



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre

قسم البيولوجيا

Département de Biologie



مخبر الرياضيات والعلوم التطبيقية

N°d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle L.M.D.

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences biologiques

Spécialité: Ecologie saharienne

Étude morpho-analytique du sol de la palmeraie de Zelfana (Sahara central algérien)

Soutenue publiquement le : 19/01/2023

Par

CHIKHI Faredj

Devant le jury composé de:

Mohamed KRIMAT	M.C.A	Université de Ghardaïa	Président
Mohamed BENSLAMA	Pr	Université de Annaba	Directeur de thèse
Fouzi BENBRAHIM	M.C.A	ENS Ouargla	Co- directeur de thèse
Youcef ALIOUA	M.C.A	Université de Ghardaïa	Examineur
Mohammed Elhafedh BELAROUCI	M.C.A	Université de Ouargla	Examineur
Mokhtar KARABI	M.C.A	Université de Ouargla	Examineur
Jose NAVARRO-PEDREÑO	Pr	Université Miguel Hernandez of Elche	Invité

Année universitaire: 2022 /2023

Remerciements

Parce que personne n'arrive jamais seul

Avant tout, nous remercions DIEU tout puissant, maître des cieux et de terre, qui nous a permis de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement mon cher promoteur le Professeur BENSALAMA Mohammed, je suis tellement reconnaissant par votre suivi, votre énorme soutien et confiance dont j'ai bénéficié pour mener ces travaux de recherche.

Je tiens à remercier également mon Co-encadrant le Docteur FOUZI Benbrahim pour votre précieuse information que vous m'avez apportée et qu'ils m'ont accordé avec intérêt et compréhension tout au long ces années.

Professeur JOSE Navarro-Pedreño, vous m'avez inculqué beaucoup de qualités humaines et un énorme soutien professionnel. Tout ce que vous avez fait signifie beaucoup pour moi. Merci également, pour votre patience, votre disponibilité et surtout vos conseils avisés qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire.

Un grand remerciement à KRIMAT Mohamed Maître de conférence « A » à l'université de Ghardaïa. De l'honneur d'accepter de présider le jury de ma soutenance.

J'adresse aussi mes sincères remerciements aux membres du jury : Monsieur BELAROUCI Mohammed El hafedh Maître de conférence « A » à l'université de Ouargla, Monsieur KARABI Mokhtar Maître de conférence « A » à l'université de Ouargla et Monsieur ALIOUA Youcef Maître de conférence « A » à l'université de Ghardaïa. Qui ont accepté d'examiner, d'évaluer et enrichir mes travaux. Soyez assurés de ma plus profonde reconnaissance pour l'attention que vous avez portée à ce manuscrit et pour le temps que vous avez consacré à son évaluation.

J'exprime mes remerciements et ma reconnaissance à Monsieur DADAMOUSSA B., Professeur en chimie, pour son soutien moral et ces conseils.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à Monsieur OUIAHIA Mouloud pour son soutien moral et ces conseils.

Merci à Monsieur le Professeur IGNACIO Gómez Lucas directeur de laboratoire du « Department of Agrochemistry and Environment » pour m'avoir permis de réaliser mes travaux dans leur édifice.

Je suis profondément reconnaissant à une personne qui signifie beaucoup pour moi, qui a tant fait pour m'aider / m'encourager, en particulier dans mes moments de faiblesse, BENSALAMA Abd raouf

Permettez-moi aussi de remercier mes collègues de recherche HAMEL Imanne, HAROUINI Amel, DAROUICH Ryma et CHABI Lilla.

Mes remerciements vont à tout le personnel que J'ai côtoyé durant mon stage au sein de l'Université de Miguel Hernandez : MINERVA, BELEN, ANA, VICKY et AIDA, LUIS OLIVARES,..., (et j'en oublie forcément), auprès desquelles j'ai trouvé l'accueil chaleureux, l'aide et l'assistance dont j'ai besoin.

Mes vifs remerciements s'adressent également à tous Les enseignements De l'Université de Ghardaïa, en particulier M. SALAH, M. KRIMAT, M. ALIOUA, M. KEMASSI, M. GUERGUEB, M. BENSEMMOUNE, M. BELGHIT, Melle. TELI, Melle OUCI, HAMAM, KEBABE... ECT.

Mes vifs remerciements vont aussi au personnel de l'administration du département de Biologie et du laboratoire de l'université de Ghardaïa.

en particulier HICHAM, HABIBA et HAFSA

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers tous mes amis de près ou de loin qui m'ont apporté leur support moral, physique et intellectuel : RABAH, ABDALLAH, RAOUF, AHMED, OMAR, ISHAK, CHIKH DJ, IMANEN, SABRINE, AMEL, BACHIR, EL-ARBI, YOUNES, HAMZA, YANIS ... tout au long de ma démarche.

Mes vifs remerciements s'adressent également au responsable et personnel de LTPS Ghardaïa

Je tiens aussi à remercier en particulier mes frères KAMAL et son épouse SABRINA. MOHAND et son épouse NASSIMA pour l'appui constant qu'ils m'ont accordé dans toute ma vie.

Je tiens aussi à remercier aussi mes sœurs KAMILLIA et son mari MOULA et ses enfants Saïd et ILYNA. SOUHILLA et son mari BRAHIM et son fils BELKACEM pour l'appui constant qu'ils m'ont accordé dans toute ma vie.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes proches sans exception en particulier ELHADJ OMAR,

Enfin, je remercie tout particulièrement ma chère épouse LYDIA pour son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme pour mon travail et pour la vie en général. Je tiens à lui exprimer ma plus profonde gratitude.

Et puisqu'il est de tradition de garder la meilleure pour la fin, j'adresse une mention spéciale à ceux qui m'ont fait preuve de patiences et de sacrifices, ceux qui y ont vécus et subits mes moments de doute et mes moments de joies et sans eux, ce travail n'aurait pu aboutir, mes adorables parents KHIDER et DJAMILLA, Une chose est sûre, je n'aurais rien pu faire sans vous, MERCI infiniment et que Dieu vous protège.

Ce travail a été financé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique algérien.

Table de matières

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

PREMIERE PARTIE : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
I.1	Situation géographique.	06
I.2	Géologie.	07
I.3	Hydrogéologie.	08
I.3.1	Nappe phréatique.	08
I.3.2	Nappe du continental intercalaire.	09
I.3.3	Nappe du complexe terminal.	09
I.4.	Hydrographie.....	09
I.4.1	Réseau hydrographique.	10
I.4.1.1	Sous bassin versant d'oued M'Zab.	10
I.4.2	Importance des ruissellements.....	11
I.5.	Pédologie.	11
I.6.	Synthèse climatique et bioclimatique.	12
I.6.1.	Synthèse climatique.	12
I.6.1.1.	Climat.	12
I.6.1.2.	Précipitation.	13
I.6.1.3.	Température.	13
I.6.1.4	Évaporation.	13
I.6.1.5	Vents.	13
I.6.1.6	Insolation.	13
I.6.1.7	Humidité relative.	14
I.6.2.	Synthèse climatique.	14
I.6.2.1	Diagramme ombrothermique	14
I.6.2.2	Climagramme D'Emberger.	15
I.7.	Exploitation des ressources hydriques.	16
I.8.	Flore.	17
<i>Chapitre II. Matériel et méthodes d'étude</i>		
II.1.	Approche méthodologique.	18
II.2.	Choix des sites d'étude.	18
II.3.	Échantillonnage et analyse du sol.	19
II.3.1.	Échantillonnage.....	19

II.3.2.	Analyse du sol.....	21
II.4.	Échantillonnage et analyse de l'eau.	23
II.4.1.	Échantillonnage.....	23
II.4.2.	analyse de l'eau.	24
II.5.	Analyses statistiques	24
II.5.1	Variation annuelle des paramètres étudiés.	24
II.5.2	Statistiques descriptives.	25
II.5.3	Analyse de la variance à un facteur.	25
II.5.4	Coefficient de variation.....	26

DEUXIEME PARTIE RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre III. Caractéristiques des eaux d'irrigation et de drainage

III.1	Qualité de l'eau d'irrigation et de drainage	27
III.1.1.	Analyse multivariée des propriétés de l'eau.....	31

Chapitre IV. Caractérisation morpho-analytique et classification des sols

IV.1	Caractérisation morphologique	32
IV.1.1	Parcelles irriguées	32
IV.1.1.1	Caractérisation morphologique du Solum	32
IV.1.2	Parcelles non irriguées (témoin)	34
IV. 1.2.1	Caractérisation morphologique du Solum.....	34
IV.2	Classification des sols.....	35
	Conclusion	37
IV.3	Caractérisation analytique	39
IV.3.1	Parcelles irriguées	39
IV.3.2	Parcelle non irriguée (Témoin).....	43
	Conclusion	46

Chapitre V. Variation des propriétés des sols dans la profondeur

V.1.	Texture du sol	47
V.2.	Densité apparente.....	50
V.3.	Perméabilité hydraulique (Ks).....	51
V.4.	Porosité	52
V.5.	Humidité volumique.....	53
V.6.	Calcaire total	54
V.7.	Conductivité électrique	55
V.8.	Potentiel hydrogène (pH).....	56
V.9.	Matière organique et carbone organique	57
	Conclusion	58

Chapitre VI. Évolution des paramètres étudiés

VI.1.	Evolution de la densité apparente	59
VI.1.1	Evolution de la densité apparente de l'horizon de surface.....	59
VI.1.1.1	Discussion.....	60

VI.1.2.	Évolution de la densité apparente du sol de l'horizon sub-surface.....	61
VI.1.2.1	Discussion.....	62
VI.2.	Évolution de la porosité du sol.....	63
VI.2.1.	Évolution de la porosité de l'horizon de surface.....	63
VI.2.1.1	Discussion.....	64
VI.2.2	Evolution de la porosité de l'horizon sub-surface.....	65
VI.2.2.1	Discussion.....	66
VI.3.	Evolution de l'humidité du sol	66
VI.3.1.	Evolution de l'humidité de l'horizon de surface.....	66
VI.3.1.1	Discussion.....	67
VI.3.2	Evolution de l'humidité de l'horizon de sub-surface.....	67
VI.3.2.1	Discussion.....	68
VI.4.	Evolution de la conductivité hydraulique	69
VI.4.1.	Evolution de la conductivité hydraulique de l'horizon superficiel	69
VI.4.1.1	Discussion.....	70
VI.4.2.	Evolution de la conductivité hydraulique de l'horizon sub-surface.	71
VI.4.2.1	Discussion.	72
VI.5.	Evolution de la texture du sol.	73
VI.5.1	Evolution de la texture du sol l'horizon de surface.	73
VI.5.1.1	Discussion.	75
VI.5.2.	Evolution de la texture du sol dans l'horizon de sub-surface.	76
VI.5.2.1	Discussion.	79
VI.6.	Evolution de calcaire total.	80
VI.6.1.	Evolution de calcaire total de l'horizon de surface.	80
VI.6.1.1	Discussion.	81
VI.6.2.	Evolution du calcaire total de l'horizon de sub-surface.	81
VI.6.2.1	Discussion.	83
VI.7.	Evolution de la salinité du sol.	83
VI.7.1	Evolution de la salinité de l'horizon de surface.	83
VI.7.1.1	Discussion.	84
VI.7.2.	Evolution de la salinité de l'horizon sub-surface.	85
VI.7.2.1	Discussion.	86
VI.8	Evolution de la réaction du sol (pH).	86
VI.8.1	Evolution de la réaction du sol (pH) de l'horizon de surface.	86
VI.8.1.1	Discussion.	87
VI.8.2.	Evolution de la réaction du sol de l'horizon sub-surface.	88
VI.8.2.1	Discussion.	89
VI.9.	Evolution de la matière organique du sol.	89
VI.9.1.	Evolution de la matière organique du sol l'horizon de surface.	89
VI.9.1.1	Discussion.	90
VI.9.2.	Evolution de la matière organique du sol l'horizon de sub-surface.	90

VI.9.2.1	Discussion.	92
	<i>Conclusion</i>	93
	<i>Références bibliographiques</i>	96
	<i>Annexes</i>	107

Liste des abréviations

ANRH	: Agence National Des Ressources Hydriques
CEC	: Capacité d'échange cationique
CV	: Coefficient de Variation
D.P.A.T	: Département de Planification et de l'Aménagement du Territoire
D.S.A	: Direction des Services Agricoles
dS	: Decisiemens
F.A.O	: Food and Agricultural Organisation
GPS	: Global Position Système
H	: Horizon
HCl	: Hydro chlorure (acide chlorhydrique)
I.N.R.A	: Institut Nationale de Recherche Agronomique
MADR	: Ministère d'Agriculture et de Développement Rural
Méq	: milliéquivalent
M.O	: Matière organique
ONM	: Office National de Météorologie
cult	: Parcelle cultivé
t	: Témoin
U.S.D.A	: United States Department of Agriculture
TVA	: Taux de variation annuelle

Liste des tableaux

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Tableau 01	- Daïrates et communes de la Wilaya de Ghardaïa (D.P.S.B, 2020).....	06
Tableau 02	- Données climatiques de la zone d'étude de 1990 à 2018 (O.N.M., 2020).....	12
Tableau 03	- Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et <i>al.</i> , 1997).....	26
Tableau 04	- Statistiques descriptives de l'analyse des eaux d'irrigation/drainage.....	27
Tableau 05	- Coefficients de corrélation (R de Pearson) entre les paramètres, eau d'irrigation/drainage.	31
Tableau 06	- Résultats des analyses du sol de la parcelle irriguée.	39
Tableau 07	- Coefficient de corrélation entre les paramètres de l'horizon de surface (A1)....	41
Tableau 08	- Coefficient de corrélation entre les paramètres de l'horizon de surface (A2)....	42
Tableau 09	- Coefficient de corrélation entre les paramètres de l'horizon de surface (C).	42
Tableau 10	- Résultats des analyses du sol de la parcelle irriguée.	43
Tableau 11	- Résultats d'analyses de la densité apparente de l'horizon de surface.	59
Tableau 12	- Résultats d'analyses de la densité apparente de l'horizon sub-surface.....	61
Tableau 13	- Résultats d'analyses de la porosité de l'horizon superficiel.	63
Tableau 14	- Résultats d'analyses de la porosité de l'horizon sub-surface.	65
Tableau 15	- Résultats d'analyses de l'humidité de l'horizon superficiel.	66
Tableau 16	- Résultats d'analyses de l'humidité de l'horizon sub-surface.	67
Tableau 17	- Résultats d'analyses de calcaire total de l'horizon de surface.	69
Tableau 18	- Résultats d'analyses de la conductivité hydraulique de l'horizon sub surface...	71
Tableau 19	- Résultats d'analyses d'argile dans l'horizon superficiel.	73
Tableau 20	- Résultats d'analyses de limon dans l'horizon superficiel.	73
Tableau 21	- Résultats d'analyses de sable dans l'horizon superficiel.	73
Tableau 22	- Résultats d'analyses d'argile dans l'horizon sub-surface.	76
Tableau 23	- Résultats d'analyses de limon dans l'horizon sub-surface.	76
Tableau 24	- Résultats d'analyses de sable dans l'horizon sub-surface.	77
Tableau 25	- Résultats d'analyses du calcaire total de l'horizon de surface.	80
Tableau 26	- Résultats d'analyses du calcaire total de l'horizon sub-surface.	82
Tableau 27	- Résultats d'analyses la salinité de l'horizon superficiel.	83
Tableau 28	- Résultats d'analyses de la salinité de l'horizon profond.	85
Tableau 29	- Résultats d'analyses du pH de l'horizon de surface.	86
Tableau 30	- Résultats d'analyses du pH de l'horizon sub-surface.	88
Tableau 31	- Résultats d'analyses de la M.O de l'horizon superficiel.	89
Tableau 32	- Résultats d'analyses de la M.O de l'horizon sub-surface.	91

Liste des figures

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Figure 01 -	Carte de la situation géographique de la région d'étude.....	07
Figure 02 -	Carte géologique de la région de Ghardaïa.	08
Figure 03 -	Carte du réseau hydrographique de la région de Ghardaïa.	10
Figure 04 -	Diagramme Ombrothermique de la station de Ghardaïa (1990-2018).	15
Figure 05 -	Climagramme d'Emberger pour la région de Ghardaïa.	16
Figure 06 -	Localisation de la zone d'étude de Zelfana (Algérie) et position des échantillons de sol dans les vergers.	19
Figure 07 -	Localisation des échantillons de sols cultivés dans la zone d'étude.....	21
Figure 08	Distribution de l'eau d'irrigation dans la zone d'étude, les points d'échantillonnage de l'eau d'irrigation sont indiqués.....	24
Figure 09 -	Diagramme de Piper appliqué aux eaux d'irrigation et de drainage.....	28
Figure 10 -	Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation/drainage (diagramme de WILCOX).....	29
Figure 11 -	Classification des eaux d'irrigation/drainage sur le diagramme de Riverside.	29
Figure 12 -	Diagrammes de Schoeller Berkloff.....	30
Figure 13 -	Profil pédologique de la parcelle irrigué.	34
Figure 14 -	Profil pédologique de la parcelle non irrigué.	35
Figure 15 -	Distribution, des Groupes des sols dans le monde	37
Figure 16 -	Photo microscopique (a) de la parcelle irrigué (b) parcelle non irrigué.....	38
Figure 17 -	Triangle texturale des trois couches du sol : (A) A1 : 0-30cm ; (B) A2 : 30-.....	40
Figure 18 -	Triangle texturale des trois couches du sol de la parcelle témoin : (A) A : 0-30cm ; (B) A : 30-60cm (c) 60-120 cm.	45
Figure 19 -	Distribution de la fraction granulométrique dans la parcelle irriguée et témoin.	47
Figure 20 -	Profil (a) Sable, (b) Limon et (c) Argile	48
Figure 21 -	Profil de densité apparente	50
Figure 22 -	Profil de la perméabilité hydraulique (Ks)	51
Figure 23 -	Profil de la porosité totale	52
Figure 24 -	Profil de l'humidité	53
Figure 25 -	Profil de la conductivité électrique	54
Figure 26 -	Profil de la conductivité électrique	55
Figure 27 -	Profil de pH	56
Figure 28 -	Profil de la matière organique	57
Figure 29 -	Profil de carbone organique	57
Figure 30 -	Boîte à moustaches de la variation de la densité apparente du Sol de l'horizon de surface.	60
Figure 31 -	Boîte à moustaches de la variation de la densité apparente du Sol de l'horizon sub surface.....	62
Figure 32 -	Boîte à moustaches de la variation de la porosité du Sol de l'horizon de surface.	64

Figure 33 -	Boîte à moustaches de la variation de la porosité du Sol de l'horizon sub-surface.	65
Figure 34 -	Boîte à moustaches de la variation de l'humidité Sol de l'horizon de surface.	67
Figure 35 -	Boîte à moustaches de la variation de l'humidité du Sol de l'horizon sub-surface.	68
Figure 36 -	Boîte à moustaches de la variation de la conductivité hydraulique Sol de l'horizon de surface.	70
Figure 37 -	Boîte à moustaches de la variation de la conductivité hydraulique du Sol de l'horizon sub-surface.	72
Figure 38 -	Boîte à moustaches de la variation d'argile de l'horizon de surface.	74
Figure 39 -	Boîte à moustaches de la variation de limon dans l'horizon de surface.	75
Figure 40 -	Boîte à moustaches de la variation de sable dans l'horizon de surface.	75
Figure 41 -	Boîte à moustaches de la variation d'argile de l'horizon de sub-surface.	78
Figure 42 -	Boîte à moustaches de la variation de limon dans l'horizon de sub-surface.	78
Figure 43 -	Boîte à moustaches de la variation de sable dans l'horizon de sub-surface.	79
Figure 44 -	Boîte à moustaches de la variation du calcaire total de l'horizon de surface.....	81
Figure 45 -	Boîte à moustaches de la variation du calcaire total du Sol de l'horizon sub-surface.....	82
Figure 46 -	Boîte à moustaches de la variation de la salinité du Sol de l'horizon de surface.....	84
Figure 47 -	Boîte à moustaches de la variation de la salinité du Sol de l'horizon sub-surface.....	86
Figure 48 -	Boîte à moustaches de la variation de pH du Sol de l'horizon de surface.....	87
Figure 49 -	Boîte à moustaches de la variation de pH du Sol de l'horizon sub-surface.....	89
Figure 50 -	Boîte à moustaches de la variation de la M.O Sol de l'horizon de surface.....	90
Figure 51 -	Boîte à moustaches de la variation de la M.O du Sol de l'horizon sub-surface.....	91

Étude morpho-analytique du sol de la palmeraie de Zelfana (Sahara central algérien)

Résumé :

La durabilité des sols est une préoccupation majeure car ils assurent de multiples fonctions telles que la production agricole, la filtration de l'eau et le biotope des organismes vivants. La durabilité des cultures dans un environnement aride nécessite l'étude des composantes de cet environnement. Nos travaux réalisés dans la région de Zelfana (désert du Sahara), à 60 km de la province de Ghardaïa, vise à diagnostiquer et à caractériser les modifications du sol produites par la culture du palmier. Pour ce faire, un échantillonnage systématique a été effectué et les données pédologiques ont été mesurées sur des parcelles cultivées pendant 60 ans, en le comparant à celles d'une zone non cultivée (témoin). Le sol de la parcelle témoin est peu évolué de type **A/C** et profonds, avec une texture grossière à structure particulaire, caractérisé par un taux de matière organique très faible (des traces), le sol est modérément à fortement calcaireux, alcalin et peu salé et présente une grande porosité avec une faible densité apparente et faible teneur en eau. La conductivité hydraulique est modérément forte. Dans la parcelle cultivée, le sol est morphologiquement identique peu évolué de type **A/C** et profonds avec une texture sableuse, à structure particulaire, caractérisé par un taux de matière organique très faible, le sol est modérément à fortement calcaireux, alcalin et peu à très salé et présente une forte porosité avec une densité apparente un peu supérieure à celle de témoin et faible teneur en eau. La conductivité hydraulique est modérément faible. Les résultats d'analyse ont montré que les eaux appartiennent à deux classes : la classe **3S1**, Qualité médiocre pour l'eau de l'irrigation et la classe **C4S2**, mauvaise pour l'eau de drainage. Les résultats du taux de changement annuel ont montré que la gestion agricole pratiquée après 60 années de culture a un impact significatif sur tous les paramètres étudiés du sol, particulièrement les propriétés physiques. Les changements sont justifiés par l'effet des années de culture et de la gestion des agriculteurs (c'est-à-dire l'ajout de fumure organique et l'irrigation par inondation).

Mots clés : le sol, ride, Irrigation, palmier, morpho-analytique, profil, TVA, Zelfana.

Morpho-analytical study of the soil of the Zelfana palm forest (central Algerian Sahara).

Abstract

The sustainability of soils is a major concern because they provide multiple functions such as agricultural production, water filtration and biotope for living organisms. The sustainability of crops in an arid environment requires the study of the components of this environment. Our study is carried out in the region of Zelfana (northern Sahara), 60 km from the wilaya of Ghardaïa, aims at diagnosing and characterizing the modifications of the soil produced by palm tree cultivation. Systematic sampling was carried out and soil data were measured on plots cultivated for 60 years, comparing them to those of an uncultivated area (control). The soil of the control plot is of low A/C type and deep, with a coarse texture with particulate structure, characterized by a very low organic matter content (traces), the soil is moderately to strongly calcareous, alkaline and slightly salty and has a very porous porosity with a low bulk density and low water content. The hydraulic conductivity is moderately high. In the cultivated plot, the soil is morphologically identical, of type A/C and deep with a sandy texture, with a particulate structure, characterized by a very low organic matter rate, the soil is moderately to strongly calcareous, alkaline and little to very salty and presents a strong porosity with an apparent density a little higher than that of control and low water content. The hydraulic conductivity is moderately low. The analytical results showed that the waters belong to two classes: class C3S1, poor quality for irrigation water and C4S2, poor for drainage water. The results of the annual rate of change showed that the agricultural management practiced after 60 years of cultivation has a significant impact on all studied soil parameters, especially the physical properties. These changes are justified by the effect of cropping years and farmers' management (i.e., addition of organic manure and flood irrigation).

Keywords: Soil, Arid region, Irrigation, palm, physical parameter, profile, TVA, Zelfana.

دراسة مورفو تحليلية لتربة مزارع نخيل زلفانة (وسط الصحراء الجزائرية)

الملخص:

تعد استدامة التربة مصدر قلق كبير لأنها تؤدي وظائف متعددة مثل الإنتاج الزراعي وترشيح المياه، كما تعتبر البيئة الحيوية للكائنات الحية. تتطلب استدامة المحاصيل في بيئة قاحلة دراسة مكونات هذا الوسط. وتهدف أعمالنا المنجزة في منطقة زلفانة (الصحراء الشمالية الكبرى) ، على بعد 60 كم من ولاية غرداية ، إلى تشخيص وتوصيف التغيرات في التربة الناتجة عن زراعة أشجار النخيل. وللقيام بذلك، تم أخذ عينات منهجية وقياس بيانات التربة على قطع الأراضي المزروعة لمدة 60 عامًا، ومقارنتها مع تلك الموجودة في منطقة (الشاهد) وهي تربة غير مزروعة.

تتطور تربة قطعة الأرض (الشاهد) تطوراً قليلاً من نوع A / C وعميقاً ، مع نسيج خشن بهيكل جسيمي ، يتميز بمعدل منخفض جداً في المواد العضوية (بعض آثار) ، وهذه التربة معتدلة إلى شديدة الجيرية وقلوية ومالحة قليلاً ولها مسامية شديدة الكثافة مع كثافة ظاهرية منخفضة ومحتوى مائي منخفض، والموصلية الهيدروليكية قوية إلى حد ما. أما بالنسبة لتربة الأرض المزروعة فهي متطابقة شكلياً مع نوع A/C ومتطورة قليلاً وعميقة ، تتميز بنسيج رملي وبهيكل جسيمي ، كما تتميز بمعدل منخفض جداً في المواد العضوية ، وهذه التربة من متوسطة إلى شديدة الجيرية وقلوية وهي قليلة إلى شديدة الملوحة ولها مسامية عالية مع كثافة ظاهرية أعلى قليلاً من تلك الموجودة في تربة الشاهد ومحتوى الماء فيها منخفض و الموصلية الهيدروليكية منخفضة بشكل معتدل. أما بالنسبة للمياه فقد أظهرت نتائج التحليل أنها تنتمي إلى فئتين: فئة C3S1 ، نوعية رديئة لمياه الري وفئة C4S2 سيئة للمياه الفواقد (مياه الصرف و التسريب). ولقد أظهرت نتائج معدل التغير السنوي أن الإدارة الزراعية التي تمارس بعد 60 سنة من الزراعة لها تأثير معتبر على جميع العوامل المدروسة للتربة ، وخاصة الخصائص الفيزيائية ، وتبرّر هذه التغييرات بسبب تأثير سنوات الزراعة وإدارة المزارع (أي إضافة السماد العضوي والري بالغمر).

الكلمات المفتاحية:

المنطقة القاحلة ، الري ، شجرة النخيل ، الخصائص الفيزيائية ، مقطع طولي ، TVA ، زلفانة



Introduction



Introduction

Le sol est la ressource la plus importante du système terrestre qui contribue au fonctionnement de la planète (Tessier, 2002 ; Steichen, 2013 ; Fayolle, 2019). Très diversifiée, elle joue un rôle essentiel, produit de la nourriture, régule le cycle et la qualité de l'eau, stocke le carbone et réduit le réchauffement climatique, recycle la matière organique, maintient la biodiversité, fournit des matériaux pour la construction et l'industrie, et contribue à l'esthétique des paysages (Jones et *al.*, 2015 ; FAO, 2017).

Fragile et menacée, ce qui signifie que sa perte et sa dégradation sont irrécupérables ; elle doit être considérée comme une ressource non renouvelable (GIS, 2006 ; Martinez, Choix, 2012 ; Jones et *al.*, 2015 ; Riah et *al.*, 2012 ; FAO, 2017).

Le développement de la production agricole dépend fortement de tous les éléments qui composent la qualité du sol (Reid et *al.*, 2005). La qualité des sols est donc un élément clé pour évaluer la durabilité du développement agricole intensif (Larson et Pierce, 1991). Elle se traduit par sa capacité à stocker et à restituer l'eau et les éléments fertilisants, à maintenir son état de santé, à améliorer sa qualité de vie et les éléments fertilisants, à maintenir sa biodiversité et à résister aux effets des pratiques qui peuvent conduire à sa dégradation (travail du sol, irrigation, etc.) (Jones et *al.*, 2015). Il est évident que la qualité d'un sol pour un usage particulier dépend de ses propriétés intrinsèques, de son environnement géochimique et climatique, et de son utilisation par l'homme (Jones et *al.*, 2015 ; Arshad et Coen, 1992).

La dégradation des sols est causée par des pratiques non durables d'utilisation et de gestion des terres dues à divers facteurs sociaux, économiques et de facteurs et de gouvernance (FAO, 2015 ; FAO, 2021). Le taux actuel de dégradation des terres menace la capacité des générations futures (FAO, 2015 ; Dubois, 2008). Parmi l'ensemble des facteurs de dégradation des terres qui peuvent être cités, l'un d'entre eux domine largement tous les autres en raison de la fonction assignée à la terre dans nos sociétés modernes, à savoir l'intensification agricole combinée à des pratiques non durables et à des événements climatiques extrêmes (FAO, 2015).

