

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Mémoire en vue l'obtention d'un diplôme de
Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Agronomie

Spécialité : Protection de la ressource sol-eau et environnement

Thème

Effet du système et des eaux d'irrigation sur la salinisation des sols en milieu Saharien le cas d'une exploitation agricole à Hassi Ben Abdllah au Sud-Est Algérien

Présenté par : BEN KHEMISSI Chaima

&

KEMASSI Chaima

Soutenu publiquement le : 28 / 06 /2018

Devant le jury composé de :

Président	HAMDY AISSA Baelhadj	Professeur	U.K.M.Ouargla
Encadreur	BERKAL Ismaïel	M.C.A	U.K.M.Ouargla
Co-Encadreur	IDDER Abdelhak	M.A.A	U.K.M.Ouargla
Examineur	LADJICI Abdelkader	M.A.A	U.K.M.Ouargla

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

Un grand merci à Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la force pour concrétiser ce travail.

Nous remercions chaleureusement notre promoteur Mr. BERKEL ismaïel et notre co-promoteur Mr. IDDER Abdelhak Pour leurs aides, leurs encouragements et leurs conseils judicieux durant toute la période de notre travail.

Nous tenons à remercions Mr. HAMDI ISSAH Baelhadj. Professeur de département des Sciences Agronomiques, pour avoir accepté de nous honorer par sa présence en tant que président de la commission du jury. Nous tenons également à remercier Mr. LADJICI Abdelkader pour avoir accepté la lourde charge d'évaluer ce mémoire et d'en être l'examineur.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de l'université d'OUARGLA qui ont contribué à notre projet.

Nous remercions toutes personnes de la ferme E.R.I.A.D./agro sud.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les professeurs du département et nos collègues de 2 eme master protection de la ressource sol-eau et environnement et toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail.

Dédicace

Je dédie mon travail

A mon père Mohamed said, ma mère zineb pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

A mes chères sœurs Atika, Ikram, Aicha, Chifa et ses filles Hanine, Djinan, Tadj, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères Boubakeur Sedike et Hamed, pour leur appui et leur encouragement,

A mes amis Soumia, Meriem, Anissa, Afaf Amani et Rabab qui m'ont soutenue

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Merci d'être toujours là pour moi

Ben khemissi Chaima

Dédicace

Je dédie ce modeste et simple travail :

A ceux qui m'ont donné la vie et m'ont soutenu depuis mes

débuts : mes

très chers parents ; mon père OMAR et ma mère SAIDA.

A mon cher mari

A ma fleur épanouie, mon fils mohamed hatem oways

A mes adorables frères : Abdelhakim, Abdeldjalil et Younes.

A mes adorables soeurs : Malak et Saida

A toute ma famille et ma belle

Famille Kemassi.

A Tous mes amis.

Kemassi Chaima

Résumé

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture, l'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et chute des rendements.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'état de salinité des sols par l'utilisation d'une modélisation hydrologique HYDRUS-1D.

La modélisation HYDRUS-1D permis de prédire l'évolution verticale de salinité des sols au niveau de la station Agro. Div. (ex. ERAID, Sétif) à Hassi Ben Abdellah(Ouargla), en relation avec deux systèmes d'irrigation, le goutte-à-goutte et le pivot, et avec deux qualités d'eaux d'irrigation respectivement de l'Albien et du Miopliocène. Elle tient compte de l'état initial observé en 2005, de l'évolution au cours des années (13 ans), des conditions climatiques, et des apports d'eau par irrigation.

Les résultats ont montré que le sol appartient à classe texturale sablo-limoneuse avec un faible taux de matière organique .Le sol est modérément calcaire, La conductivité électrique ($CE_{1:5}$) est de 1,2 dS/m en moyenne pour les parcelles irriguées par les pivots, alors qu'elle varie autour de 0,4 dS/m pour la parcelle irriguer par le goutte -à- goutte.

L'eau d'irrigation du Miopliocène ($CE= 4,9dS/m$), et les eaux de l'Albien ($CE= 2,6 dS/m$) appartiennent à la classe C4 , elles sont caractérisées par un degré de salinisation élevé et un danger d'alcalinisation appréciable.

Les principaux résultats de la modélisation HYDRUS 1-D, au niveau du pivot et au niveau de la palmeraie, indiquent une évolution verticale de salinité du sol dans tous les horizons étudiés au fil du temps.

Ils montrent également une baisse de la salinité avec l'utilisation des eaux de l'Albien dans l'irrigation par pivot, comparativement aux eaux du Miopliocène.

Mots clés: HYDRUS-1D, modélisation hydrologique, système d'irrigation, eaux d'irrigation, salinité, Hassi Ben Abdellah(Ouargla).

ملخص

تعتبر الملوحة من أحد العوامل المحدودة الهامة للزراعة، حيث يتجلى تأثيرها عادتاً في انخفاض النمو و المنتوج لمعظم النباتات.

. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم حالة ملوحة التربة من خلال استخدام النموذج HYDRUS-1D يتنبأ هذا النموذج بالتطور العمودي لملوحة التربة في محطة رياض سطيف في حاسي بن عبد الله ورقلة في ما يتعلق باستعمال بنظامي السقي بالتقطير والسقي المحوري و المياه الجوفية على التوالي مياه الألبان و الميولبوسان و مدى تطورها لمدة 13 سنة ، بمراعاة الظروف المناخية ، و المياه المستعملة للسقي .

أظهرت النتائج أن التربة رملية طميية مع وجود كمية منخفضة للمادة العضوية و احتوائها لكميات معتدلة من الجير.

كما أظهرت النتائج أيضاً أن معدل ملوحة الأراضي المسقية بالسقي المحوري تقدر $2\text{ds/m},1$ و تقدر أيضاً ب $0,4\text{ds/m}$ بالنسبة للأراضي المسقية بالتقطير .

و مياه السقي للألبان ذات $(CE= 4,9\text{dS/m})$ مياه السقي للميولبوسان ذات $(CE= 2,6\text{dS/m})$

فهي تتميز بدرجة ملوحة عالية C4 تنتمي هذه المياه إلى فئة

تشير النتائج الرئيسية المحصل عليها بعد تطبيق النموذج للمحاور الثلاثة و بستنة النخيل إلى التطور العمودي لملوحة التربة بمختلف أعماقها . و انخفاض نسبة الملوحة بعد استخدام مياه الألبان مقارنة بمياه الميولبوسان

الكلمات المفتاحية : HYDRUS-1 ، النمذجة الهيدرولوجية ، نظام الري ، مياه الري ، الملوحة ، حاسي بن عبد الله ورقلة:

Summary

Salinity is a significant limiting factor for agriculture. The effect of salinity usually manifests in most plants grown by reduced growth and falling yields.

The objective of this study is to evaluate the state of soil salinity through the use of HYDRUS-1D hydrological modeling.

HYDRUS-1D modeling predicts the vertical evolution of soil salinity at the Agro station. Div. (eg ERAID, Setif) to Hassi Ben Abdellah (Ouargla), in relation to two irrigation systems, the drip and the pivot, and with two qualities of irrigation water respectively of the Albian and Miopliocene. It takes into account the initial state observed in 2005, the evolution over the years (13 years), the climatic conditions, and the water supply by irrigation.

The results showed that the soil belongs to sandy-silty textural class with a low level of organic matter. The soil is moderately calcareous, the electrical conductivity (CE1: 5) is 1.2 dS / m on average for irrigated plots. by the pivots, whereas it varies around 0.4 dS / m for the parcel irrigate by the drip.

Miopliocene irrigation water (EC = 4.9dS / m), and Albian waters (EC = 2.6 dS / m) belong to class C4. They are characterized by a high degree of salinization and a danger of appreciable alkalization.

The main results of the HYDRUS 1-D modeling, at the pivot and the palm grove, indicate a vertical evolution of soil salinity in all the horizons studied over time. They also show a decrease in salinity with the use of Albian waters in pivot irrigation compared to Miopliocene waters.

Key words: HYDRUS-1D, hydrological modeling, irrigation system, irrigation water, salinity, Hassi Ben Abdellah (Ouargla).

Liste des tables

Tableau 1. Les avantage et les inconvenients d'irrigation par goutte -a-goutte	04
Tableau 2. Caracteristique de l'irrigation par pivot	05
Tableau 3. Echelle de la salinite en fonction de la conductivite electrique l'extrait 1/5	09
Tableau 4. pH des sols sels selon l'extrait 1/5 le pH l'extrait	09
Tableau 5. SAR et degrades d'alcalinisation des sols	10
Tableau 6. Donnees metrologique de la wilaya de Ouargla (2007-2017)	16
Tableau 7. Historique des precedents culturaux pour chaque parcelle dans le site d'etude	19
Tableau 8. Resultats precedents des analyses du sol des Pivots 1, 2 et 3	28

Liste des figures

Figures 1. Localisation géographique de la Wilaya de Ouargla	12
Figures 2. Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région de Ouargla (2007-2017)	17
Figures 3. Délimitation de la palmeraie (Google Erth 2017)	20
Figures 4. Localisation des parcelles étudiées (Google Erth 2017)	21
Figures 5. Plan d'échantillonnage des parcelles étudiées	22
Figures 6. Profils hydriques moyens des sols irrigués par : (a) pivot 1, (b) pivot 2, (c) pivot 3, (d) goutte-à- goutte	25
Figures 7. Profils salins moyens des sols irrigués par : (a) pivot 1, (b) pivot 2, (c) pivot 3, (d) goutte-à- goutte	27
Figures 8. Prédiction de la salinité au niveau du pivot 1 pour la période 2005-2017	29
Figures 9. Prédiction de la salinité au niveau de la palmeraie pour la période 2017-2022	31
Figures 10. Simulation d'une prédiction de la salinité au niveau du pivot 1, en utilisant les eaux de l'Albien, pour la période 2005-2017	32

Table de matière

Résumé	
Liste des tables	
Liste des figures	
Table de matière	
Introduction	01

Chapitre 1: Irrigation et salinisation des sols

I. Irrigation agricole	
1. Définition de sol	03
2. Définition de système	03
3. Définition de l'irrigation	03
4. Systèmes d'irrigation	04
4.1. Irrigation par goutte-à-goutte	04
4.2. Irrigation par pivot	04
5. Eaux d'irrigation	05
5.1. Nappe de Miopliocène	05
5.2. Nappe Albienne	05
5.3. Critères de classification des eaux d'irrigation	06
II. La salinisation	07
1. Définition de salinité	07
2. Types et origine de la salinité	07
2.1. Salinisation primaire	07
2.2. Salinisation secondaire	07
3. Impacts de la salinité sur le sol et la plante	08
4. Technique de diagnostic des sols salés et alcalins	08
3.1. Conductivité électrique	08
3.2. pH du sol	09
3.3. ESP (taux se sodium échangeable)	09
3.4. SAR (sodium absorption ration)	10
III. HYDRUS-1D	10

1. Définition	10
2. Utilisations	11

Chapitre 2: Présentation de la région d'étude

I. Cadre naturel	12
1. Situation géographique	12
2. Topographie	13
3. Géomorphologie	13
4. Géologie	13
II. Hydrographie	14
III. Hydrogéologie	14
1. présentation des nappes de la région	14
1.1. Nappes continental intercalaire	14
1.2. Nappes du complexe terminal	14
1.3. Nappes phréatique	15
IV. Pédologie	15
V. Le climat	15
1. Température	16
2. Précipitation	16
3. Vent	17
4. Evaporation	17
5. Humidité relative	17
6. Diagramme pluviothermique de GAUSSEN	17

Chapitre 3: Matériel et méthodes de travail

I. Choix du site d'étude	18
II. Présentation du site d'étude	18
III. Choix des parcelles d'étude	18
IV. Historique des parcelles étudié	19
1. Historique des cultures	19
2. Historique d'irrigation	20
V. Matérielle utilisé	20
VI. Méthode de travail	19
1. Approche méthodologique	20
2. Échantillonnage	21

3. Méthode d'analyse	22
VII. Les paramètres du model HYDRUS	23

Chapitre 4 : Résultats et discussion

I. Etude de l'eau	25
1. Qualité de l'eau d'irrigation	25
II. Etude du sol	25
1. Humidité des sols	25
2. Conductivité électrique (CE)	26
3. Résultat précédents	28
III. Modélisation hydrologique	28
1. Modélisation hydrologique au niveau des pivots	28
2. Modélisation hydrologique au niveau de la palmeraie	30
3. Modélisation hydrologique au niveau des pivots en utilisant les eaux de l'Albien	30
Conclusion	34
Références bibliographiques	36
Annexes	

Introduction

La salinisation est un processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire. Elle occasionne des effets nocifs sur les végétaux et sur le sol. Il s'en suit une diminution des rendements (Mermoud, 2006).

A l'échelle mondiale, la salinisation des sols se propage à une vitesse pouvant aller jusqu'à 2 millions d'hectares par an. Dans le monde, les sols salés occupent plus de 1 milliard d'hectares, soit environ quatre fois plus la superficie de l'Algérie. Parmi cette superficie effrayante, environ 77 millions d'hectares de terres sont salinisées à cause de l'activité humaine, dont 58% dans les régions irriguées (Metternicht et Zinck, 2003).

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par la salinisation (Douaoui et Hartani, 2008), Elle est parmi les pays les plus menacés par ce problème.

Dans les zones arides, la salinité des sols est surtout liée à l'irrigation des terres cultivables, l'étude de la salinité dans ces zones, s'intéresser inévitablement à la gestion de l'irrigation. La salinisation peut s'accroître, par l'utilisation d'une eau de qualité douteuse (plus ou moins chargée en sels)(Bouchoukh, 2009).

L'activité agricole dans les régions sahariennes d'Algérie n'est rendue possible qu'avec le recours à l'irrigation. Cette dernière repose totalement sur des eaux souterraines fossiles (Hammia, 2012). Les sols de la région de Ouargla, sont parmi les sols affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs: l'aridité du climat, l'importance de l'évaporation, la remontée de la nappe phréatique, qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation (Berkal, 2012 ; Lebssisse et Asmani, 2014).

D'après Daoud et Halitim (1994), la majorité des eaux d'irrigation du Sahara contiennent des quantités excessives des sels solubles. Utilisées en irrigation, ces eaux provoquent des phénomènes de dégradation des sols par salinisation, alcalinisation et sodisation (Cheverry et Robert, 1998), et par conséquent la baisse des rendements des cultures (Daoud et Halitim, 1994 ; Berkal, 2014).

Ceci nécessite une surveillance efficace de la variation spatiale et temporelle de la salinité des sols pour freiner les tendances de ce problème, et assurer une gestion durable des terres.

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail de mémoire de fin d'étude, qui a pour but de suivre l'évolution verticale et temporelle de la salinité des sols au niveau de la station Agro. Div. (ex. ERAID, Sétif) en relation avec deux systèmes d'irrigation, le goutte-à-goutte et le pivot, et avec deux qualités d'eaux d'irrigation respectivement de la nappe Albienne et du Miopliocène.

La modélisation hydrologique HYDRUS-1D a pour principe la simulation dans la dimension verticale, les paramètres hydrodynamiques et de transport de solutés dans la zone non saturée du sol, en fonction des règles de pédotransfert de Mualem (1976) et de Van Genuchten(1980).

Le mémoire proposé s'articule autour de trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous proposons de présenter la synthèse bibliographique réalisée. Elle combine entre les différentes techniques d'irrigation et la salinisation des sols inhérente à une mauvaise maîtrise de l'irrigation.

Dans le second chapitre, on s'intéressera à la présentation du cadre général de notre région d'étude.

Au cours du troisième chapitre, sont présentés le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de la modélisation hydrologique.

Le quatrième chapitre sera consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus.

Tous ces chapitres seront complétés par une conclusion générale qui intègre l'essentiel des résultats obtenus dans le cadre de cette recherche.

Chapitre 1: Irrigation et salinisation des sols

I. Irrigation agricole

1. Définition du sol

Le sol est la formation naturelle de surface, constitue le support direct de la plupart des activités humaines, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants (Robert, 1996).

2. Définition de système

Un système comme étant une série d'éléments ou de composantes interdépendants et agissant les uns sur les autres. Aussi un système d'exploitation agricole est-il le résultat de l'interaction complexe d'un certain nombre de composantes interdépendantes (Norman, 1980).

