du phosphore et des oligo-éléments (Dogar, 1997).

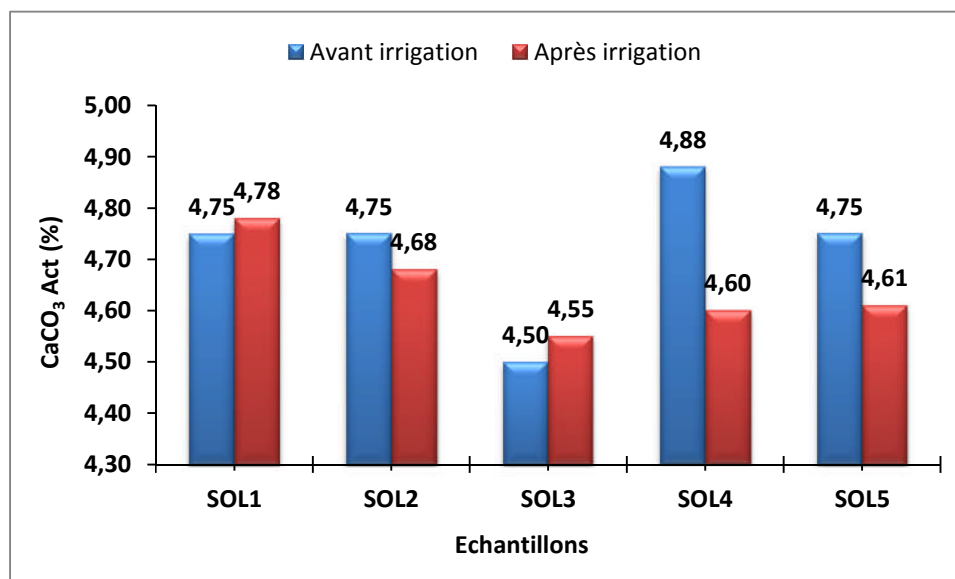


Figure 21 : La teneur en calcaire actif des sols étudiés.

I.8. Le carbone organique

La matière organique exerce un rôle très important sur le sol, elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressif des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais (Callot et *al.*, 1982).

D'après les résultats obtenus dans le tableau 17, la teneur en carbone organique semble très faible niveau du sol avant irrigation et varie entre 0,52% et 0,63%. Tandis qu'au niveau du sol après irrigation, cette teneur varie entre 0,50% et 0,70%. L'appréciation du niveau de la matière organique se fait en fonction de la teneur du sol en argiles et celle du calcaire (Soltner, 2000).

Tableau 17 : Teneur en carbone organique des sols étudiés.

Echantillons	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
CO (%) Sol Avant IR	0,52	0,58	0,55	0,58	0,63
CO (%) Sol Après IR	0,50	0,70	0,63	0,58	0,52

Dans le sol étudié, nous avons noté des teneurs faibles à très faibles en carbone organique mais cette teneur augmente dans le sol après irrigation (Sol 1 et Sol 2). Ce qui s'expliquerait par une minéralisation de la matière organique accompagnée d'une augmentation de la teneur en calcaire total qui influe négativement sur la teneur en carbone dans le sol. Dans notre travail nous avons constaté que le carbone organique (matière organique) du sol varie sous l'effet des eaux d'irrigation pendant toute l'expérimentation (figure 22), ce qui confirme l'effet significatif des eaux d'irrigation.