Les risques que représente la dégradation des terres pour la sécurité alimentaire et la nutrition sont encore plus importants (FAO, 2015), influence non seulement la quantité récoltée, mais aussi la qualité nutritionnelle, la taille et la forme des fruits. À cet effet, outre la

réduction des rendements, la dégradation des sols entraîne une diminution de la valeur commerciale des produits agricoles (FAO, 2015).

Selon le système mondial des zones agro-écologiques (GAZS) de la FAO, la dégradation des terres est un problème majeur. Selon le GAZS (Global Agro-ecological Zone System), les zones arides couvraient 43,2 % de la superficie totale de la planète en 2020, et ce chiffre devrait atteindre 44,2 % en 2050 (FAO, 2020).

Les zones arides abritent des espèces végétales indigènes essentielles à la sécurité alimentaire et aux moyens de subsistance (Jones et al, 2015 ; FAO, 2016). Les sols cultivés de ces zones présentent des qualités pédologiques et agronomiques dégradées. Ainsi, certains des effets les plus visibles sont la salinisation secondaire et la réduction de la teneur en matière organique du sol (Djili et *al.*, 2003 ; Ziza, 2006 ; Benbrahim, 2006 ; FAO, 2015), la compaction des différents horizons de profil (Lesturgez, 2005) et la contamination des eaux souterraines (Badraoui et *al.*, 2000).

En effet, les sols sableux sont très sensibles à la détérioration physique et chimique (Lesturgez, 2005). En effet, ces sols s'ensavent facilement et deviennent massifs, ce qui les rend difficiles à travailler, réduit le taux d'infiltration de l'eau et limite le développement du système racinaire (Hongtao, 2010).

En Algérie, plus de deux millions de kilomètres carrés (87%) du pays sont situés dans la région du Sahara (Nedjraoui, 2001). Le Sahara est l'une des régions les plus chaudes et les plus sèches du monde (Jones et *al.*, 2015 ; FAO, 2017).

Dans la plupart de ces régions, l'établissement d'une culture nécessite un système d'irrigation (Rognon, 1993 ; FAO, 2014). Les conditions météorologiques extrêmes qui s'étendent sur de plus longues périodes dans ces régions augmentent la pression sur la productivité des cultures et les ressources en eau (Jones et *al.*, 2015 ; Abbass et *al.*, 2018).

Le rôle des sols dans l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets négatifs ne peut plus être ignoré, car les projections climatiques régionales montrent qu'un réchauffement important et une diminution des précipitations sont attendus dans les années à venir. (Bucchignani et *al.*, 2018).

Dans les situations d'extrême aridité et d'introduction d'une agriculture avec une irrigation mal gérée, la surexploitation et d'autres mauvaises pratiques conduisent à une perte de nutriments du sol et entraînent une dégradation des sols (Ambalam, 2014).

Dans ce contexte, les sols de la zone saharienne de l'Algérie contiennent des quantités relativement importantes de sels solubles accumulés et sont souvent calcaires ou crayeux; présentent souvent des croûtes calcaires ou crayeuses, ou les deux (Daoud et Halitim, 1994 ; Benbrahim, et *al.*, 2016). La présence de gypse, des accumulations calcaires et salines, n'est pas sans conséquence, en général, pose d'énormes problèmes pour le développement agricole. (Daoud et Halitim, 1994 ; Benbrahim et *al.*, 2016).

Ces problèmes sont accentués par des systèmes de gestion inadéquats qui se base sur l'utilisation des eaux du Sahara pour l'irrigation et qui contiennent des quantités excessives de sels solubles. Lorsque ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, elles provoquent la dégradation du sol par la salinisation, l'alcalinisation et la sodisation et par conséquent un faible rendement des cultures. Plusieurs études ont montré que l'irrigation avec des eaux salines entraîne une dégradation des sols (Daoud et Halitim, 1994).

Les pratiques culturales mal adaptées sont responsables de la dégradation des propriétés physiques et chimiques de ces sols et menacent même la durabilité de l'agriculture dans ces régions (Kheyar, et *al.*, 2007). La dégradation des sols sableux est souvent mentionnée dans la région aride (Vinas et Joukove, 1974).

Dans ces conditions, il est important de préserver la ressource sols en évitant sa dégradation et de pouvoir restaurer ceux dégradés pour maintenir leur fonctionnalité (Mathieu, 2020). Le présent travail vise à évaluer les effets du développement d'un système agricole intensif avec une irrigation constante pendant 60 ans sur des sols cultivés avec des palmiers (phoeniculture), sous un climat aride. Pour évaluer les changements causés par cette intensification, les sols cultivés ont été comparés au même type de sol, le sol non cultivé le plus proche servant comme témoin. Basé sur l'étude de leur variabilité verticale et l'analyse du taux de changement annuel.

L'objectif est de déterminer les modifications causées par l'intensification de l'agriculture sur certaines propriétés morpho-analytique du sol. Ceci dans le but d'identifier le degré de vulnérabilité des sols, afin d'instaurer un modèle de gestion adéquate et durable des sols dans cette région aride et maintenir la productivité et le rendement des cultures.

La démarche que nous avons adopté consiste en:

- Description morphologique des sols et étude de leur texture et classification
- Caractériser la variation verticale de quelques propriétés de sol à savoir, la conductivité hydraulique (perméabilité), la porosité, la densité apparente, la teneur en eau (humidité), la salinité, la réaction du sol, le calcaire total et la matière organique.
- D'estimer l'intensité de l'évolution de ces propriétés par l'analyse des taux de variation annuelle (TVA) et évaluer, par conséquence, les variations causées par l'intensification agricole sur les paramètres étudiés.

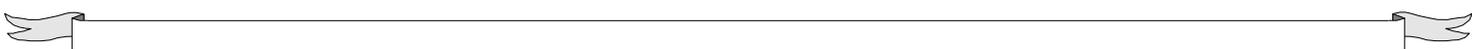
La présente thèse comporte deux parties :

- La première partie prendra en compte le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail.
- La deuxième partie, résultats et discussions.



Première partie

Matériel et Méthodes
d'étude





***Chapitre I. Présentation des
zones d'étude***



Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

Le Sahara est le plus grand des déserts, mais aussi le plus prononcé et le plus typique pour son extrême aridité, c'est-à-dire que c'est là que les conditions désertiques sont les plus intenses.

Les conditions désertiques sont les plus sévères (Toutain, 1979; Ozenda, 1991; Benbrahim, 2018). Il s'étend sur l'Afrique, de l'océan Atlantique à la mer Rouge, sur une superficie totale de 8 millions de km² (Le Houerou, 1990; Benbrahim 2018).

Ces régions ont la réputation d'être une zone où l'agriculture était considérée comme une seconde activité, mais elle devient de plus en plus importante et intéressante, car elle est soutenue par l'ingéniosité humaine, grâce à des systèmes complexes de captage de l'eau comme les brumes, et par une gestion stricte des ressources naturelles. Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires pour faciliter la conception de projets de développement agricole et pour augmenter la productivité du sol par unité de surface (FAO, 2017).

Le Sahara septentrional couvre plus d'un million de km² et est soumis à l'extrême rudesse du climat méditerranéen, où les précipitations sont très faibles (Le Houerou, 1990). Il est considéré comme une zone de transition entre les steppes méditerranéennes d'Afrique du Nord et le Sahara central (Benbrahim, 2018).

La wilaya de Ghardaïa issue du dernier découpage administratif, du territoire selon la loi n°19 - 12 du 12/11/2019. Elle est située au centre de la partie nord du Sahara, à 600 km au sud de la capitale Alger, avec une superficie de 26 165,43 km² et une population de plus de 409 660 habitants, répartis dans la figure 1, 08 daïras et 10 communes (D.S.A, 2021).

Connue par l'architecture spécifique de ses Ksour (noyaux historiques) situés sur la vallée du M'Zâb et classés monuments mondiaux par l'UNESCO depuis 1982, ainsi que pour son traditionnel et ingénieux système de partage d'eau des crues pour l'irrigation des palmeraies (Youcef, 2003).

La wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200Km)
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300Km)
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km)
- Au Sud par la Wilaya de Ménea (270Km)
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350Km)

Tableau 01. Daïras et communes de la Wilaya de Ghardaïa (D.P.S.B, 2020).

Daïras	Nombre de communes	Communes
Ghardaïa	01	Ghardaïa
Metlili	02	Metlili-Sebseb
Berriane	01	Berriane
Guerrara	01	Guerrara
Bounoura	02	Bounoura- El-Atteuf
Daya	01	Daya
Zelfana	01	Zelfana
Mansoura	01	Mansoura

I.1. Situation géographique :

La municipalité de Zelfana est située à 67 km au Nord de la wilaya de Ghardaïa et à 658 km² au Sud d'Alger. Elle se situe à 32° 23' de latitude nord, 4° 13' de latitude est et à 355 m au-dessus du niveau de la mer. Il couvre une superficie de 2220 km². Elle est bordée au nord par la commune d'EL Guerrara à l'est par la wilaya d'Ouargla, à l'ouest par la commune d'Atteuf et au sud par la commune de Metlili (Fig. 01).

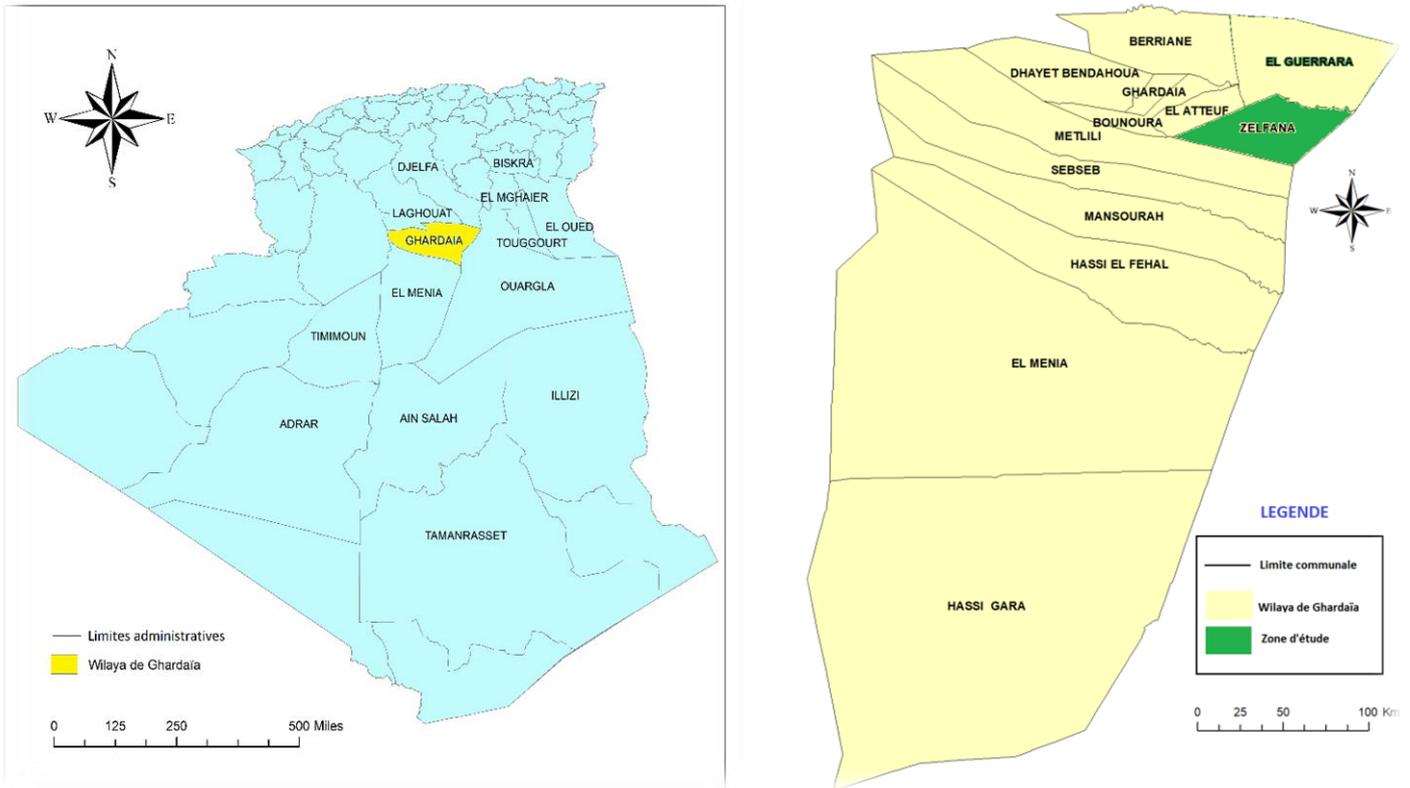


Figure 01 : Carte de la situation géographique de la région d'étude (CDARS, 2021).

I.2. Géologie :

Le Sahara septentrional algérien peut être divisée en deux grandes régions :
Le Sahara occidental, ou Haut-Sahara, et le Sahara oriental, ou Bas-Sahara.

La région de Ghardaïa fait partie du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara, ces terrains apparaître en grande partie au Crétacé supérieur. Dans l'aspect lithologique, ces émergements sont de type (A.N.R.H, 2016).

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-Ouest attribués au Cénomanien,
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien,
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien,
- Sables rougeâtres consolidés à Est et au Nord-Est attribués au Miopliocène,
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

La vallée du Zelfana est une formation continentale quaternaire. Cette structure se présente sous forme de lits d'oueds, de dépressions et de dunes d'oueds. Le plateau pierreux de Chebka est la formation la plus ancienne appartenant au secondaire, représentée par le Crétacé

moyen (Turonien) et le Crétacé supérieur (Sénonien) (Urbatia, 1996). La hamada de l'Est et la plaine de l'Ouest sont formées par des dépôts de poudingues calcaires lacustres du Pliocène continental (Urbatia, 1996) (Fig.2).

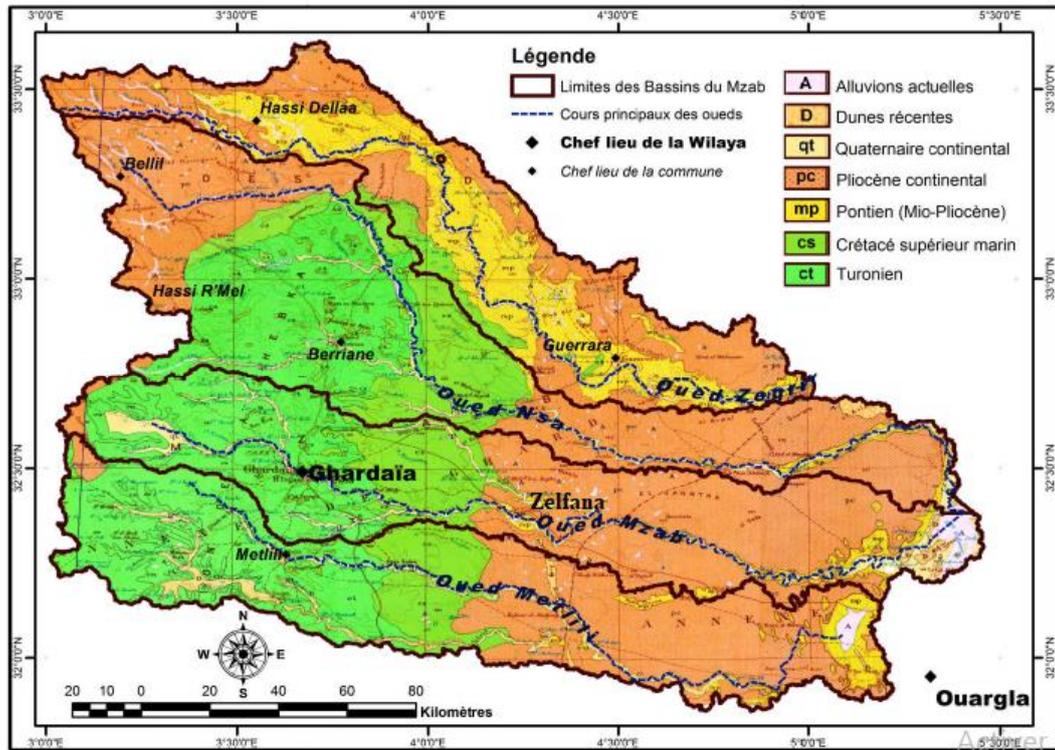


Figure 2 : Carte géologique de la région de Ghardaïa (Source de la carte : (Djili, 2018))

I.3. Hydrogéologie :

L'existence d'eaux souterraines dans la région du M'Zab, s'explique par la présence d'assises marneuses imperméables, de l'étage cénomanien, sous les calcaires turoniens de la Chebka (Moulias, 1927). La 1^{re} étude réalisée par les services d'hydrologie de Sonatrach en 1992 a montré que mis à part la nappe phréatique, la région se situe dans le triasique où quatre (04) aquifères peuvent être exploités pour les besoins en eau domestiques et agroindustriels : Mio-Pliocène et Eocène, Sénonien carbonaté, Turonien carbonaté, Continental intercalaire (Gautier et Gousskov, 1951 ; Bait et *al.*, 1977).

I.3.1. Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne, mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes

et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie (Dubost, 2002), et elle est en général constituée par des formations quaternaires.

I.3.2. Nappe du continental intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire couvre une surface de 600.000 km². Elle occupe la totalité du Sahara septentrional algérien, et se prolonge dans le Sud de la Tunisie et le Nord de la Libye. Elle occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la basse du Trais et le sommet de l'albien. (Dubost, 1986).

Cette nappe draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grés-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000 m. (Dubost, 1986).

C'est une nappe fossile, du coup, elle a un faible rapport à son volume considérable. Elle s'alimente par la filtration, l'infiltration des eaux de ruissellement des oueds qui descendent des massifs montagneux de l'Atlas Saharien et qui dépasse 500 m de profondeur (Khadraoui, 2007).

Les ressources en eau de la région de Zelfana sont principalement d'origine souterraine et essentiellement du Continental Intercalaire (Ouali et *al.*, 2007).

La nappe albienne est définie par les formations continentales du Crétacé inférieur comprises entre le Neocomien et le Cenomanien, constituées de sables, de grès avec des intercalations d'argiles (Cornet, 1964).

I.3.3. Nappe du complexe terminal

Il s'agit du sable du Mio-Pliocène et carbonates de Sénonien. Cette nappe n'a pas d'importance que celle de continental intercalaire, car elle est moins présente. La région de Ghardaïa ne bénéficie pas des eaux de cette nappe à cause de son altitude (Dubost, 2002).

I.4. Hydrographie :

Dans les régions arides, les précipitations sont extrêmement variables et qui ont généralement des effets dévastateurs et néfastes à travers les crues des cours d'eau. Les oueds

sahariens sont des réseaux qui n'ont pas d'écoulement permanent et ils sont l'origine de l'alimentation des aquifères. La fréquence de ces cours d'eau est dépendue du régime pluviométrique du fait que sont très variables durant une année à une autre (Chabour, 2006).

I.4.1. Réseau hydrographique

Ensemble des canaux de drainages naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, par où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines (A.N.R.H., 2011).

I.4.1.1. Sous bassin versant d'oued M'Zab

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds (Fig. 3) dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir (A.N.R.H., 2011).

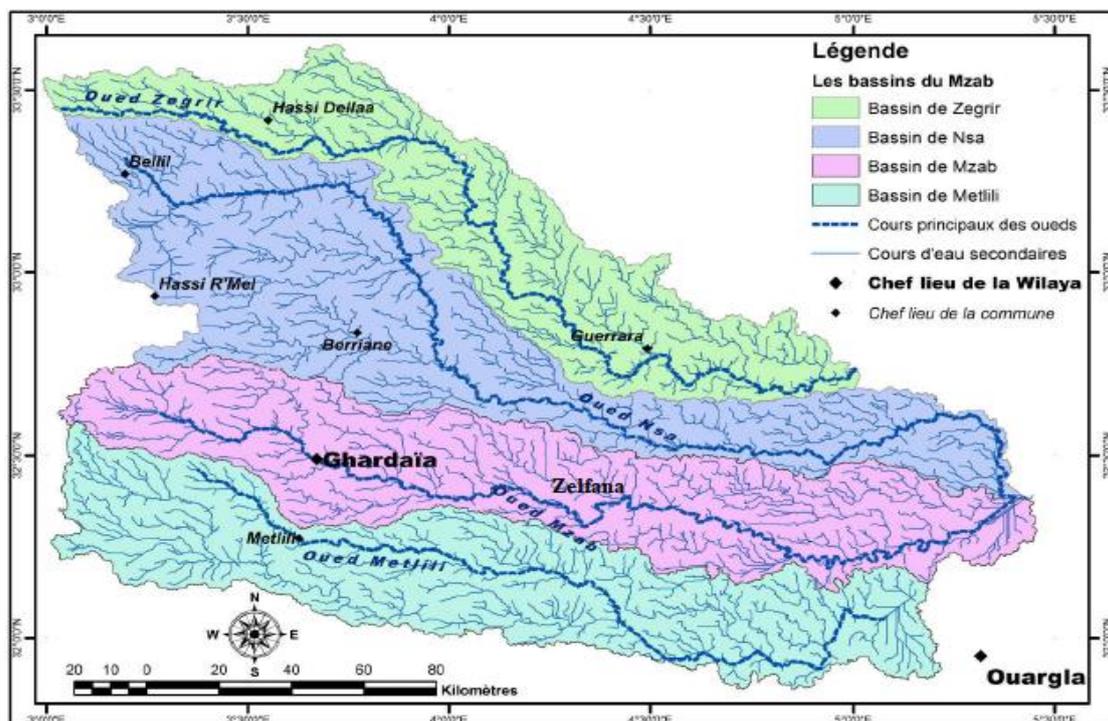


Figure 3 : Carte du réseau hydrographique de la région de Ghardaïa (Source de la carte : (Djili, 2018)).

La région de Zelfana s'alimente par l'oued M'Zab, ce dernier à une superficie de 5000 km² (Dubrief, 1953), il se limite au nord par le Oued N'sa et au sud par Oued Metlili. Oued M'Zab coule d'Ouest vers Est d'environ 320 km, il est influé en amont de Ghardaïa sur la rive droite par : Oued Touzouz (rejoint le M'Zab en amont de la palmeraie de Ghardaïa) ; à gauche Oued El-Haimeur (Daïa Ben Dahoua) et en aval de Ghardaïa, nous rencontrons à

droite de Béni-Isguen, le N'Tissa qui traverse la palmeraie de cette dernière, à gauche et à quelques centaines de mètres en aval du précédent, nous trouvons Oued Azouil dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura. Tout à fait en aval de la pentapole mozabite, nous citerons, sur la rive droite : l'Oued Noumerate. Puis l'Oued Nessaimou en amont de Zelfana, Enfin, très en aval de cette région: l'Oued Hasseï. À partir de ce dernier, la vallée du M'Zab est creusée dans le Pliocène continental et ne reçoit plus de ce fait d'affluent important (Dubief, 1953).

I.4.2.1. Importance des ruissellements

Les crues des oueds jouent un rôle primordial dans le régime des puits. À chaque crue, le niveau de la nappe phréatique s'élève. En cas de sécheresse, l'eau s'abaisse plus ou moins lentement, pour arriver à son minimum ; parfois même, l'eau disparaît complètement. Sans ruissellement, les faibles précipitations ne pourraient humecter suffisamment les sols profondément desséchés, pour alimenter la nappe d'eau profonde (Dubief, 1953). Ces ruissellements ont également des effets sur les propriétés du sol, grâce aux éléments fins d'épandage. (Dubief, 1953).

I.5. Pédologie :

Dans le Sahara septentrional algérien, les sols érodés par de forts mouvements de vent sont produits, laissant une concentration de matériaux d'ablation grossiers (reg) ou hamada. Cet important facteur morphogénétique, comme le vent, transporte les fines particules résultant de l'altération mécanique des roches (fragmentation et ablation) pour former de vastes couvertures sableuses et des champs de dunes (erg) (Djili, 2018).

Le même processus se produit dans les sols des anciennes palmeraies de Zelfana, qui sont des alluvions apportées par les crues de l'Oued M'Zab et mélangées à un fort apport éolien. Ces sols sont légèrement à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins, pauvres en matière organique et de couleur jaunâtre, révèlent la prédominance des faciès gypseux et sont également le résultat de changements géologiques au cours du Quaternaire et du Méso-Pliocène (Djili, 2018).

Le terrain présente une surface généralement plane, sauf dans les zones de ruissellement et à proximité d'obstacles et de lieux propices à l'accumulation de sable, tels que les clôtures, les massifs de végétation spontanée, les routes et les bâtiments (Houichiti, 2009).

I.6. Données climatiques et synthèse climatique :

I.6.1. données climatique

I.6.1.1. Climat

Les données climatiques sont fournies par la station météorologique de Ghardaia. Nous avons pris en considération les moyennes mensuelles concernant une période s'étalant sur 28 ans (1990 à 2018), afin de mieux distinguer les variations climatiques de la région d'étude. Les données climatiques sont non seulement des éléments décisifs du milieu physique, mais ont aussi des répercussions profondes sur les êtres vivants, animaux et végétaux. (Halitim, 2006)

Le climat de la région d'étude est typiquement saharien, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l'Eté et de l'Hiver (A.N.R.H, 2012). La présente caractérisation de climat de la région est faite à partir d'une synthèse climatique de 28 ans entre 1990 et 2018, à partir des données de l'Office National de Météorologie (ONM, 2020) (Tableau. 2).

Tableau 2. Données climatiques de la zone d'étude de 1990 à 2018 (O.N.M, 2020).

Mois	Températures (C)			Précipitation (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (heure)
	Min.moy	Max.moy	Moyenne					
Janvier	3,49	21,90	11,30	10,91	4,50	104,2	53,25	244,0
Février	3,62	24,53	13,06	3,80	4,18	12,81	45,25	246,1
Mars	6,06	29,59	16,69	9,64	5,13	184,6	38,48	273,4
Avril	10,03	34,75	20,85	8,57	5,66	240,1	35,60	298,4
Mai	14,53	39,10	26,41	3,77	5,50	302,7	27,94	318,3
Juin	20,78	42,86	31,10	3,31	5,45	370,2	25,89	328,2
Juillet	25,57	43,99	31,78	2,35	4,17	416,7	22,17	347,8
Aout	24,98	43,83	29,64	5,46	3,11	362,3	25,50	325,3
Septembre	18,94	40,73	29,15	18,76	3,32	282,9	36,69	268,9
Octobre	13,99	34,83	22,43	7,50	3,94	186,0	43,62	265,4
Novembre	6,5	27,83	16,25	8,38	3,13	128,4	49,86	248,0
Décembre	3,07	21,72	12,32	7,25	3,32	124,7	56,33	238,4
Moyenne annuelle	12,55	33,80	21,75	89,70*	4,28	2830,8*	38,38	3402,2*

* : Cumulés annuelle

I.6.1.2. Précipitation

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularité mensuelle et annuelle), leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue du mois de Mai jusqu'au mois de Juillet, et par un maximum de 18,76 mm au mois de Septembre. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 89,70 mm (O.N.M, 2020).

I.6.1.3. Température

Le tableau indique que la température moyenne annuelle est de 21,75 °C, avec, 43,99 °C en juillet pour le mois le plus chaud et 3,07 °C en Décembre pour le mois le plus froid (O.N.M, 2020).

I.6.1.4. Évaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 2830,9*mm/an, avec un maximum mensuel de 416,7 mm au mois de Juillet et un minimum de 104,2 mm au mois de Janvier (O.N.M, 2020).

I.6.1.5. Vents

Ils sont de deux types :

Les vents de sables en Automne, Printemps et Hiver de direction Nord-Ouest. Les vents chauds (Sirocco) dominant en Été, de direction Sud Nord ; sont très secs et entraînent une forte évapotranspiration, nécessitent des irrigations importantes (Bensamoune, 2008). D'après les données de l'O.N.M (2020), les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 4,28 m/s et une vitesse maximale de 5,66 m/s observé au mois d'Avril.

I.6.1.6. Insolation

L'ensoleillement est considérable à la région de Ghardaïa, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. La durée moyenne annuelle d'insolation est de 3402.2 heures/an avec une durée minimale de 238,4 heures (Décembre) et une durée maximale de 347,8 heures/mois (Juillet). (Tableau. 2)

I.6.1.7. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 22,17 % au mois Juillet, atteignant un maximum de 56,33% en mois de Décembre et une moyenne annuelle de 38,38 % (O.N.M, 2020).

I.6.2. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat d'une région, il faut procéder à une synthèse des principaux facteurs climatiques (température et précipitation).

La synthèse des données climatiques est représentée par le diagramme ombrothermique de Gaussen et par le climagramme d'Emberger (Dajoz, 1971).

I.6.2.1. Diagramme ombro-thermique

Selon le tableau au-dessus (tableau 2) qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 28 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté dans (Fig. 4).

- ❖ Les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses.
- ❖ L'axe ordonné pour les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- ❖ Une échelle de $P=2T$.
- ❖ L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année. Cela veut dire qu'il ne peut y avoir d'agriculture sans le recours à l'irrigation.