1. Définition de l'irrigation

L'irrigation est l'application artificielle d'eau au sol, localisée dans le temps et l'espace. Elle permet de satisfaire les besoins en eau d'une culture à un moment précis de son cycle végétatif, ou d'amener le sol au niveau d'humidité désiré en dehors du cycle végétatif. L'irrigation d'une parcelle peut comporter un ou plusieurs arrosages par saison. Les techniques d'irrigation agricole sont classifiées en irrigation de surface, irrigation par aspersion et micro irrigation Chossat (2007).

2. Systèmes d'irrigation

Il existe différents types de techniques d'irrigation qui diffèrent en fonction de la distribution sur le terrain de l'eau obtenue à partir de la source. En général, l'objectif est de fournir de l'eau à l'ensemble du terrain de manière uniforme, de sorte que chaque plante ait le volume d'eau dont elle a besoin, ni trop, ni trop peu, donc dans notre étude nous avons étudié deux systèmes d'irrigation qui sont : le goutte-à-goutte et le pivot.

2.1. L'irrigation goutte –à- goutte

L'irrigation goutte à goutte convient surtout aux cultures en lignes et à l'arboriculture. On peut utiliser un ou plusieurs goutteurs pour assurer une irrigation adéquate.

Dans les régions où l'eau est rare, l'irrigation goutte-à-goutte est le moyen le plus efficace pour conserver l'eau pour l'irrigation. Elle apporte l'eau directement à la plante par le biais d'un tuyau en plastique, empêchant de ce fait des pertes dues à l'évaporation ou au ruissellement.

L'efficacité du système goutte à goutte est de 90% à 95% contre 40 à 50% pour l'irrigation gravitaire et 70% à 80% pour l'aspersion parce que il s'adapte presque à tous les types de sol. En sols argileux le débit des goutteurs doit être faible pour éviter la stagnation de l'eau ou bien l'écoulement par ruissellement. Dans le cas de sols sableux, les goutteurs doivent avoir un débit fort pour que l'infiltration latérale des eaux soit suffisante (Sonou, 2010). Le (Tableau.1) indique les avantages et les inconvénients de l'irrigation par goutte-à-goutte:

Tableau 1. Les avantages et les inconvénients d'irrigation par goutte-à-goutte

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maintien de la structure de sol ▪ Insensibilité au vent ▪ Possibilité d'apporter et de fractionner les engrais et traitements directement par le réseau d'irrigation ▪ Réduction des adventices et maladies 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colmatage des goutteurs ▪ Coûts économique chers

2.2. Irrigation par aspersion (pivot)

Chossat (2007) montre que L'irrigation par pivot est un système d'irrigation qui 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. La technique d'irrigation par pivot est la meilleure pour les sols sableux à taux d'infiltration assez fort, sans pour autant ignorer qu'elle s'adapte parfaitement à la plupart des types de

sol. La pluviométrie moyenne des asperseurs doit être inférieure au taux d'infiltration permanent du sol pour éviter le ruissellement des eaux en surface. Les caractéristiques de l'irrigation par pivot sont présentées dans le (Tableau.2)

Tableau2. Caractéristique de l'irrigation par pivot

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande adaptabilité aux différentes conditions de terrain, (climat, sol, pente) ▪ Utilisation relativement simple et besoin en entretien restreint ▪ Levée plus rapide à la plantation et à la reprise de végétation ▪ Humidification de l'atmosphère ambiante qui limite les pertes en évaporation directe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande sensibilité au vent qui impose un recouvrement de 75% des surfaces irriguées ▪ Création d'une atmosphère humide, propice au développement des maladies cryptogamiques (champignons) et des mauvaises herbes. ▪ Sensibilité au feu ▪ Gène pour la mécanisation

3. Eaux d'irrigation

Dans les oasis du Bas Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région de Ouargla renferment deux ensembles de formations aquifères Complexe Terminal et Continental Intercalaire (Castany 1982; Cornet et Gousskov, 1952).

Donc l'irrigation se fait essentiellement à partir de la nappe Miopliocène du Complexe Terminal et la nappe Albienne du Continental Intercalaire.

3.1. Nappe de Miopliocène

La nappe de Miopliocène dite nappe des sables fût à l'origine des palmeraies irriguées. Les piézomètres installés montrent qu'elle s'écoule du Sud Sud-ouest vers le Nord Nord-est, en direction du chott MELGHIR. Elle est exploitée à une profondeur qui varie de 35 à 65 m. La salinité de la nappe du Miopliocène varie de 1,8 à 4,6 g/l (A.N.R.H., 2000).

3.2. Nappe Albienne

La nappe Albienne est la nappe du continental intercalaire. La profondeur moyenne d'un forage d'exploitation dans la région de Ouargla, est comprise entre 1.000 à

1.500m (B.N.E.D.E.R., 1992). Les eaux du Continental Intercalaire présentent une composition chimique assez variable suivant les régions, généralement le résidu sec est moins de 2 g/l, et peuvent être localement plus minéralisées (Hassi Messaoud et Gassi Touil) (A.N.R.H., 2000). L'eau de la nappe du Continental Intercalaire est caractérisée par une température élevée de l'ordre de 50°C à la surface (B.N.E.D.E.R., 1992).

3.3. Critères de classification des eaux d'irrigation

Le laboratoire de Riverside a classé les eaux d'irrigation en fonction de leurs salinités et le danger d'alcalinisation (SAR) qui peut se produire dans le sol (Richard 1954). Ce classement a été modifié par Durand (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité C5, correspondant à des salinités supérieures à celles des eaux utilisées aux Etats-Unis. Les classes déterminées sont :

C1 : C.E. à 25°C < 0,25 dS/m : eaux non salines, utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol.

C2 : C.E. à 25°C comprise entre 0,25 et 0,75 dS/m : eaux à salinité moyenne, utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité.

C3 : C.E. à 25°C comprise entre 0,75 et 2,25 dS/m : eaux à forte salinité, inutilisables pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées.

C4 : C.E. à 25°C comprise entre 2,25 et 5 dS/m : eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation. Exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

C5 : C.E. à 25°C >5 dS/m : eaux à salinité excessive, inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes.

II. Salinisation des sols

1. Définition de la salinisation

La salinité se réfère à la quantité des sels solubles qui se trouve dans le sol (Chesworth, 2008). Les sels solubles englobent une large gamme d'anions et de cations présents dans le sol soit sous forme cristallisée, soit sous forme dissoute dans la solution du sol, soit sous forme adsorbée sur la surface des colloïdes (Douaik, 2005). Ils sont constitués principalement par le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium pour les cations et par les chlorures, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates et nitrates pour les anions (Chesworth, 2008). Plusieurs processus géochimiques peuvent avoir lieu comme conséquence à l'action des sels solubles dans le sol. Le processus suivant lequel le sol s'enrichit en sels solubles est la salinisation (Ipstrid, 2006). L'autre processus qui est l'alcalinisation se produit lorsque le pH du sol augmente à des valeurs supérieures à 8,5 (USSS, 1954). Ce processus est souvent accompagné du processus de sodisation lorsque le sodium échangeable est l'élément majoritaire adsorbé sur le complexe colloïdal (IRD, 2008).

2. Types et origine de la salinité

La présence des sels solubles dans les sols se justifie par diverses causes. Deux processus sont signalés :

2.1. Salinisation primaire

C'est un processus lié à la pédogenèse, en autre terme à l'altération des roches salifères qui libèrent des sels sous l'effet de différents facteurs géologiques, géomorphologiques et climatiques (Gucher et Brudin, 1974).

2.2. Salinisation secondaire

La salinisation d'origine secondaire est induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées. Les principales causes de la salinisation secondaire sont (Gucher et Brudin, 1974) :

- La remontée de la nappe souterraine à proximité de surface et transport de sels par remontées capillaires.
- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement lorsqu'il existe.
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration.
- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodification.

- L'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement (Badraoui et *al*, 2000).

3. Impacts de la salinité sur le sol et la plante

La salinité agit sur les propriétés physiques des sols, elle est souvent liée très étroitement à la sodicité des terres agricoles. Plusieurs facteurs interviennent dans la contribution de ces deux processus dans la dégradation des sols. Selon Richards (1954), les sols sodiques ont un pH de plus de 8,5 avec une dominance de l'ion sodium. Cette saturation en sodium provoque généralement la dispersion des particules d'argile avec comme conséquence une dégradation de la structure du sol. De ce fait, le sol devient compact et imperméable, empêchant donc l'aération et la pénétration de l'eau nécessaires pour une croissance régulière des plantes.

Daddi Bouhoun et Brinis (2004) ont montré que l'accumulation des sels mesurée dans le sol est suffisante pour provoquer une chute des rendements des palmeraies de la cuvette de Ouargla. Dans une autre étude, Daddi Bouhoun et *al*. (2011) montrent qu'avec le niveau des nappes, l'augmentation de la salinité des sols dans les ghouts de Oued Souf favorise les accumulations salines et induit une halomorphie excessive et un dépérissement des palmeraies de la région par l'asphyxie racinaire et le stress salin.

4. Techniques de diagnostic des sols salés et alcalins

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble de facteurs :

4.1 .Conductivité électrique

La présence d'ions en solution est à l'origine d'une conductivité électrique ; c'est, pourquoi cette propriété est utilisée pour caractériser les sols. Plus la quantité des sels dissous est grande et plus la CE de la pâte saturée est grande .Généralement, la CE s'exprime en dS /m à 25C° (Calvet, 2003) (Tableau.3).

Tableau 03. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978)

CE (dS/m) à 25°C	Degré de salinité
CE < 0.6	Sol non salé
0.6 < CE < 02	Sol peu salé
02 < CE < 2.4	Sol salé
2.4 < CE < 06	Sol très salé
CE > 06	Sol extrêmement salé

3.2.pH du sol

Est une notion permettant de façon précise de désigner la réaction du sol. Il augmente en corrélation avec le rapport $\text{Na}^+ / \text{C.E.C}$ (Duchaufour, 1977) (Tableau.4).

Tableau 04. pH des sols selon l'extrait 1/5 le pH l'extrait (Soltner ,1989)

pH	Classes
5 à 5,5	Très acide
5,4 à 5,9	Acide
6 à 6,5	Légèrement acide
6,6 à 7,2	Neutre
7,3 à 8	Alcaline
>8	Très alcaline

4.3. ESP (Taux de sodium échangeable): Représente le pourcentage de sodium présent sur le complexe d'échange ; est un indice de caractérisation des sols salés. Ce paramètre est déterminé par la formule suivante :

$$\text{ESP}(\%) = (\text{Na}^+ / \text{C.E.C}) \times 100 \quad (\text{U.S.S.L.1954})$$

Remarque : il existe plusieurs relations empiriques entre le SAR et l'ESP. La relation la plus classique et la plus utilisée est celle proposée en 1954 par l'U.S.S.L sur la base des mesures réalisées sur 59 types de sols différents.

$$ESP(\%) = \frac{100(-0,0126 + 0,01475 \times SAR)}{1 + (0,0126 + 0,01475 \times SAR)}$$

4.4. SAR (Sodium absorption ration): Il représente le taux de sodium adsorbable par rapport aux autres cations (Ca^{++} et Mg^{++}), il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol (Tableau.5).

La relation entre les trois cations est proposée par le laboratoire de Riverside (Richards, 1954), et s'exprime comme suit :

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}{2}}} \text{ []: méq/l}$$

Tableau 05. SAR et degrés d'alcalinisation des sols (Sevant, 1975)

SAR	Degré d'alcalinisation
$SAR \leq 4$	Basse d'alcalinisation
$4 < SAR \leq 8$	Faible d'alcalinisation
$8 < SAR \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 < SAR \leq 18$	Alcalinisation forte
> 18	Alcalinisation intense

III. HYDRUS-1D

1. Définition

Les modèles numériques unidimensionnels (HYDRUS-1D) ou à deux ou trois dimensions (HYDRUS-2D/3D) (Šimůnek *et al.*, 2009) résolvent les équations qui régissent les mouvements de l'eau et des solutés dans un sol insaturé, partiellement saturé ou saturé pour plusieurs couches de sol (Šimůnek et Van Genuchten, 1999). Les modèles HYDRUS tiennent compte des propriétés hydrodynamiques des sols, généralement estimées à l'aide de fonctions de pédotransfert, notamment celles de Carsell et Parish (1988) et celles du programme Rosetta développées par Schaap *et al.* (2001) pour la prédiction de la conductivité hydraulique (K_s) et des paramètres de la rétention en eau de Van Genuchten (1980).

2. Les utilisations

Le modèle HYDRUS 1-D (Šimůnek *et al.*, 2009) a été appliqué pour analyser et comprendre l'effet des doses et de la qualité des eaux d'irrigation et/ou des eaux de la nappe phréatique de surface sur la distribution verticale des sels dans le profil. Ce modèle est utilisé dans le traitement des problèmes liés à l'évaporation et la percolation de l'eau dans des sols stratifiés et de textures différentes (Šimůnek et Suarez, 1993; Gonçalves *et al.*, 2006). Il a également été utilisé pour modéliser le flux de chaleur et le transport de solutés (Šimůnek *et al.*, 2009).

Chapitre 2: Présentation de la région d'étude**I. Situation géographique**

La ville de Ouargla, chef lieu de la wilaya de Ouargla (Figure.1) est située au Sud-Est Algérien, au fond d'une cuvette très large de la vallée de l'Oued M'ya. A environ 800 Km d'Alger. Ses coordonnées géographiques sont (Ozenda, 1983):

- ✓ Altitude : 157 m.
- ✓ Latitude : 31°58' Nord.
- ✓ Longitude : 5°20' Est.

La wilaya de Ouargla couvre une superficie de 163,233 km², elle est limitée :

- ✓ au nord par la wilaya de Djelfa et la wilaya d'El-Oued,
- ✓ à l'est par la Tunisie,
- ✓ au sud par la wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Ilizi,
- ✓ à l'ouest par la wilaya de Ghardaïa.

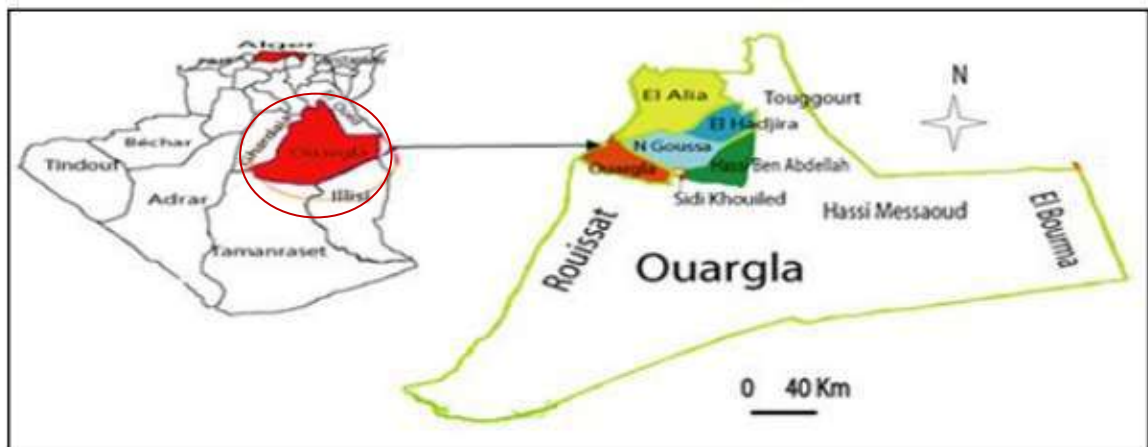


Figure 1. Situation géographique de la région de ouargla (Dada Moussa, 2007)

2. Topographie

Le relief de Ouargla est caractérisé par la prédominance des dunes. Il n'y a pas à l'ère tertiaire, si bien que le relief revêt fréquemment un aspect tabulaire aux strates parallèles (Rouvillois-Brigol, 1975).

3. Géomorphologie

La cuvette de Ouargla appartient au sous-bassin saharien. Elle est située dans la basse vallée fossile de l'Oued M'ya où on distingue les unités géomorphologiques diverses (Nasrat, 2007)

- Une Hamada située à l'Ouest de Ouargla, et qui s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Elle est fortement érodée, laissant une série de buttes témoins ou Goures.