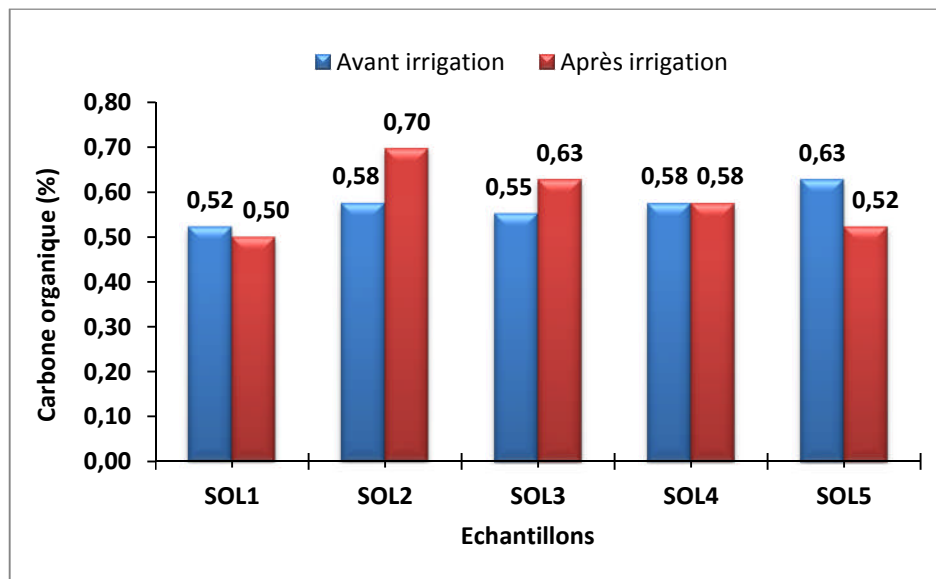


Figure 22 : Teneur en carbone organique des sols étudiés.

La capacité du sol pour l'eau est en effet liée à la teneur en M.O en raison de l'hydrophilie extrêmement accusée des colloïdes qui la composent (Duthil, 1973). Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle est humifiée, elle régularise le bilan de l'eau dans le sol, son affinité pour l'eau se manifeste par une force de succion élevée et des phénomènes de contraction et d'expansions des sols, au cours de leur dessiccation-humectation. La quantité d'eau retenue dans le sol est en fonction de la nature du sol et surtout de la teneur en M.O et son degré d'humification.

I.8. Perméabilité (KS)

D'après la figure 23, les résultats obtenus montrent que la perméabilité (KS) des sols étudiés varie entre 6.12 cm/h et 6.68 cm/h pour le sol avant irrigation, tandis qu'elle diminue dans le sol irrigué et varie entre 6.12 cm/h et 6.68 cm/h. Cette diminution peut être expliquée par l'eau qui entraîne la dissolution de sels calcaires dans le sol. En effet, selon Freeze et

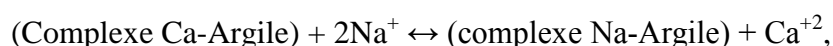
Cherry (1979), il existe d'une manière générale, une relation entre la porosité efficace et la conductivité hydraulique.

Selon Faure (1978), la structure des sols est à l'origine d'une grande partie des propriétés physiques, qu'il s'agisse de la porosité, de la conductivité hydraulique ou de la rétention d'eau.

Tableau 18 : Perméabilité (KS) des sols étudiés.

Echantillons Paramètre	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
KS (cm/h) Sol Avant IR	6,12	6,57	6,68	6,44	6,39
KS (cm/h) Sol Après IR	5,00	5,11	5,03	5,10	5,00

Lorsque l'eau d'irrigation possède un rapport sodium/calcium élevé, un échange d'ions adsorbés sur les particules argileuses peut avoir lieu :



Les ions sodium étant plus hydratés que les ions calcium, ils prennent plus de place, colmatent les pores et finissent par diminuer la perméabilité du sol (Couture, 2003).

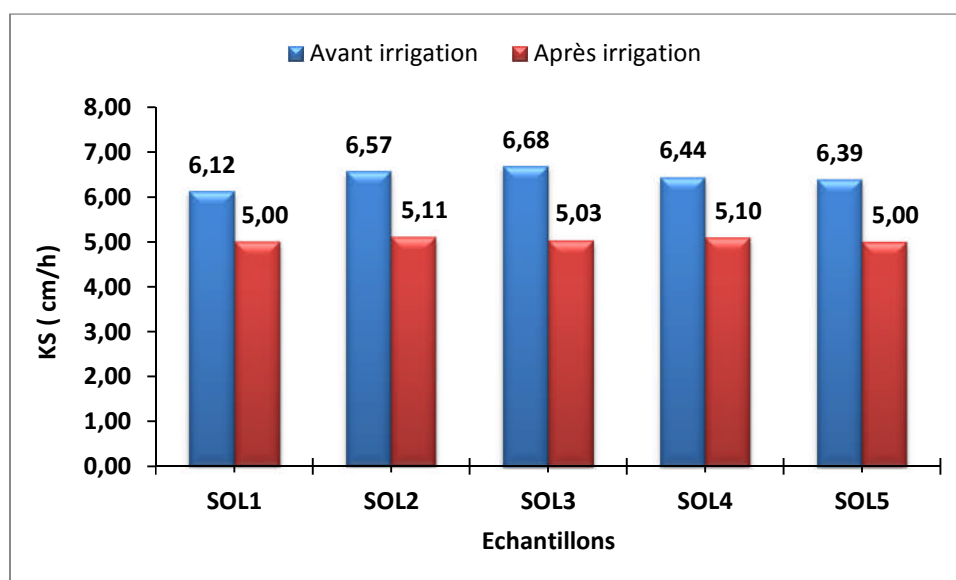


Figure 23 : Perméabilité(KS) des sols étudiés.

II. Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigations

Les résultats obtenus à partir des analyses physicochimiques des eaux d'irrigation prélevée sont représentés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation.

pH		7,28
Conductivité électrique : CEen $\mu\text{S}/\text{cm}$		1101
TDS (mg/l)		998
Résidu sec (g/l)		0,41
Cations solubles en ppm	Sodium : Na^{++}	102,25
	Potassium : K^+	25,58
	Calcium : Ca^{+2}	67,93
	Magnésium : Mg^{+2}	36,54
Anions solubles en ppm	Chlorure : Cl^-	142,00
	Carbonate : CO_3^{-2}	0,00
	Bicarbonate : HCO_3^-	91,5
	Sulfate : SO_4^{-2}	97,73

L'eau d'irrigation influe sur les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats), sa perméabilité. Selon les normes de qualité des eaux d'irrigation (tableau 20), les eaux utilisées pour l'irrigation ne présentent aucun risque de salinisation ni de sodification. D'après les normes proposées par Maynard et Hochmuth des (1982), ces valeurs indiquent qu'une irrigation avec ces eaux ne devrait pas causer des risques sur les propriétés physico-chimiques du sol. Les résultats des analyses obtenus montrent que l'eau utilisée pour l'irrigation est de bonne qualité physico-chimique.

Tableau 20: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation (Maynard et Hochmuth, 1997).

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
Salinité			
- Conductivité (mS/cm)	< 0.75	0.75 – 3.0	> 3
- Matières dissoutes totales	< 700	700 – 2000	> 2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3 – 9	> 9
Alcalinité ou dureté	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

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le sol est une ressource naturelle difficilement renouvelable et particulièrement sensible aux facteurs anthropiques. L'utilisation accrue des ressources en eaux de surface et souterraines, est jugée responsable de la détérioration de certains paramètres de qualité des sols.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et l'effet de l'eau sur les propriétés physico-chimiques des sols. La maîtrise de l'irrigation est donc un facteur qui permet de maintenir une production régulière, en quantité et en qualité des produits.

Notre travail expérimental a pour but d'étudier l'effet des eaux d'irrigation sur le taux du carbone organique dans le sol. A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physico-chimiques sur des échantillons de sols prélevés dans un sol steppique avant et après irrigation. Le suivi des parcelles au cours de notre étude nous a permis de mettre en évidence l'impact des eaux d'irrigation sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Les résultats des analyses physico-chimique du sol étudié montrent que, le sol étudié à une texture limono-sableuse, un pH neutres à légèrement alcalin, faible teneur en matière organique, une conductivité électrique faible, et une teneur modérément élevée en calcaire.

Des relations significatives sont observées entre le carbone organique du sol et certaines caractéristiques physico-chimiques du sol (la teneur en eau, le calcaire total, la perméabilité et le taux des sels dissous (TDS). On en déduit que ces résultats vérifient l'influence des eaux d'irrigation sur les propriétés physico-chimiques du sol et la minéralisation de la matière organique.

Au de ces résultats, ce travail pourrait être complété par une étude à plus long terme dans les mêmes conditions. Le prolongement de l'essai pourrait permettre de suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol sous l'effet des eaux d'irrigation.