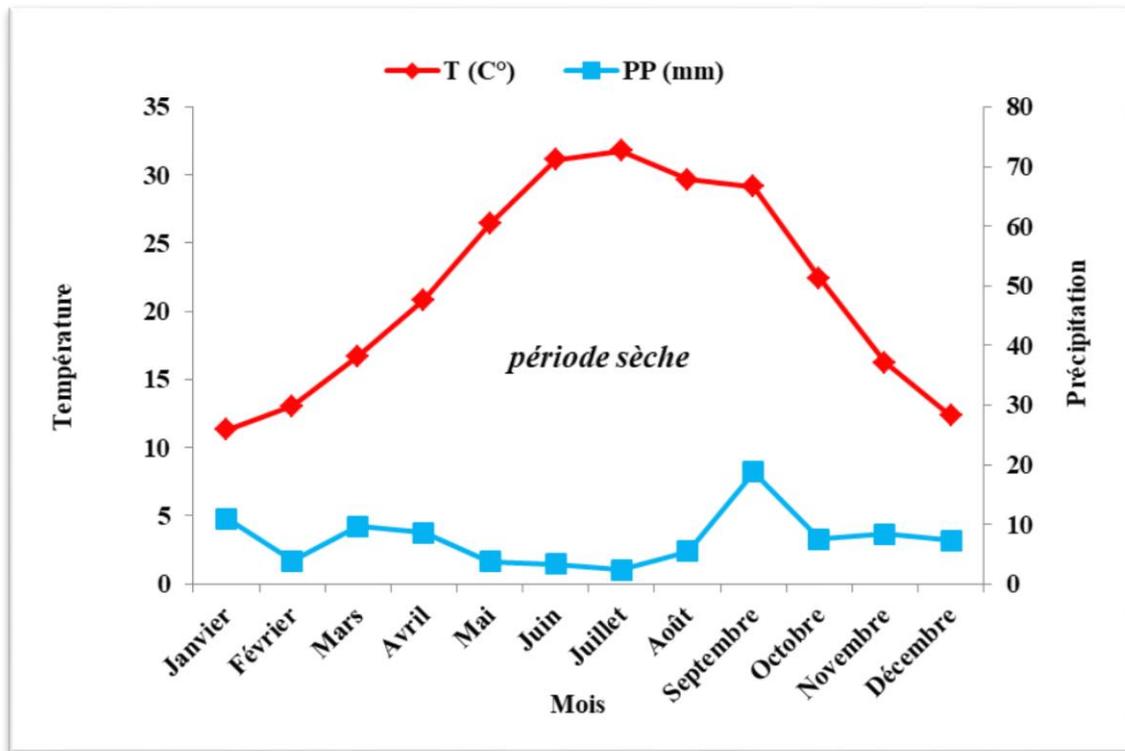


Figure 4 : Diagramme Ombrothermique de la station de Ghardaïa (1990-2018).

I.6.2.2. Climatogramme D'Emberger

Elle permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté par

- La moyenne des minima du mois le plus froid est portée dans l'axe des abscisses.
- Le quotient pluviométrique (Q2) d'Emberger est représenté dans l'axe des ordonnées.

On a utilisé la formule de Stewart adapté pour l'Algérie, qui se calcule comme suit :

$$Q_2 = 3,43 \cdot \frac{P}{M - m}$$

Q_2 : Quotient thermique d'Emberger

P : Précipitations moyennes annuelles en mm

M : La température maximale du mois le plus chaud en °C

m : La température minimale du mois le plus froid en °C

D'après la formule, la Wilaya de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à Hiver doux et son quotient thermique (Q_2) est de 7,51.

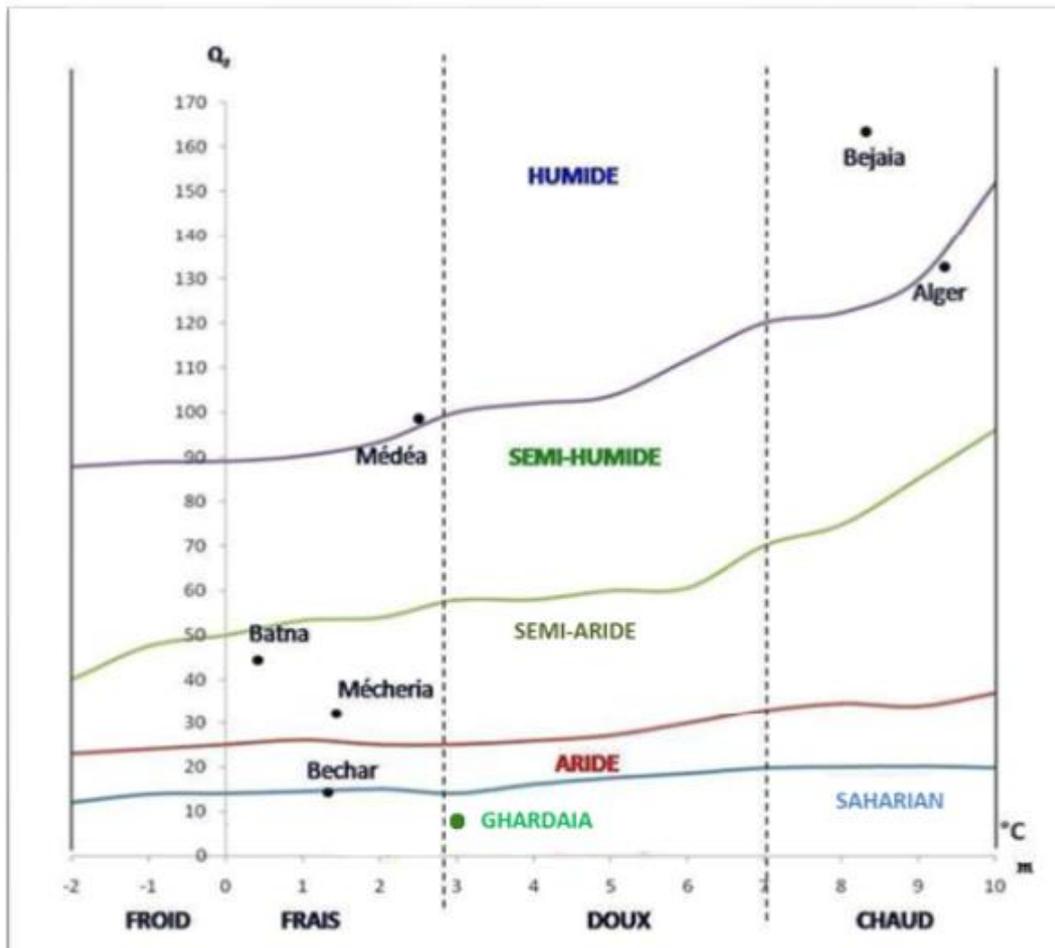


Figure 5 : Climatogramme d'Emberger pour la région de Ghardaïa.

I.7. Exploitation des ressources hydriques :

Dans le Sahara septentrional, le retour à l'irrigation est indispensable pour assurer la pérennité des cultures, et cette eau provient des ressources souterraines. En conséquence, la qualité de cette eau dans la plupart des régions sont moyens à mauvaise.

L'irrigation successive des cultures et la mauvaise gestion de l'eau accélèrent le processus d'une dégradation des sols.

Les débits pompés sont considérables. Par exemple, ils sont de l'ordre de 20 à 40 l/s pour un forage dans le complexe terminal et de 100 à 200 l/s pour un forage dans l'intercalaire continental. Dans le Bas Sahara, on estime que le volume actuellement pompé est environ 3 fois supérieur au volume des extractions traditionnelles (Côte, 1998).

I.8. Flore :

Les principaux facteurs qui influent d'une manière significative sur la flore de la région de Ghardaïa sont le climat saharien et le faible taux de pluviométrie répartie irrégulièrement dans l'année. La flore saharienne est considérée comme pauvre si l'on compare le petit nombre d'espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre (Ozenda, 1983).

Au Sahara, la culture dominante est le palmier dattier ; l'Oasis est avant tout une palmeraie, entre ces palmiers dattiers, on trouve les arbres fruitiers et les cultures maraîchères (Ozenda, 1983).

La phœniciculture dans la zone de Zelfana comprend plusieurs variétés. D'après notre enquête, chaque agriculteur possède entre 5 et 10 variétés qu'il choisit en fonction de ses préférences et ces revenus sont utilisées pour l'autoconsommation. D'autres producteurs possèdent des variétés d'importance commerciale, telles que Déglet Nour, Ghars, Azerza. Parmi les espèces identifiées figurent l'eucalyptus, le faux poivrier, le casuarina et le tamaris (dans les lits d'oueds), le pin d'Alep et le cyprès (Ben-Semaoune, 2008).

En dehors des palmeraies, on peut rencontrer des peuplements floristiques constituant un cas particulier important dans cette zone subdésertique, citant *Aristida pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum*, *Ephedra allata*, *Urginea noctiflora*, *Erodium glaucophyllum*, *Haloxylon scoparium*., *Astragalus gombo*, *Caparis spinosa*, *Zilla macroptera*, *Pistachia atlantica*, *Zyziphus lotus*, *Tamarix articulata*, *Populus euphratica* (Ozenda, 1983).



***Chapitre II. Matériel et
méthodes d'étude***



Chapitre II. Matériel et méthodes d'étude

II.1. Approche méthodologique :

La qualité du sol est un élément essentiel pour évaluer la durabilité d'un développement agricole intensif. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités du sol et de l'eau (Larson et Pierce, 1992). Pour évaluer la qualité du sol, l'USDA (1999) a proposé deux méthodes d'évaluation :

- Soit par la prise de mesures périodiquement dans le temps pour surveiller les changements ou les tendances de qualité de sol.
- Soit par la comparaison des valeurs mesurées à un état de sol de référence ou à l'écosystème naturel.

En absence des données et d'études des sols en début de la mise en valeur, nous avons adopté la deuxième méthode en comparant les valeurs mesurées dans les parcelles cultivées à l'écosystème naturel. Il n'est pas facile de déterminer les changements produits par l'agriculture dans les zones désertiques.

L'objectif principal de ce travail consiste à évaluer les effets du développement d'un système agricole intensif, avec une irrigation constante par submersion pendant 60 ans de culture, sur un sol où des palmiers ont été cultivés (phœniciculture), sous un climat aride. Ces sols ont été comparés au même type de sol, le sol non cultivé le plus proche, servant de témoin pour détecter les changements dans la région de Ghardaïa. Basé sur l'étude de leur variabilité verticale et l'analyse du taux de changement annuel.

II.2. Choix des sites d'étude :

L'expérimentation a été menée dans une palmeraie du sud algérien, dans la commune de Zelfana, Wilaya de Ghardaïa (32°24'5.80" - 32°24'31.79" Latitude Nord ; 4°14'37.40"- 4°14'41.70" Longitude Est) (Fig. 6).

La zone expérimentale couvre une superficie de 45ha caractérisée par un climat hyper aride avec des précipitations annuelles inférieures à 150 mm alors que l'évaporation potentielle annuelle dépasse 2000 mm ; la région est marquée par de fortes variations de température (O.N.M, 2020).

L'altitude varie de 350 à 360 m avec une légère pente du NW au SE. La présence d'un réseau de drainage naturel temporel à l'est de la zone d'étude qui draine, dans des conditions naturelles, l'eau des précipitations intenses et non régulières.

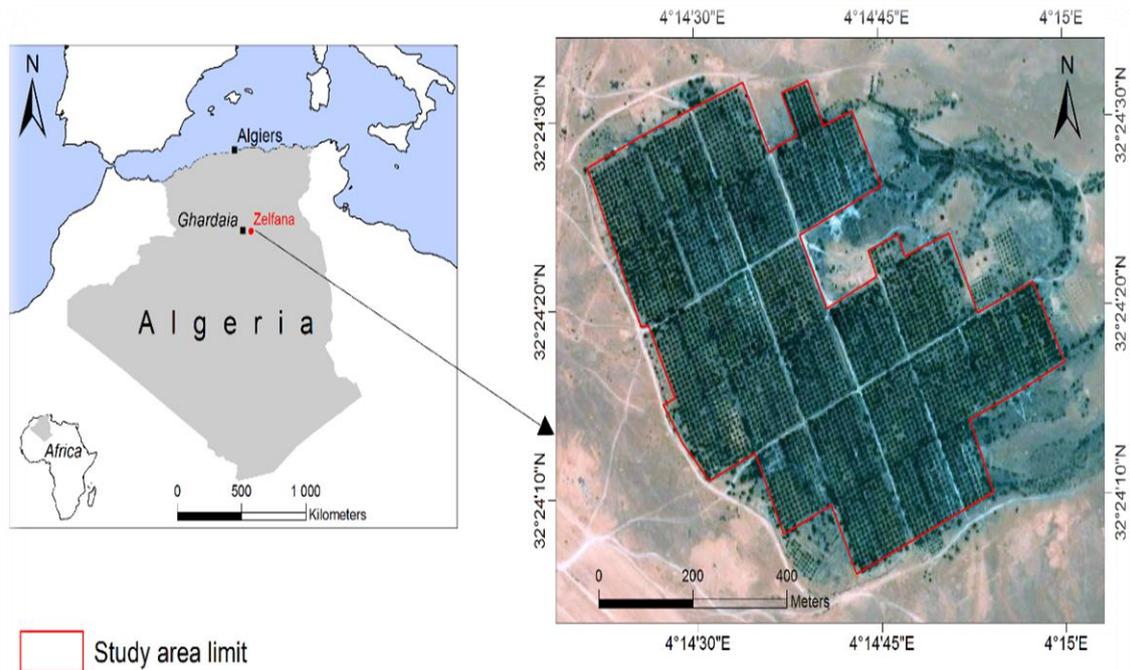


Figure 6 : Localisation de la zone d'étude de Zelfana (Algérie)

Cette station est choisie pour les raisons suivantes:

- Le nombre d'années successives de mise en culture est de 60 ans, période relativement satisfaisante pour évaluer les variations causées par la phœniciculture sur le sol.
- Accessibilité et facilité de la part du propriétaire des exploitations.
- L'uniformité de l'itinéraire technique pour les parcelles sélectionnées, ce qui permet d'effectuer des comparaisons entre les taux d'évolution des paramètres à étudier.
- Existence d'une parcelle de référence de la même superficie des parcelles cultivées et de même aspect de surface. (Fig. 6)

II.3. Échantillonnage et analyse du sol :

II.3.1. Échantillonnage

Pour caractériser morphologiquement le sol dans l'oasis de Zelfana, 15 fosses pédologiques de 120 cm de profondeur ont été réalisées en mois de Mars 2017, pour étudier le profil du sol. Un autre profil de sol a été étudié à côté de l'oasis dans un sol non altéré, en

dehors de la zone de culture. Les points ont été choisis selon un échantillonnage systématique et la description du solum a été réalisée selon les recommandations de Maignien (1969), de Baize et Jabiol (1995) et Schoeneberger et *al.*, (2002). Le sol était très humide, avec apparition de la nappe phréatique à une profondeur de 80 à 90 cm dans la parcelle irriguée. (Fig. 7(a)).

Afin de caractériser les sols et d'inférer les effets de l'intensification agricole sur le sol au cours du temps (60 ans), 25 points ont été prélevés à la tarière en mai 2017 sur des parcelles irriguées (sols cultivés) et 25 échantillons sur la parcelle non irriguée (sols témoins), sous trois profondeurs. L'horizon de surface A1 (0-30 cm), l'horizon de sub-surface A2 (30-60 cm) et l'horizon profond C (60-120).

Les positions des échantillons sont choisies après plusieurs enquêtes et prospection sur le terrain, suivant un échantillonnage systématique, pour les sols irrigués, afin d'avoir une bonne représentation de l'ensemble de la zone irriguée et aléatoire pour les sols non irrigués, en considérant la zone environnante et non perturbée du système de culture situé au sud-ouest et en séparant chaque échantillon de sol entre 10 et 15 mètres, ces sols conservent leurs conditions naturelles (Fig.7).

Les échantillons de sol ont été collectés, séchés à l'air, homogénéisés et tamisés à 2 mm, après, ils ont été analysés selon la méthodologie référée dans les normes (AENOR, 2001 ; MAPA, 1986). La caractérisation analytique porte sur la granulométrie, densité apparente, conductivité hydrique (perméabilité), porosité, humilité, conductivité électrique, pH, calcaire total et matière organique.

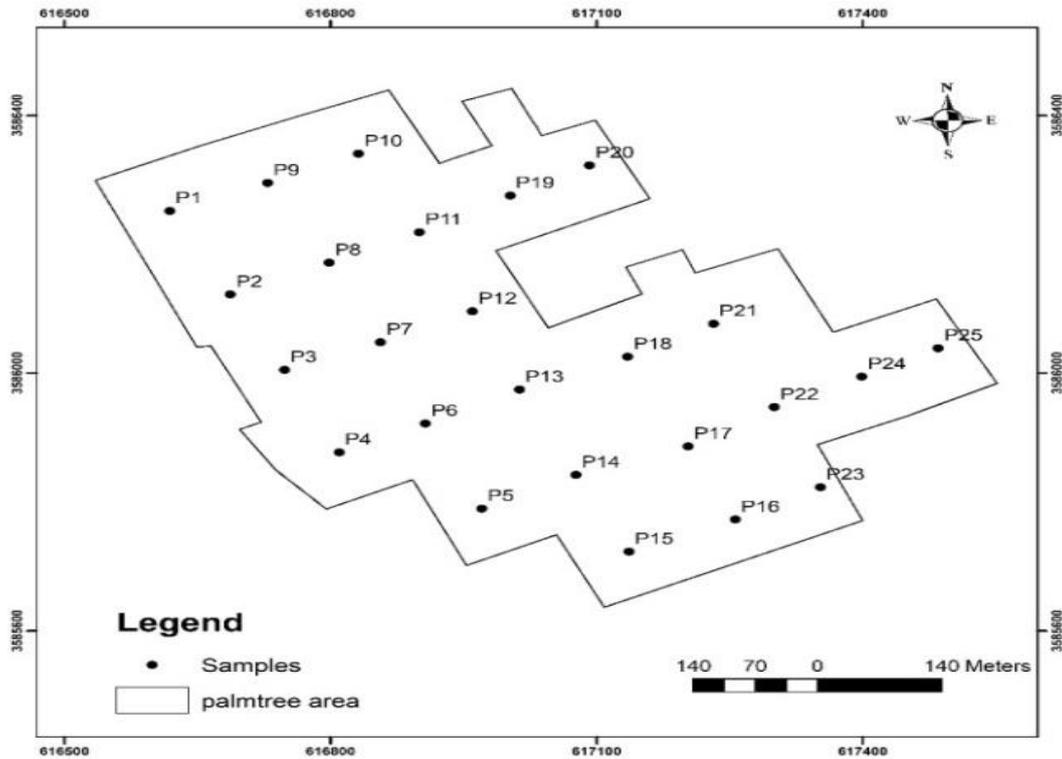


Figure 7 : (a) Localisation des échantillons de sols cultivés dans la zone d'étude

II.3.2. Analyse du sol

a). Granulométrie

La texture a été estimée par la méthode de Bouyoucos (Gee et Bauder 1986), qui consiste à déterminer la distribution granulométrique du sol en mesurant la proportion de particules de différentes tailles. Cette méthode se base sur une lecture d'hydromètre de 40 s pour une estimation de la fraction de limon et d'argile inférieure à 0,005 mm. Une autre lecture d'hydromètre après 2 heures pour estimer la fraction d'argile inférieure à 0,002 mm.

b). Mesure du pH

Le pH a été mesuré sur un extrait aqueux (sol:eau), c'est-à-dire une portion du sol prélevée et mélangée avec de l'eau distillée dans un rapport de 1:2,5 (p/v). Cette solution a ensuite été agitée et laissée reposer pendant 2 heures, à l'aide d'un pH-mètre la mesure a été effectuée.

c). Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique (EC à 25°C) a été déterminée par un conductimètre dans un extrait aqueux 1/5 (p/v), Le sol échantillonné est mélangé à de l'eau distillée dans un rapport de 1:5 (p/v). Cette solution est ensuite agitée et laissée au repos pendant 2 heures, puis plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.

d). Dosage du calcaire total (CaCO₃)

L'équivalent en carbonate de calcium a été déterminé par la méthode gazométrique (Calcimètre Bernard). Le carbonate de calcium présent dans le sol analysé est détruit par un acide fort (acide chlorhydrique) et le volume de dioxyde de carbone libéré par la réaction est mesuré avec une burette à gaz.

e). Carbone organique et matière organique

Déterminé par la méthode d'Anne (Nelson et Sommers, 1983), le carbone organique est oxydé par le bichromate de potassium, en milieu acide (acide sulfurique, source de chaleur), puis on mesure la quantité de bichromate non consommée en retour par le sulfate ferreux (sel de Mohr). Le résultat est ensuite multiplié à 1,72 afin d'obtenir le pourcentage de matière organique (MO).

f). Mesure de la densité apparente

La mesure de la densité apparente a été effectuée par la méthode des cylindres, les mesures ont été faites après avoir mouillé les profils et laissé le sol ressuyer pendant une heure, après ressuyage, les cylindres se sont facilement enfoncés dans les couches des profils.

g). Mesure de La perméabilité

La perméabilité à saturation du sol a été déterminée au laboratoire, l'expérience consiste à mesurer un coefficient d'infiltration de l'eau d'un sol saturé, pour un objectif de classer le sol selon sa perméabilité.

h). Mesure de La porosité

La porosité totale représente le volume des pores contenus dans un volume apparent d'un sol donné. Le calcul de la porosité totale est basé sur la densité de la phase solide et la densité du sol d'après Soltner (1986) et la formule utilisée est la suivante : $P = (1 - (d_v/d) \cdot 100)$, où le : **p** : porosité totale (en %) **d_v**: densité apparente du sol. **d** : densité de la phase solide du sol, densité réelle.

i). Mesure de L'humidité

L'humidité a été décrite en utilisant la méthode thermogravimétrique. C'est une méthode classique pour mesurer l'humidité d'un échantillon de sol, elle consiste à prélever de manière très minutieuse à l'aide d'une tarière un échantillon de sol dans un cylindre dont le volume et le poids sont connus. Le poids de l'échantillon est mesuré avant et après passage dans une étuve afin d'en déduire l'humidité massique de l'échantillon (maintenir l'échantillon à 105°C, jusqu'à ce que le poids soit constant, généralement autour de 48 heures).

Les analyses sont réalisées au niveau du laboratoire de la faculté des sciences de la nature et la vie Université de Ghardaïa, Laboratoire des sols et du développement durable Université Badji Mokhtar-Annaba et laboratoire de département d'agrochimie et d'environnement, Université Miguel Hernández d'Elche, Espagne.

II.4. Échantillonnage et analyse de l'eau :

II.4.1. Échantillonnage

Tous les sols sont irrigués avec la même eau, qui provient de l'aquifère intercontinental de l'Albien. Les eaux d'irrigation et de drainage sont collectées en quatre points différents pour chaque eau et analysées en laboratoire. Les échantillons ont été collectés et stockés immédiatement à des températures inférieures à 4°C afin de mesurer le pH, la conductivité électrique, la salinité et les principaux cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}) et anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}).

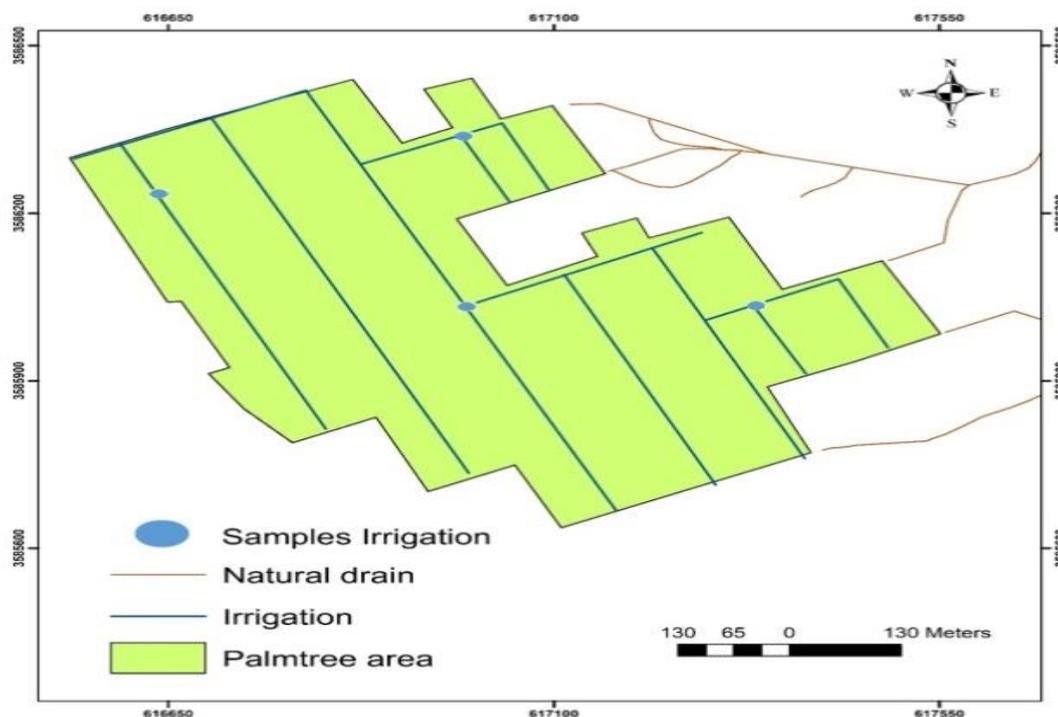


Figure 8 : Distribution de l'eau d'irrigation dans la zone d'étude, les points d'échantillonnage de l'eau d'irrigation sont indiqués.

II.4.2.1. Analyse de l'eau

- La conductivité électrique mesurée à 25°C à l'aide d'un conductimètre.
- Le pH mesuré on utilise un pH-mètre.
- Na^+ et K^+ ont été mesurés avec un photomètre à flamme ;
- Ca^{2+} et Mg^{2+} ont été analysés avec la méthode de titrage du complexe EDTA
- Le Cl^- est déterminé par la méthode argentométrique de MoHR.
- NO_3^- mesurés avec un test colorimétrique
- Le dosage des sulfates SO_4^{2-} par la méthode gravimétrique au BaCl_2 à 10 %

II.5. Analyses statistiques :

II.5.1. Variation annuelle des paramètres étudiés

Le nombre des années depuis la mise en culture intensive sous irrigation est variable, un indicateur normalisé de variation de la qualité des sols est utilisé. Il s'agit du taux de variation annuelle de chaque propriété du sol dont la forme générale est la suivante (Badraoui et al, 1998).

$$\text{TVA-qi} = (\text{qit2} - \text{qit1}) / (\text{t2-t1})$$

Avec :

- qit1 : la valeur moyenne de la propriété qi au début de l'irrigation
- qit2 : la valeur moyenne de la propriété qi après un certain nombre d'années (t2- t1) d'irrigation

II.5.2. Statistiques descriptives

Cet outil d'analyse génère un rapport de statistique à une seule variable pour les données contenues dans la plage d'entrée, fournissant ainsi des informations sur la tendance centrale et la dispersion des données (Voltz, 1986).

Les statistiques descriptives dans notre cas concernant la moyenne, l'écart type, le minimum et le maximum.

II.5.3. Le test t de Student et le test U de Mann-Whitney

Le test t de Student et le test U de Mann-Whitney sont tous les deux des tests statistiques utilisés pour évaluer les différences entre les moyennes de deux groupes, mais ils sont utilisés dans des situations différentes en fonction de la distribution des données et de la taille des échantillons (Gravetter, 2020).

Le test t de Student est un test statistique utilisé pour évaluer la différence entre la moyenne d'un échantillon et une moyenne connue ou hypothétique. Il est utilisé pour les échantillons de petite taille, généralement inférieurs à 30 éléments, et il permet de déterminer la probabilité que la différence observée soit due au hasard. Le test t de Student est basé sur la distribution normale des données et utilise des statistiques t pour mesurer la différence entre l'échantillon et la moyenne connue (Gravetter, 2020).

Le test U de Mann-Whitney, également connu sous le nom de test U de Wilcoxon, est un test statistique utilisé pour évaluer la différence entre les moyennes de deux groupes indépendants. Contrairement au test t de Student, le test U de Mann-Whitney n'est pas basé sur la distribution normale des données et peut être utilisé pour des échantillons de toutes tailles. Le test U de Mann-Whitney mesure la différence entre les groupes en comparant les valeurs de chaque élément des deux groupes plutôt que de comparer les moyennes Delmo et Refugio, 2018).

II.5.4. Coefficient de variation

Le coefficient de variation représente le rapport de l'écart type à la moyenne, il est une statistique utile pour comparer le degré de variation par rapport à une série de données à l'autre, même si les moyennes sont considérablement différentes l'une de l'autre.

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} * 100\%$$

Où **S** représente l'écart-type de l'échantillon et \bar{x} , la moyenne de l'échantillon.

Cinq (5) classes, basées sur la valeur du CV, sont proposées par Nolin et *al.*, (1997) pour qualifier l'intensité de la variabilité des propriétés du sol (Tableau. 3).

Tableau 3 : Classes d'intensité de la variabilité (Nolin et *al.*, 1997)

Intensité de la variabilité	Coefficient de variabilité (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Élevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100



Deuxième partie

Résultats et Discussions





Chapitre III.
***Caractéristiques des eaux
d'irrigation et de drainage***



Chapitre III. Caractéristiques des eaux d'irrigation et de drainage

Dans les régions sahariennes, le sol ne peut être cultivé que sous irrigation. En fait, toutes les surfaces cultivées sont irriguées. L'irrigation est considérée comme un outil de développement agricole dans ces régions. L'intensification de l'agriculture sans mesures adéquates de conservation des sols peut rapidement déstabiliser ces terres et les ramener à un état de dunes mouvantes (Daoud et Halitim, 1994 ; Djili et al. 2003 ; Bradaï et al. 2009 ; FAO, 2014 ; Benbrahim, 2018). Par conséquent, la connaissance de la qualité de l'eau d'irrigation est essentielle avant toute utilisation des terres.