- Un glacis à l'Ouest de la cuvette. Ils s'étagent en quatre niveaux allant de 200 m à 140 m. Les glacis dont les hauteurs varient de 180 à 160 mm sont très visibles et caractérisés par l'affleurement du substrat gréseux du Miopliocène. La pente de ce dernier est faible, et souvent recouverte de sables et de graviers. A l'Est de la cuvette se trouve un vaste glacis alluvial à sable grossier.

- Les sebkhas et chotts quand à eux constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond au centre de la sebkha est constitué des sols gypseux en surface. Souvent la nappe phréatique affleure en surface au centre de la sebkha. Au Nord de la ville de Ouargla à environ 130m d'altitude, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Sefioune.

- La dernière formation géomorphologique dans la région de Ouargla c'est les dunes qui occupent la partie Est et Sud de la cuvette et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'Oued M'ya.

4. Géologie

D'après la carte géologique de l'Algérie de Constantine au 1/500 000 réalisée en 1951 par les services géologiques (Zergoun, 1997), le relief de Ouargla est constitué de roches sédimentaires, alluvions et colluvions dérivés tels que les marnes jaunâtres plus ou moins gréseux, salées et gypseux, et des quantités importantes des sables récents du quaternaire.

De plus l'existence des Calcaires jaunâtres ou ocre, avec les argiles sableuses rouges, salées et gypseuses et les grès, sables et conglomérats.

II. Hydrographie

Pour les ressources hydrographiques dans la région de Ouargla, on trouve l'oued Mya. Son lit est d'une largeur très variable, à 11 km au sud de l'agglomération, cette largeur d'environ 4 kms pour atteindre ensuite 12 kms, au niveau de l'oasis, et à 7 kms au nord, elle se rétrécit et varie entre 6 et 7 kms L'oued Mya dont la source se situe au sud dans les massifs montagneux de Tadmait, traversant, autrefois Ouargla, avant de recevoir au niveau de la sebkhet safioune, les apports de l'oued M'Zab et de l'oued N'ssa. Plus au Nord, aux environs de Touggourt, la vallée de l'oued Mya converge avec celle de l'oued Igharghar pour constituer la vallée de l'oued Righ qui aboutit au chott Melrir (Idder, 1998).

III. Hydrogéologie

Au Sahara, il existe deux ensembles aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses de la base du crétacé supérieur : l'ensemble inférieur appelé le Complexe Intercalaire (CI) ou "Albien" et l'ensemble Terminal « CT » (Hamdi-Aissa, 2001).

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques (Bonnard et Gardel, 2002).

1. Nappe du Continental Intercalaire (C.I.)

L'exploitation de cette nappe à Ouargla remonte à 1960. Les forages atteignent la nappe entre 1100 et 1400 m de profondeur, et leurs eaux sont faiblement minéralisés (de l'ordre de 1,9 g.l-1). Ils ont un débit de 250 à 400 l/s (Hamdi Aissa, 2001).

2. Les nappes du Complexe Terminal C.T

Le Complexe Terminal est représenté par deux aquifères à Ouargla. La première est contenue dans les sables du Miopliocène, à une profondeur qui varie entre 30 et 65 m ; et la deuxième, c'est le Sénonien qui se trouve à une profondeur d'environ 200 m (Rouvilloisbrigol 1975). L'écoulement de ces deux aquifères s'effectue du Sud-Ouest vers le Nord Est (Idder, 1998 in Idder, 2005).

3. Nappe phréatique

La nappe phréatique est contenue dans les sables alluviaux de la vallée. Elle s'écoule du sud vers le nord suivant la pente de la vallée, Sa profondeur varie de 1 à 8 m selon les lieux et les saisons (A.N.R.H., 2000).

Cette nappe est essentiellement alimentée par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux urbaines (Idder, 1998 in Idder, 2005).

IV. Pédologie

Les zones sahariennes sont constituées d'immenses étendues impropres à l'agriculture. Le plus souvent, dans ces régions, on appelle sol agricole, des zones constituées de couches sédimentaires superficielles dont la fertilité et le pouvoir de rétention en éléments fertilisants et en eau sont faibles. Les horizons de surface sont le plus souvent recouverts d'apports sableux éoliens ou sont très argileux ; ou encore encroûtés ou salés. L'agriculture ne peut se pratiquer sans apports fréquents d'éléments fertilisants et d'eau (Djennane, 1990).

Sous la palmeraie, les caractéristiques sont imputables au travail humain. En surface, des terres alluviales ou des chotts ; les cultures créent et entretiennent un horizon humifère, parfois important, tandis que l'irrigation joue un rôle complexe, lessivant les terres hautes et bien drainées, mais asphyxiant par ses apports en sels les terres basses des rives des Sebkhass (Rouvillois-Brigol, 1975).

V. Climat

Selon Rouvillois brigol (1975), le climat de Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. L'étude du climat de la région d'Ouargla, a été faite sur une période de 10 ans (2007-2017), les paramètres utilisés pour cette étude proviennent des données recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM) d'Ouargla.

Tableau 6. Données météorologiques de la Wilaya de Ouargla (2007-2017) (O.N.M., 2017)

Mois	T min (°C)	T max (°C)	T moy (°C)	H (%)	V max (m/s)	P (mm)	E (mm)	I (h)
Janvier	5,09	19,3	12,19	57	8,2	7,73	93,5	249,6
Février	7,1	21,5	14,3	48,5	9,4	2,9	128,2	239,3
Mars	10,5	25,5	18	43,5	10,1	4,72	189	270,1
Avril	15,3	30,7	23	37,5	11,4	1,66	238,8	280,9
Mai	20	35,4	27,7	31,5	11,5	1,46	317,5	301,6
Juin	24,8	40,5	32,65	28	10,4	0,73	378,6	237,6
Juillet	27,9	43,6	35,75	24,5	9,3	0,31	436,6	324
Août	27,4	42,7	35,05	27	9,1	0,7	396,6	338
Septembre	23,7	38,2	30,95	36	9,6	4,69	282,8	264,6
Octobre	17,4	31,8	24,6	43,5	9,6	5,7	210,3	267
Novembre	10,3	24,3	17,3	52,5	7,5	2,4	122,3	252,1
Décembre	5,8	19,5	12,65	59	7,5	4	85,7	229,2
Moyenne	16,27	31,09	23,67	40,70	9,47	3,08	239,99	271,17
						37,03*	2879,9*	3254*

H. : Humidité T min : Température minimal T max : Température maximale T moy : Température moyenne
 P: Pluviométrie I: Insolation E. : Evaporation

V max : vent maximal

*: Cumulés annuelle

1. Température

La température moyenne annuelle est de 23,67 °C. En Juillet, pour le mois la plus chaud, elle est de 35,75°C. En Janvier, pour le mois le plus froid, elle est de l'ordre de 12,19°C (Tableau.6).

1. Précipitation

Les précipitations sont très rares et irrégulières. La valeur maximale est enregistrée durant le mois de janvier 7,73 mm et le cumul annuel de pluviosité est de l'ordre de 37,03 mm (Tableau.6).

2. Vent

Dans la région de Ouargla les vents soufflent du Nord-Est et du Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest tandis qu'au printemps les vents du Nord-Est et de l'Ouest dominant. En été, ils soufflent du Nord-Est et en automne du Nord-Est et Sud-Ouest (Dubief, 1963). D'après les données de l'O.N.M. (2017) pour la période de 2007-2017, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 9,47 m/s (Tableau.6).

3. Evaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 2879,9 mm/an, avec un maximum mensuel de 436,6mm au mois de Juillet et un minimum de 85,7 mm en Décembre (Tableau.6).

4. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 27 % en Aout, atteignant un maximum de 59 % en mois de décembre et une moyenne annuelle de 40,70 % (Tab.6).

5. Diagramme pluviothermique de GAUSSEN

Selon la définition de GAUSSEN, une période sèche est une période pendant la quelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois. Ce diagramme montre que pour la région de Ouargla, la période sèche s'étal sur toute l'année (Figure.2).

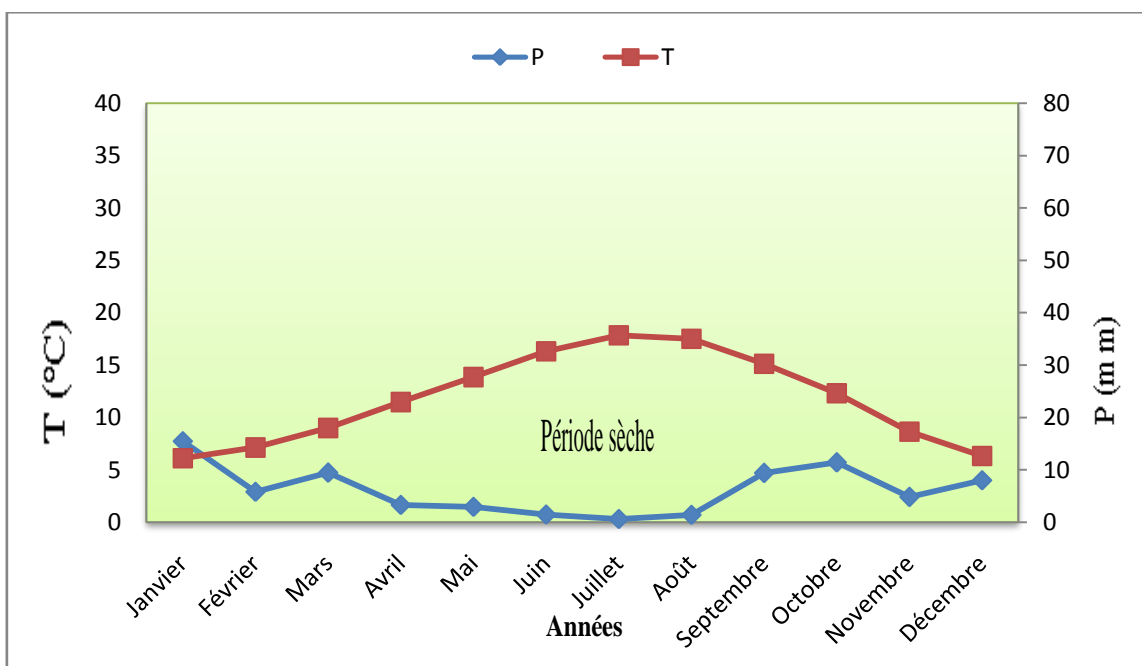


Figure 2. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ouargla (2007 - 2017).

Chapitre 3 : Matériel et méthodes de travail

I. Choix du site d'étude

Notre choix est porté sur le site de l'entreprise des industries alimentaires céréalières et dérivées (E.R.I.A.D Sétif). Cette entreprise est passée par plusieurs restructurations avec son lot d'appellations : Agro Sud et actuellement Agro Div. Elle est située à Hassi Ben Abdellah. Ce choix est motivé par les raisons suivantes :

- ✓ le nombre important de pivots, avec la rotation des cultures.
- ✓ l'existence d'une étude antérieure sur ce site, ce qui est recherché pour estimer l'évolution temporelle du paramètre étudié.
- ✓ l'uniformité de l'itinéraire technique pour les parcelles sélectionnées.
- ✓ l'existence des systèmes d'irrigation différents.
- ✓ l'homogénéité du milieu.

II. Présentation du site d'étude

La ferme Agro Div a été créée en 1991 à Ouargla, dans le périmètre El Khalidj, commune de Hassi Ben Abdellah. Elle est distante d'environ 25 Km du chef lieu de la Wilaya de Ouargla.

Elle couvre une superficie totale de 1675 ha, avec une superficie exploitée estimée à 256 ha. Cette ferme spécialisée en céréaliculture compte actuellement 8 pivots de 32 ha.

En plus de la céréaliculture, la phoeniciculture trouve sa place avec un effectif de 1400 pieds couvrant une superficie de 11,5 ha, comprenant les variétés DegletNour, Ghars et Deglat Baida.

III. Choix des parcelles d'étude

Les parcelles d'étude sont cultivées avec du palmier dattier irrigué avec les eaux de la nappe Albienne par le système goutte-à-goutte, et avec la céréaliculture irriguée avec les eaux du Nappe du Miopliocène par le système de pivot.

Parmi les parcelles en activité, nous avons choisi, les pivots : 11, pivot 6 et pivot16. Ils seront nommés dans ce travail, respectivement pivot 1, pivot 2 et pivot 3.

IV. Historique des parcelles étudié

1. Historique des cultures

L'historique des cultures installées depuis la campagne de culture, qui coïncide avec le travail de Ben Brahim (2005), est montré dans le tableau 7.

Tableau 7. Historique des précédents culturaux pour chaque parcelle dans le site d'étude

pivot	Pivot 1	Pivot 2	Pivot 3
Compagnes			
2005/2006	-	-	-
2006/2007	-	-	-
2007/2008	-	-	-
2008/2009	Blé tendre	Blé tendre	-
2009/2010	Blé dur	Blé tendre	Blé tendre
2010/2011	Blé tendre	Blé tendre	Blé dur
2011/2012	Blé dur	Blé dur	Blé dur
2012/2013	avoine	Blé tendre	Blé dur
2013/2014	Blé tendre	-	Blé tendre
2014/2015	-	-	Orge
2015/2016	-	orge	Orge
2016/2017	Blé dur	Blé tendre	Blé tendre

2. Historique de l'irrigation

Une pré-irrigation est appliquée pendant une semaine à raison de 8 mm/ha .Elle a pour but :

- l'entraînement des sels en profondeur.
- de faire germer les repousses de la culture précédente et de mauvaises herbes.
- de faciliter les travaux du sol, le semis et la germination.

La quantité totale d'eau appliquée y compris celle de la pré-irrigation est de l'ordre de 950 mm/an c'est à dire pour une campagne d'orge, de 928 mm/an pour le blé tendre, de 888 mm/an pour l'avoine et de 1150 mm/an pour le blé dur.

V. Matériel utilisé

Pour le travail de terrain, on avait simplement besoin du matériel classique de prospection pédologique. Nous avons principalement utilisé :

- une tarière pour la réalisation des sondages et prélèvement des échantillons de sol,
- un GPS de type Garmin pour la localisation des sondages, des sachets en plastique avec étiquetage pour les échantillons de sol,
- Nous avons eu besoin aussi des bouteilles en plastique pour le prélèvement des échantillons d'eaux.

Le matériel que nous avons utilisé dans le laboratoire est celui dont on se sert, dans la mesure de la conductivité électrique et de l'humidité. Il est composé d'un conductimètre, d'une balance, une étuve, des capsules, eau distillée, la solution de KCl, agitateur, papier filtre, bécher, entonnoir, erlenmeyer et tamis de 2 mm.

VI. Méthode de travail

1. Approche méthodologique

L'approche méthodologique choisie dans notre étude permet de caractériser les sols et les eaux.

Nous avons effectué des sondages, selon le plan de la figure 5, dans les trois parcelles irriguées avec le système pivot et d'autres sondages dans palmeraie. Les figures 3 et 4 montrent l'emplacement des parcelles étudiées au sein de la zone d'étude.