Références Bibliographiques

Références Bibliographique

- Aubert G., 1986.** Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols dits (salés) ou salsodiques. Cahier d. ORSTOM, série. Pédologie, XX, 1, pp. 73 -78.
- Azougagh M., 2001.** Transfert de technologie en agriculture bulletin mensuel D'information et de liaison du PNTTA.MADREEF/DERD N° 81, juin 2008.
- Baize D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. Ed. INRA, Paris., 171 P.
- Baize Denis., 2000. Guide des analyses en pédologie 2^{ème} édition revue et augmentée, porosité – densité apparente masse volumique. P169-213.**
- Benblidia., 2011.** L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale. Algérie. Version finale. Plan bleu. Centre d'activités Régionales. PNUE/PAM
- Berkani I., Benarfa N., 2005.** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi arides, cas de la région de Deldoul (plain de Ouledtoba) wilaya de Djelfa. Mémoire d'ingénieur, Université Djelfa .92p. Armitage F.B., 1986. Foresterie irriguée en pays aride et semi-aride (synthèse) CRDI, OTTAWA.192 p.
- Boeglinj C., 1999.** Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité Environnement, G1, 110 P.
- Bonneau M., Souchier B., 1979.** Pédologie, 2constitant et propriétés du sol.P281.
- Callot G., Chamagou H., Maertens C., Salsac L., 1982.** Mieux comprendre les interactions entre sol-racines, incidences sur la nutrition minérale., INRA, Paris., 325 P.
- Calvet R., 2003.** Le Sol : Propriétés Et Fonctions. Tome 1 : Constitution Et Structure, Phénomènes Aux Interfaces. Ed. France Agricole. 456 P.
- Calvet R., 2003.** Le Sol Propriétés Et Fonctions », Tome 1, France Agricole DUNOD, 455P.
- Cardot C., 1999.** Génie de l'environnement : les traitements de l'eau, Paris, 9 P.
- Chauvel A., 1977.** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastés. Evolution et réorganisation des sols rouge de moyenne Casamance. Thèse, Université de Strasbourg. ORSTOM, Paris. Coll. Trav. Et Doc., n°62, 532pp.
- Chenu C., 2003.** "Comment caractériser les matières organiques du sol ?" In Les fertilités du sol et les systèmes de culture. Edité par G Thevenet (COMIFER) et L. Faedy(GEMAS), 2003, pp 107-116.
- Choisel E., Noilhan J., 1995.** La prévision des sécheresses. La Recherche, p. 34-40.
- Clément Mathieu., Paul Audoye., Jean-claude Chossat., 2007.** Bases techniques de l'irrigation par aspersion 5p.
- Coulomb C., 1992.** Etude de la circulation de l'eau dans un sol argileux drainé. Thèse, Paris-Sud, n° 2154, 245 p vers de terre : <http://www.regenwurm.ch/fr>.
- Couture L., 2003.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. Ed. Agri. Vision. Canada.

- Daniel Hillel., 1988.** L'eau et le sol principes et processus physiques 16-22-179-P.
- Degremont., 1989.** Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, 5- 24-25 P.
- Dieye M., 1994.** Contribution à la caractérisation et à la recherche de techniques d'amélioration des "sols salés" dans le Delta et la Vallée du fleuve Sénégal. TSRA, DRCSI. Mémoire de titularisation. pp. 90.
- Djili K., 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.
- Dogar A., 1997.** Méthodologie diagnostique des sols salins et alcalins., Séminaire sur la salinité, Skikda., 34 P.
- Durand J.H., 1958.** Les sols irrigables (Etude pédologique) ; Les propriétés physiques des sols et leur détermination.P 25.
- Durand J.H., 1983.** Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p.
- Duthil J., 1973.** Elément d'écologie et d'agronomie. Tome II. Exploitation et amélioration du milieu. Ed.J.B. Baillièrre. Paris. 265p.
- Elasslouj J., Kholtei S., El Marani N., Hiilali A., 2007.** Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique SCIENCE 03(1) (2007) 109 – 122 pp.
- Faure A., 1978.** Comportement des sols au compactage : rôle de l'argile et conséquences sur l'arrangement des grains. Thèse Doctorat ès Sciences. Grenoble, 179p.
- Freeze R., Cherry J., 1979.** Groundwater Prentice - Hall, Englewood Cliff, 604 p.
- Garcia-Orenes F., Guerrero C., Mataix-Solera J., Navarro-Pedreño J., Gomez I., Mataix-Beneyto J., 2005.** Factors controlling the aggregate stability and bulk density in twodifferent degraded soils amended with biosolids. Soil& Tillage Research, 82 : 65-76.
- Gérard Grosclaude., 1999.** L'eau tomeII Usages et polluants 75-198p.
- Guessoum A., 2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra., Thèse ing, Agro,Univ Batna., 50 P.
- Jean-Louis E'liard., 1979.** Manuel d'agriculture générale, base de la production végétale, P 59-61.
- Kadi A., 1997.** La gestion de l'eau en Algérie Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(2) April 1997,191.
- Kay B.D., 1998.** Soil structure and organic carbon:a review, in: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), Soil Processesand the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 169-197.
- Khaleel R., Reddy K.R., Overcash M.R., 1981.**Changes in soil physical properties due toorganic waste applications: a review. Journal of EnvironmentalQuality, 10 : 133-141.