III.1. Qualité de l'eau d'irrigation et de drainage :

Suite à la caractérisation physico-chimique de l'eau d'irrigation utilisée dans les oasis de Zelfana (Ghardaïa, Algérie), ainsi que de l'eau de drainage, les résultats sont présentés sous forme de valeurs moyennes (Tableau 4).

Tableau 4. Statistiques descriptives de l'analyse des eaux d'irrigation/drainage

Eau d'irrigation											
	pH	EC (dS/cm)	Salinité (mg/L)	N ^{a+} (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	SAR
Moyen	7,6	1.9	911	6,1	9,1	5,6	0,4	10,4	0,4	2,9	2,25
Max	7,9	2.1	1191	6,5	12,5	7,5	0,4	12,9	0,5	3,0	2,41
Min	7,3	1.3	980	5,67	6,41	4,6	0,4	8,6	0,2	1,9	2,06
SD	0,31	0.389	305	0,4	2,7	1,3	0,1	1,8	0,1	0,5	0,25
Eau de drainage											
	pH	EC (dS/cm)	Salinité (mg/L)	Na ⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	SAR
Moyen	7,6	5.9	3410	17,4	34,6	16,6	0,9	25,3	0,9	3,1	3,43
Max	7,8	6.7	3600	18,1	41,0	24,5	1,0	31,4	1,4	4,1	3,64
Min	7,5	5.2	3020	16,3	30,1	10,0	0,7	18,6	0,3	2,1	3,16
SD	0,1	0.588	263,8	0,8	4,8	6,6	0,1	6,1	0,4	0,8	0,34

Le pH des deux eaux était neutre à légèrement alcalin. Par contre, les valeurs de la CE dans l'eau de drainage étaient trois fois plus élevées que celles de l'eau d'irrigation. La quantité de Na⁺, Ca²⁺, et Mg²⁺ dans l'eau de drainage a augmenté dans la même proportion que la CE, ce qui pourrait

prouver qu'il y a de grandes réserves de ces éléments dans le sol, qui sont responsables de la salinité. En revanche, si l'on considère les anions, on constate une multiplication par 2,5 du chlorure. En revanche, les nitrates et les sulfates restent quasiment constants.

Le profil chimique des masses d'eau a été déterminé par le diagramme de Piper. Le diagramme de Riverside (1954) a été utilisé pour évaluer le risque de salinisation et de sodification des sols (Fig. 8).

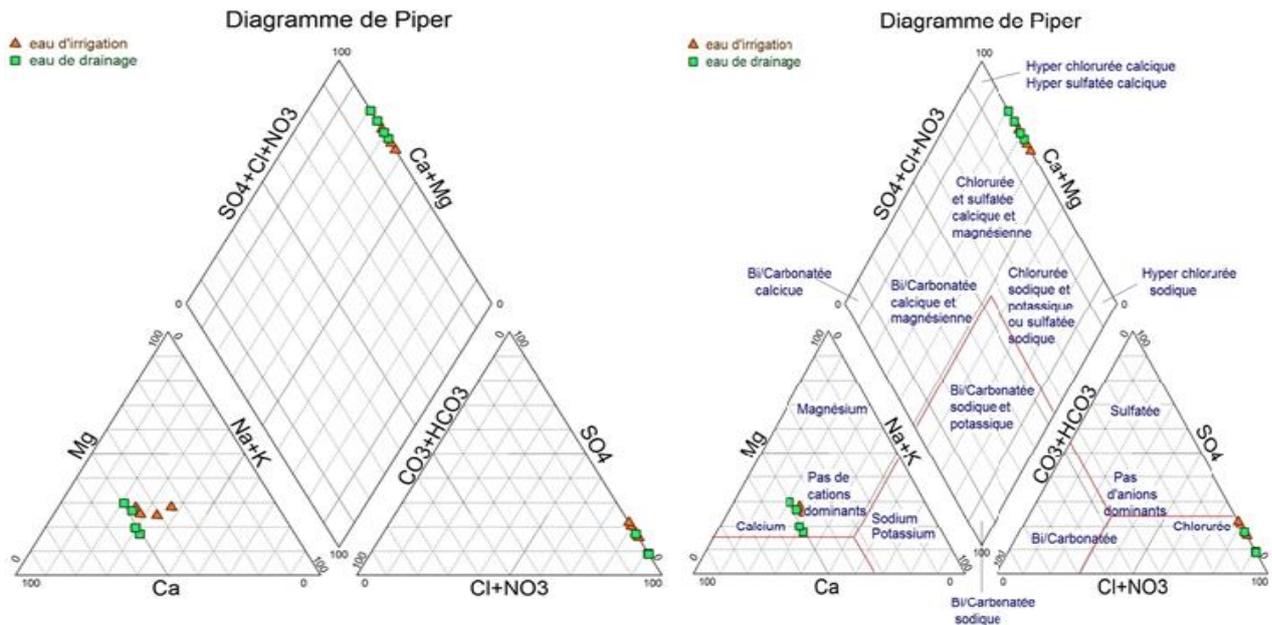


Figure 9 : Diagramme de Piper appliqué aux eaux d'irrigation et de drainage.

Selon les résultats du diagramme de Piper, les échantillons analysés ne présentent pas de cation dominant, remarqué dans le triangle des cations. Ainsi dans le triangle des anions, on remarque une dominance du chlorure. Le faciès dominant de type presque hyper sulfaté-calcique provient principalement de la dissolution des formations carbonatées. L'augmentation de la salinité associée à un faciès chlorure ou sulfate de sodium peut être la conséquence de l'action combinée de différents mécanismes tels que la concentration par évaporation ou le contact avec l'eau salée.

Wilcox (1948) (Fig 9) a proposé une méthode d'évaluation des eaux d'irrigation, basée sur le pourcentage de sodium et la conductivité électrique :

$$Na^+ = \frac{(Na^+ + k^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + k^+)} \times 100$$

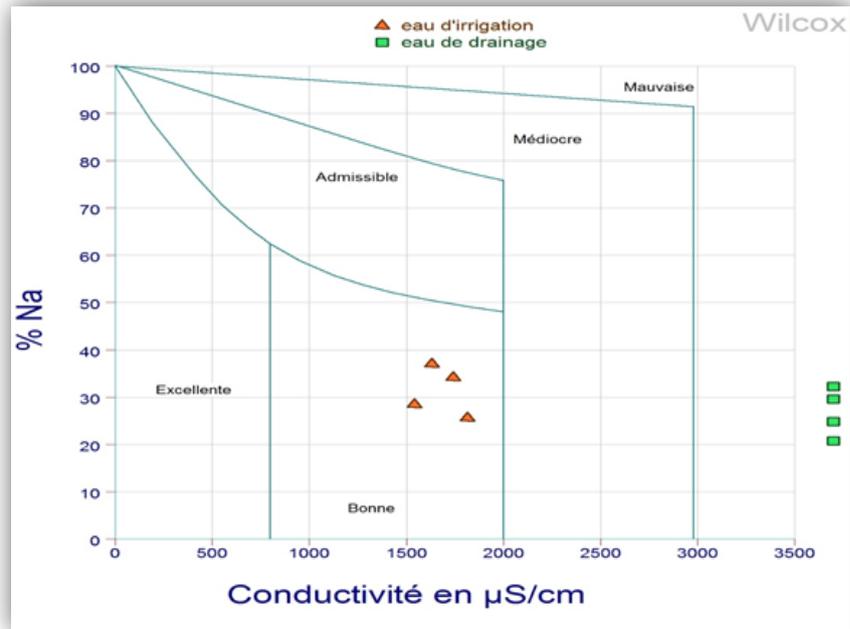


Figure 10. Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation/drainage (diagramme de Wilcox).

D'après le diagramme de Wilcox, les classes d'eau sont : La classe "bonne" pour les eaux d'irrigation. La classe "mauvaise" pour les eaux de drainage.

Le diagramme de Riverside (Fig. 10), montre l'effet combiné entre EC et SAR.

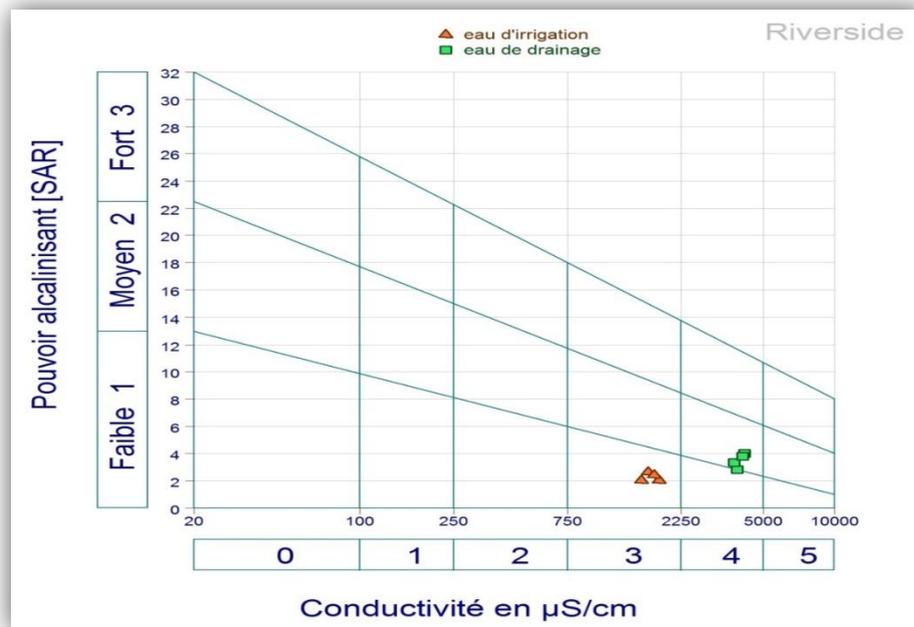


Figure 11 : Classification des eaux d'irrigation/drainage

Ce diagramme montre que les échantillons d'eau d'irrigation appartiennent à la classe C3S1 qui indique un risque élevé de salinité et un faible risque d'alcalinité. D'autre part, les échantillons d'eau de drainage appartiennent à la classe C4S2 qui indique également un risque très élevé de salinité et un risque moyen d'alcalinité. Pour cette raison, la qualité de ces eaux aussi d'irrigation peut être considérée comme des eaux peu nuisibles pour la production de cultures qui ont une tolérance fragile à la salinité.

Selon le diagramme (Fig. 11) de Schöeller-Berkaloff les ions dominants des eaux d'irrigation (échantillons 1-4) sont les chlorures et pour les anions et les cations.

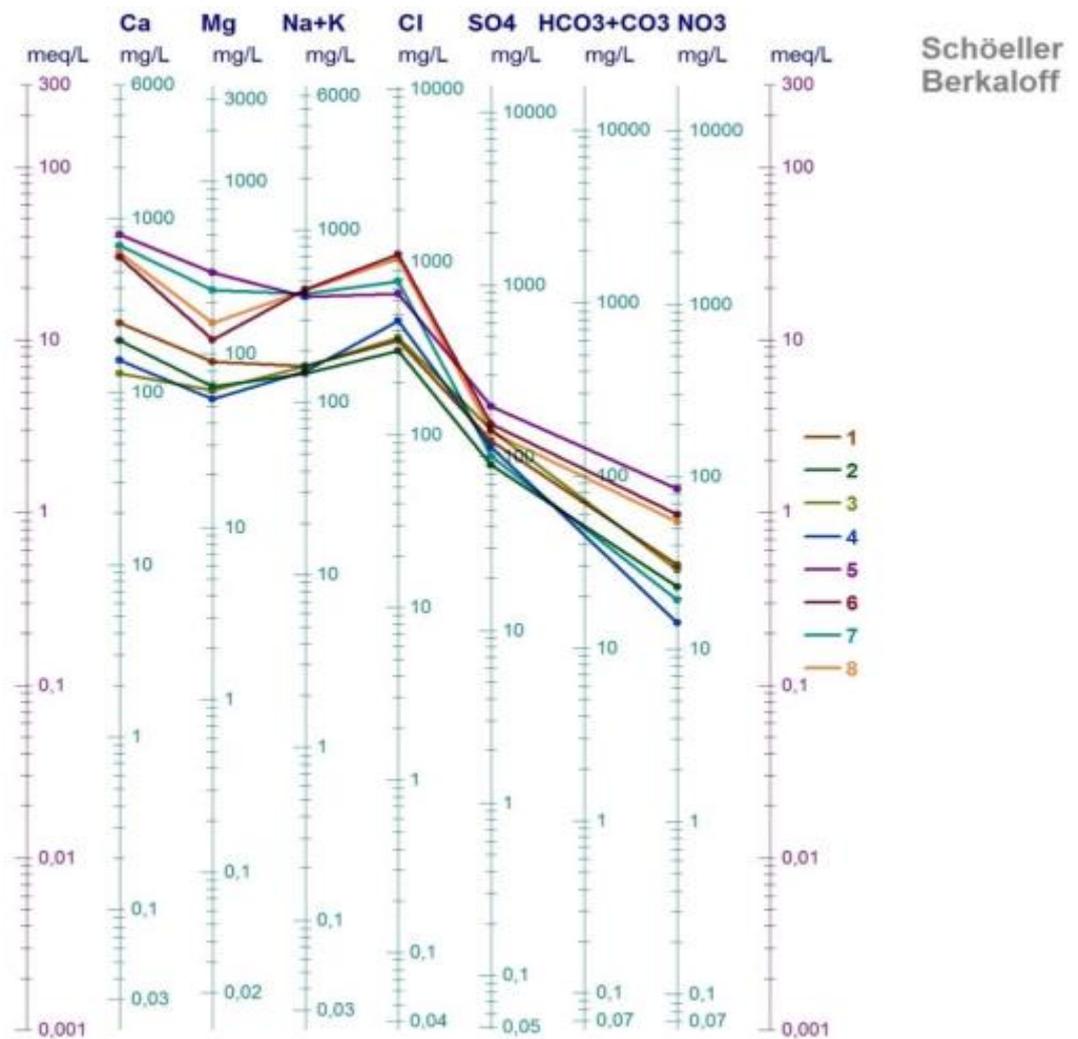


Figure 12 : Diagrammes de Schoeller Berkaloff.

Les concentrations sont ordonnées comme suit : Anion : $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ Cation : $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Tous ces diagrammes ont été réalisés par le logiciel DIAGRAMMES (Open source).

III.1.1. Analyse multivariée des propriétés de l'eau

Les coefficients de corrélation entre les paramètres des échantillons d'eau d'irrigation/drainage sont présentés dans (tableau. 5).

Tableau 5. Coefficients de corrélation (R de Pearson) entre les paramètres, eau d'irrigation/drainage

	pH	CE	Salinité	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SAR	K^+	Cl^-	NO_3^-
ECa	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salinité	0,16	0,97	-	-	-	-	-	-	-	-
Na^+	0,19	0,98	0,99	-	-	-	-	-	-	-
Ca^{2+}	0,16	0,91	0,91	0,94	-	-	-	-	-	-
Mg^{2+}	-0,01	0,71	0,71	0,75	0,91	-	-	-	-	-
SAR	0,19	0,90	0,91	0,89	0,70	0,39	-	-	-	-
K^+	0,18	0,98	0,96	0,98	0,92	0,71	0,88	-	-	-
Cl^-	0,34	0,93	0,93	0,92	0,75	0,44	0,97	0,91	-	-
NO_3^-	0,21	0,72	0,58	0,64	0,70	0,62	0,48	0,76	0,55	-
SO_4^{2-}	0,20	0,57	0,40	0,46	0,52	0,52	0,37	0,57	0,38	0,90

Les corrélations les plus élevées ont été trouvées entre : Le sodium avec la CE et la salinité ($r=0,98$; $0,99$);le calcium avec la CE, la salinité et le sodium ($r=0,92$; $0,92$; $0,94$) respectivement ;le magnésium avec le sodium ($r=0,91$);le potassium avec la CE, la salinité, le sodium, le magnésium ($r=0,99$; $0,97$; $0,98$; $0,92$) respectivement ;Chlorure avec EC, Salinité, Sodium et Potassium ($r=0,93$; $0,93$; $0,92$; $0,91$) respectivement ;SAR avec EC et Salinité ($r=0,90$; $0,91$) respectivement.

Enfin, le bicarbonate a montré de faibles corrélations avec les autres paramètres. La forte corrélation entre le sodium et le SAR indique un risque élevé de sodicité.



***Chapitre IV. Caractérisation
morpho-analytique et
classification des sols***



Chapitre IV. Caractérisation morpho-analytique et classification des sols

La caractérisation morphologique et analytique du sol est une étape indispensable pour toute étude pédologique. L'étude morphologique et analytique des solums nous permettra de caractériser le sol de chaque parcelle et d'avoir une idée globale sur la nature du sol de notre site expérimental.

IV.1. Caractérisation morphologique :

Les sols étaient conçus comme des corps naturels indépendants, chacun ayant une morphologie unique résultant d'une combinaison unique de climat, d'humidité et de température.

La morphologie de chaque sol, telle qu'elle est exprimée par une coupe verticale à travers les différents horizons, reflète les effets combinés de l'ensemble particulier de facteurs génétiques responsables de son développement. C'était un concept révolutionnaire. Il n'était pas nécessaire de dépendre entièrement des déductions des roches sous-jacentes, du climat ou d'autres facteurs environnementaux, considérés individuellement ou collectivement ; au contraire, le pédologue pouvait se rendre directement au sol et voir l'expression intégrée de tous ces facteurs dans sa morphologie.

La description morphologique est portée sur un seul solum (profil type) dans les parcelles irriguées et un seul solum dans la parcelle témoin (parcelle non irriguée), car le sol semble homogène de point de vue morphologique.

IV.1.1. Parcelles irriguées

L'étude morphologique montre que le sol est profond, il présente trois horizons, le premier, c'est l'horizon (A₁) arable, avec une profondeur de 0-30 cm, un deuxième horizon de 30- 60 cm (A₂) sous arable. Le troisième, c'est l'horizon (C) de 60-120 cm.

IV.1.1.1. Caractérisation morphologique du Solum

- Date de description : 17-03-2017
- Topographie : Plane, légère pente (<1%)
- Situation : 32°24'18.04"N, 4°14'39.07"E
- Altitude : 346.2
- Climat : Aride

➤ Temps : ensoleille

- **Horizon arable (A1) (0 – 30)**

Couleur à l'état sec 5YR 6/6 (reddish yellow), peu compact, avec texture sableuse argileuse, à structure particulaire, existence des éléments grossiers de forme angulaire et de diamètre compris entre 0,5 et 6 cm, de nature calcaire, présence des racines de palmier dont les dimensions vont du millimètre au centimètre, très fort effervescence à l'HCl et transition nette et régulière.

- **Horizon sous arable (A2) (30 -60)**

Couleur à l'état sec 7.5YR 7/6 (reddish yellow), peu humide et peu compact, avec texture sableuse limoneuse, à structure particulaire, existence des éléments grossiers de forme angulaire et de diamètre compris entre 0,5 et 6 cm, de nature calcaire, abondance des racines de palmier dont les dimensions vont du millimètre au centimètre, fort effervescence à l'HCl et transition nette et régulière.

- **Horizon C (60 – 120)**

Couleur à l'état sec 7.5YR 8/4 (pink), humide, peu compact, avec texture sableuse limoneuse, à structure particulaire, existence des éléments grossiers de forme angulaire et de diamètre compris entre 0,5 et 2 cm, de nature calcaire, présence de racines de palmier dont les dimensions vont du millimètre au centimètre, moyenne effervescence à l'HCl et transition nette et régulière.

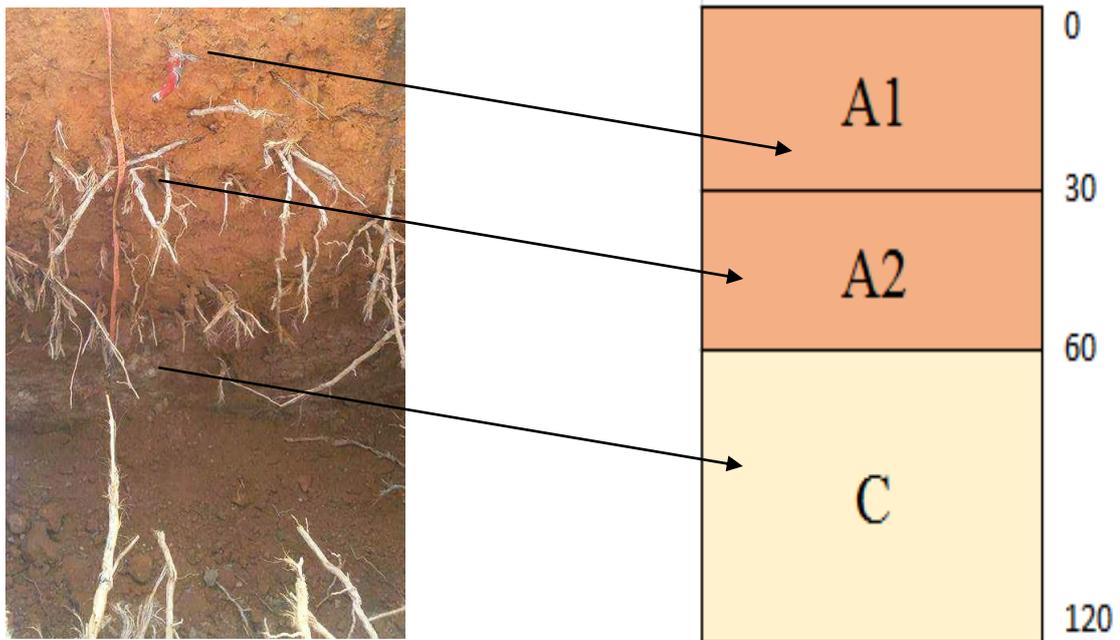


Figure 13 : Profil pédologique de la parcelle irriguée

IV.1.2. Parcelles non irriguées (témoin)

L'étude morphologique montre que le sol est profond, il présente deux horizons, le premier est l'horizon (A) de 0-60 cm, le deuxième est l'horizon (C) de 60-120 cm.

IV.1.2.1. Caractérisation morphologique du Solum

- Date de description : 17-03-2017
- Topographie : Plane, légère pente (<1%)
- Situation : 32°24'6.77"N, 4°14'55.53"E
- Altitude : 343.4
- Climat : Aride
- Temps : ensoleille

- **Horizon A1 (0 – 60)**

Couleur à l'état sec 7.5YR 7/6 (reddish yellow), peu compact, avec texture sableuse limoneuse, à structure particulaire, existence des éléments grossiers de forme angulaire et de diamètre compris entre 0,5 et 6 cm, de nature calcaire, faible présence des racines dont les dimensions de quelques millimètres avec une activité biologique non visible, moyenne effervescence à l'HCl et transition nette et régulière.

- **Horizon C (60 – 120)**

Couleur à l'état sec 7.5YR 8/4 (pink), peu compact, avec texture sableuse limoneuse, à structure particulaire, existence des éléments grossiers de forme angulaire et de diamètre compris entre 0,5 et 2 cm, de nature calcaire, absence de racines et activité biologique non visible, très forte effervescence à l'HCl et transition nette et régulière.

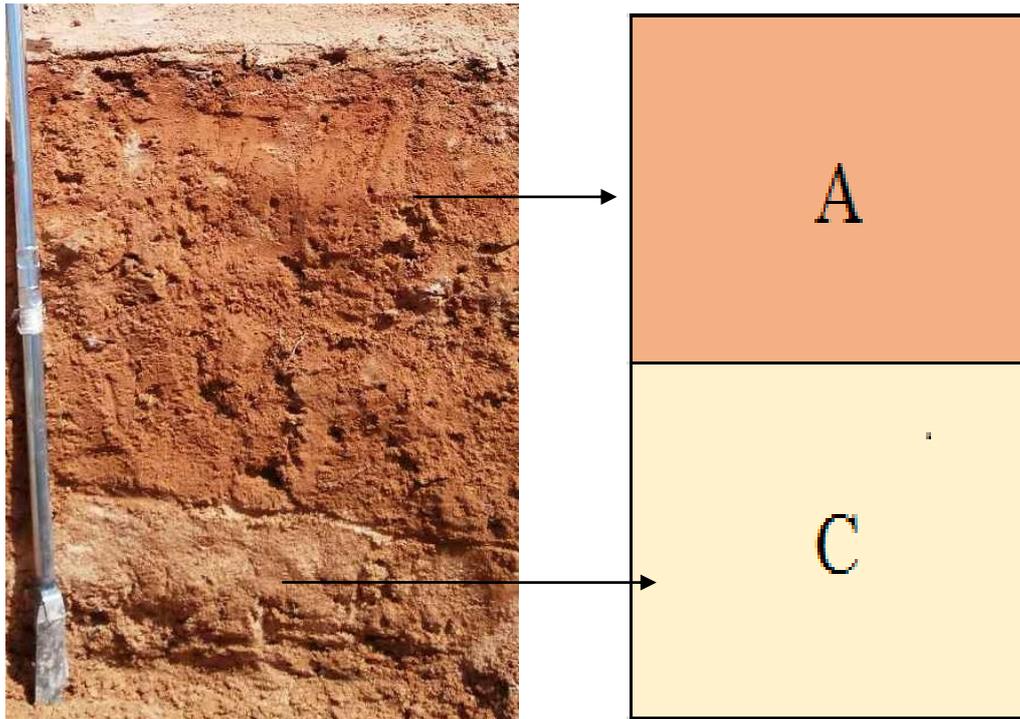


Figure 14. Profil pédologique de la parcelle non irriguée.

IV.2. Classification des sols :

Après la description des solums et les analyses au laboratoire, tous les sols prélevés des deux parcelles sont des Arénosols. Sont des sols sableux et profonds, dans d'autres classifications, ils sont nommés Psammets (Etats-Unis), Sols minéraux bruts et Sols peu évolués (France), Arenic Rudosols/Tenosols (Australie), Psammozems (Russie) et Neossolos (Brésil). Ils comprennent les sols sur sables résiduels issus de roches riches en quartz ayant subi une altération in situ ainsi que des sols sur sédiments sableux récents comme les dunes des déserts et les plages maritimes.

Les Arénosols forment un des Groupes de sols de référence les plus répandus dans le monde ; en y incluant les sables mouvants et les dunes mobiles, ils couvrent quelque 1 300 millions d'ha, soit 10 % des terres émergées. (WRB, 2015).

Ces sols sont présents dans tous les climats, de l'aride à l'humide et au perhumide et de l'extrêmement froid à l'extrêmement chaud. Les reliefs vont des dunes récentes aux cordons littoraux et des plaines sableuses aux très vieux plateaux. La végétation va des déserts à la végétation éparse (généralement herbeuse) et aux forêts claires. (WRB, 2015).

Dans la zone sèche, il y a peu ou pas de développement du sol sur l'ensemble du profil. Dans les tropiques perhumides, les Arenosols ont tendance à développer des horizons éluviaux épais (un horizon spodique peut se former à une profondeur de plus de 200 cm de la surface du sol). (WRB, 2015).

Bien que les Arenosols occupent de larges pans des régions arides et semi-arides, ils se retrouvent aussi dans une très large gamme de climats, allant du très aride au très humide et du froid au chaud. (WRB, 2015).

Les Arenosols des terres arides et semi-arides sous pluviométrie inférieure à 300 mm sont surtout utilisés en pâturage extensif, voire nomadique. Les cultures pluviales ne sont possibles qu'au-dessus de 300 mm de pluies annuelles. Leur faible cohésion, leur faible capacité de rétention en eau et leur sensibilité à l'érosion font que les Arénosols des zones sèches présentent de sérieuses limitations. (WRB, 2015).

S'ils sont irrigués, ils peuvent donner de bonnes récoltes en céréales, melons, légumineuses et fourrages, mais les fortes pertes par percolation rendent l'irrigation par submersion impraticable. L'irrigation goutte à goutte ou par aspersion, combinée éventuellement à une fertilisation prudente, peut remédier à cette situation. (WRB, 2015).