Figure 3. Délimitation de la palmeraie (Google Earth 2017)

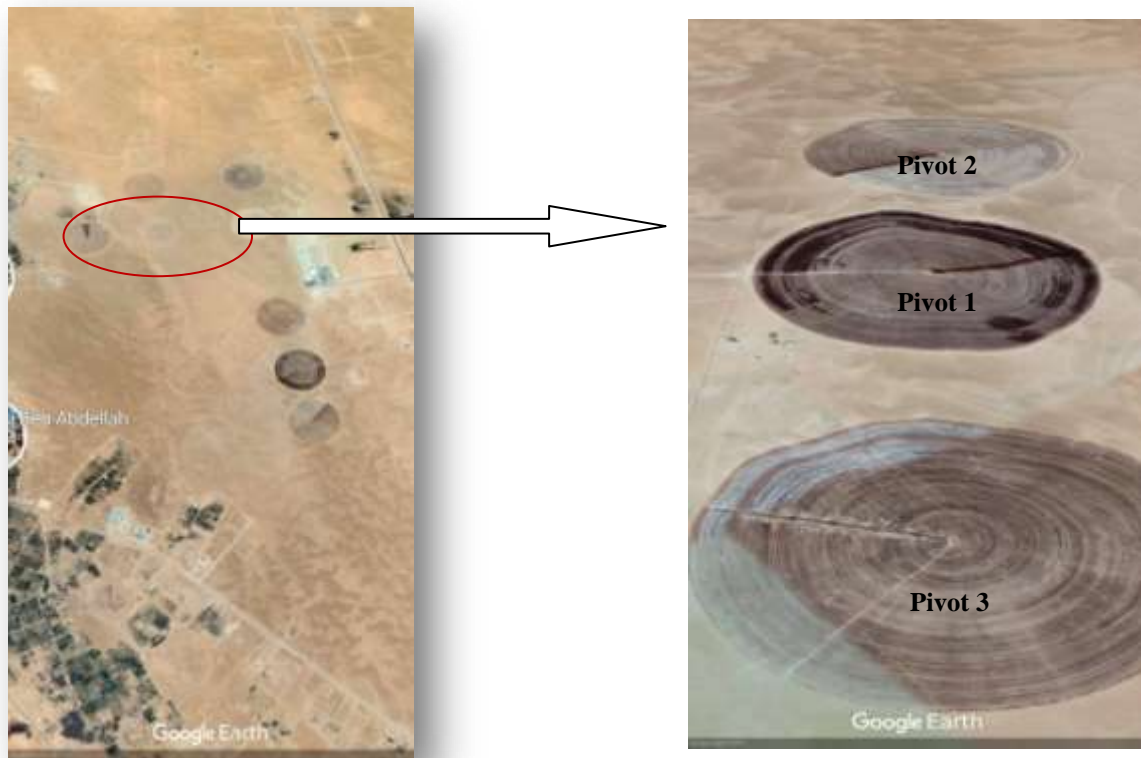


Figure 4. Localisation des parcelles étudiées (Google Earth 2017)

2. Echantillonnage

2.1. L'échantillonnage dans la palmeraie

Le plan d'échantillonnage de sols de la palmeraie est aléatoire. Il est réalisé entre les 0 à 50 cm de profondeurs tous les 10 cm, dans le but d'atteindre la zone racinaire.

Nous prenons 25 échantillons de sol de cette palmeraie, Où nous prenons 5 échantillons pour chaque sondage.

2.2. L'échantillonnage dans les parcelles de céréales

Les sols des 3 parcelles irriguées par pivot de 32 ha, sont échantillonnés à la tarière sur trois profondeurs 0 à 10 cm; 10 à 20cm et 20 à 30cm, pour couvrir la grande partie de la zone racinaire.

Nous prenons 15 échantillons de sol dans chaque parcelle irriguées par pivot, Où nous prenons 3 échantillons pour chaque sondage.

Le nombre total d'échantillons est de 70 échantillons. 45 échantillons des 3 parcelles irriguées par pivot et 25 échantillons de la forêt de la palmeraie.

Le prélèvement des eaux a été réalisé au niveau des forages utilisés dans l'irrigation de la palmeraie et des céréales.

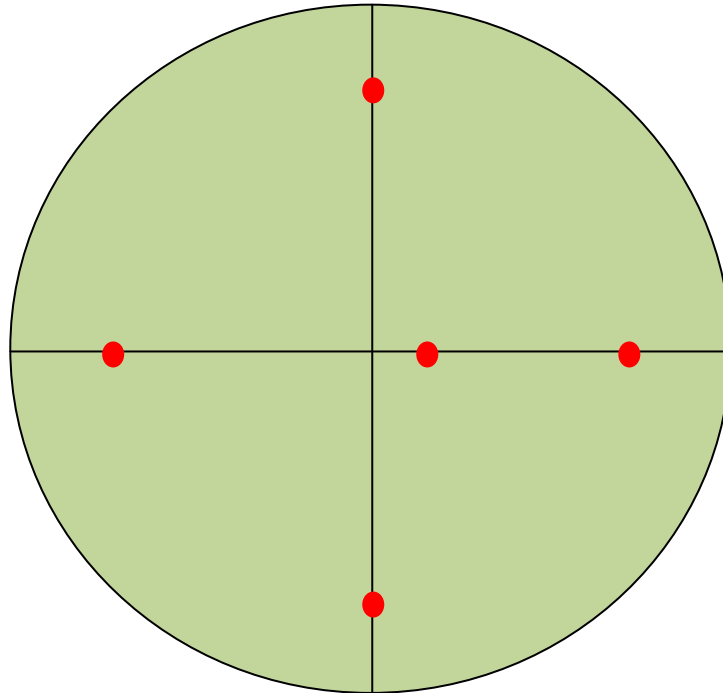


Figure 5. Plan d'échantillonnage des parcelles étudiées

3. Méthode d'analyse

Nous avons jugé, qu'il est inutile de refaire les analyses des paramètres pérennes déjà décrits dans le travail de Ben Brahim (2005). On s'est contenté seulement de la conductivité électrique (CE) et de l'humidité.

3.1. La conductivité électrique

La conductivité électrique a été mesurée sur un extrait dilué de 1/5 ($CE_{1.5}$), et le résultat est corrigé à une température de 25°C. Elle est exprimée en dS/m.

3.2. Humidité

L'humidité est la quantité d'eau contenue dans un sol. Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche. Elle consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve à 105°C, jusqu'au poids constant, la différence poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau. Elle est calculée avec la formule $H\% = ((\text{poids humide} - \text{poids sec}) / \text{poids sec}) \times 100$.

Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Ouargla.

VII. Les paramètres du model HYDRUS -1D

Le modèle HYDRUS-1D (Šimůnek *et al.*, 2009) est utilisé pour simuler dans la dimension verticale les paramètres hydrodynamiques et de transport de solutés dans la zone non saturée du sol, en fonction des règles de pédotransfert de Mualem (1976) et de Van Genuchten(1980). Le paramétrage d'HYDRUS 1-D exige :

1. Des données climatiques journalières

Nous utilisons des données climatiques de l'office de météorologie de Ouargla (ONM, 2017).A défaut de disposer de toutes les mesures climatiques, nous avons calculé l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule de Thornthwaite (1948) (Allen *et al.*, 1998; Pereira et Pruitt, 2004). Cependant les simulations HYDRUS 1-D nécessitent une décomposition de l'ETP. Nous admettons dans ce travail, que l'évapotranspiration potentielle peut être calculée selon la formule suivante :

$ETP = (0,25 \text{ Evaporation}) + (0,75 \text{ Transpiration})$ (Ashktorabet *et al.*, 1994; Liu *et al.*,2002; Kang *et al.*, 2003a; Kang *et al.*, 2003b).

2. Quantités d'eau d'irrigation

En raison de la rareté des précipitations dans la région de Ouargla, la modélisation hydrologique est réalisée on utilisant uniquement les quantités d'eau d'irrigation. Elle est réalisée à partir de la semaine qui précède la mise en culture jusqu'à la fin de la saison, à raison de 180 jours.

3. Qualité de l'eau d'irrigation

Les mesures de conductivité électrique des eaux d'irrigation issue des forages de la nappe Miopliocène (CE= 4,9dS/m) et des eaux d'irrigation de l'Albien (CE= 2,6 dS/m) ont été converties en concentrations de sel dissous (mmol/cm^3) notée TDS (Total Dissolved Solids) selon la méthodologie adoptée par Forkutsaet *al.* (2009).

4. Le niveau de la nappe

Le niveau de la nappe est loin de la surface du sol et du bas du profil dans cette région. Il n'y a donc pas d'effet de salinité de celle-ci (nappe) sur le sol.

5. Les données du profil

Les données du profil concernent la profondeur du profil, la granulométrie et la salinité. Pour notre modélisation, nous avons utilisé les données de Ben Brahim (2005). C'est les données de départ.

6. La période de la modélisation

Pour les trois pivots nous avons limité la période d'estimation à 4748 jours (de 2005 à 2017). Nous avons considéré les résultats de mesure de la conductivité électrique de Ben Brahim (2005) comme un point de départ, et nos résultats d'analyse (CE de 2017) dans le but de vérifier la précision des prédictions.

Pour la modélisation hydrologique de la palmeraie, on s'est contenté d'une prédiction sur 1825 jours. Nous avons considéré nos résultats comme un point de départ pour prédire la salinité du sol sur cinq ans (2017 à 2022).

7. Résultats de la modélisation

Les données de sortie seront relatives à différents nœuds préalablement choisis sur le profil. On s'intéressera particulièrement à l'évolution temporelle (jours) de la salinité ($EC_{1,5}$) au niveau de trois nœuds à 10, 20 et 30 cm de profondeur pour les trois pivots et au niveau de cinq nœuds à 10, 20, 30, 40 et 50 cm de profondeur pour la palmeraie.

Les simulations HYDRUS ont été réalisées pour trois pivots irrigués avec la nappe du Miopliocène (la même modélisation pour les trois pivots) et une autre modélisation pour la palmeraie irriguée par la nappe Albienne.

Pour des raisons purement méthodologiques, nous ne présenterons dans ce document que deux modélisations pour le pivot, une première avec les eaux du Miopliocène et la seconde avec les eaux de l'Albien. La troisième modélisation est réalisée pour la palmeraie avec les eaux de l'Albien.

Chapitre 4 : Résultat et discussion

I. Etude de l'eau

1. Qualité de l'eau d'irrigation

L'eau utilisée pour l'irrigation provient de la nappe Albienne du Continental Intercalaire ($CE= 2,6dS/m$) pour palmeraie, et la nappe Miopliocène du Complexe Terminal ($CE= 4,9dS/m$) pour les parcelles irriguées par les pivots. En fonction de la classification d'Aubert (1978), les deux nappes sont très salées.

D'après la classification des eaux d'irrigation établie par Riverside modifié par Durand (1958), l'eau de la nappe Albienne et Miopliocène appartient à la classe C4.

II. Etude du sol

1. Humidité des sols

Les résultats des analyses d'humidité des sols dans les parcelles étudiées sont illustrés dans les graphiques suivants :

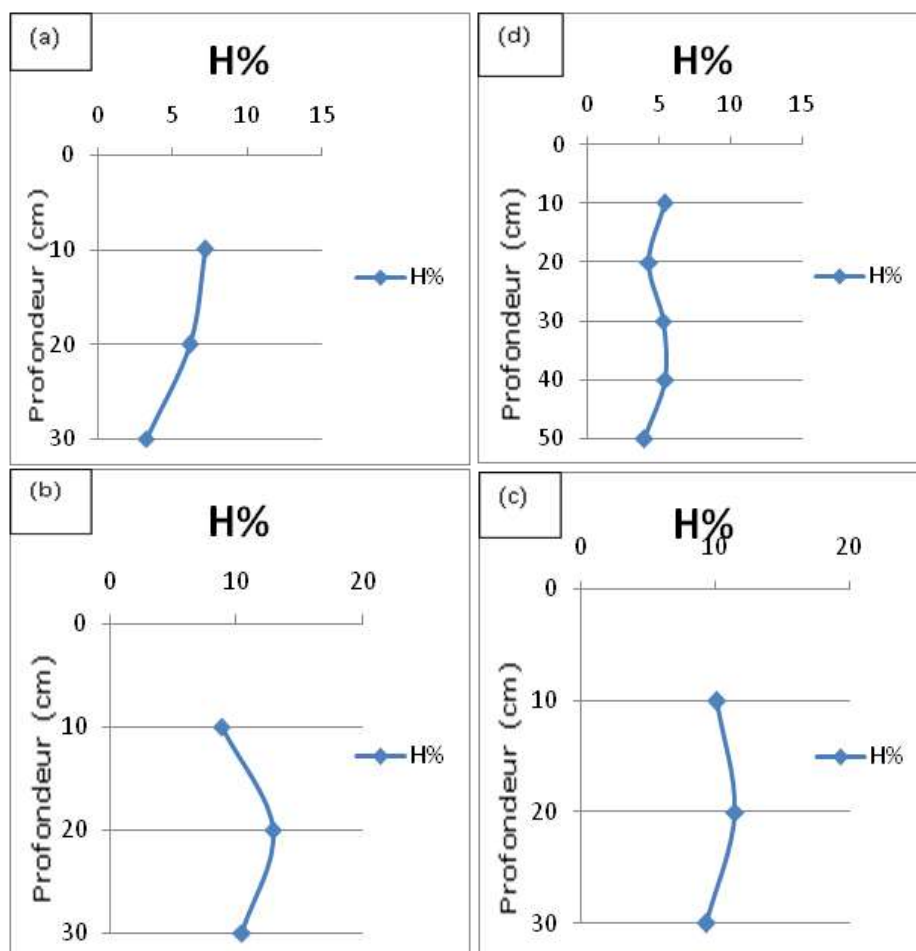


Figure 6. Profils hydriques moyens des sols irrigués par : (a) pivot 1, (b) pivot 2, (c) pivot 3 et (d) goutte à goutte

D'après les résultats obtenus (Figure 6), l'humidité des sols des parcelles irriguées par le goutte-à-goutte (palmeraie) est faible. Elle varie entre 3% pour les valeurs minimales et 5% pour les valeurs maximales.

On remarque aussi que l'humidité des sols des parcelles irriguées par les pivots est très élevée (de 3 % à 12 %) par rapport à la parcelle irriguée avec le goutte-à-goutte. Le système de pivot assure la présence d'eau avec des quantités importantes de façon continue, alors que le système goutte-à-goutte assure l'eau au sol avec des quantités plus au moins faible que le pivot.

Donc, on remarque bien, que le taux d'humidité augmente en fonction de la dose et de la fréquence d'irrigation.

2. Conductivité électrique (CE)

La valeur numérique de la conductivité électrique ($CE_{1.5}$) varie entre 0,9 à 1,5 dS/m pour les parcelles irriguées par les pivots, alors qu'elle varie autour de 0,4 dS/m pour la parcelle irriguée par le goutte-à-goutte.

Ces valeurs de conductivité électrique nous permettent de classer ces sols des parcelles présentes dans la classe des sols non salé à moyennement salé en fonction de la classification de Aubert (1978).

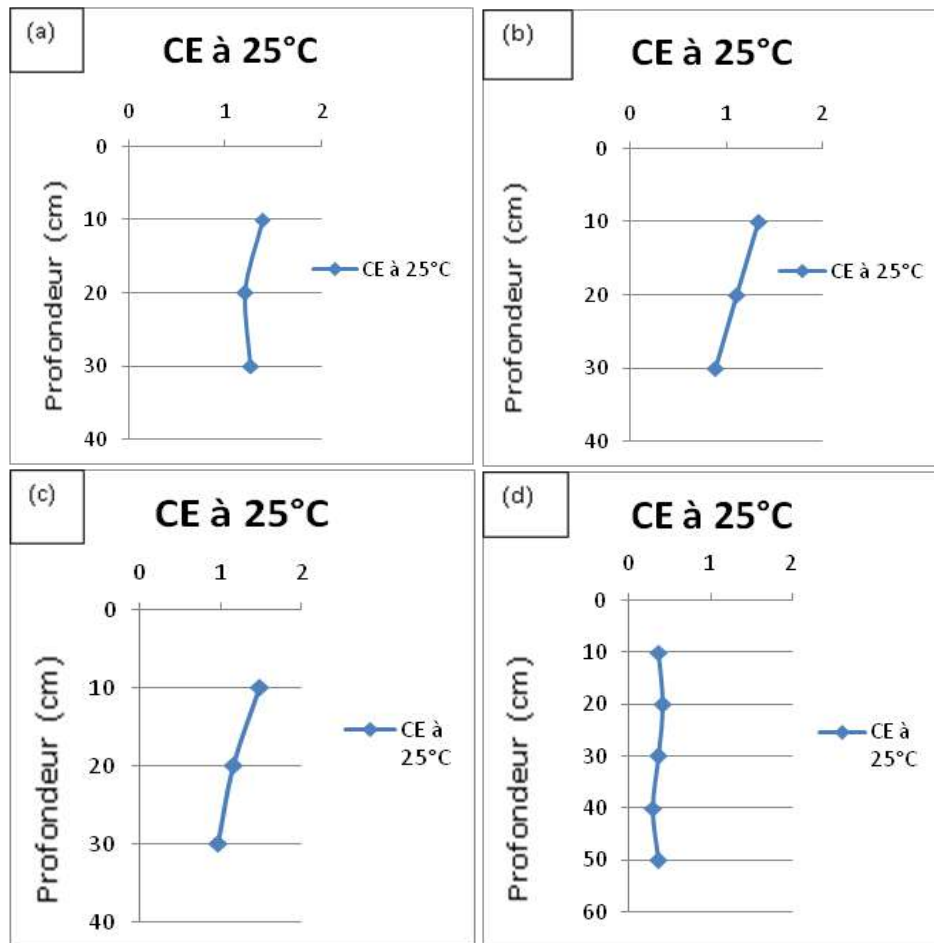


Figure 7. Profils salins moyens des sols irrigués par : (a) pivot 1, (b) pivot 2, (c) pivot 3 et (d) goutte à goutte

Selon la classification Servant (1978), les profils salins moyens des sols irrigués avec pivots (Figure 7a, 7b, 7c) sont de type A, alors que celui de la palmeraie (Figure 7d) est de type B.