- Legros J.P., 2007.** Les Grands Sols Du Monde. Ed. Presses Polytechniques Et Universitaires Romandes. Lausanne, 574 P.
- Leprun J.C., 1988.** Matière organique et conservation des sols, exemple brésilien. Cahier OROSTOM, série pédologie. Vol. XXIV. N°4. Page 333-334.
- Marc Soutter., André Mermoud., André Musy., 2007.** Ingénierie des eaux et du sol, processus et aménagements 37p.
- Maynard D.N., Hochmuth G.J., 1997.** Knott's Handbook for Vegetable growers.582p.
- Messahell M., Benhafid M.S., Cherif M., 2003.** Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie.
- Milos H., 1971.** L'eau et l'environnement Bull. FAO. 8,Rome,32-38pp.
- Musy A., Soutter M., 1991.** Physique du sol. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne : 355p.
- Oades J.M., 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure.Geoderma, 56, 377-400.
- Ollier Ch., Poirée M., 1983.** Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles. Paris.455p.
- Paul E.A., Clark F.E., 1996.**Soil microbiology and biochemistry.2nd edition.Academic Press. San Diego, California (USA),340.
- Plauchu., 2004.** Economie de l'environnement Rodrigo, A., Recous, S., Néel, C. & Mary, B., 1997.Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models.Ecological Modelling,102 : 325-339.
- Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud Algéroises : végétation et matière organique dans les sols, travaux et documents de l'O.R.S T.O.M n°= 116-paris pp 323-362.
- Queneau K., 2004.** Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'un chrono séquence foret/maïs (CESTAS, Sud-ouest de la France).Thèse de Doctorat. Université de Paris 6 (France).
- Roger Doucet., 2006.** Le climat et les sols agricoles, la science agricole fraction du sol ; Ed Berger A.C. Canada, Chapitre 1, 36-41-45 -134 ;197 -198p.
- Soltner D., 2000.** Les bases de la production végétale, T I: le sol et son amélioration, 22e Edition, Editions Sciences et techniques agricoles "Le Clos Lorelle"- 49130 Saint-Gemmes-Sur-Loire., 472 P.
- Soltner D., 2004.** Distribution Liquid Et Voie Métabolique Chez Quatres Bactéries *GramnégativeHydrocarbonoclaste*. Variation En Fonction De Sources De Carbone. Docteur De L'université PARIS 6.
- Unger P.W., 1994.** Managing agricultural residues.Lewis Publishers, NY. USA.

USDA., 1975. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys Washington DC.

Zeytin S., Baran A., 2003. Influences of composted hazelnut husk on some physicalproperties of soils. BioresourceTechnology, 88 : 241-244.

Résumé :

Ce travail est consacré à étudier l'impact des eaux d'irrigation sur la dynamique du carbone organique du sol. Pour pouvoir suivre la dynamique du carbone organique dans le sol étudié des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur les échantillons de sol avant et après irrigation. L'interprétation des résultats des analyses du sol obtenus a permis de mettre en évidence l'effet des eaux d'irrigation sur les paramètres physico-chimiques du sol. Les résultats des analyses physico-chimique montrent que les sols étudiés ont une texture limono-sableuse, un pH neutres à légèrement alcalin, une teneur légèrement élevée en CaCO_3 , une conductivité électrique faible, et faible en matière organique. Le suivi de l'évolution de la teneur en matière organique du sol sous l'effet des eaux d'irrigation fait apparaître que le carbone organique dans les étudié aurait affecté par quelques paramètres physico-chimiques du sol et les eaux d'irrigation.

Mots clés : Sol, matière organique, dynamique, eau, irrigation, carbone organique, azote, aspersion, gravitaire.

ملخص:

هذا العمل خصص لدراسة تأثير مياه السقي على حركة الكربون العضوي في التربة، من أجل نتابع حركة الكربون العضوي في التربة قمنا بتحليل فيزيوكيميائية للتربة قبل و بعد السقي. نتائج التحاليل المتحصل عليها سمحت لنا بتبيين تأثير مياه السقي على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة. نتائج التحاليل المحصل عيها تبين أن التربة ذات تركيبة غرينية-رملية، درجة حموضة معتدلة إلى قاعدية، كمية كلس مرتفعة نوعا ما، ناقلية كهربائية ضعيفة و كمية مواد عضوية ضعيفة. متابعة تطور كمية المواد العضوية في التربة تحت تأثير مياه السقي بينت أن الكربون العضوي في التربة المدروسة تأثر بالخصائص العضوية للتربة و مياه السقي.

الكلمات المفتاحية: تربة، كربون عضوي، ديناميكية، ماء، سقي، فيزيوكيميائية.