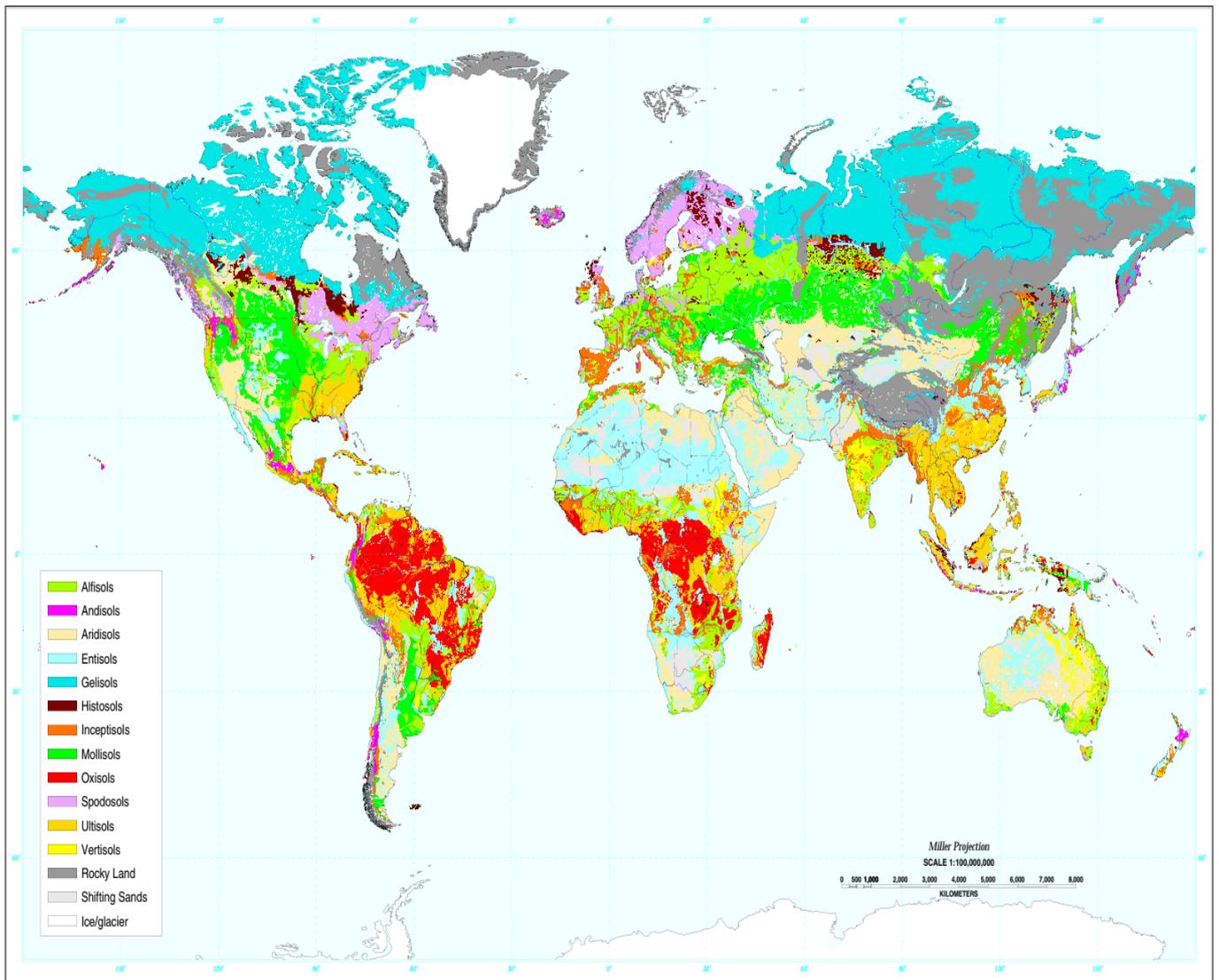


Figure 15: Distribution des groupes des sols dans le monde (USDA, 1999)

- Conclusion

D'après les observations faites sur les deux profils, on constate que les sols étudiés sont morphologiquement presque identiques, ce sont des sols peu évolués de type A/C et profond. Le sol a subi une modification de l'horizon (A) de 0 à 30 cm de profondeur, entraînant la formation d'une couche arable (A1) dans les parcelles irriguées, ce qui se justifie par l'effet des années de culture et des pratiques agricoles utilisées par les agriculteurs, comme l'amélioration du sol par l'apport de substances organiques, généralement animales, et aussi celle résultant de la fermentation des résidus de palmiers. Effet de l'irrigation et du climat qui implique une très grande quantité d'eau avec une forte évaporation et un mouvement de l'eau dans le profil, avec circulation des sels.

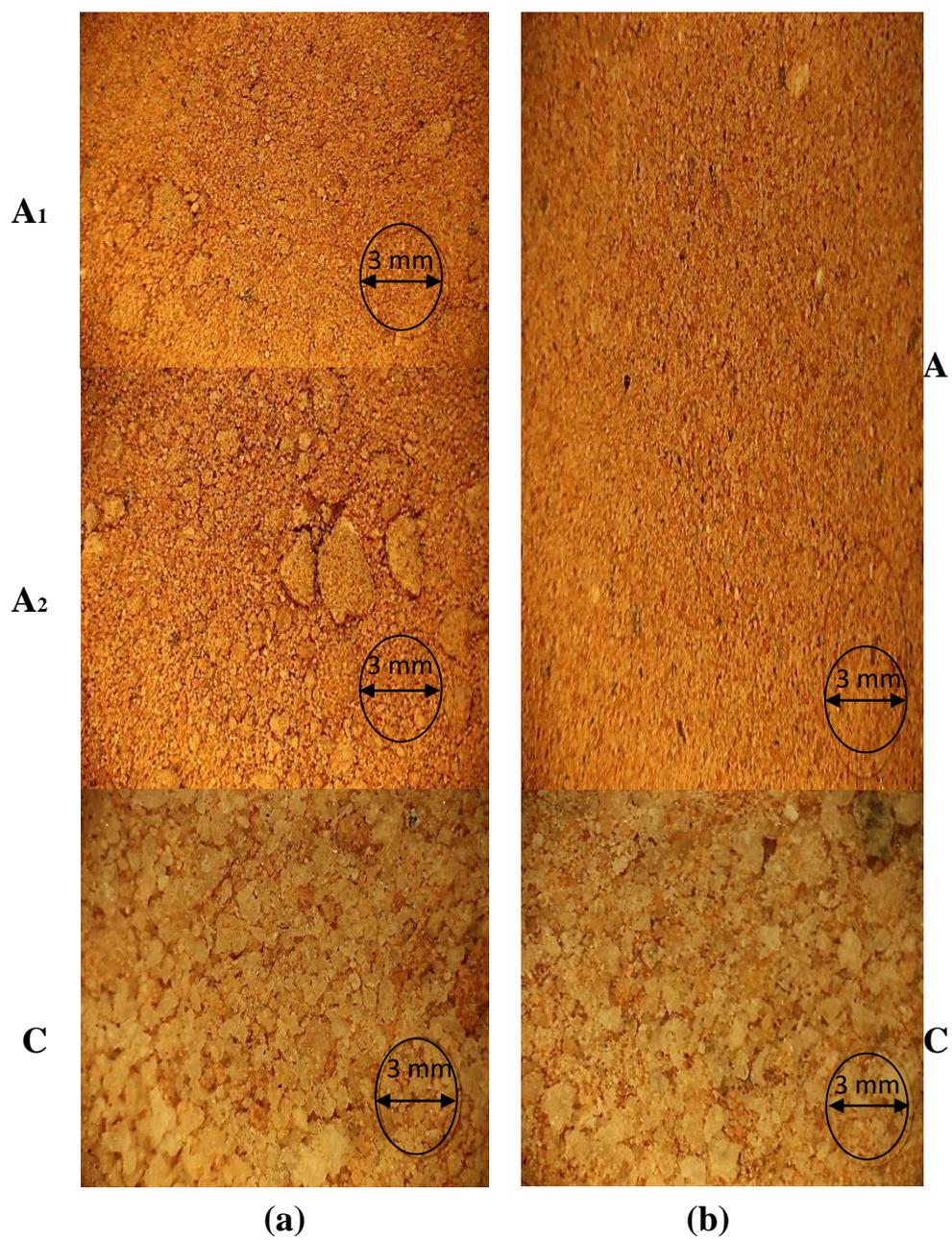


Figure 16 : Photo microscopique (a) de la parcelle irriguée (b) parcelle non irriguée

IV.3. Caractérisation analytique :

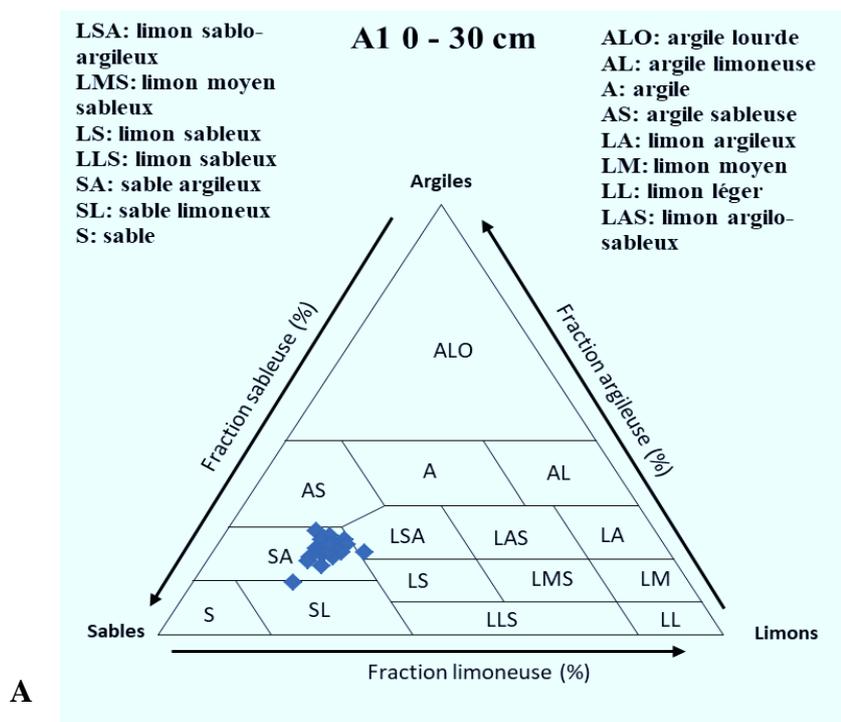
IV.3.1. Parcelle irriguée

Les résultats analytiques sont présentés sous forme des moyennes (Tableau. 06).

Tableau 06. Résultats des analyses du sol de la parcelle irriguée.

Profondeur	0-30	30-60	> 60	
Horizons	A1	A2	C	
Granulométrie (%)	Sable	58	67	78
	Limon	19	23	13
	Argile	23	10	9
Texture	sableux argileux	sableux limoneux	sableux limoneux	
CaCo ₃ total (%)	13,9	25,04	13,22	
pH 1/5	08,2	08,3	08,4	
EC. à 25 °C (ds/m)	2,52	1,76	1,87	
Carbone organique	00,2	0,12	0,07	
M.O (%)	0,35	0,21	0,11	
Densité apparente	1,43	1,37	1,26	
Porosité (%)	44,90	46,62	50,93	
Humidité (%)	12,73	13,13	20,04	
Perméabilité (cm/s)	2,94 E ⁻⁴	5,02 E ⁻⁴	2,54 E ⁻³	

Le triangle textural des trois couches de sol de la parcelle irriguée est illustré dans la (Fig.16).



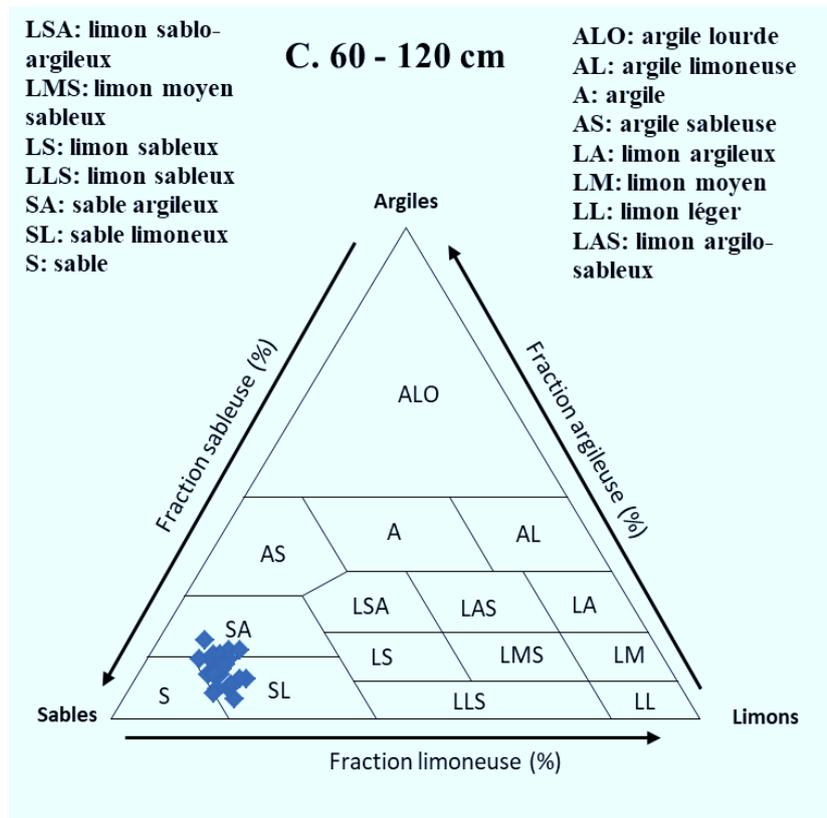
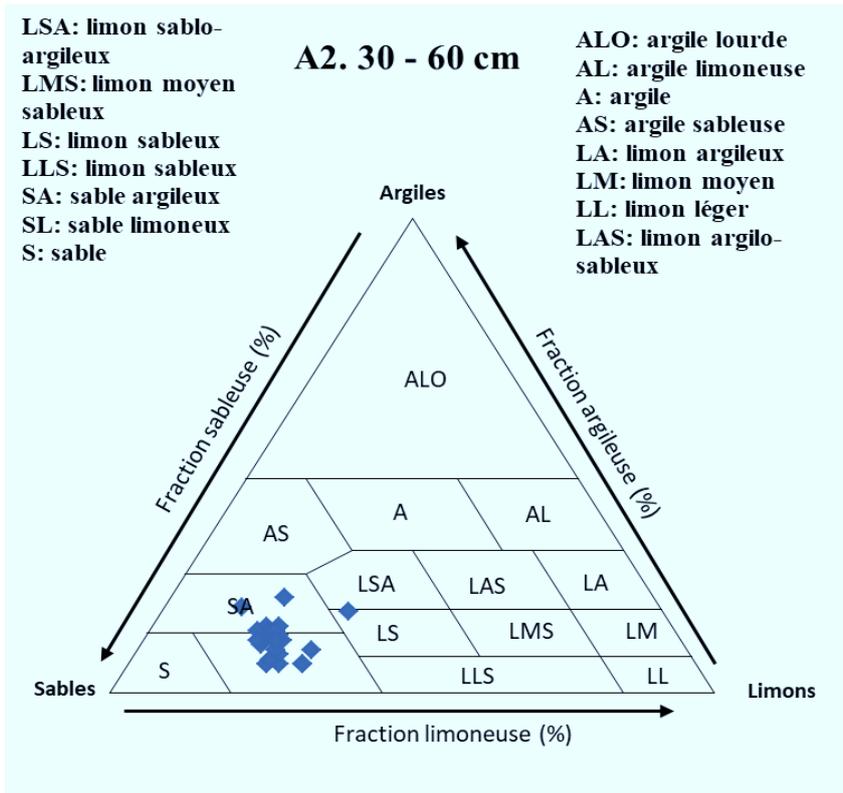


Figure 17 : Triangle textural des trois couches du sol : (A) A1: 0-30 cm, (B) A2: 30-60 cm et (C) C : 60-120 cm.

À partir des résultats des analyses du sol de la parcelle irriguée, le sol présente une texture sableuse argileuse dans l'horizon superficiel (A1) et sableuse limoneuse pour les deux autres horizons, sub-surface (A2) et profond (C). Avec des teneurs ($58 \leq \text{sable} \leq 78$), ($13 \leq \text{limon} \leq 23$) et ($9 \leq \text{argile} \leq 23$) (WRB, 2015).

La densité apparente est 1,43 dans l'horizon (A1), 1,37 dans l'horizon (A2) et 1,26 dans l'horizon (C). La porosité est comprise entre 44,90% et 50,93%.

La perméabilité hydraulique est modérément faible, de l'ordre de $2,94 \text{ E}^{-4}$ pour l'horizon (A1), $5,02 \text{ E}^{-4}$ modérée pour l'horizon (A2) et $2,54 \text{ E}^{-3}$ modérément fort pour l'horizon (C). L'humidité est égale à 12,73, 13,3 et 20,04% respectivement (A1, A2 et C).

Le sol est modérément calcaireux dans les horizons (A1 et C) et fortement calcaireux dans l'horizon (A2) ($13,22\% \leq \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 25,04$) (Baize, 1988), et très pauvre en matière organique et carbone organique ($1\% \leq \text{M.O.}$)

Le sol est alcalin ($8,2 \leq \text{pH} \leq 8,4$) (Mathieu et al, 2009), très salé en surface et peu salé en sub-surface et en profondeur, la conductivité électrique est de l'ordre 2,24 dS/m, 1,76 dS/m et 1,87 dS/m, respectivement.

Les analyses du coefficient de corrélation sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 7. Coefficient de corrélation entre les paramètres de l'horizon de surface (A1).

Variables	CE	pH	C.O	M.O	CaCo ₃	Ks	p	D	H	SAND	SILT	CLAY
CE	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-0,262	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.O	0,183	0,257	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M.O	0,183	0,257	1,000	1	-	-	-	-	-	-	-	-
CaCo ₃	0,132	-0,107	0,341	0,341	1	-	-	-	-	-	-	-
Ks	-0,068	0,112	-0,106	-0,106	0,359	1	-	-	-	-	-	-
p	0,100	-0,196	-0,206	-0,206	-0,168	0,025	1	-	-	-	-	-
d	-0,097	0,117	0,204	0,204	0,114	0,066	-0,927	1	-	-	-	-
H	0,334	-0,047	-0,123	-0,123	0,198	0,163	0,149	-0,094	1	-	-	-
SAND	0,163	-0,098	-0,258	-0,258	-0,125	0,154	0,087	-0,069	0,358	1	-	-
SILT	0,126	0,252	0,369	0,369	0,220	0,072	-0,036	-0,051	0,348	-0,621	1	-
CLAY	-0,324	-0,113	-0,021	-0,021	-0,048	0,127	-0,076	0,135	0,124	-0,678	0,155	1

Tableau 08. Coefficient de corrélation entre les paramètres de l'horizon de surface (A2)

Variables	CE	pH	C.O	M.O	CaCO ₃	Ks	p	d	H	SAND	SILT	CLAY
CE	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-0,283	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.O	-0,061	-0,043	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO	-0,061	-0,043	1,000	1	-	-	-	-	-	-	-	-
CaCO ₃	-0,115	0,004	0,086	0,086	1	-	-	-	-	-	-	-
Ks	-0,055	0,046	0,272	0,272	-0,226	1	-	-	-	-	-	-
p	0,287	0,527	-0,381	-0,381	-0,098	-0,127	1	-	-	-	-	-
d	-0,246	-0,478	0,230	0,230	0,002	0,012	-0,863	1	-	-	-	-
H	-0,077	-0,089	0,064	0,064	0,062	0,060	-0,256	0,305	1	-	-	-
SAND	-0,213	0,224	0,172	0,172	0,070	0,135	-0,121	0,230	0,345	1	-	-
SILT	0,299	-0,441	-0,476	-0,476	0,014	-0,111	-0,021	0,084	-0,109	-0,520	1	-
CLAY	-0,090	0,225	0,313	0,313	-0,086	-0,024	0,144	-0,319	-0,239	-0,485	-0,496	1

Tableau 9. Coefficient de corrélation entre les paramètres de l'horizon de surface (C)

Variables	CE	PH	C.O	MO	CACO	KE-3 cm/s	p	d	h	SAND	SILT	CLAY
CE	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PH	-0,078	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.O	-0,344	-0,039	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO	-0,344	-0,039	1,000	1	-	-	-	-	-	-	-	-
CACO	0,163	-0,031	0,071	0,071	1	-	-	-	-	-	-	-
KE-3 cm/s	0,315	0,125	-0,258	0,258	-0,027	1	-	-	-	-	-	-
p	-0,220	0,162	0,138	0,138	-0,219	-0,383	1	-	-	-	-	-
d	0,220	-0,162	-0,138	0,138	0,219	0,383	1,000	1	-	-	-	-
h	-0,156	-0,048	0,023	0,023	0,212	-0,069	0,300	-0,300	1	-	-	-
SAND	0,037	0,286	0,048	0,048	0,090	-0,148	0,211	-0,211	0,177	1	-	-
SILT	0,276	-0,284	-0,003	0,003	0,208	-0,083	0,081	-0,081	0,074	-0,263	1	-
CLAY	-0,272	0,059	-0,012	0,012	-0,262	0,184	0,224	0,224	0,212	-0,471	0,725	1

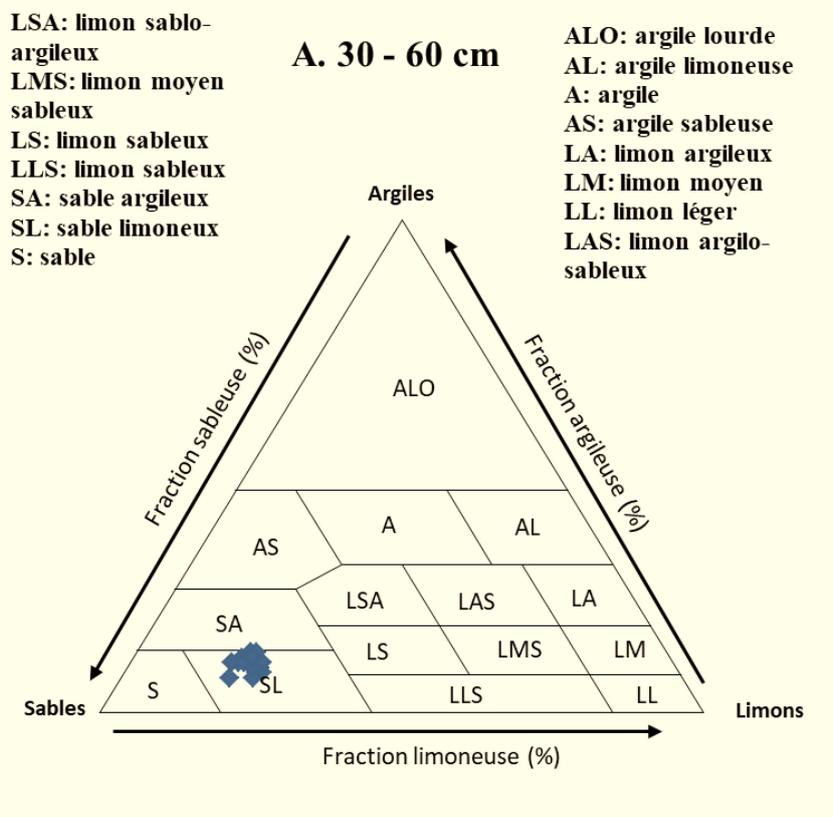
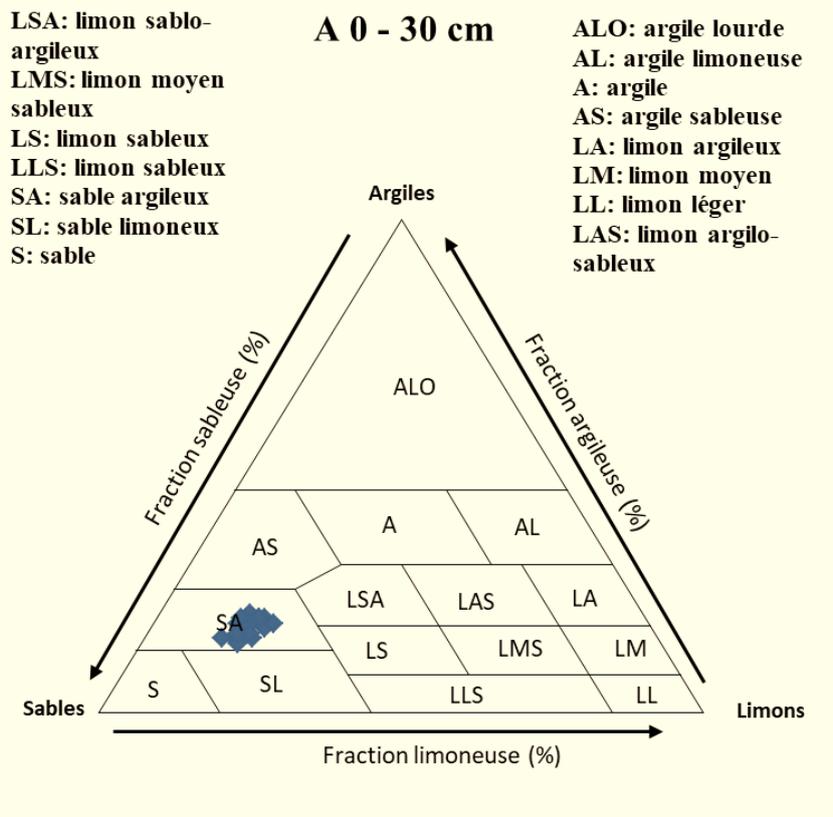
IV.3.2. Parcelle témoin

Les résultats des analyses physique et chimique sont présentés sous forme des moyennes (Tableau. 10).

Tableau 10. Résultats des analyses du sol de la parcelle témoin.

Profondeur		0-30	30-60	> 60
Horizons		A1	A2	C
Granulométrie (%)	Sable	67	70	76
	Limon	16	15	15
	Argile	17	15	6
Texture		sableux argileux	sableux limoneux	sableux limoneux
CaCO ₃ total (%)		20,32	22,33	31,08
pH 1/5		8,7	8,5	8,4
EC. à 25 °C (ds/m)		0,93	0,86	1,34
Carbone organique		0,003	0	0
M.O (%)		0,01	0	0
Densité apparente		1,36	1,33	1,24
Porosité (%)		46,95	48,23	51,62
Humidité (%)		3,14	4,88	8,03
Perméabilité (cm/s)		1,14 ^{E-3}	1,79 ^{E-3}	3,20 ^{E-3}

Le triangle textural des trois couches de sol de la parcelle non irriguée est illustré dans la (Fig.17).



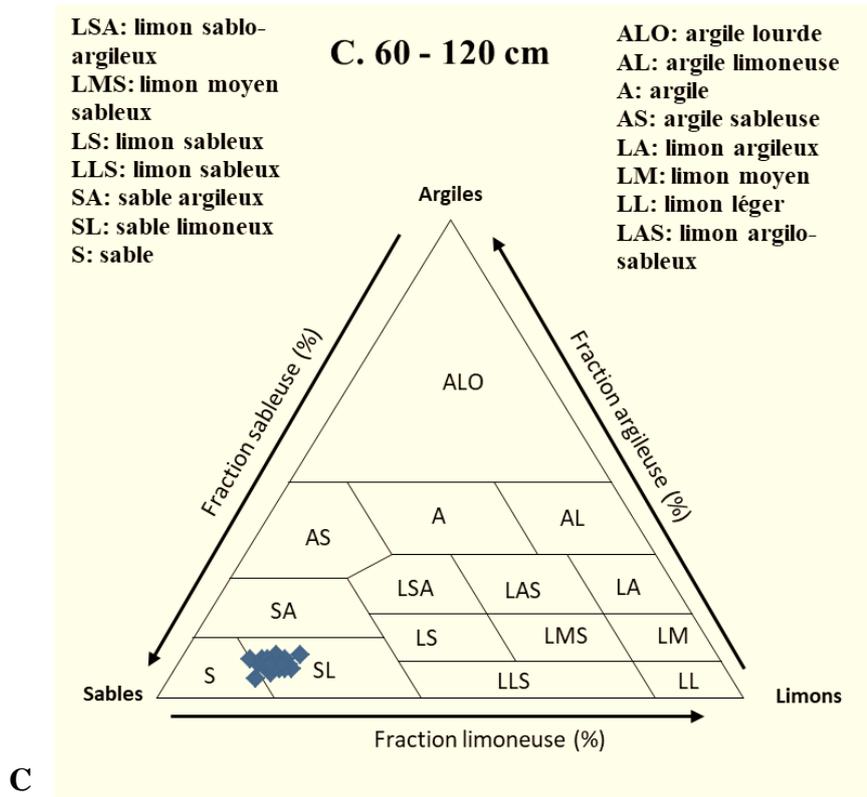


Figure 18 : Triangle texturale des trois couches du sol de la parcelle non irriguée (témoin): (A) 0-30cm, (B) 30-60cm et (C) 60-120 cm

Selon la base de référence mondiale pour la ressource en sol (WRB, 2015), la plupart des sols de la parcelle non irriguée ont une texture sableuse argileuse, pour l'horizon de surface (0-30 cm) et sableuse limoneuse pour les deux autres horizons (30-60 cm) et (60-120 cm). Le sol étudié présente une teneur moyenne en sable de ($67 \leq \text{sable} \leq 76$), limon ($15 \leq \text{limon} \leq 16$) et d'argile ($6 \leq \text{argile} \leq 17$).

La densité apparente réduite selon la profondeur 1,36 dans l'horizon (0-30 cm), 1,33 dans l'horizon (30-60 cm) et 1,24 dans l'horizon (60-120 cm). La moyenne de porosité totale varie entre 46,95% et 51,62%.

La perméabilité hydraulique est modérément forte avec une moyenne varie entre ($3,20 \times 10^{-3} \leq K_s \leq 1,14 \text{ E-}$). L'humidité est égale à 3,14, 4,88 et 8,03% respectivement (0-30 cm, 30-60 cm et 60-120 cm).

Le sol est modérément calcaireux pour les deux premiers horizons (0-30 cm et 30-60 cm) et fortement calcaireux dans l'horizon profond (60-120 cm). Avec une teneur moyenne ($20,32\% \leq \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 31,08$) (Baize, 1988), et absence de la matière organique et carbone organique ($\text{M.O.} \leq 0 \%$).

Le sol est alcalin ($8,4 \leq \text{pH} \leq 8,7$) (Mathieu et *al*, 2009), peu salé sur tous les horizons, la conductivité électrique est de l'ordre 0,93 dS/m, 1,86 dS/m et 1,34 dS/m, respectivement (0-30 cm, 30-60 cm et 60-120 cm).