D'après les résultats obtenus (Figure 7), on remarque qu'il y a une dynamique des sels dans le profil.

Les graphiques (Figure 7) montrent, qu'il y'a une augmentation ascendante de la salinité du bas vers le haut du profil. Cette accumulation des sels à la surface (CE max = 1,5 dS/m), n'est pas expliquée par une remontée capillaire, à cause d'absence de la nappe phréatique, mais par une forte évaporation (cumule annuel de 2879,9 mm).

Les résultats montrent aussi que la CE des parcelles irriguées par pivot est très importante que la CE des parcelles irriguées par goutte -à- goutte, parce que la qualité

d'eau d'irrigation (Albienne et Miopliocène) est différente. L'eau de la nappe Miopliocène est plus salée par rapport à l'eau de la nappe Albienne.

3. Résultats précédents

Selon Ben Brahim (2005), les résultats des analyses des sols des parcelles irriguées par pivot regroupent dans le tableau suivant (Tableau.8).

Tableau 8. Résultats précédents des analyses du sol des pivots 1, 2 et 3 (Ben Brahim, 2005)

Caractéristiques		Horizons								
Profondeur (cm)		0 - 39			39 - 100			> 100		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Granulométrie (%)	A.	8,4	6,4	6,9	5,9	7,5	7	8,6	8	8,7
	L.	9,8	10,5	9,1	6,4	11,5	10,3	9,2	10,3	10,2
	S.	81,7	82,6	83,8	87,7	80,9	82,5	82,1	81	81
Classe texturale (U.S.D.A)		S.L	S.L	S.L	S	S.L	S.L	S.L	S.L	S.L
Densité apparente (Da)		1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3
C.E. à 25°C (dS/m)		0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	1,2	1	0,9	1,6

A : Argile

S : Sable

L : Limon

III. Modélisation hydrologique

1. Modélisation hydrologique au niveau des pivots

Le graphique (Figure8) présente la prédiction de la salinité au niveau du pivot 1 sur 13 ans.

La modélisation hydrologique du pivot 1 est semblable à la modélisation pour les deux autres pivots (2 et 3). Les données de la salinité de départ (BenBrahim, 2005) sont presque identiques (Tableau8). Elles sont respectivement de 1 dS/m, 0,9 dS/m et 1,3 dS/m pour les pivots 1, 2 et 3.

La salinité de l'eau d'irrigation est également la même (la CE de la nappe Miopliocène est 4,9 dS/m). Nous ne présenterons alors, dans ce travail, que les données du pivot 1.

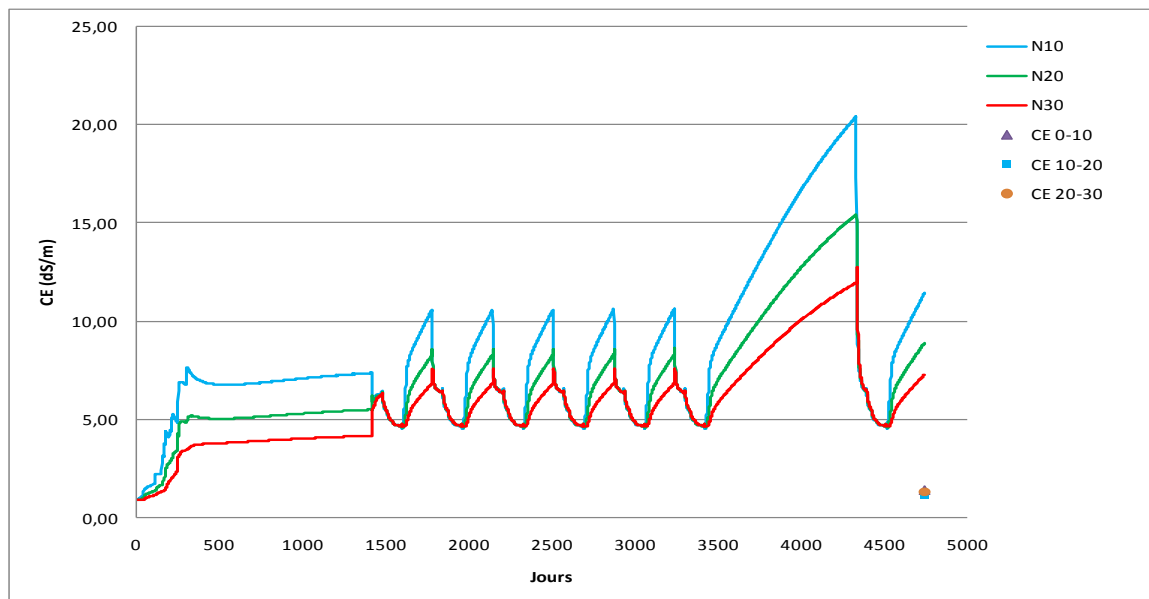


Figure 8. Prédiction de la salinité au niveau du pivot 1 pour la période 2005-2017

Les simulations de la conductivité électrique par HYDRUS 1-D (Figure 8), indiquent une augmentation de la salinité avec la même allure pour toutes les profondeurs (N10, N20, N30). Elle varie de 0,9 dS/m à l'état initial (jour 1) à plus de 8 dS/m en surface (N10) et elle varie entre 3 à 5 dS/m dans la zone racinaire (N20, N30) au jour 1500. Cette période (1 à 1500 jours) représente la période d'un état de jachère des parcelles étudiées.

Entre 1500 et 3500 jours, nous remarquons un cycle de diminution puis de diminution de la salinité au même rythme, mais avec une grande allure que dans la première période (jour 1 à jour 1500). La plus grande valeur de la salinité prédite, atteint plus de 10 dS/m en surface (N10) et variant de 7 à 8 dS/m pour la zone racinaire (N20, N30).

Nous savons que pendant toute cette période, les parcelles étudiées seront cultivées pendant 180 jours et resteront sans culture pendant 185 jours ; donc la cause de la diminution de la salinité pourrait être due à une irrigation intensive qui a une fonction d'entraînement des sels en profondeur. Cependant, cette diminution est temporaire. Nous remarquons une période d'augmentation de la salinité qui serait due à la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation. Elle est déjà salée (Miopliocène) et l'intensité de l'évaporation

serait responsable de l'accumulation des sels à la surface du sol pendant la période de repos.

D'après Daoud et Halitim (1994), l'irrigation des céréales peu laisser jusqu'à 12 tonnes de sel par hectare de sol à la fin de cycle végétatif. Ce résultat expliquerait l'augmentation de la salinité durant cette période.

Du jour 3500 au jour 4500, nous remarquons une augmentation significative de la salinité prédite. Elle atteint 20 dS/m en surface (N10) et oscille entre 13 à 15 dS/m respectivement dans les nœuds N20 et N30 de la zone racinaire.

La parcelle étudiée dans cette période n'est pas cultivée. La salinisation serait due aux sels laissés après l'irrigation des céréales (Daoud et Halitim, 1994). La salinité prédite diminue temporairement au jour 4600 à 5 dS/m pour toutes les profondeurs (N10, N20, N30).

La prédiction, indique que la salinité après 13 ans (2017) varie entre 6 dS/m pour la zone racinaire (N20, N30) et 12 dS/m en surface (N10). Nos résultats par contre, indiquent que la salinité de 2017 est 1,4 dS/m pour la profondeur 0-10 cm, et 1,2 dS/m pour la profondeur 10-20 cm et 1,30 dS/m pour la profondeur 20-30 cm.

Les résultats de la prédiction et les résultats de la CE mesurée, ne sont pas convergents. Cette différence pourrait être due à l'imprécision des analyses (erreur dans l'appareillage de mesure) ou à une surestimation des prédictions HYDRUS 1-D.

2. Modélisation hydrologique au niveau de la palmeraie

Le graphe de la figure 9, présente la prédiction de la salinité au niveau de palmeraie pour une période de 5 ans.

En raison de l'absence de données antérieures à 2017 au niveau de la palmeraie, nous tenterons une modélisation pour une période de 5 ans, à partir de cette date.

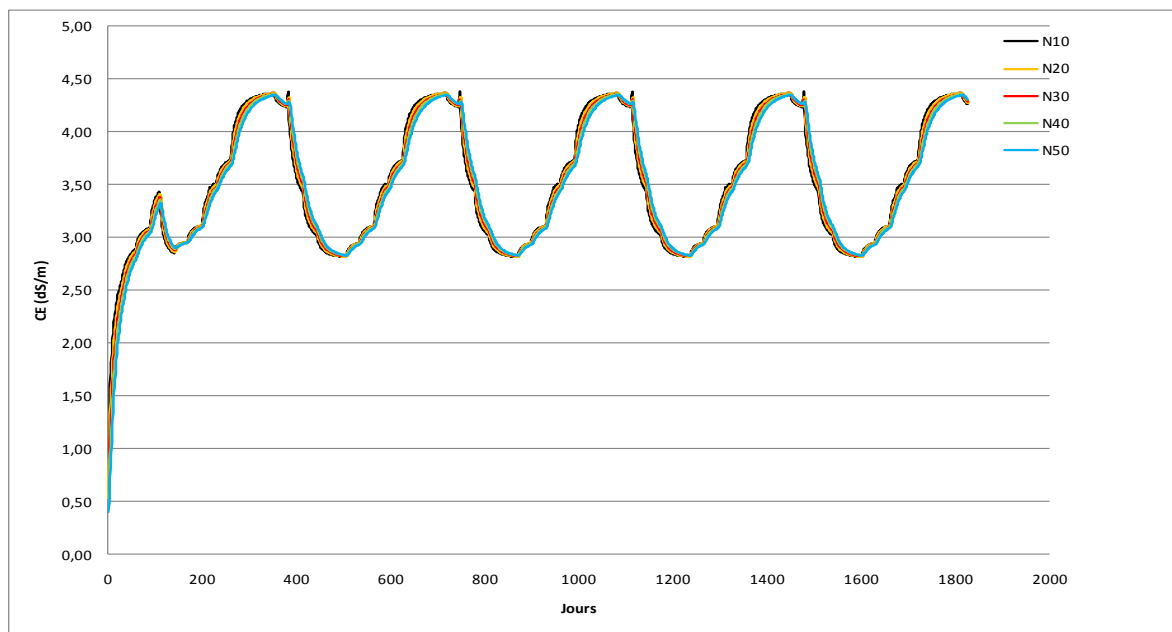


Figure 9. Prédiction de la salinité au niveau de la palmeraie pour la période 2017-2022

Les simulations de la conductivité électrique indiquent une série de cycle augmentation, diminution de la salinité prédite de toutes les profondeurs (N10, N20, N30, N40, N50). Elle commence à environ 0,5 dS/m à l'état initial (premier jour) à plus de 3dS/m après 100 jours. Cette augmentation pourrait être due à l'utilisation de l'eau de la nappe Albienne salée (CE= 2,6 dS/m) pour l'irrigation de la palmeraie.

Entre 100 et 1800 jours, nous remarquons que la salinité augmente et diminue au même rythme. La valeur la plus élevée atteinte par la salinité prédite est plus de 4dS/m.

Si l'irrigation continue avec la même qualité d'eau (Albien CE=2,6 dS/m) et avec les mêmes quantités (4,1mm/j), cela nous conduirait à une accumulation certaine et dangereuse de sels dans le sol. Selon Daoud et Halitim (1994), une irrigation pourrait également laisser jusqu'à 60 tonnes de sel par hectare dans les sols de palmiers dattiers en fonction de la teneur en sel de l'eau appliquée.

HYDRUS-1D s'avère de ce fait, un outil très précieux dans la gestion future des irrigations de cette palmeraie et de l'agriculture d'une manière générale.

3. Modélisation hydrologique au niveau des pivots en utilisant les eaux de l'Albien

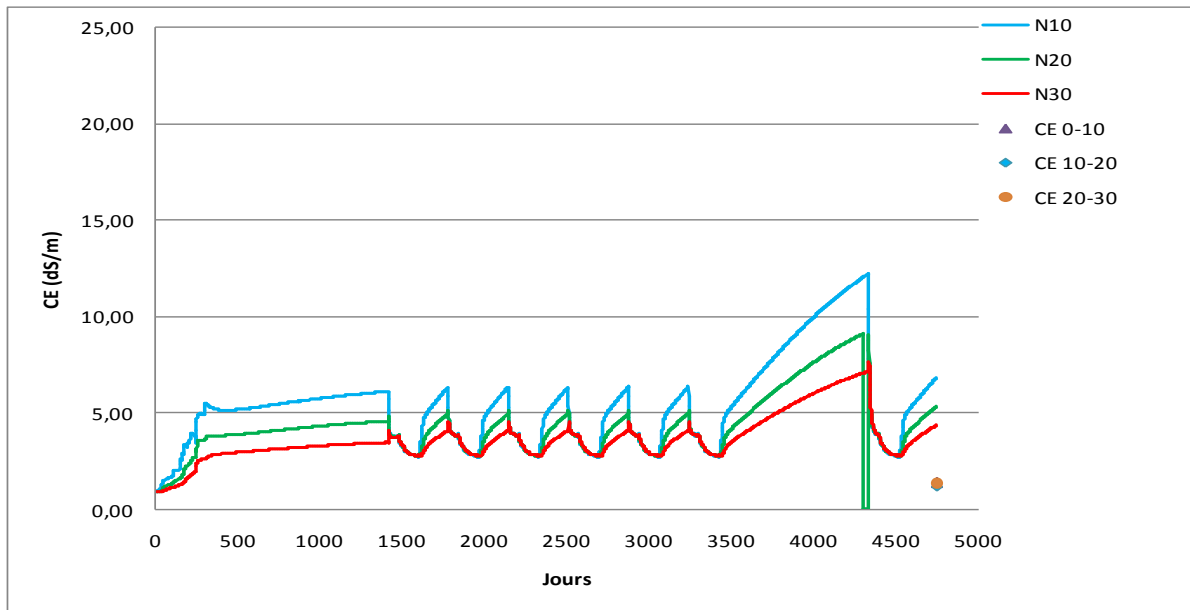


Figure 10. Simulation d'une prédiction de la salinité au niveau du pivot 1, en utilisant les eaux de l'Albien, pour la période 2005-2017

Afin de monter l'effet de la qualité des eaux d'irrigation dans la salinisation des sols des parcelles de céréales, irriguées par pivots avec les eaux du Miopliocène (CE =4 ,9dS/m) (Figure8), nous avons testé une modélisation en utilisant les eaux de l'Albien (CE =2 ,6dS/m) (Figure10).

Après une comparaison entre les deux graphiques (Figures 8 et 10), nous avons constaté que les graphiques ont une allure similaire. Cependant la valeur maximale de salinité du pivot irrigué par l'eau de la nappe Albienne est de 12 dS/m (Figure10), alors que celle de pivot irrigué avec l'eau de la nappe Miopliocène (Figure8) dépasse 20dS/m.

Cette différence de salinité est due à la qualité des eaux utilisées. L'eau de la nappe Albienne est moins salée par rapport à l'eau de la nappe Miopliocène.

La modélisation hydrologique HYDRUS1-D permet de déceler cette différence de la qualité des eaux d'irrigation. Elle nous permettrait d'affirmer que l'irrigation des pivots avec l'Albien saliniserait moins des sols irrigués avec le Miopliocène.

En fine, les résultats obtenus montrent que la prédiction de salinité par la modélisation hydraulique HYDRUS 1-D, permet de prédire la salinité verticale à différentes profondeurs de sol et sur des périodes de prédictions variables et contrôlées.

Cette modélisation peut aussi prédire la salinité, après avoir testé différentes qualités d'eaux. Elle a donc l'avantage de choisir la meilleure qualité d'eau, et prendre les précautions nécessaires pour la protection des sols.

Conclusion générale

Les sols salés constituent un trait caractéristique des paysages de la zone aride. En Afrique de Nord, la combinaison entre un passé géologique favorable au stockage des sels, l'aridité du climat, l'hydrographie, l'hydrogéologie et l'irrigation mal contrôlée font de la salinisation des sols une menace permanente (Aubert, 1976;Hulin, 1983).

En Afrique, près de 40 millions d'hectares sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale. En Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont concernés par des problèmes de salinité (Douaoui et Hartani, 2008).

En conséquence, la modélisation hydrologique HYDRUS 1D, paraît comme une meilleure solution, pour le suivi de l'évolution temporelle de salinité dans le sol. Elle permet, de bien gérer les problèmes de salinité. Ce modèle a été appliqué pour analyser et comprendre l'effet des doses et de la qualité des eaux d'irrigation sur la distribution verticale des sels dans le profil (Šimůnek *et al.*, 2009).

Le choix du site de la filiale Agro Div Ouargla, pour notre expérimentation obéit au souhait d'avoir une étude antérieure sur le site. C'est ce qui est recherché pour estimer l'évolution temporelle du paramètre étudié, avec la possibilité de vérifier la fiabilité des résultats. La disponibilité de nombre important de pivots, avec la rotation des cultures, l'uniformité de l'itinéraire technique pour les parcelles sélectionnées, l'existence de deux systèmes d'irrigation différents (le pivot et le goutte -à- goutte), drainage naturel et l'homogénéité du milieu sont autant d'atouts de ce choix.

Selon les résultats précédents de Ben Brahim (2005), le sol de ce site appartient à classe texturale sablo-limoneuse avec un faible taux de matière organique. Le sol est modérément calcaire et faiblement salé.

Pour les résultats actuels, nous avons observé une augmentation de la salinité du sol par rapport aux résultats précédents, la valeur numérique de la conductivité électrique ($CE_{1:5}$) varie entre 0,9 à 1,5dS/m pour les parcelles irriguées par les pivots, alors qu'elle varie autour de 0,4dS/m pour la parcelle irriguée par le goutte -à- goutte.

Les parcelles expérimentales sont irriguées à partir de la nappe Albienne du Continental Intercalaire ($CE= 2,6dS/m$) pour la palmeraie, et de la nappe Miopliocène du Complexe Terminal ($CE= 4,9dS/m$) pour la céréaliculture. En fonction de la classification d'Aubert (1978), les deux nappes sont très salées.

Au niveau du pivot, nous avons considéré les résultats de mesure de la conductivité électrique de Ben Brahim (2005) comme un point de départ, et nos résultats d'analyse (CE_{2017}), sont utilisés dans la vérification de la précision des prédictions. Dans la

modélisation au niveau d'une palmeraie irrigué par le goutte à goutte, c'est nos résultats qui sont le point de départ, pour prédire la salinité du sol sur cinq ans (2017 à 2022).

Les principaux résultats de cette modélisation HYDRUS 1-D, au niveau d'un sol irrigué par pivot sur 13 ans, et au niveau d'une palmeraie irrigué par le goutte à goutte sur 5 ans indiquent une évolution verticale de salinité du sol dans tous les horizons étudiés au fil du temps. Les valeurs maximales de la conductivité électrique prédite atteignent 20 dS/m au niveau d'un sol irrigué par pivot, et 4 dS/m au niveau d'une palmeraie irrigué par le goutte à goutte. Cette évolution résulte de l'utilisation d'eau salée pour l'irrigation.

L'étude de la précision des prédictions, montre une divergence entre les CE prédites et les CE mesurées. Cette différence pourrait être due à l'imprécision des analyses (erreur dans l'appareillage de mesure) ou à une surestimation des prédictions HYDRUS 1-D.

Les résultats des prédictions ont également montré, une baisse de la salinité avec l'utilisation des eaux de l'Albien (CE= 2,6dS/m) dans l'irrigation par pivot, comparativement aux eaux du Miopliocène (CE= 4,9dS/m). Ces résultats restent préliminaires, et nécessitent plusieurs ajustements et validations de terrain.

Pour conclure, notre travail établi dans la région de Hassi Ben Abdellah (Ouargla), sur la base d'analyse de la conductivité électrique (CE_{1:5}) de 70 échantillons du sol, nous permet de juger l'efficacité de la modélisation hydrologique HYDRUS 1-D à donner une bonne estimation de l'état actuel de la salinité des sols avec une marge d'erreur très acceptable dans le contexte pédologique de cette étude.

Cette évaluation quoique relative permet de prendre les précautions nécessaires et d'étudier d'une façon purement technique un problème majeur dans les régions arides.

Ces conclusions nous suggèrent que pour améliorer le modèle de prédiction de la salinité, il sera nécessaire de continuer la modélisation sur plusieurs années, pour pouvoir faire une calibration des prédictions. Ce travail nécessitera l'association d'autres paramètres du profil du sol dans le modèle. In fine, cela aboutira à la recherche d'une meilleure gestion de l'irrigation, qui permettra le maintien de la salinité du sol à un faible niveau.

Références bibliographiques

- A.N.R.H., 2000. Note relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla, 11 p.
- Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D., M., S., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop waters requirements - FAO irrigation and drainage paper56. FAO.
- Ashktorab, H., Pruitt, W.O., U, K.T.P., 1994. Partitioning of Evapotranspiration Using Lysimeter and Micro-Bowen-Ratio System. J. Irrig. Drainage Eng-ASCE 120, 450-464.
- Ashraf,M., et Harris., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants.Plant Sci., 166: 3-6.
- Aubert, G., 1978.Méthodes d'analyses des sols, Marseille, Editions CRDP, 360 p.
- Aubert, G., 1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annuaire de l'I.N.A El Harrach, Alger Vol VI, n°1, pp: 185-196.
- B.N.E.D.E.R., 1992 .Etude du schéma directeur de développement et la mise en valeur dans la wilaya de Ouargla, hydrogéologique, Tipaza, 23p.
- Baali, C., 1986. Contribution a l'étude de l'évapotranspiration potentielle dans un oasis du Sahara algérien. (Influence de l'advection) Institut des sciences de la nature. USTHB, Alger, p. 125.
- Badraoui, M., Agbani, M., et Soudi B., 2000. Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat. Maroc. 11p.
- BenBrahim, F., 2006. Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région de Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdellah). Mém. Ing. UKM, Ouargla, p.101
- Berkal, I.,Walter, C.,Michot, D.,Djili, K., 2012. Seasonal soil salinity monitoring in oasis ecosystems by EM conductivity. Digital Soil Assessments and Beyond: Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping 2012, Sydney, Australia. by CRC Press - 482 Pages.
- Berkal, I.,Walter, C., Michot, D.,Djili, K.,2014. Seasonal monitoring of soil salinity by electromagnetic conductivity in irrigated sandy soils from a Saharan oasis. Soil Research **52**(8), 769-780. doi:10.1071/sr13305
- Bonnard et Gardel, 2002 .Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission IA : Reconnaissance et diagnostic de l'assainissement. 164 p.

- Bouchoukh, I., 2009. Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des Constantine, pp7-8.
- Boumia, O., 2011. Interaction Fluridone et Salinité sur la germination des graines du Gombo(*Abelmos chusesculentus* L.). Thèse de magister, Université d'Oran, 142 p.
- Calvet, R., 2003. Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.
- Carsel, R.F. et Parrish, R.S., 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research* 24, 755-769.
- Castany, G., (1982). Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie). Aquifers du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. Bull. BRGM, Paris, 3, pp 127- 147
- Chesworth, W., 2008. *Encyclopedia of Soil Science*, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902p.
- Cheverry, C., Robert M., 1998 . La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. *Etude et gestion des sols* 5(4), pp.217-226.
- Chossat, J. C.,: Bases techniques de l'irrigation par aspersion, version 2007, 74p.
- Cornet, A. et N. Gousskov (1952). Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite Albienne). Dans : *XIXe Congrès géologique international :La Géologie et les Problèmes de l'Eau en Algérie, t. II : Données sur l'hydrogéologie algérienne*. Alger, Algérie, 30 p.
- Dada Moussa, M., 2007. Les effets induits des différents programmes de développement agricole sur la préservation de l'écosystème saharien - cas de la région de Ouargla
- Daddi Bouhoun, M., 2010. Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Thèse Doc., Université Badji Mokhtar, Annaba, 39 p.
- Daddi Bouhoun, M., Brinis, L., 2004. Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué Gypso-Salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. Colloque international « Terre et Eau », Annaba, pp 5-8.
- Daddi Bouhoun M., Saker M., Hacini M., Ould El Hadj M., Brinis L., 2011. Effets de la remontée des eaux phréatiques sur la salinisation des sols dans les Ghouts à Oued Souf (Sud Est Algérien). *Annales des Sciences et Technologie*, vol. 3, pp 227.

- Daoud, Y., Halitim, A., 1994 . Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse* 5(3), pp.151-160.
- Douaoui, A., et Hartani, T., 2008. Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chellif. *Scientificcommons*. Vol.2, no3, p. 9
- Djennane, A., 1990 . Constat de situation dans des zones Sud des oasis algériennes. In Dolle V. (ed.), Toutain G. (ed.). *Options Méditerranéennes. Les systèmes agricoles oasiens. Série. A. Séminaires Méditerranéens. N° 11. Les systèmes agricoles oasiens.* pp 29 - 40.
- Douaik, A., 2005. Evaluation of the space-time variability of soil salinity: Bystatistical, geostatistical, and bayesian maximum entropy methods. Doctor (Ph.D.) thesis, Universiteit Gent, 211 p.
- Douaoui, A., Hartani T., 2007. Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chéllif. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul, Tunisie, 5p.
- Dubief, J., 1963 . Le climat du sahara. *Mém., Inst. Rech.Saha., Alger. Tome I*, 298 p.
- Duchaufour, PH., 1977, *Pédologie : sol, végétation, environnement.* Ed Masson. Paris, 350p.
- Durand, J.H., 1958 . Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190p.
- Faouzi, M., Larabi, A., 2001. Problématique de la remontée, de la salinité et de la pollution par les nitrates des eaux de la nappe phréatique des Beni-Amir (Tadla, Maroc). *Ingénieries*, n° 27, pp 23-36.
- Forkutsa, I., Sommer, R., Shirokova, Y., Lamers, J., Kienzler, K., Tischbein, B., Martius, C., Vlek, P., 2009. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin of Uzbekistan: II. Soilsalinitydynamics. *Irrigation Science* 27, 319-330.
- Gaucher, G., Brudin S., 1974 . *Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés.* Université de France. 230p .
- Kouzmine, Y., 2003. L'espace saharien algerien, Dynamiques demographiques et migratoires. U.F.R Sciences du Langage, de l'Homme et de la Societe. Institut de Géographie, Laboratoire THEMA. Université de Franche-Comté Bourgogne, p. 202.
- Hamdi-Aissa, B., 2001 . Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon, 310 p.

- Hamdi-Aïssa, B., et Girard, M., 2000. Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pedopaysages. *Secheresse* 11, 179-188.
- Hammi, I., 2012. Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies de Oued Righ. *Mém. Ing. Agro, université de ouargla*, p18
- Hulin, M., 1983. Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours polycopié, vol 3, I.N.A., Alger, 139p.
- Idder, T., 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiation proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse Doct., Université d'Angers, 284p.
- Iptrid, 2006. Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation, 12p.
- IRD, 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de Recherche pour le Développement. Lessols sont fragiles. 21p.
- Lebssisse, T., Asmani, R., 2014. Etude des potentialités hydro-édaphiques de la ferme de l'exploitation de l'université de Ouargla. Problèmes posés et possibilités d'amélioration. *Mém. Ing. Agro, université de Ouargla*.
- Mermoud, 2006. Cours physique du sol. Maîtrise de la salinité des sols. *Encyclopediatechnique fédérale de Lausanne*, 23 p.
- Metternicht, G.I., Zinck J.A., 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Natural Resources Conservation Service, Washington*, 338 p.
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12 513-522.
- Nasrat, A., (2007) Contribution à l'étude de l'expérience de la concession agricole dans le périmètre de khchemErrih (Région de Ouargla cas de l'exploitation de l'I.T.A.S). *Mém., Ing., université de Ouargla*, 76 p.
- Norman, D., 1980. La méthode de recherche sur les systèmes d'exploitation agricole : son applicabilité au petit exploitant. *Rural Development Papers MSU*, 29 p.
- Ozenda, P., 1983. *Flore du Sahara*. Ed. Centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S), Paris, 625p.
- Richards, L. A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, USA, p. 160.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S.D.A,

- Handbook N° 60, Washington, 160p.
- Robert, M., 1996. *Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour les développements*. Dunod-Masson. 244 p. DUCHAUFOR P., 1998. *Abrégés de pédologie*. Dunod-Masson. 317 p.
- Rouvillois-Brigol, M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara algérien) : variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Publications du Département de géographie de l'Université de Paris-Sorbonne, 389 p.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.T., 2001. rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251, 163-176.
- Šimůnek, J. et Suarez, D.L., 1993. Modeling of carbon dioxide transport and production in soil: 1. Model development. *Water Resour. Res.* 29 (2), 487-497.
- Šimůnek, J. et Van Genuchten, M.T., 1999. Using the HYDRUS 1D and HYDRUS 2D codes for estimating unsaturated soil hydraulic and solute transport parameters. *Characterization and Measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media*. University of California, Riverside, CA, pp. 1523-1536.
- Simunek, J., Sejna, M., Saito, H., Sakai, M., van Genuchten, M.T., 2008. The HYDRUS–1D software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, version 4.0, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, , USA, 240 p.
- Soltner, D., 1989. *Les bases de la production végétal*. Tome I: Le sol, 17ème Ed. C.S.T.A., Angers, 468 p
- Sonou, M., (2010). *Capitalisation d'expériences sur le développement de la petite irrigation privée pour des productions à haute valeur ajoutée en Afrique de l'Ouest*: rapport final, 140 p.
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44, 892-898.
- Zergoun, M., 1997. Contribution à l'amélioration de l'efficacité des installations type pivot en régions sahariennes. *Mém. Ing.*, Ouargla, 58p

Annexe 1. Résultats de conductivité électrique des pivots

		CE (dS/m)		
		0-10 (cm)	10-20 (cm)	20-30 (cm)
pivot 1	S1	1,8	1,9	2,7
	S2	1,1	1	0,7
	S3	2,2	1,8	1,8
	S4	0,8	0,6	0,6
	S5	1,1	0,8	0,5
pivot 2	S1	1,4	0,9	0,7
	S2	0,3	0,3	0,3
	S3	1,8	1,3	1,2
	S4	1,4	1,3	0,8
	S5	1,8	1,9	1,4
pivot 3	S1	1,6	1,4	1,2
	S2	0,4	0,5	0,5
	S3	1,5	1,1	0,8
	S4	1,2	1	0,7
	S5	2,7	1,7	1,7
Eau 1		4,9		

Annexe2. Résultats de conductivité électrique de palmeraie

		CE (dS/m)				
		0-10 (cm)	10-20 (cm)	20-30 (cm)	30-40 (cm)	40-50 (cm)
palmeraie	S1	0,5	0,7	0,6	0,4	0,3
	S2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4
	S3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4
	S4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	S5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5
Eau 2	2,6					