- **Conclusion**

D'après les analyses de corrélation qui ont montré l'absence d'une forte relation linéaire entre les paramètres étudiés de la parcelle irriguée, signifie qu'il y a d'autres facteurs qui interviennent dans la distribution de ces paramètres. D'une façon globale, les caractéristiques des sols étudiés présentent des variations entre les deux parcelles et entre les horizons d'un même sol, ces observations faites sur les parcelles expérimentales nous donnent une idée sur l'évolution du même type de sol dans le temps, après des années de culture et d'une autre part pour préciser certains mécanismes de l'action d'une culture intensive sur la stabilité des sols.



***Chapitre V. Variation des
propriétés des sols dans la
profondeur***



Chapitre V : Variation des propriétés des sols dans la profondeur

V.1. Texture du sol :

L'analyse granulométrique montre que les horizons sont texturalement homogènes, à l'exception du premier horizon, où le sol est beaucoup plus argileux (Fig. 18).

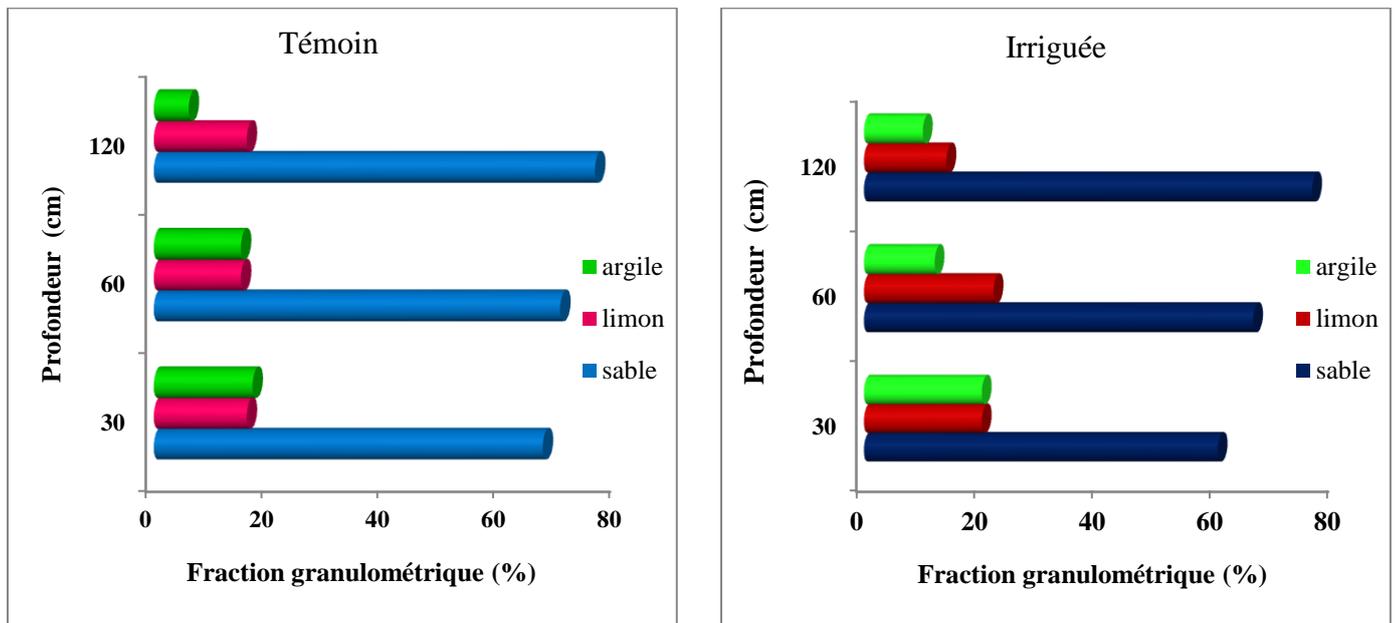


Figure 19 : Distribution de la fraction granulométrique dans la parcelle irriguée et témoin.

La texture des sols montre une nette prédominance de la fraction sableuse sur les limons et l'argile dans les parcelles irriguées et la parcelle témoins. Cette texture influence certainement certaines propriétés physiques (perméabilité hydraulique, rétention d'eau, etc.) de ces sols.

D'après la figure 19, le profil sableux est caractérisé par un maximum en profondeur pour les parcelles irriguées et témoins, tandis que le profil limoneux est caractérisé par un maximum en surface dans la parcelle irriguée et une répartition équilibrée dans les différents horizons du profil témoin. Le profil des argiles est caractérisé par un maximum dans l'horizon superficiel pour les deux parcelles.

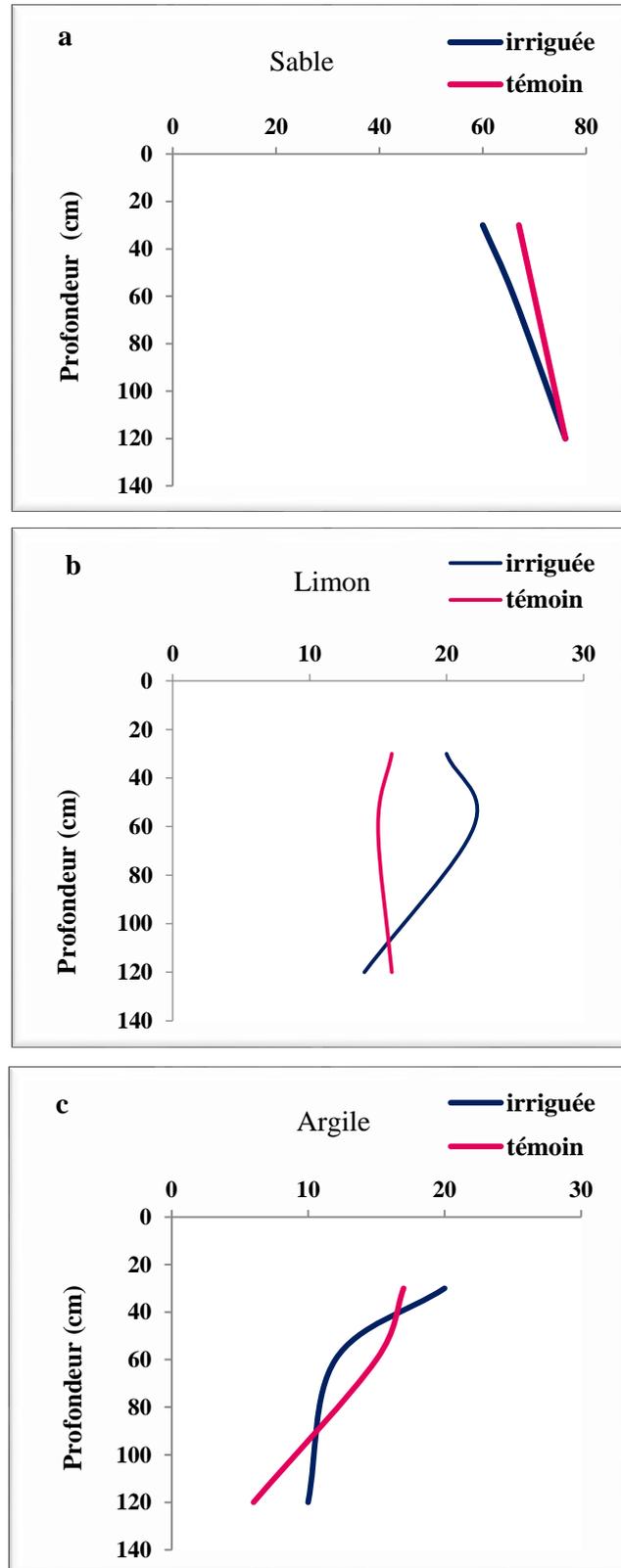


Figure 20 : Profil (a) Sable, (b) Limon et (c) Argile

Salon les résultats présenté dans la figure (19) ; le profil argileux du profil témoin est ascendant et légèrement convexe alors que celui des parcelles cultivées est ascendant concave. Par contre, le profil de limon de la parcelle irriguée est convexe avec une légère accumulation dans l'horizon de sub-surface, et pour le profil de sable, il n'y avait pas beaucoup de variation.

D'une part, les taux d'argiles sont un peu élevés dans l'horizon de surface des deux parcelles. D'une autre part, le taux d'argile avait une légère accumulation dans la partie superficielle et profonde du profil de la parcelle irriguée, avec une diminution dans la partie sub-surface, comparons les avec le profil témoin.

- Synthèse et discussion

Les résultats obtenus montrent que les fractions les plus variables pour l'ensemble des profils des parcelles étudiées sont la fraction argileuse et la fraction de limon. La distribution dans le profil de ces deux fractions dans les sols témoins est singulièrement différente de celle des parcelles irriguées. En effet, les résultats ont révélé une légère tendance à l'augmentation des taux d'argile des couches de surface accompagnée d'une légère augmentation dans l'horizon profond, avec une diminution, dans la partie sub-surface, des parcelles irriguées par rapport au témoin. Suite au mouvement des particules les plus fines (argile et limon), on peut expliquer ce phénomène par l'effet de l'irrigation et l'aridité du climat qui affecte la distribution naturelle de la granulométrie. L'augmentation des taux d'argile et de limon dans un horizon et leur diminution dans autre horizon ne peuvent être expliquée que par un enrichissement ou appauvrissement relatif de ce constituant suite au mouvement des particules fines, nous assistons au phénomène de lessivage des particules les plus fines en bas des profils cas d'accumulation en profondeur, et au phénomène inverse (remontée capillaire) cas d'accumulation en surface (Lesturgez, 2005). Nous pouvons donc déduire que l'intensification agricole traduit par une intensité de l'irrigation dans les régions arides, le cas de notre zone peut perturber la distribution naturelle de la fraction granulométrique des sols cultivés.

V.2. Densité apparente :

Au vu la figure au-dessous (Fig.20), l'analyse faite apparaît la ressemblance du profil de la parcelle irriguée avec le témoin, un profil ascendant la densité apparente diminué en fonction de la profondeur, avec un maximum en surface. Ce résultat signifie qu'après des années de mise en culture, il n'y a pratiquement pas de modification notable de la densité apparente dans les différentes couches du sol.

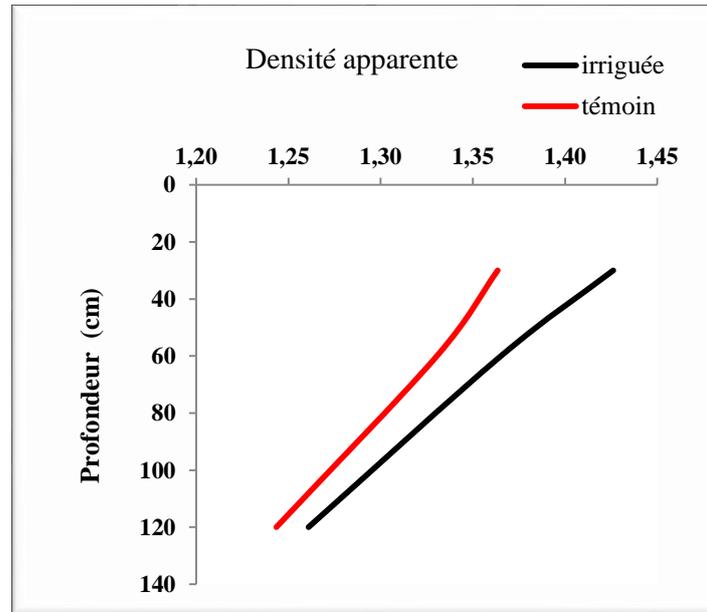


Figure 21 : Profil de densité apparente.

- Synthèse et discussion

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la densité apparente des couches de surface sont plus élevées que celles des couches de sub-surface et profonde. Dans ce sens, nous avons montré auparavant que les profils texturaux des deux parcelles se caractérisent par une légère accumulation des particules fines dans les couches de surface. Ainsi, sous l'irrigation, le sol se compacte sous son propre poids par la destruction des agrégats et mélanger les petites particules aux grosses particules qui fait réduire l'espace porale entre les unités élémentaires de la structure et augmenter ainsi la densité apparente comme montré par (Crescimanno et *al.*, 2007).

La densité apparente est souvent plus faible là où le sol n'est pas travaillé et là où la structure n'est pas massive, ce qui est d'ailleurs le cas des sols témoins.

V.3. Perméabilité hydraulique (Ks) :

La distribution verticale de la vitesse d'infiltration d'eau est illustrée par la figure (21). D'après les résultats, on peut distinguer le comportement du sol vis-à-vis la vitesse de l'infiltration de l'eau. Cette dernière augmente avec la profondeur avec une valeur maximale dans l'horizon profond pour les deux parcelles. Les valeurs de la perméabilité hydraulique de la parcelle irriguée et la parcelle témoin ne sont pas très proches l'une de l'autre dans les deux premiers horizons, contrairement à l'horizon profond où les valeurs sont proches.

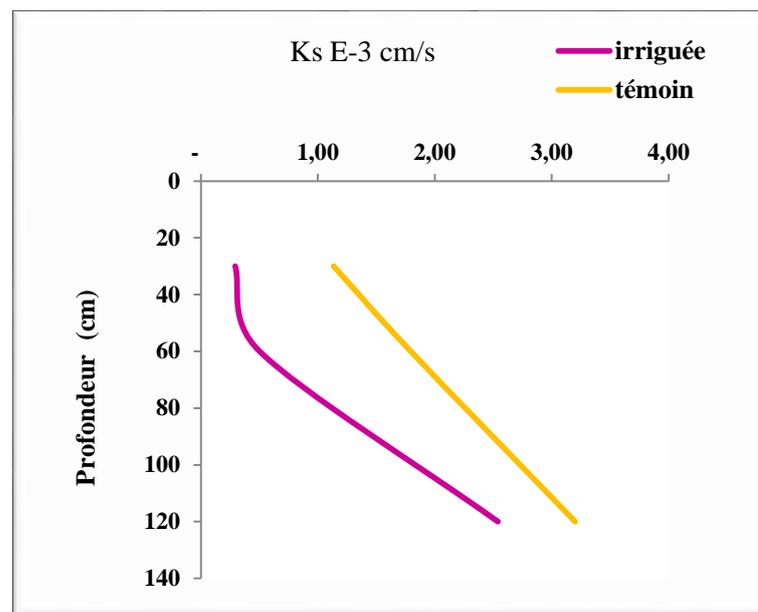


Figure 22 : Profil de la perméabilité hydraulique (Ks)

- Synthèse et discussion

Les résultats obtenus montrent que la perméabilité hydraulique varie d'une parcelle à l'autre. Ils ont montré aussi que la perméabilité hydraulique de l'horizon profond de la parcelle irriguée n'a pas beaucoup varié par rapport à celle du sol témoin. La diminution de la perméabilité hydraulique est cependant remarquable au niveau de l'horizon de surface. Tenant compte de l'évolution des propriétés physiques de ces sols, en particulier dans les couches de surface (compaction, densité apparente et relative, accumulation des argiles), nous pouvons avancer que la modification de la perméabilité hydraulique est compréhensible et logique et qu'elle concorde avec les résultats de (Hongtao et *al.*, 2010). De ce fait, nous pouvons affirmer qu'une mise en culture irriguée prolongée en milieu saharien aurait eu un effet sur la vitesse d'infiltration de l'eau en diminuant la perméabilité hydraulique.

V.4. Porosité :

L'évolution de la porosité en fonction de la profondeur présente dans la figure (22). L'analyse de cette (Fig. 22) fait apparaître la ressemblance du profil de la parcelle irriguée avec le témoin, une augmentation de l'espace poreux en fonction de la profondeur, avec une valeur maximale de la porosité du sol enregistrée en profondeur.

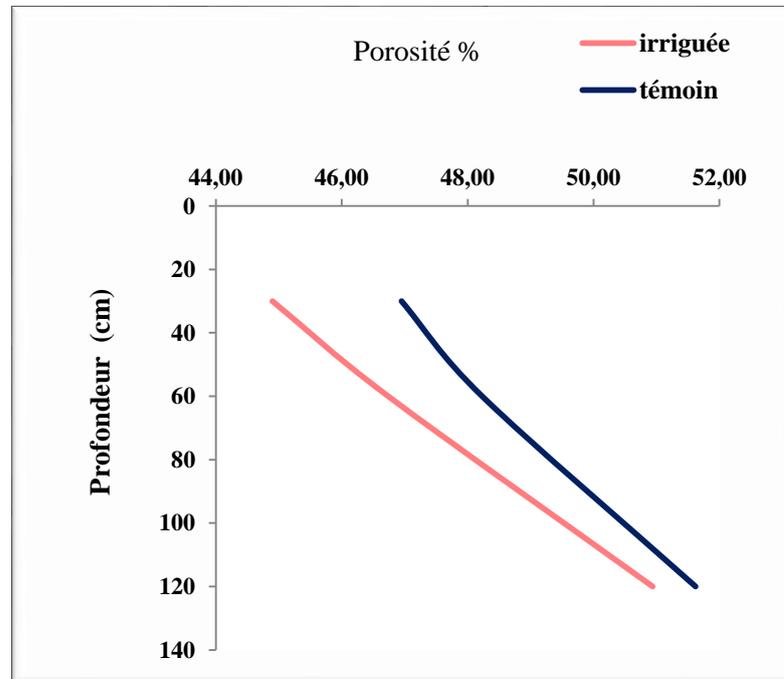


Figure 23 : Profil de la porosité totale

- Synthèse et discussion

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la porosité des couches de surface sont plus faibles que celles des couches de sub-surface et profonde. Dans ce sens, nous avons montré auparavant dans les profils texturaux (sable, argile) des deux parcelles qui se caractérisent par une accumulation des particules fines (argile) dans les couches de surface, et par un taux plus élevé des particules grossier (sable) dans la couche profonde. Et avec le profil densité apparente qui se caractérisent par une densité élevée en surface, signifie donc diminution de l'espace poreux entre les unités élémentaires de la structure, contrairement dans l'horizon profond où la densité est faible suivie par une augmentation de l'espace poreux (Crescimanno et *al.*, 2007).

V.5. Humidité volumique :

La distribution verticale de la porosité est illustrée par la figure (23). L'analyse de cette (Fig.23) fait apparaître la ressemblance du profil de la parcelle irriguée avec le témoin, un profil descendant, l'humidité diminué en fonction de la profondeur, avec un maximum en profondeur. Les valeurs de l'humidité de la parcelle irriguée et la parcelle témoin ne sont pas très proches l'une de l'autre dans tous les horizons.

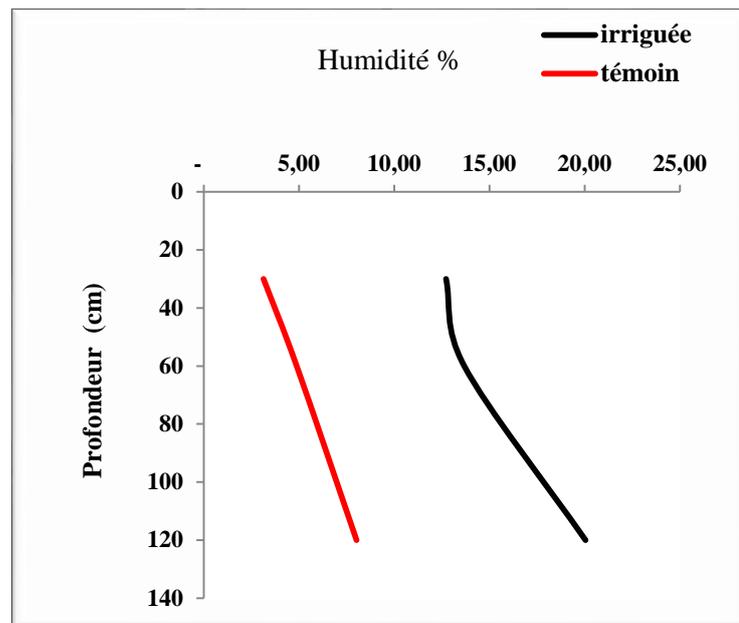


Figure 24 : Profil de l'humidité

- Synthèse et discussion

Les résultats sur l'évolution de l'humidité en fonction de la profondeur ont montré à travers des profils hydriques des variations différentes de la surface à la profondeur du sol. Les valeurs de l'humidité des couches profondes sont plus humides que celles de surface dans les deux parcelles. Ces résultats peuvent être expliqués par l'effet de climat aride et par le régime hydrique qui présente une nappe superficielle à faible profondeur, de la zone d'étude, sur l'humidité' du sol en surface qui est contrôlée par les processus d'évaporation pendant le jour et humidification par remontée capillaire. La différence de taux de l'humidité dans la parcelle irriguée une fois plus de celui de la parcelle témoin dans les trois horizons est due à l'irrigation.

V.6. Calcaire total :

L'évolution de calcaire total en fonction de la profondeur présente dans la figure (24). La (Fig. 24) montre que les profils calcaire total de la parcelle cultivée est analogues de type convexe. Ce résultat signifie qu'il y a eu une légère accumulation des carbonates dans les horizons médians. Par contre, le sol témoin présente un profil descendant avec une accumulation en profondeur.

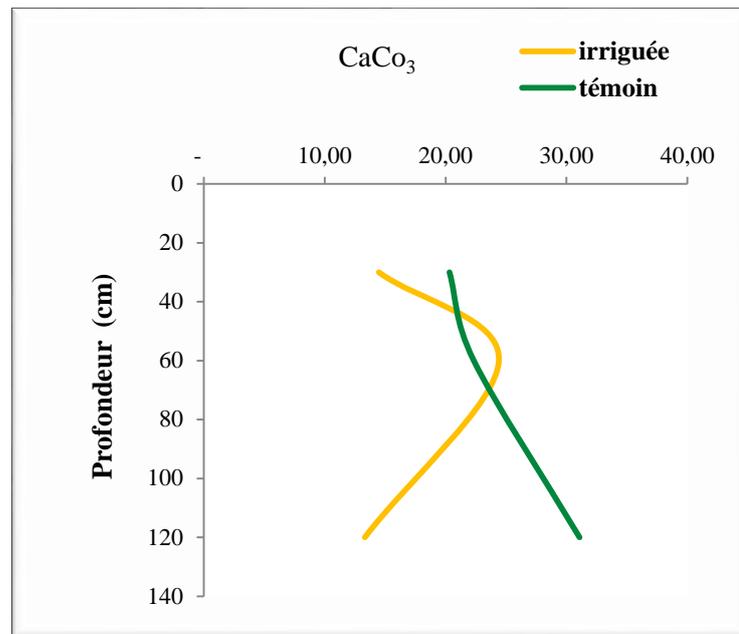


Figure 25 : Profil de Calcaire total

- Synthèse et discussion

Dans les parcelles irriguées, une accumulation du carbonate est enregistré à l'horizon (A2) dans la couche sous arable, ce qui montre l'impact de l'intensification agricole (irrigation) sur la répartition du calcaire dans le sol sachant, que l'irrigation est un facteur de contamination non négligeable (Baize, 2000). Cependant, le calcaire est soluble, et dans de nombreuses situations, il y a un enchaînement de phénomènes de dissolution et de précipitation du carbonate et de calcium, dans un premier stade, le calcaire est dissous, favorisant ainsi la mobilisation. La phase dessiccation (après irrigation) privilégie la précipitation puis la consolidation, c'est donc la forte évapotranspiration qui intervient dans cette deuxième phase (Duchaufour, 2001).

V.7. Conductivité électrique :

L'évolution de la variation de la conductivité électrique en fonction de la profondeur présentée dans la figure (25). Les profils salins des parcelles cultivées sont analogues de type concave. Ce résultat signifie qu'il y a eu une accumulation saline dans les horizons de surface. Par contre, le sol témoin présente un profil descendant.

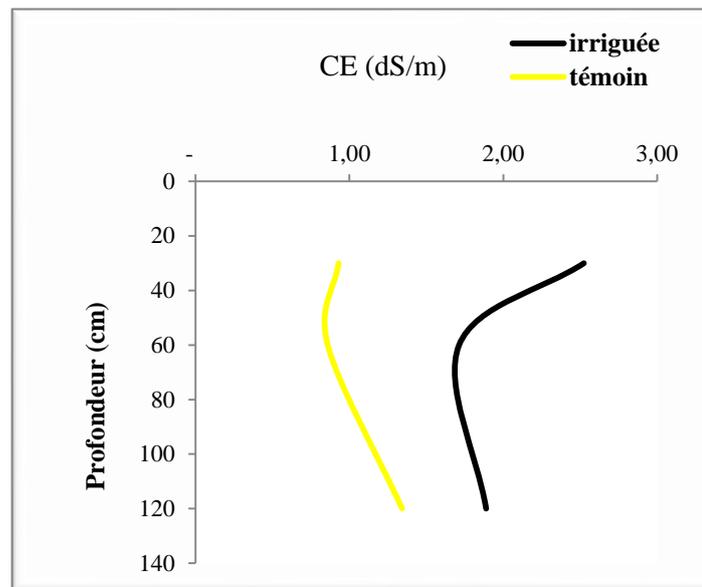


Figure 26. Profil de la conductivité électrique

- Synthèse et discussion

Nous avons enregistré une accumulation de la salinité de l'horizon superficiel causée par l'effet de l'irrigation et de l'évaporation élevée (milieu aride). Les régions arides sont généralement caractérisées par l'irrégularité de la pluviométrie, ce qui ne favorise pas la dilution. Les fortes températures provoquent une forte évapotranspiration, qui conduit à une augmentation de la salinité, surtout dans l'horizon de surface (Rouabhia, 2010 ; Benbrahim, 2018). Expliqué aussi par l'effet de l'irrigation avec une eau appartenant à la classe C3, caractérisée par une forte salinité (Benbrahim, 2006). La formation d'un sol salin résulte majoritairement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (Churchman *et al.*, 1993 ; Naidu et Rengasamy, 1993 ; Sumner, 1993 ; Brady et Weil, 2002 ; Essington, 2004 et Benbrahim, 2006). La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride (Benbrahim, 2006).

V.8. Potentiel hydrogène (pH) :

L'évolution de la variation de pH en fonction de la profondeur présente dans la figure (26) montre que le profil pH de la parcelle cultivée est de type concave, ce résultat signifie qu'il y a eu une accumulation de pH dans l'horizon profond. Par contre, le sol témoin présente un profil ascendant le taux de pH et élève en surface.

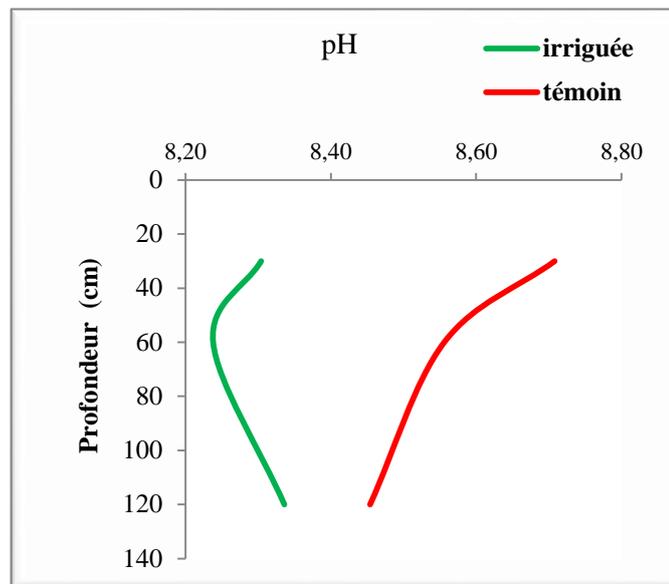


Figure 27. Profil de pH

- Synthèse et discussion

Nous avons enregistré une légère augmentation du pH de l'horizon profond, révèle l'apport des sels alcalinisant provenant de l'horizon de surface suite à l'irrigation et confirme, cependant, la diminution du pH de l'horizon de surface (Duchaffour, 1984 ; Gobat et *al.*, 2003). La diminution de la valeur de pH, on la compare avec la valeur de témoin justifiée par la présence du calcaire total dans le sol témoin. Les valeurs élevées du pH sont due à la présence du calcaire sachant que dans un milieu carbonaté, le pH de la solution du sol peut atteindre localement des valeurs élevées de l'ordre de 9 - 10 unités (Jaillard, 2010)

V.9. Matière organique et carbone organique :

L'évolution de la matière organique et le carbone organique en fonction de la profondeur présentée dans la figure (27 et 28).