S : sondage

Eau 1 : eau de la nappe Miopliocène

Eau2 : eau de la nappe Albienne

Annexe 3. Profils salins

1. Profils salins de pivot 1

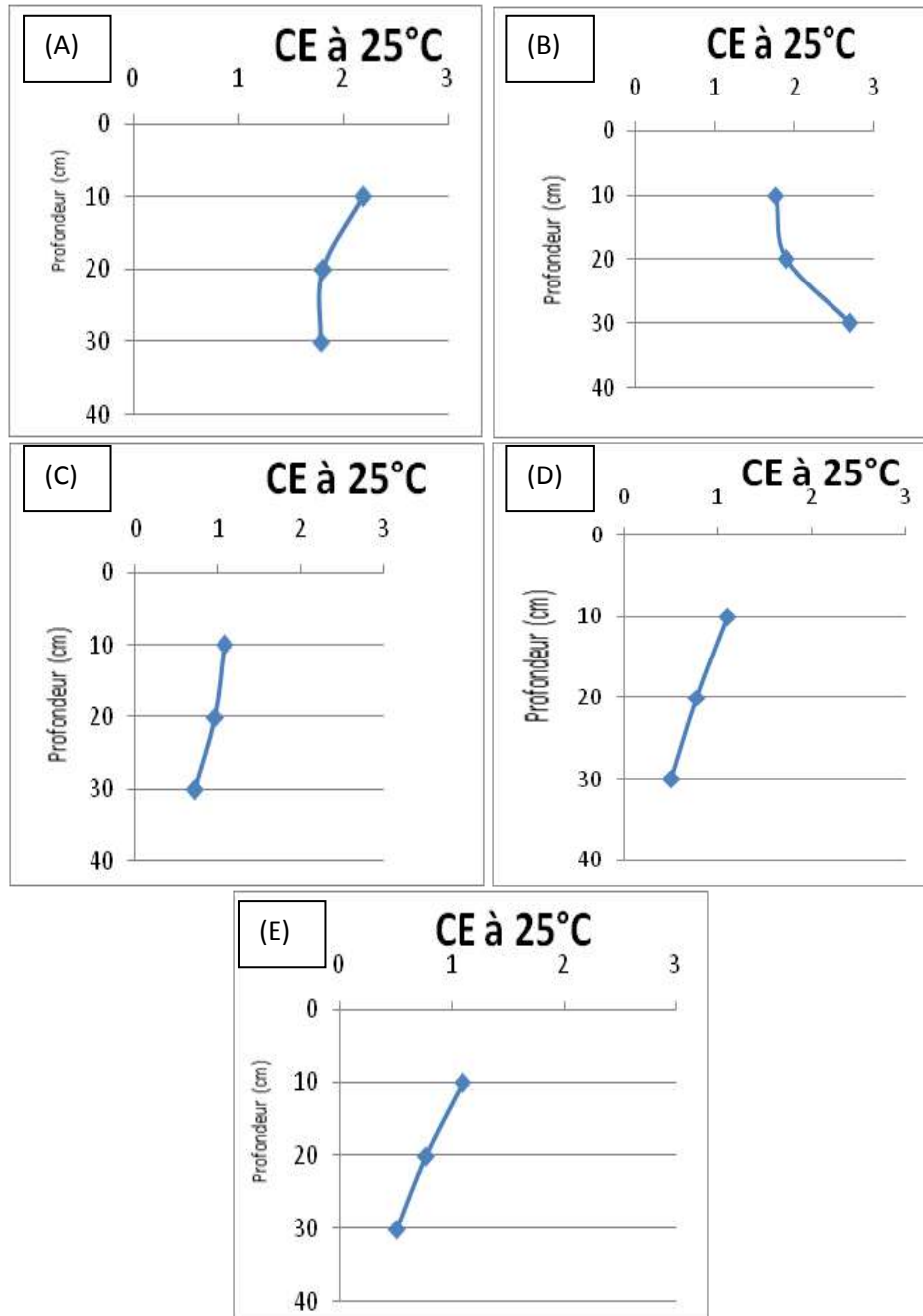


Figure 1. Profils salins de pivot 1 (A) : S1 , (B) : S2 , (C) : S3 , (D) : S4 et (E) : S5

2. Profils salins de pivot 2

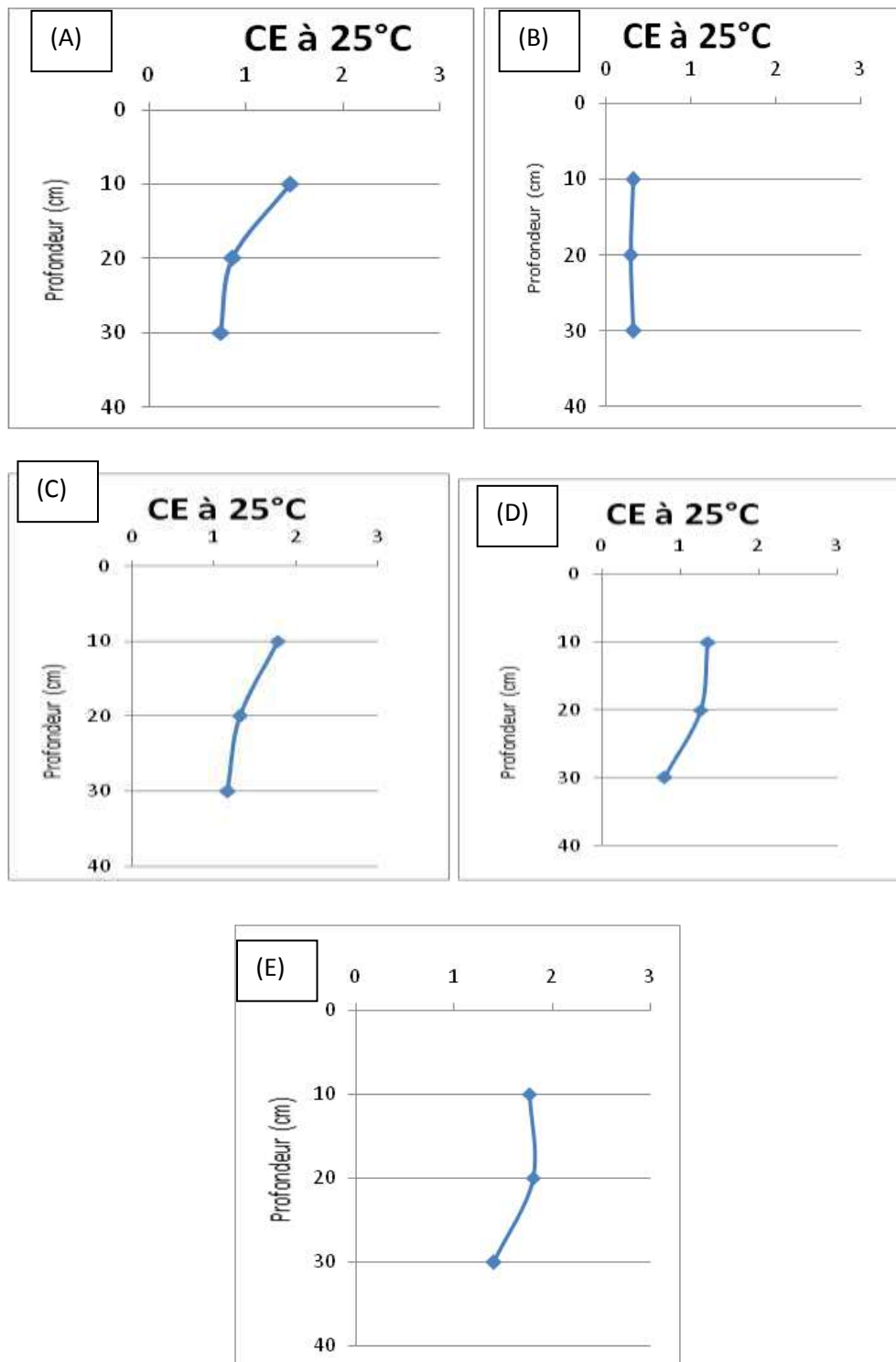


Figure 2. Profils salins de pivot 2 (A) : S1, (B) : S2, (C) : S3, (D) : S4 et (E) : S5

3. Profils salins de pivot 3

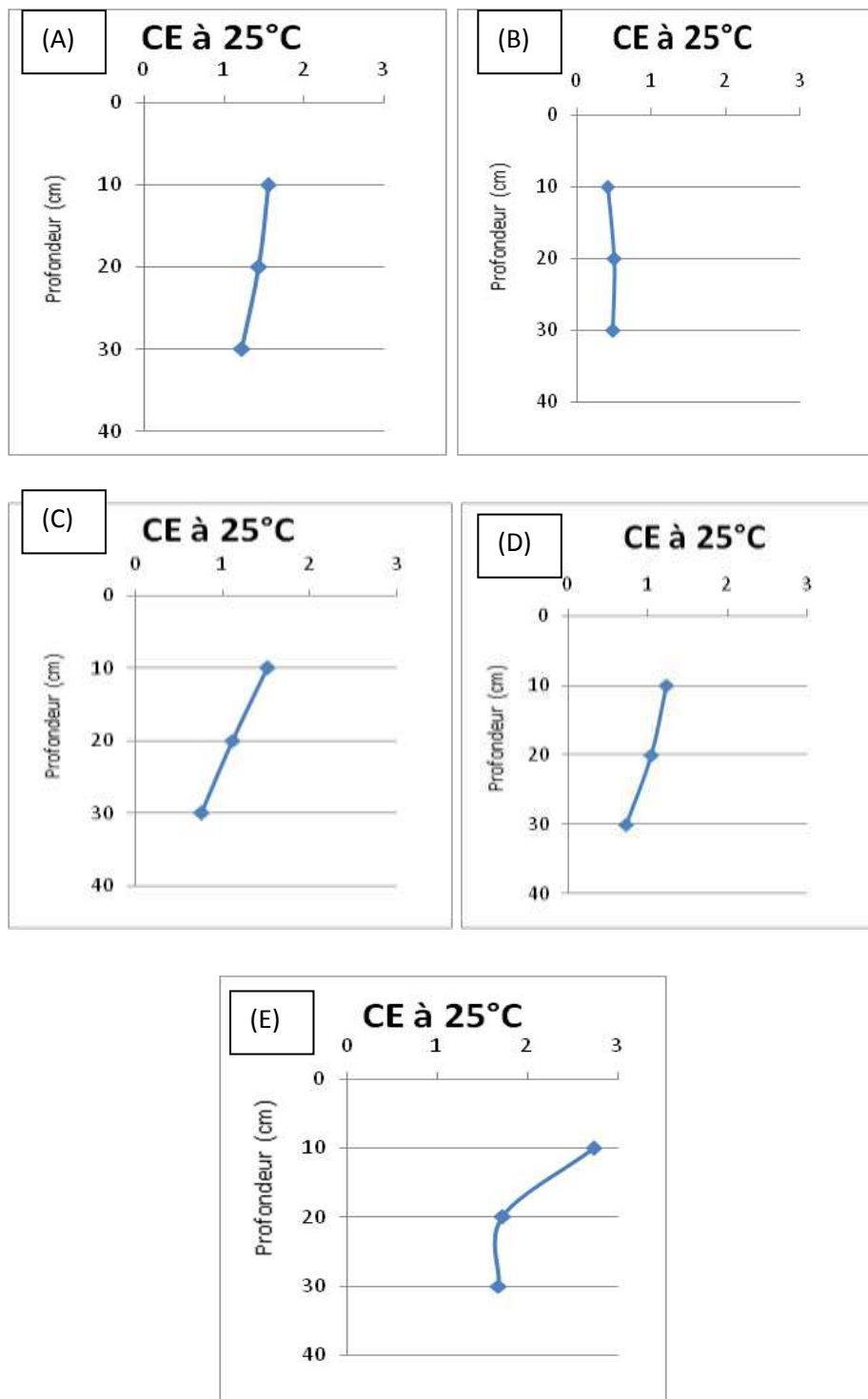


Figure 3. Profils salins de pivot 3 (A) : S1, (B) : S2, (C) : S3, (D) : S4 et (E) : S5

4. Profils salins de palmeraie

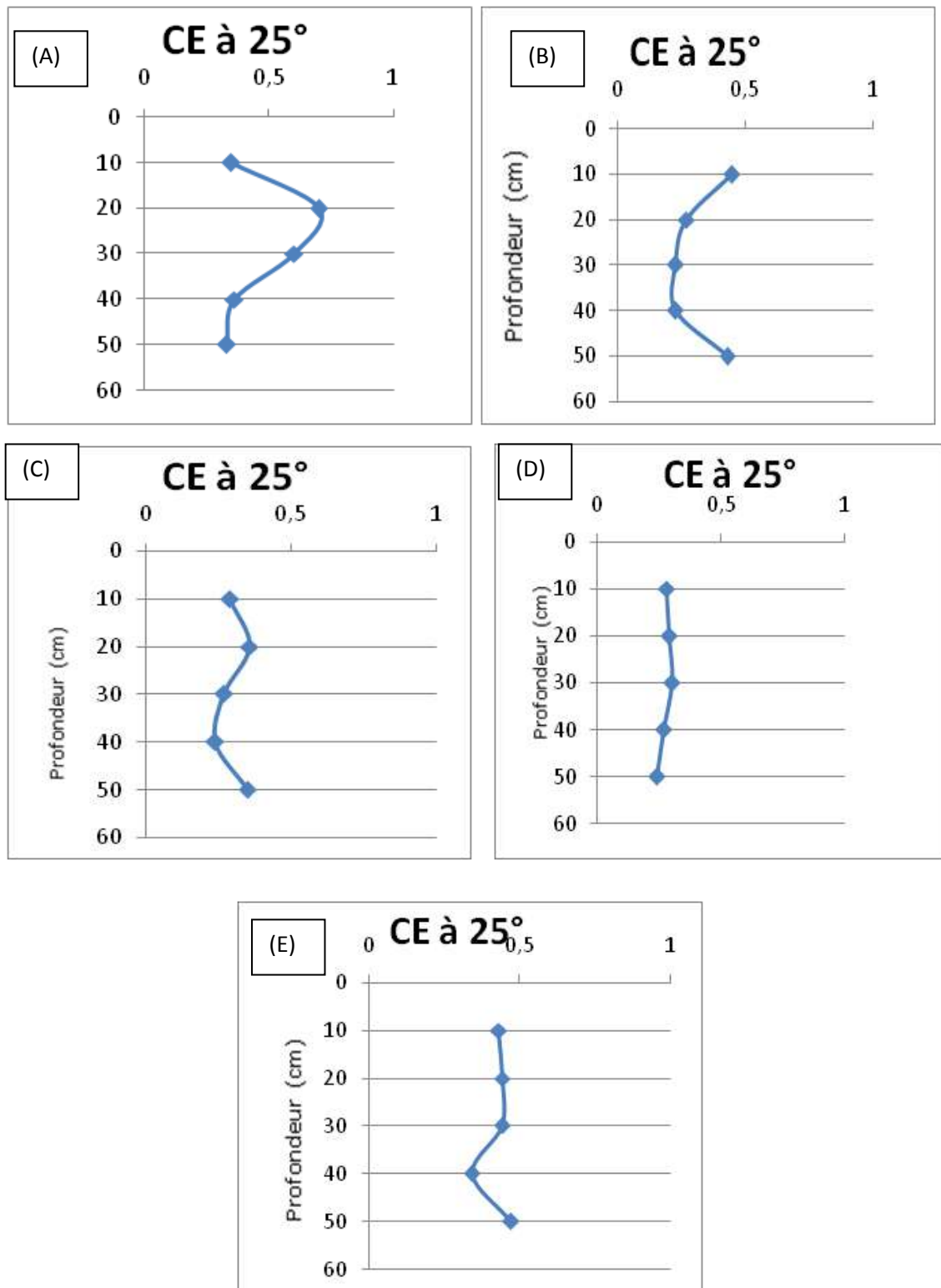


Figure 4. Profils salins de palmeraie (A) : S1, (B) : S2, (C) : S3, (D) : S4 et (E) : S5

Annexe 4. Résultats de l'humidité des pivots

		H(%)		
		0-10(cm)	10-20(cm)	20-30(cm)
Pivot 1	S1	5,6	11,7	4,9
	S2	11	5,4	3,4
	S3	5	3,8	1,5
	S4	9	8,2	3,4
	S5	5	1,6	2,5
Pivot2	S1	13	13,1	14,2
	S2	7,3	15,1	8,5
	S3	7,1	4	5,3
	S4	8,6	17,8	9,3
	S5	8	14,4	14,9
Pivot 3	S1	4	11,7	11
	S2	12,9	12,2	9,2
	S3	10,5	11,2	11,6
	S4	11,4	11,1	4
	S5	12	10,9	11,1

Annexe 5. Résultats de l'humidité de palmeraie

		H%				
		0-10(cm)	10-20(cm)	20-30(cm)	30-40(cm)	40-50(cm)
palmeraie	S1	11,1	6	6,3	12,9	6,4
	S2	1,6	4,2	3,1	3,7	3,6
	S3	3,4	3,7	3,7	4	3,4
	S4	7,1	3,2	3,2	2,8	2,1
	S5	3,2	4,2	10	3,5	4,2

Annexe 6. Profils hydriques

1. Profils hydriques de pivot 1

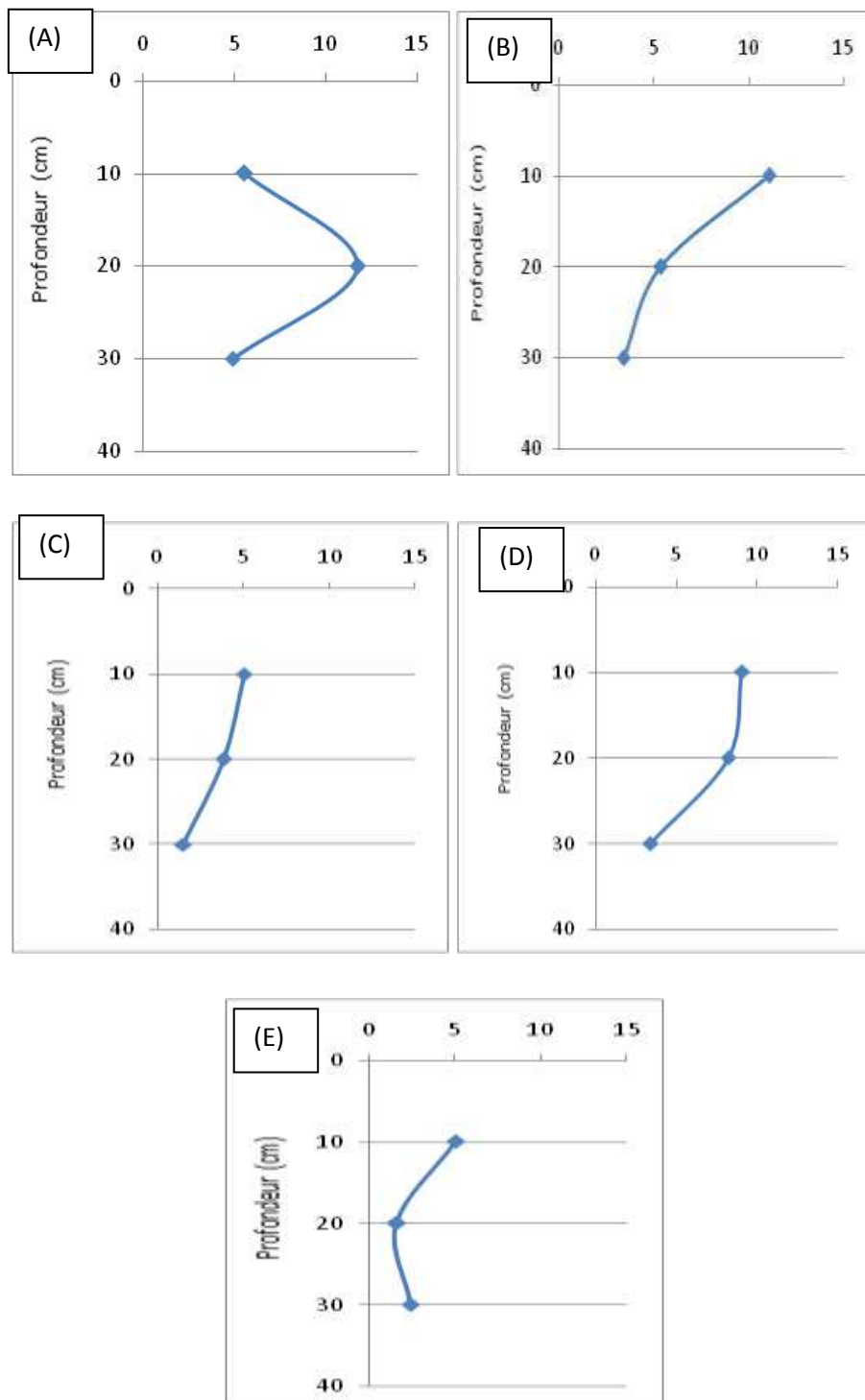


Figure 5. Profils hydriques de pivot 1 (A) : S1 , (B) : S2 , (C) : S3 , (D) : S4 et (E) : S5

2. Profils hydriques de pivot 2

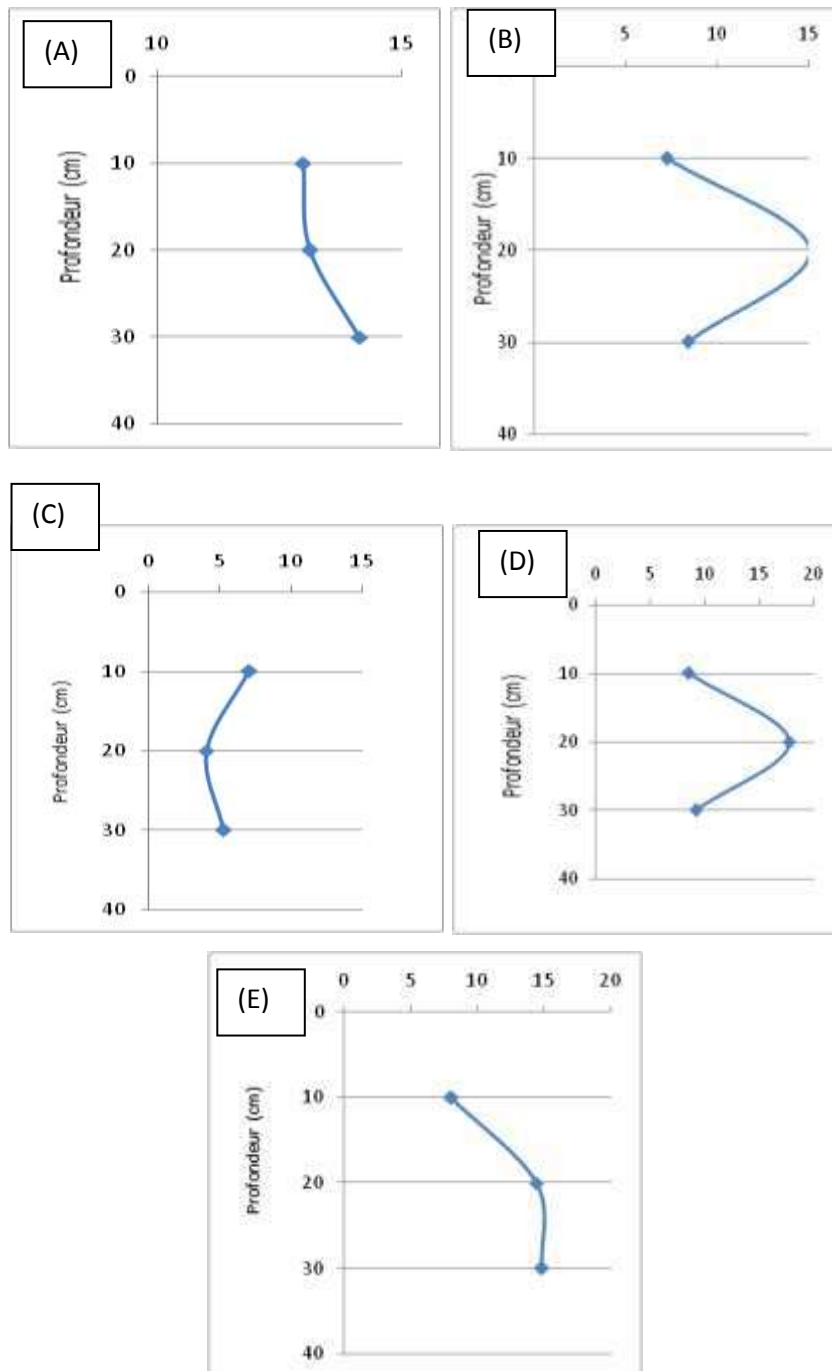


Figure 6. Profils hydriques de pivot 2 (A) : S1 , (B) : S2 , (C) : S3 , (D) : S4 et (E) : S5

3. Profils hydriques de pivot 3

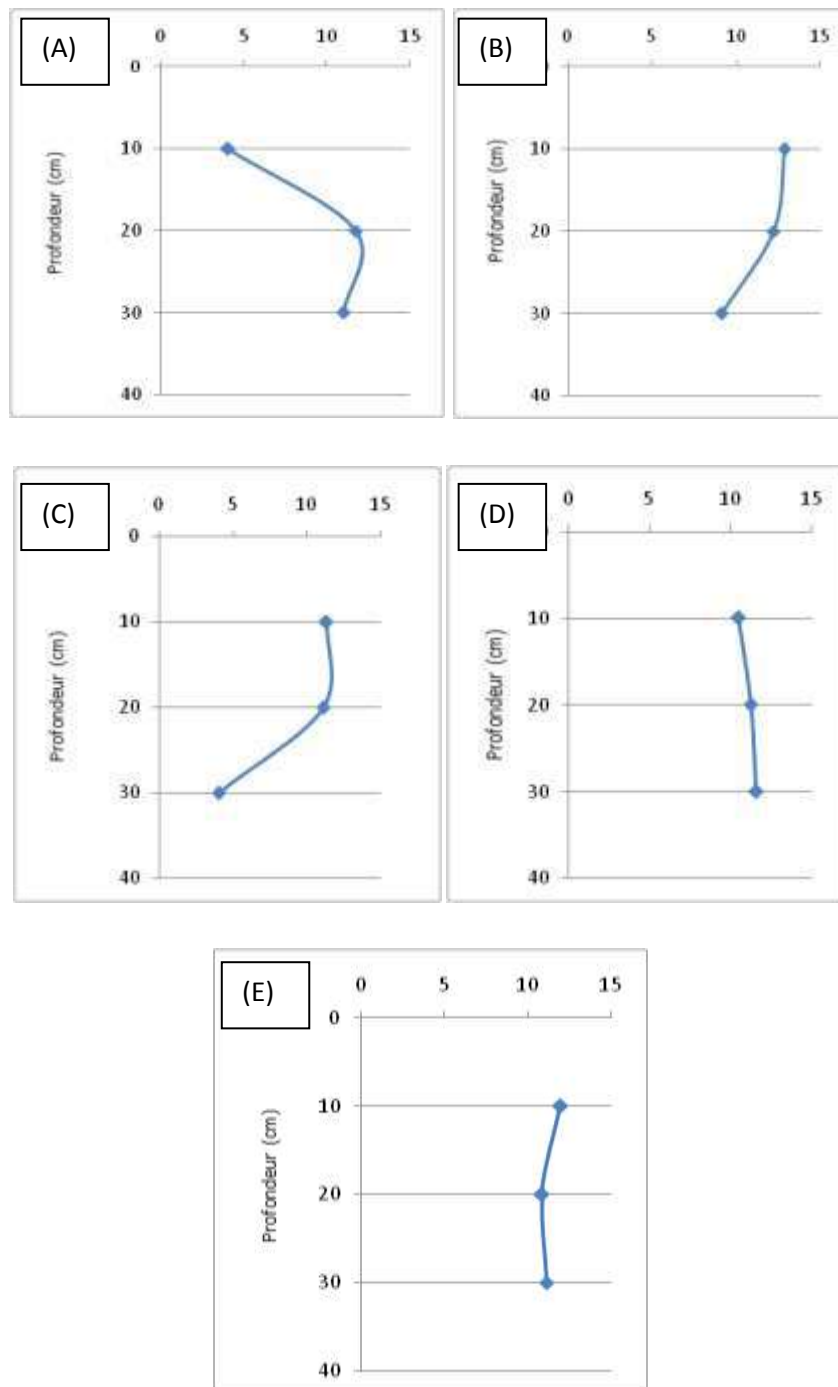


Figure 7. Profils hydriques de pivot 3 (A) : S1 , (B) : S2 , (C) : S3 , (D) : S4 et (E) : S5

4. Profils hydriques de palmeraie

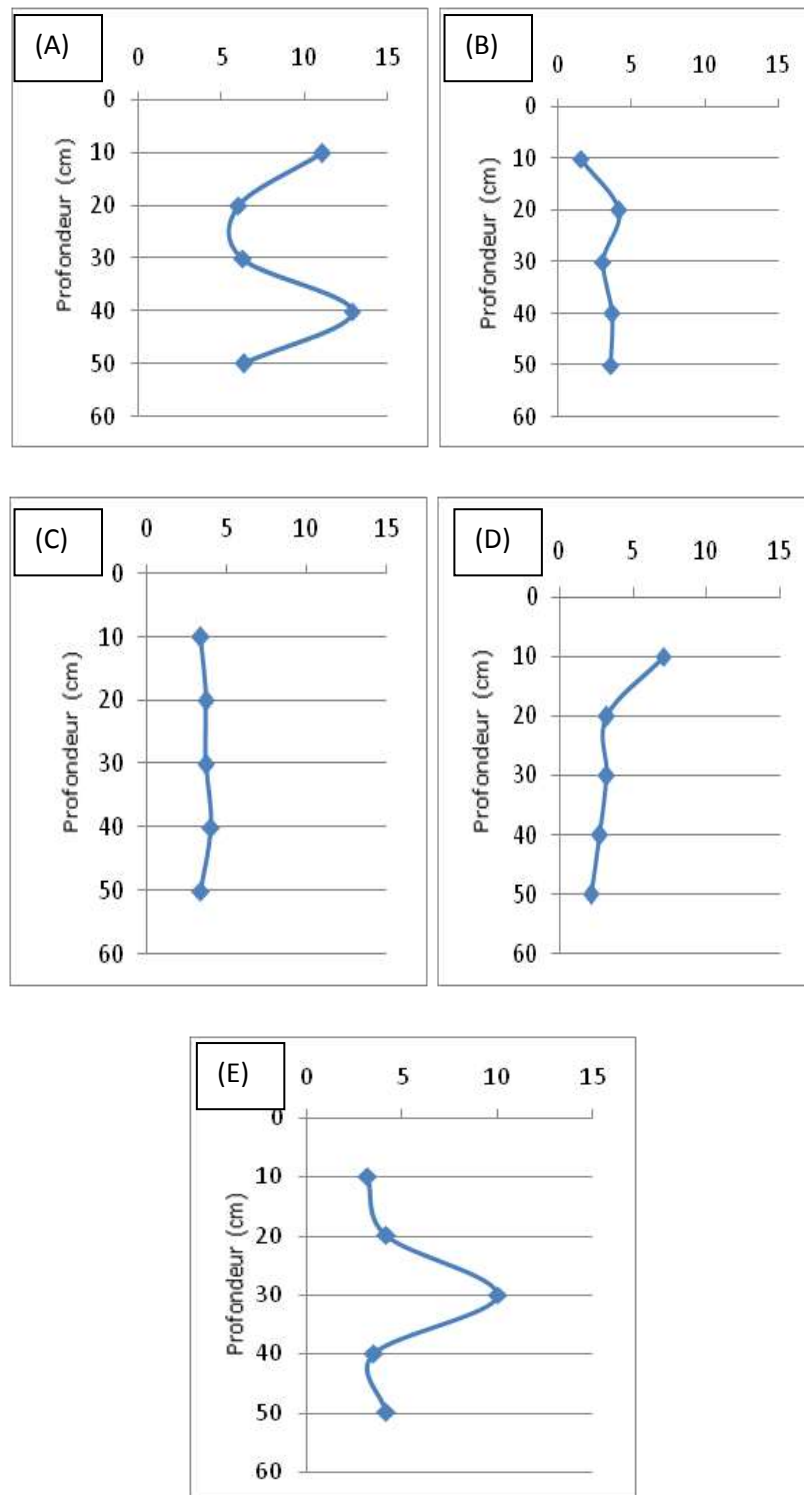


Figure 8. Profils hydriques de palmeraie (A) : S1 , (B) : S2 , (C) : S3 , (D) : S4 et (E) : S5