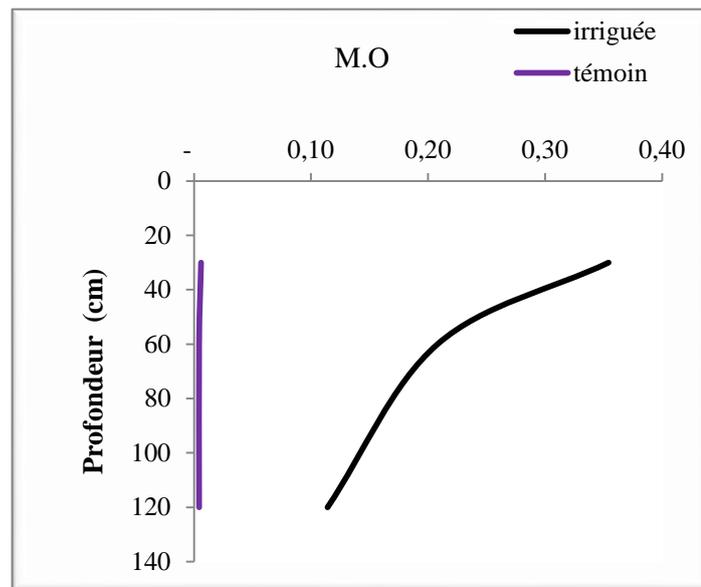


Figure 28. Profil de la matière organique

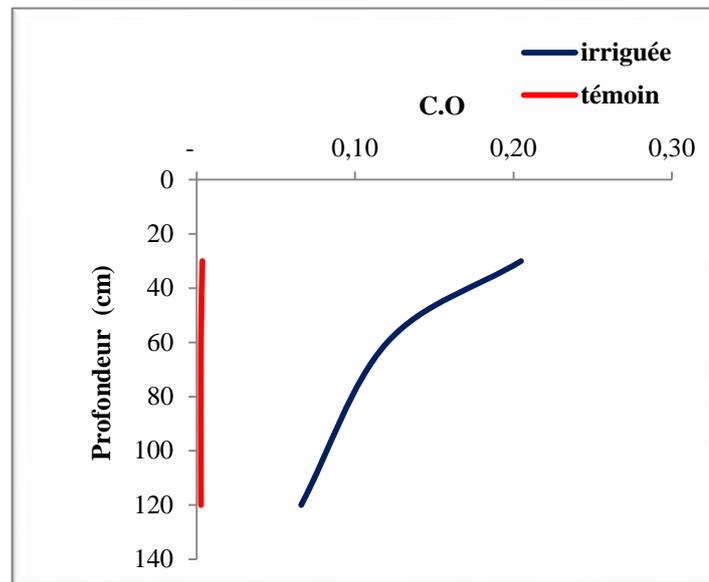


Figure 29. Profil de carbone organique

Le profil M.O et C.O de la parcelle cultivé est de type ascendant, (Fig. 27 et 28) ce résultat signifie qu'il y a eu une accumulation de M.O et C.O dans l'horizon de surface. Par contre, le sol témoin présente un profil équilibré.

- Synthèse et discussion

La matière organique est très faible, son origine est liée à la pratique agricole dont le but est d'améliorer la qualité du sol par l'apport de substances organiques, sans omettre celle qui provient de la fermentation des déchets de palmiers.

- Conclusion :

La mise en culture en irrigué pendant une longue période 60 ans a provoqué une modification notable des profils texturaux des sols qui s'est traduite par une relative accumulation des argiles dans les couches de surface des sols et une augmentation des taux de limon en subsurface. Ce phénomène s'est accompagné par une augmentation de la densité apparente et de la porosité dans les couches de surface à causes probablement de leur texture qui est devenue relativement plus argileuse. Les résultats ont révélé une chute de la perméabilité hydraulique après 60 ans de mise en culture en irrigué. Cette baisse de K_s serait en rapport avec la modification des autres paramètres pédologiques tels que la densité apparente, porosité et la texture des horizons de surface. La durée de la culture irriguée a une influence particulière sur la modification de la salinité des parcelles étudiées avec une nette augmentation de la salinité dans les couches superficielles du sol cultivé, probablement due à l'effet combiné de l'eau d'irrigation et de l'évapotranspiration élevée. La mise en culture en irrigué pendant 60 ans a provoqué une chute des teneurs en carbonate de calcium des sols suivi par une diminution de la réaction du sol pH. Une augmentation de taux de la matière organique, résultats de l'amendement organique. Cette étude a montré donc que la mise en culture en irrigué des sols sableux sahariens peut provoquer à terme une modification de leurs propriétés et caractéristiques pédologiques.



*Chapitre VI. Evolution des
paramètres étudiés*



Chapitre VI. Évolution des paramètres étudiés

Le taux de variation annuelle de chaque propriété du sol sous irrigation peut être un indicateur de variation de la qualité des sols après une mise en culture intensive (Kughur P G et *al.*, 2015).

Le taux de variation annuelle de chaque propriété du sol (q_i) dont la forme générale est la suivante (Badraoui et *al.*, 1998):

$$\text{TVA-}q_i = (q_{i2} - q_{i1}) / (t_2 - t_1)$$

Avec:

q_{i1} : la valeur moyenne de la propriété q_i au début de l'irrigation.

q_{i2} : la valeur moyenne de la propriété q_i après un certain nombre d'années ($t_2 - t_1$) d'irrigation.

L'évolution des paramètres étudiés porte sur les deux premiers horizons A1 et A2, car le sol des parcelles irriguées a subi une modification dans l'horizon (A) de 0 à 30 cm de profondeur, donnant lieu à la formation d'une couche arable (A1), ce qui est justifié par l'effet des années de culture et des pratiques agricoles utilisées par les agriculteurs.

VI.1. Évolution de la densité apparente :

VI.1.1. Évolution de la densité apparente de l'horizon de surface

Les résultats d'analyses de la densité apparente de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 11).

Tableau 11. Résultats d'analyses de la densité apparente de l'horizon de surface

Densité apparente g/cm^3	Irriguée	témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	1,43	1,36
Maximum	1,56	1,40
Minimum	1,27	1,32
Écart-type	0,08	0,02
Coefficient de variation %	5,57	-
TVA /an	-	0,00104 \pm 0,001

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, la densité apparente varie de 1,32 à 1,40 g/cm^3 avec une moyenne de $1,36 \pm 0,02$.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la densité apparente varie de 1,27 à 1,56 g/cm^3 avec une moyenne de $1,43 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$ (alcalin).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation de la densité apparente dans l'espace est faible avec $CV = 5,57\%$.

L'analyse du taux de variation annuelle de la densité apparente dans l'horizon superficiel après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de l'ordre de $0,00104 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3 / \text{an}$.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig. 29) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

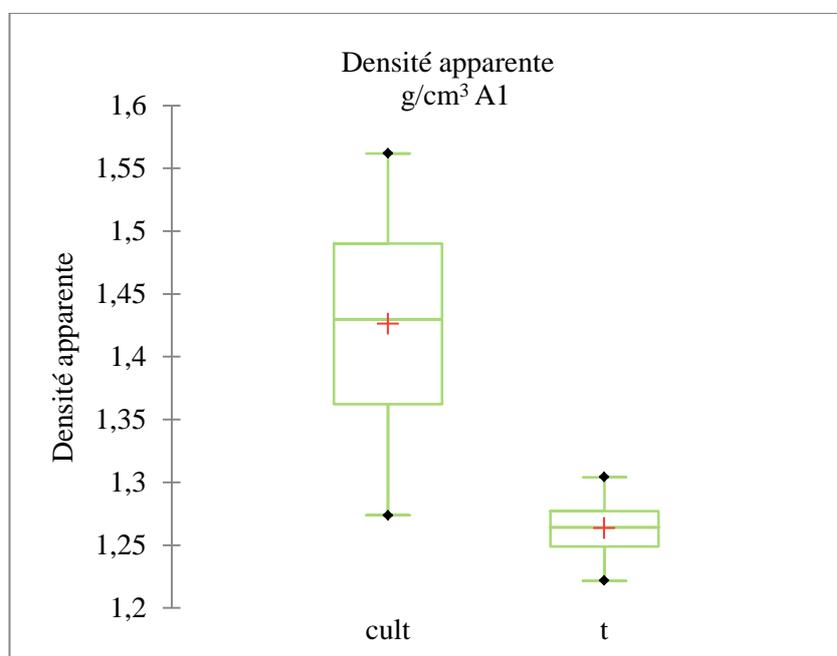


Figure 30 : Boîte à moustaches de la variation de la densité apparente du Sol de l'horizon de surface

VI.1.1.1 Discussion

Dans les parcelles étudiées, nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la densité apparente d'horizon de surface avec un TVA de $0,00104 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3 / \text{an}$. Cela est dû principalement à l'action de travail continu du sol qui influence d'une manière directe la structure.

La densité apparente est souvent plus faible là où le sol n'est pas travaillé et là où la structure n'est pas massive, ce qui est d'ailleurs le cas du sol témoin. Le travail du sol a peut-être la

plus grande influence sur le comportement physique du sol, puisqu'il influence la structure directement, la préparation du sol provoque des changements structurels qui affectent la densité apparente, (USDA, NRCS, 2012).

La densité apparente est influencée par la quantité de matière organique ; lorsque la matière organique augmente, la densité apparente du sol diminue. (Chaudhari et al., 2013). Ainsi la composition texturale de la parcelle irriguée est caractérisée par une accumulation de particules fines, le mélange de petites particules à de grosses particules fait diminuer le volume pores et augmenter ainsi la densité apparente (Lesturgez, 2005).

Les résultats du coefficient de variation de la densité apparente ont montré que l'âge des parcelles, c'est-à-dire le facteur temps, a peu d'effet sur la variation de la densité dans l'espace, on peut donc dire que les sols des parcelles irriguées ont connu quasiment les mêmes pratiques agricoles et les mêmes facteurs climatiques.

VI.1.2. Évolution de la densité apparente du sol de l'horizon sub-surface

Les résultats d'analyses de la densité apparente de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau.12).

Tableau 12. Résultats d'analyses de la densité apparente de l'horizon sub-surface

Densité apparente g/cm ³	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	1,37	1,33
Maximum	1,51	1,37
Minimum	1,24	1,29
Écart-type	0,07	0,02
Coefficient de variation %	5,27	-
TVA dS/m/an	-	0,00058±0,001

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, la densité apparente varie de 1,29 à 1,37 g/cm³ avec une moyenne de 1,33±0,02 g/cm³.

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la densité apparente varie de 1,24 à 1,51 g/cm³, avec une moyenne de 1,37±0,07 g/cm³.

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la variation de la densité apparente dans l'espace est faible avec CV = 5,27%.

L'analyse du taux de variation annuelle de la densité apparente dans l'horizon sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de la densité apparente de l'ordre de $0,00058 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3/\text{an}$.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig. 30) est très hautement significative $P < 0,0001 \text{ T.H.S.}$

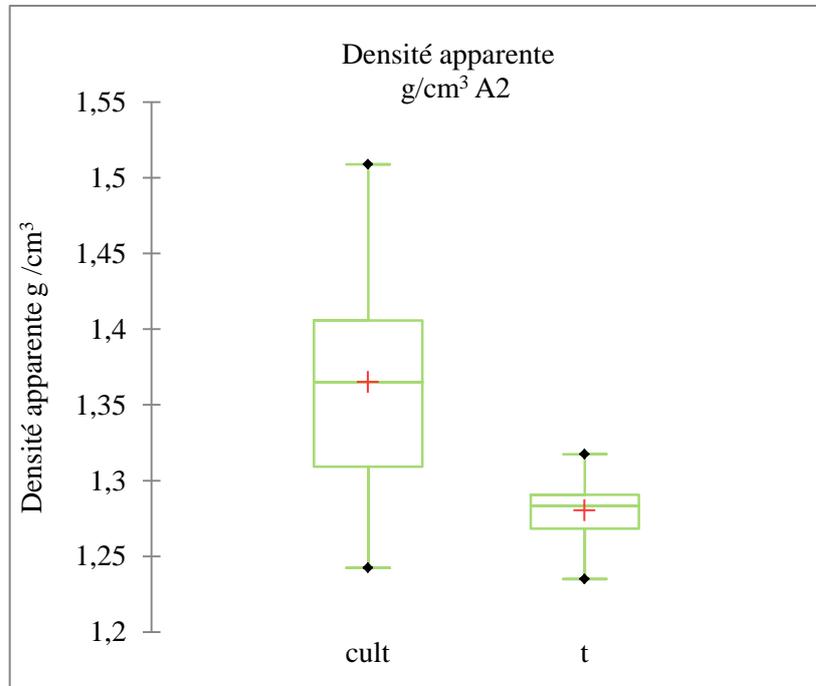


Figure 31 : Boîte à moustaches de la variation de la densité apparente du Sol de l'horizon sub-surface

VI.1.2.1. Discussion

L'étude de l'évolution de la densité apparente du sol dans les parcelles étudiées par l'analyse du taux de variation annuelle, a révélé une augmentation très hautement significative dans l'horizon de sub-surface surface avec un TVA de $0,00058 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3/\text{an}$. Cette augmentation est due à l'effet de l'utilisation de ces sols pendant une période plus ou moins longue avec une irrigation continue, et d'autre part à l'effet de la présence de matière organique, car le sol se compacte par son propre poids, ce qui fait disparaître l'espace poreux entre les unités élémentaires de la structure, et une plus faible quantité de matière organique ajoute plus de compaction (Dey et al., 2019).

Les résultats du coefficient de variation de la densité ont montré que le facteur temps n'a aucun effet sur la variation de la densité dans l'espace.

VI.2. Évolution de la porosité du sol :

VI.2.1. Évolution de la porosité de l'horizon de surface

Les résultats d'analyses de la porosité de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 13).

Tableau 13. Résultats d'analyses de la porosité de l'horizon superficiel

Porosité %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	44,90	46,95
Maximum	52,82	48,57
Minimum	40,99	45,37
Écart-type	3,28	0,77
Coefficient de variation %	7,30	-
TVA dS/m/an	-	-0,0341±0,06

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, la porosité varie de 45,37 à 48,57 % avec une moyenne de $46,95 \pm 3,28$ % (Sol peu salé).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la porosité varie de 40,99 à 52,82 %, avec une moyenne de $46,90 \pm 3,28$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation, la porosité dans l'espace est faible avec $CV = 7,307\%$.

L'analyse du taux de variation annuelle de la porosité dans l'horizon superficiel des parcelles étudiées après 60 ans d'irrigation, montre une diminution de la porosité de l'ordre - $0,024 \pm 0,05$ %/an.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig. 31) est hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

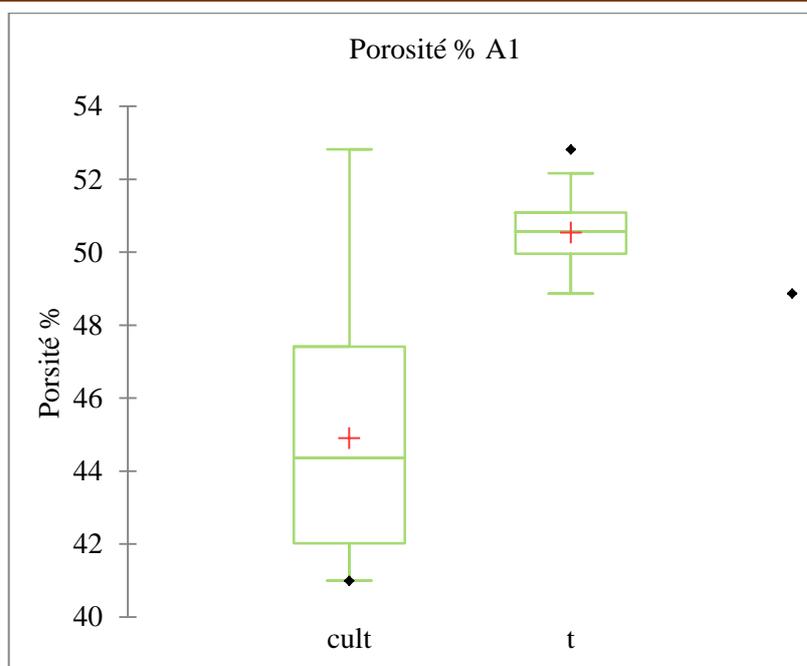


Figure 32 : Boîte à moustaches de la variation de la porosité du Sol de l'horizon de surface

VI.2.1.1 Discussion

Dans les parcelles étudiées, nous avons enregistré une diminution très hautement significative de la porosité de l'horizon superficiel avec un TVA de $-0,024 \pm 0,05$ %/an.

La porosité suit un comportement inverse à celui de la densité apparente (Chaudhari et *al.*, 2013), par conséquent le travail du sol a peut-être la plus grande influence sur le comportement physique du sol, puisqu'il influence la structure directement, la préparation du sol provoque des changements structurels qui affectent la porosité, (USDA, NRCS, 2012). La composition texturale de la parcelle irriguée est caractérisée par une accumulation de particules fines, ces dernières diminuant la porosité (Lesturgez, 2005).

L'intensité d'utilisation du sol est un autre facteur important qui, lorsqu'il est combiné à une irrigation, contribue à altérer la qualité structurale du sol. Cela peut conduire à l'apparition de grandes quantités de sol compacté avec une résistance accrue à la pénétration, résistance à la pénétration, en raison d'une densité accrue et des macroporosités plus faible (Tavares Filho et *al.*, 2001 ; Collares et *al.*, 2006). La porosité suit un comportement inverse à celui de la densité apparente.

Les résultats du coefficient de variation de la porosité ont montré que le facteur temps n'a aucun effet sur la variation dans l'espace, justifié par le fait des faibles variations de la densité apparente.

VI.2.2. Évolution de la porosité de l'horizon sub-surface

Les résultats d'analyses de la porosité de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau.14).

Tableau 14. Résultats d'analyses de la porosité de l'horizon sub-surface

Porosité %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	46,62	48,23
Maximum	54,88	50,00
Minimum	40,99	46,79
Écart-type	3,20	0,67
Coefficient de variation %	8,01	-
TVA dS/m/an	-	-0,0287 ±0,05

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, la porosité varie de 46,79 à 50,00 % avec une moyenne de $48,23 \pm 0,67$ %.

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la porosité varie de 40,99 à 54,88 %, avec une moyenne de $46,62 \pm 3,20$ %.

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la variation, la porosité dans l'espace est faible avec $CV = 8,01$ %.

L'analyse du taux de variation annuelle de la porosité dans l'horizon sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une diminution de la salinité de l'ordre $-0,0287 \pm 0,05$ %/an.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig. 32) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

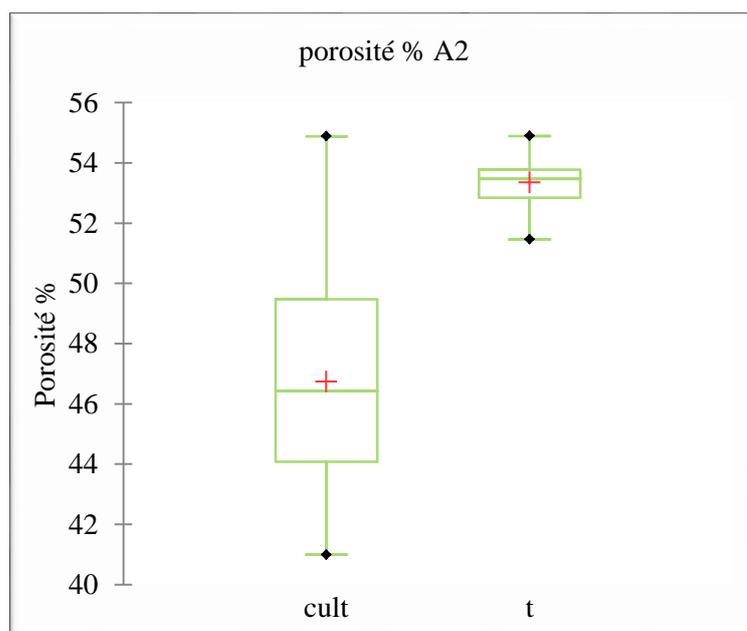


Figure 33 : Boîte à moustaches de la variation de la porosité du Sol de l'horizon sub-surface

VI.2.2.1. Discussion

Nous avons enregistré une diminution très hautement significative de la porosité dans l'horizon sub-surface avec un TVA de $-0,0287 \pm 0,05$ %/an. Cette diminution de la porosité de l'horizon sub-surface est résulté de l'intensité d'utilisation du sol avec une irrigation contribue à altérer la qualité structurelle du sol. Cela peut rendre le sol compacté avec une augmentation de la densité et des macroporosités plus faible (Ivo & Mielniczuk, 1999 ; Tavares Filho et *al.*, 2001 ; Collares et *al.*, 2006). Les résultats du coefficient de variation de la porosité ont montré que le facteur temps n'a aucun effet sur la variation dans l'espace, justifié par le fait des faibles variations de la densité apparente.

VI.3. Evolution de l'humidité du sol :

VI.3.1. Evolution de l'humidité de l'horizon de surface

Les résultats d'analyses de l'humidité de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau.15).

Tableau 15. Résultats d'analyses de l'humidité de l'horizon superficiel

Humidité (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	12,73	3,14
Maximum	17,71	4,20
Minimum	8,66	2,58
Écart-type	2,66	0,47
Coefficient de variation %	20,88	-
TVA dS/m/an	-	0,1597±0,05

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, l'humidité varie de 2,58 à 04,20 % avec une moyenne de $3,14 \pm 0,47$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, l'humidité varie de 8,66 à 17,71 %, avec une moyenne de $12,73 \pm 0,09$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation, la porosité dans l'espace est modérée avec CV = 20,88%.

L'analyse du taux de variation annuelle de l'humidité dans l'horizon de surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de l'humidité de l'ordre $0,1597 \pm 0,05$ %/an.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig 33) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

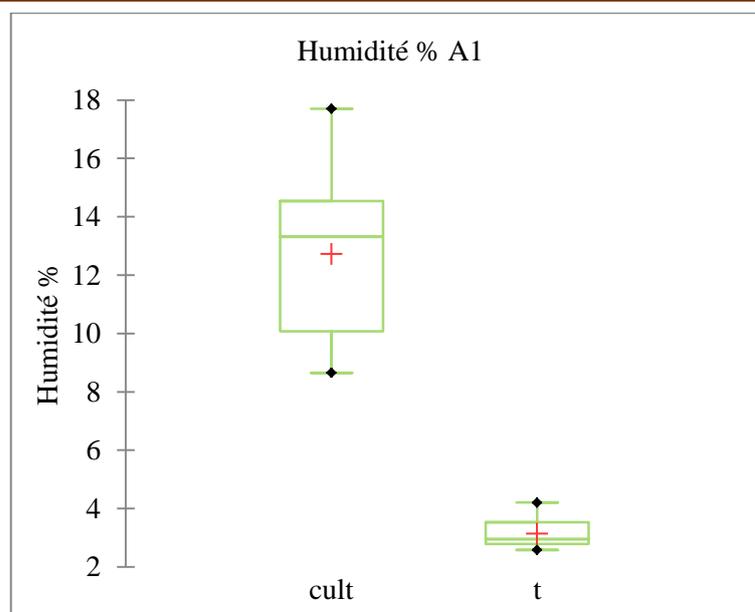


Figure 34 : Boîte à moustaches de la variation de l'humidité Sol de l'horizon de surface

VI.3.1.1. Discussion

Dans les parcelles étudiées, nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de l'humidité de l'horizon superficiel avec un TVA de $0,1597 \pm 0,05$ %/an. Cette augmentation est expliquée par l'irrigation et la quantité de la matière organique qui a un effet positif sur la capacité de rétention d'eau. (Yılmaz et Alagöz, 2008).

Les résultats du coefficient de variation de l'humidité ont montré que l'âge des parcelles, c'est-à-dire le facteur temps, a un effet modéré sur la variation de l'humidité dans l'espace, ce qui est probablement dû à la variabilité de la teneur en argile et en matière organique dans les différents échantillons (Yılmaz et Alagöz, 2008), peut-être aussi aux effets du rayonnement solaire et du vent.

VI.3.2. Evolution de l'humidité de l'horizon de sub-surface

Les résultats d'analyses de l'humidité de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau.16).

Tableau 16. Résultats d'analyses de l'humidité de l'horizon sub-surface

l'humidité (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	13,68	4,88
Maximum	22,14	5,57
Minimum	8,19	3,76
Écart-type	3,73	0,54
Coefficient de variation%	27,25	-
TVA dS/m/an	-	$01466 \pm 0,05$

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, l'humidité varie de 3,76 à 5,57 % avec une moyenne de $4,88 \pm 0,54$ %.

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, l'humidité varie de 8,19 à 22,14 %, avec une moyenne de $13,68 \pm 3,73$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation la porosité dans l'espace est modérée avec $CV = 27,25\%$.

L'analyse du taux de variation annuelle de l'humidité dans l'horizon sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de l'humidité de l'ordre, $0,1466 \pm 0,05$ % /an.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig.34) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

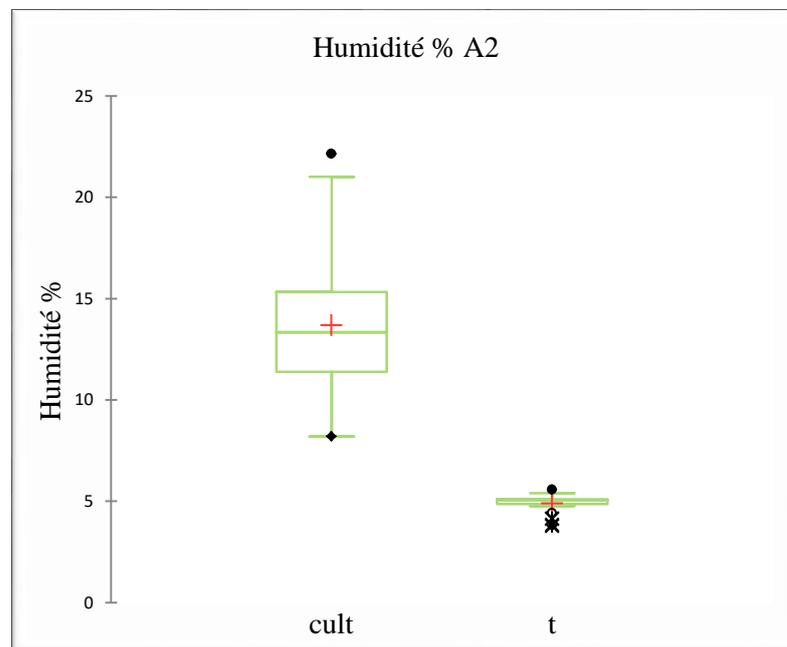


Figure 35 : Boîte à moustaches de la variation de l'humidité du Sol de l'horizon sub-surface.

VI.3.2.1 Discussion

Nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de l'humidité de l'horizon sub-surface avec un TVA de $0,1466 \pm 0,05$ % /an. Cette augmentation est expliquée par l'irrigation et la quantité de la matière organique, qui a un effet positif sur la capacité de rétention d'eau (Yılmaz et Alagöz, 2008).

Les résultats du coefficient de variation de l'humidité ont montré que l'âge des parcelles, c'est-à-dire le facteur temps, à un effet modéré sur la variation de l'humidité dans l'espace, ce qui est probablement dû à la concentration du couvert végétal.

VI.4. Évolution de la conductivité hydraulique :

VI.4.1. Évolution de la conductivité hydraulique de l'horizon superficiel

Les résultats d'analyses de la perméabilité de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 17).

Tableau 17.- Résultats d'analyses de calcaire total de l'horizon de surface

Perméabilité cm/s	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	2,94 E ⁻⁴	1,14 E ⁻³
Maximum	3,36 E ⁻⁴	1,23 E ⁻³
Minimum	2,67 E ⁻⁴	1,04 E ⁻³
Écart-type	0,18 E ⁻⁴	0,05 E ⁻³
Coefficient de variation	6,28	-
TVA dS/m/an	-	-1,4E ⁻⁵ ±9,4E ⁻⁷

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, la perméabilité varie de 1,04 E⁻³ à 1,23 E⁻³ cm/s avec une moyenne de 1,14 E⁻³ ± 0,18 E⁻⁴ cm/s (modérément fort).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la perméabilité varie de 2,67 E⁻⁴ à 3,36 E⁻⁴, avec une moyenne de 14,48±2,15 % (modérément faible) et un coefficient de variation de 2,94 E⁻⁴ ± 0,18 E⁻⁴ cm/s.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation, la perméabilité dans l'espace est faible avec CV = 6,28 %.

L'analyse du taux de variation annuelle montre que la perméabilité a diminué dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée après 60 ans d'irrigation, avec une évolution moyenne annuelle de -1,4 E⁻⁵ ± 9,4 E⁻⁷ cm/s /an.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig 35) est très hautement significative P < 0,0001 T.H.S.

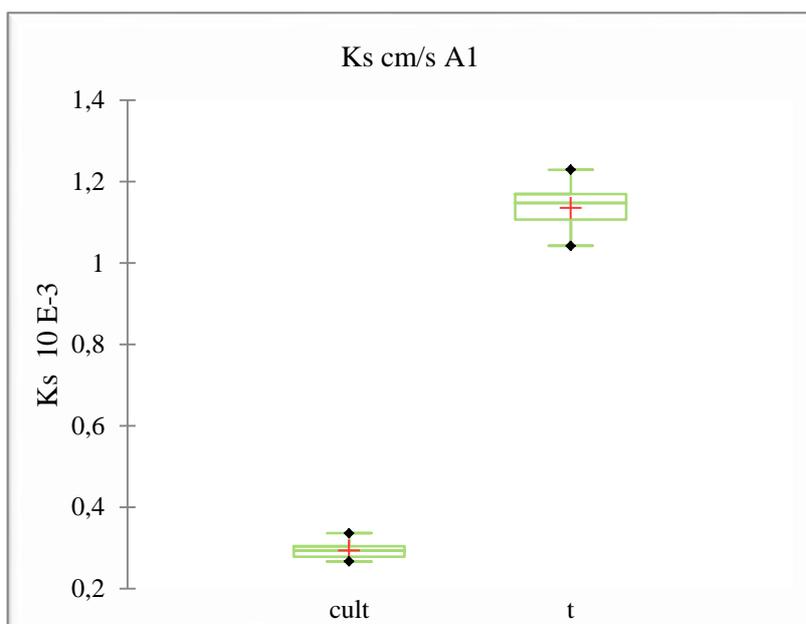


Figure 36 : Boîte à moustaches de la variation de la conductivité hydraulique Sol de l'horizon de surface

VI.4.1.1. Discussion

Dans les parcelles parcelle irriguées, nous avons enregistré une diminution très hautement significative de perméabilité de l'horizon superficiel avec un TVA de $-1,4 E^{-5} \pm 9,4 E^{-7}$ cm/s /an. Cette diminution résulte de l'évolution des propriétés physiques du sol, dans la couche de surface (diminution de la porosité, augmentation de la densité apparente et accumulation relative des argiles) et de la quantité de la matière organique. On peut supposer que le changement de perméabilité hydraulique est compréhensible et logique. Alors que la densité apparente basée sur la texture et les changements survenant dans la porosité affectent la conductivité hydraulique, les matières organiques ont un effet sur la porosité et donc sur la densité apparente qui, à son tour, affecte la conductivité hydraulique. Par conséquent, la texture du sol est considérée comme le facteur le plus important de la conductivité hydraulique (Bahtiyar, 1996). Les résultats du coefficient de variation de la conductivité hydraulique ont montré que le facteur temps n'a aucun effet sur la variation dans l'espace, justifié par le fait des faibles variations de la densité apparente et de porosité.

VI.4.2. Évolution de la conductivité hydraulique de l'horizon sub-surface

Les résultats d'analyses de la conductivité hydraulique de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 18).

Tableau 18. Résultats d'analyses de la conductivité hydraulique de l'horizon sub-surface.

Calcaire total (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	5,02 E ⁻⁴	1,79 E ⁻³
Maximum	6,12 E ⁻⁴	1,92 E ⁻³
Minimum	4,43 E ⁻⁴	1,68 E ⁻³
Écart-type	0,43 E ⁻⁴	0,11 E ⁻³
Coefficient de variation	8,58	-
TVA dS/m/an	-	-2,1E ⁻⁵ ±1,9E ⁻⁶

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, perméabilité varie de 1,68 E⁻³ à 1,92 E⁻³ cm/s avec une moyenne de 1,79 E⁻³ cm/s (modérément fort).

Dans l'horizon, l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la perméabilité varie de 4,43 E⁻⁴ à 6,12 E⁻⁴ cm/s avec une moyenne de 5,02 E⁻⁴ cm/s (modérément calcaires).

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la variation la perméabilité dans l'espace est faible avec CV = 8,58 %.

L'analyse du taux de variation annuelle montre que la perméabilité à diminuer dans l'horizon de sub-surface de la parcelle irriguée après 60 ans d'irrigation, avec une évolution moyenne annuelle de -2,1E⁻⁵±1,9E⁻⁶ cm/s /an.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig 36) est très hautement significative P < 0,0001 T.H.S.

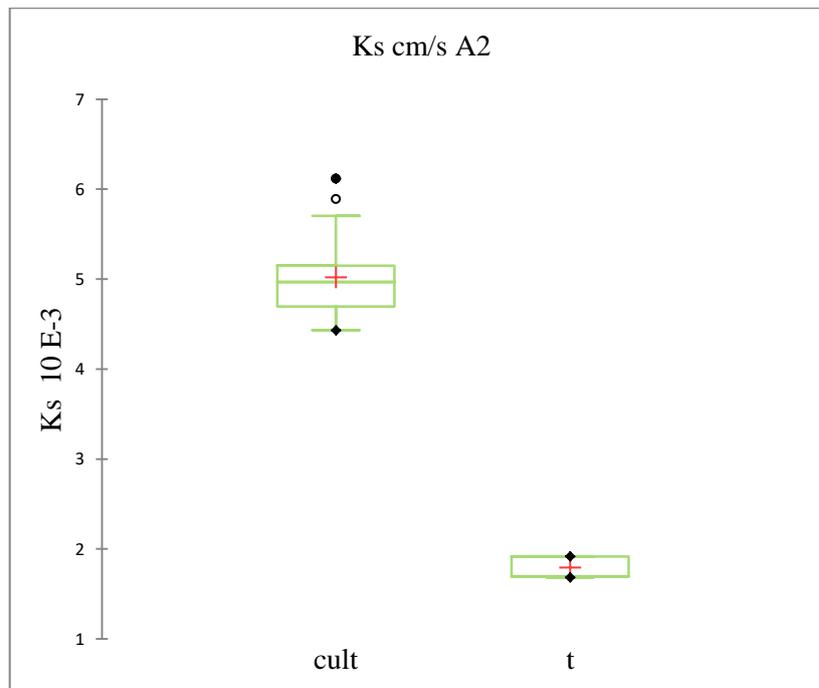


Figure 37 : Boîte à moustaches de la variation de la conductivité hydraulique du Sol de l'horizon sub-surface

VI.4.2.1. Discussion

Dans la parcelle irriguée étudiée, nous avons enregistré une diminution très hautement significative la conductivité hydrologique de l'horizon sub-surface avec un TVA de $-2,1E^{-5} \pm 1,9E^{-6}$ cm/s /an. Cette diminution résulte de l'évolution des propriétés physiques du sol, dans la couche de surface (diminution de la porosité, augmentation de la densité apparente et accumulation relative des argiles) et de la quantité de la matière organique. On peut supposer que le changement de perméabilité hydraulique est compréhensible et logique. Alors que la densité apparente basée sur la texture et les changements survenant dans la porosité affectent la conductivité hydraulique, les matières organiques ont un effet sur la porosité et donc sur la densité apparente qui, à son tour, affecte la conductivité hydraulique. Par conséquent, la texture du sol est considérée comme le facteur le plus important de la conductivité hydraulique (Bahtiyar, 1996). Les résultats du coefficient de variation de la conductivité hydraulique ont montré que le facteur temps n'a aucun effet sur la variation dans l'espace.

VI.5. Évolution de la texture du sol :

VI.5.1. Évolution de la texture du sol l'horizon de surface

Les résultats d'analyses de la texture de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableaux. 19,20 et 21).

Tableau 19. Résultats d'analyses d'argile dans l'horizon superficiel.

Argile %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	19,84	17,16
Maximum	24	20
Minimum	12	14
Écart-type	2,54	1,68
Coefficient de variation %	12,82	-
TVA dS/m/an	-	0,04467 ±0,05

Tableau 20. Résultats d'analyses de limon dans l'horizon superficiel.

Limon %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	20,12	16,04
Maximum	27	20
Minimum	16	13
Écart-type	2,39	1,59
Coefficient de variation %	11,86	-
TVA dS/m/an	-	0,0680±0,05

Tableau 21. Résultats d'analyses de sable dans l'horizon superficiel.

Sable %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	60,04	66,96
Maximum	70	72
Minimum	54	62
Écart-type	3,21	2,41
Coefficient de variation %	5,34	-
TVA dS/m/an	-	-0,1153±0,06

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, le taux d'argile varie de 14 à 20 % avec une moyenne de $17,16 \pm 1,68$ %, or que le taux de limon varie de 13 à 20 % avec une moyenne de $16,04 \pm 1,59$ % et le taux de sable varie de 62 à 72 % avec une moyenne de $66,96 \pm 2,41$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, l'argile varie de 12 à 24 % %, avec une moyenne de $19,84 \pm 2,54$ %, or que le taux de limon varie de 16 à 27 % avec une moyenne de $20,12 \pm 2,39$ % et le taux de sable varie de 54 à 70 % avec une moyenne de $60,04 \pm 3,21$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation d'argile ; limon et sable dans l'espace est faible avec, CV argile = 11,82 CV limon = 8,58 % et CV sable = 5,34 %.

L'analyse du taux de variation annuelle dans l'horizon de surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation d'argile de l'ordre $0,04467 \pm 0,05$ %/an, une augmentation de limon de l'ordre $0,0680 \pm 0,05$ %/an et une diminution de sable de l'ordre $-0,1153 \pm 0,06$ %/an.

L'analyse de variance a montré que l'augmentation d'argile et limon (Fig. 37, 38) sont très hautement significatives $P < 0,0001$ T.H.S. L'analyse de variance a montré que la diminution de sable (Fig. 39) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

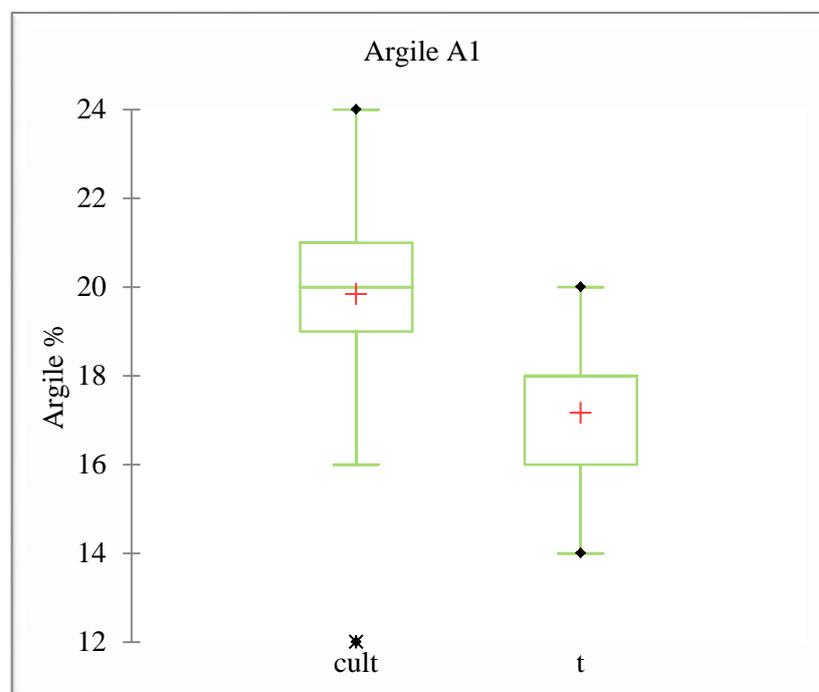


Figure 38 : Boîte à moustaches de la variation d'argile de l'horizon de surface

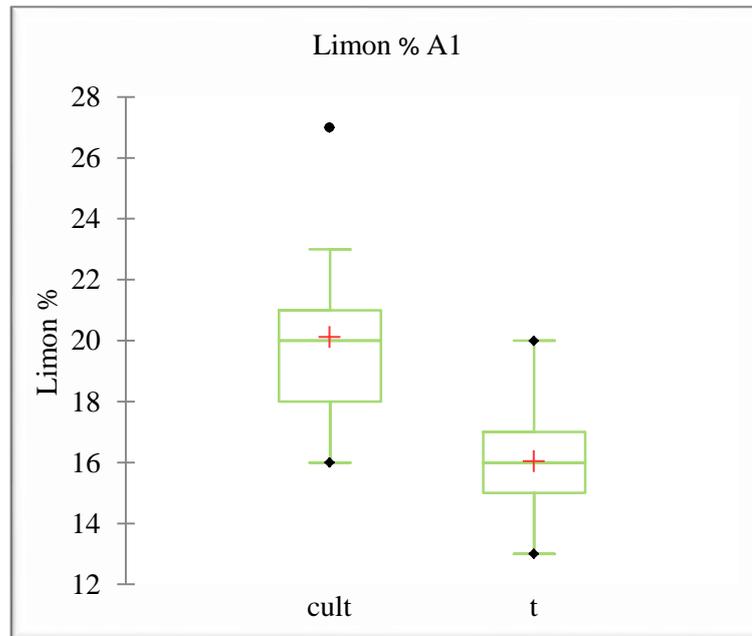


Figure 39 : Boîte à moustaches de la variation de limon dans l'horizon de surface

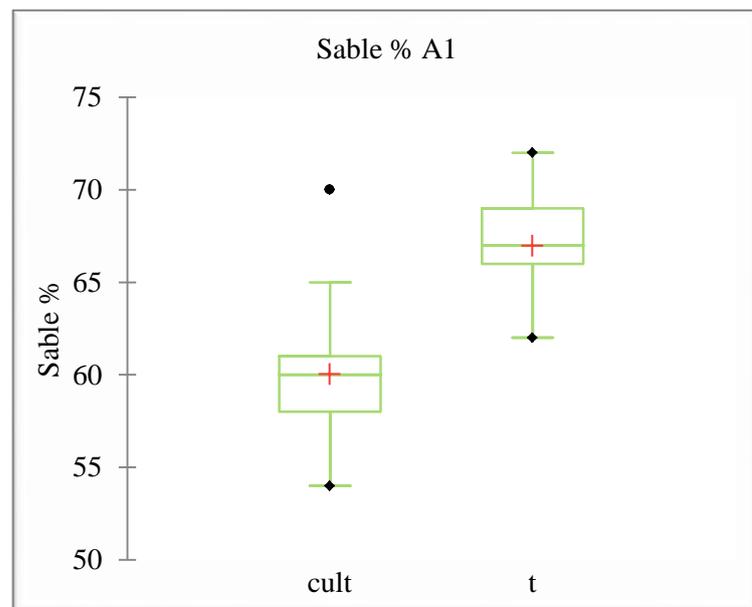


Figure 40 : Boîte à moustaches de la variation de sable dans l'horizon de surface

VI.5.1.1. Discussion

Nous avons enregistré une augmentation très hautement significative d'argile et de limon dans l'horizon sub-surface avec un TVA de $0,04467 \pm 0,05$ %/an pour l'argile et un TVA de $0,0680 \pm 0,05$ %/an pour le limon. Tandis que le sable à diminuer d'une façon très hautement significative avec un TVA de $-0,1153 \pm 0,06$ %/an.

Les résultats ont montré que les profils texturaux ont été profondément modifiés, en particulier les profils d'argile et de sable. Ainsi, les résultats ont clairement montré un enrichissement en argiles et une diminution des sables dans les couches de surface. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par les pratiques agricoles utilisées par les agriculteurs, telles que l'amélioration des sols par l'ajout de substances organiques, généralement animales, et la fermentation des résidus de palmiers. Également l'effet de l'irrigation et du climat qui implique une quantité d'eau très importante avec une forte évaporation et un mouvement d'eau dans le profil, avec une circulation de particules telles que l'argile et le limon. La longue période de culture irriguée (60 ans) a provoqué un changement notable des textures de l'horizon de surface des parcelles étudiées.

Les résultats du coefficient de variation de la texture ont montré que l'âge des parcelles, c'est-à-dire le facteur temps, n'a pas d'effet sur la variation des particules de sol dans l'espace, on peut donc dire que le sol de l'horizon de surface de la parcelle irriguée est homogène.

VI.5.2. Évolution de la texture du sol dans l'horizon de sub_surface

Les résultats d'analyses de la texture dans l'horizon de sub-surface des parcelles étudiées sont présentés dans (tableaux. 22,23 et 24).

Tableau 22. Résultats d'analyses d'argile dans l'horizon sub-surface.

Argile %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	11,08	10,12
Maximum	20	12
Minimum	6	7
Écart-type	3,90	1,42
Coefficient de variation %	35,24	-
TVA dS/m/an	-	0,0160 ±0,07

Tableau 23. Résultats d'analyses de limon dans l'horizon sub-surface.

Limon %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	22,32	19,92
Maximum	31	23
Minimum	13	17
Écart-type	4,00	1,58
Coefficient de variation %	17,91	-
TVA dS/m/an	-	0,040±0,07

Tableau 24. Résultats d'analyses de sable dans l'horizon sub-surface.

Sable %	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	66,60	69,96
Maximum	71,00	75,00
Minimum	52,00	68,00
Écart-type	3,97	1,59
Coefficient de variation %	5,96	-
TVA dS/m/an	-	-0,05±0,07

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, le taux d'argile varie de 7 à 12 % avec une moyenne de $10,12 \pm 1,42$ %, or que le taux de limon varie de 17 à 23 % avec une moyenne de $19,92 \pm 1,58$ % et le taux de sable varie de 68 à 75 % avec une moyenne de $69,96 \pm 1,59$ %.

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, l'argile varie de 6 à 20 % %, avec une moyenne de $11,08 \pm 3,90$ %, or que le taux de limon varie de 13 à 31 % avec une moyenne de $22,32 \pm 4,00$ % et le taux de sable varie de 52 à 71 % avec une moyenne de $66,60 \pm 3,97$ %.

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la variation de l'argile et du limon dans l'espace est modérée avec, CV argile = 35,24 CV limon = 17,91 % par contre, elle est faible pour le sable avec CV sable = 5,96 %.

L'analyse du taux de variation annuelle dans l'horizon de sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation d'argile de l'ordre $0,0160 \pm 0,07$ %/an, une augmentation de limon de l'ordre $0,040 \pm 0,07$ %/an et une diminution de sable de l'ordre $-0,05 \pm 0,07$ %/an.

L'analyse de variance a montré que l'augmentation d'argile et de limon (Fig 40 et 41), pour l'argile est non significative $P = 0,248$, et pour le limon est hautement significative $P = 0,005$ H.S. L'analyse de variance a montré que la diminution de sable (Fig. 42) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

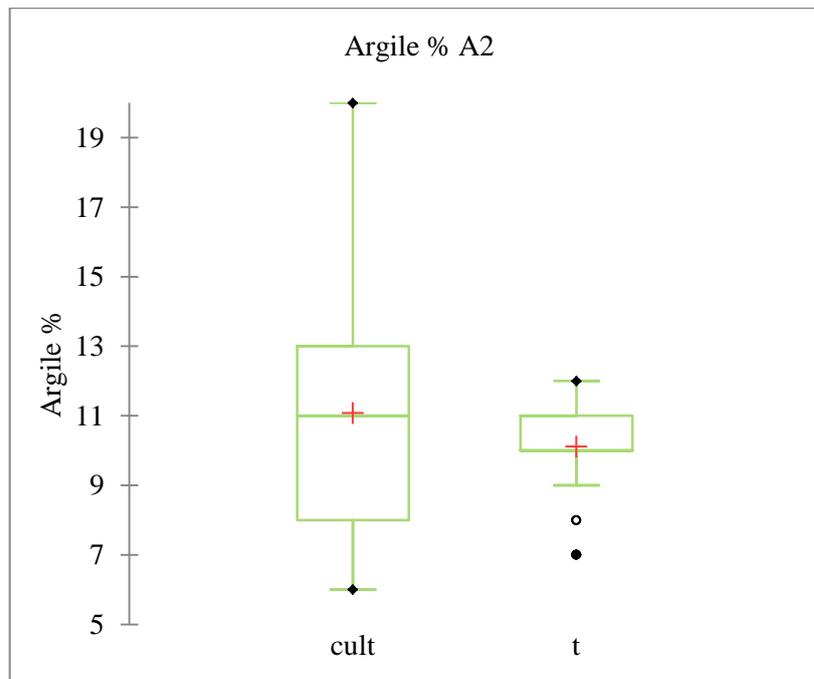


Figure 41 : Boîte à moustaches de la variation d'argile de l'horizon de sub-surface

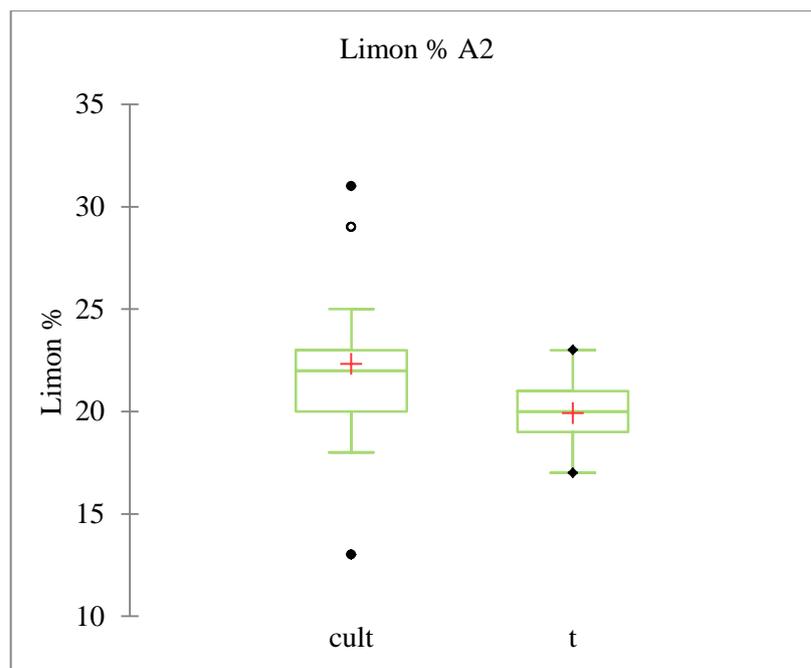


Figure 42 : Boîte à moustaches de la variation de limon dans l'horizon de sub-surface

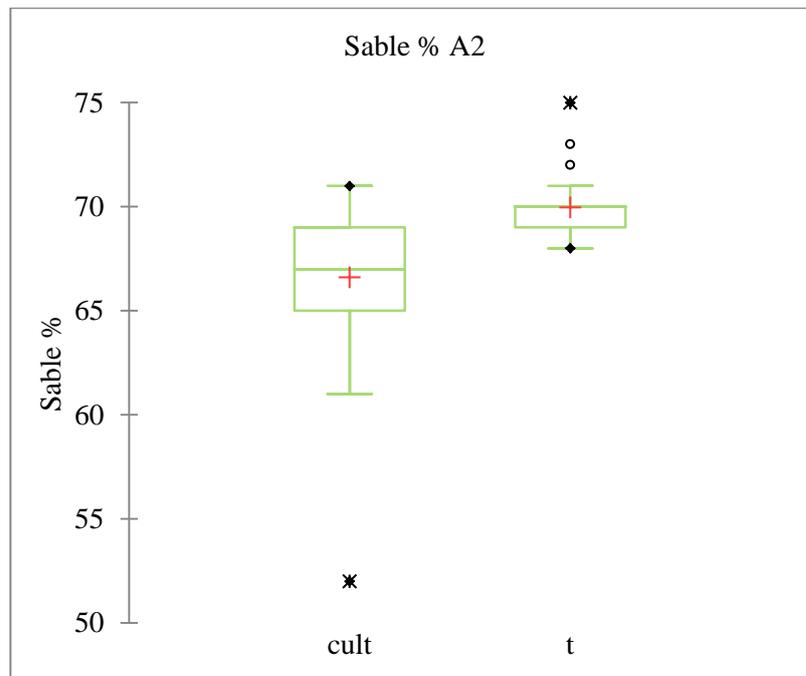


Figure 43 : Boîte à moustaches de la variation de sable dans l'horizon de sub-surface

VI .5.2.1. Discussion

Nous avons enregistré une augmentation non significative d'argile et une augmentation de limon hautement significative dans l'horizon sub-surface avec un TVA de $0,0160 \pm 0,07$ % /an pour l'argile et un TVA de $0,040 \pm 0,07$ % /an pour le limon. Tandis que le sable à diminuer d'une façon très hautement significative avec un TVA de $-0,05 \pm 0,07$ %/an.

Les résultats ont montré que la texture n'a pas été modifiée. La longue période de culture irriguée (60 ans) n'a pas d'influence particulière sur la modification de la texture des parcelles étudiées dans l'horizon sub-superficiel. Les parcelles irriguées gardent leur texture après plusieurs années, d'une texture sablo-limoneuse à une texture sablo-argileuse des fermes, c'est une texture sableuse limoneuse.

Les résultats du coefficient de variation de la texture ont montré que l'âge des parcelles, c'est-à-dire le facteur temps, à peu d'effet sur la variation des particules de sol dans l'espace.

VI.6. Évolution de calcaire total :

VI.6.1. Évolution de calcaire total de l'horizon de surface

Les résultats d'analyses du calcaire total de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 25).

Tableau 25. Résultats d'analyses du calcaire total de l'horizon de surface.

Calcaire total (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	14,48	20,32
Maximum	19,88	22,02
Minimum	10,28	18,65
Écart-type	2,15	0,87
Coefficient de variation	14,86	-
TVA dS/m/an	-	-0,097 ±0,03

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, le calcaire total varie de 18,65 à 22,02 % avec une moyenne de $20,32 \pm 0,87$ % (modérément calcaires).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, le calcaire total varie de 10,28 à 19,88 %, avec une moyenne de $14,48 \pm 2,15$ % (modérément calcaires) et un coefficient de variation de 14,86 %.

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le calcaire total a diminué dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée après 60 ans d'irrigation, avec une évolution moyenne annuelle de $-0,097 \pm 0,03$ %/an.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig 43) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

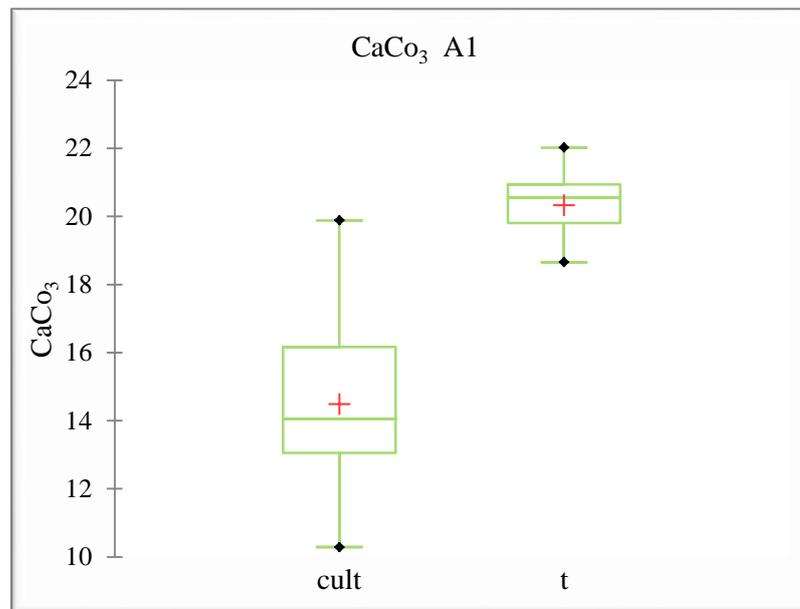


Figure 44 : Boîte à moustaches de la variation du calcaire total de l'horizon de surface

VI.6.1.1. Discussion

Dans les parcelles irriguées, nous avons enregistré une diminution très hautement significative de calcaire total de l'horizon superficiel avec un TVA de $-0,097 \pm 0,03$ %/an. L'accumulation superficielle résulte d'une attaque du complexe adsorbant par le gaz carbonique de l'eau, fixant le calcaire dissous qui précipite ensuite, par suite d'une sécheresse trop grande du milieu et d'une forte température (Benchetrit, 1956). Ce qui montre l'impact de l'intensification agricole sur la répartition du calcaire dans le sol sachant que l'irrigation est un facteur de contamination non négligeable (Baize, 2000).

L'humectation du sol suite à l'irrigation favorise la mobilisation du calcaire (dissolution, formation de suspension des particules fine). La phase dessiccation favorise la précipitation, puis la consolidation et enfin la cristallisation sous forme de calcite du calcaire mobilisé ;c'est donc la forte évapotranspiration qui intervient dans cette deuxième phase (Duchaufour, 2001).

VI.6.2. Évolution du calcaire total de l'horizon de sub-surface

Les résultats d'analyses du calcaire total de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 26).

Tableau 26. Résultats d'analyses du calcaire total de l'horizon sub-surface.

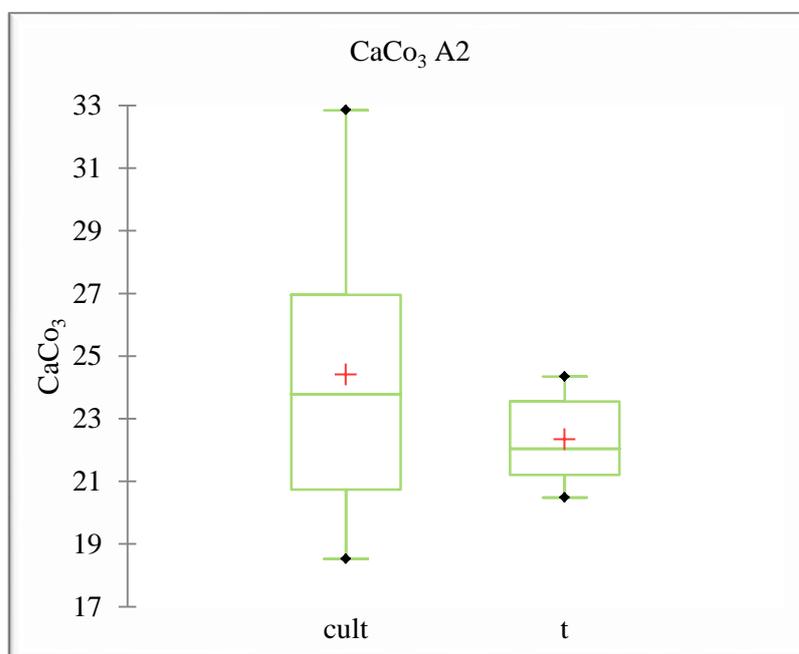
Calcaire total (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	24,41	22,33
Maximum	32,85	24,34
Minimum	18,52	20,48
Écart-type	4,72	1,26
Coefficient de variation	19,34	-
TVA dS/m/an	-	0,034 ±0,08

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, le calcaire varie de 20,48 à 24,34 % avec une moyenne de $22,33 \pm 1,26$ % (de modérément calcaires).

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, le calcaire total varie de 18,52 à 32,85 %, avec une moyenne de 24,41 à 32,85 % (modérément calcaires).

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le calcaire total à augmenter dans l'horizon de sub-surface de la parcelle irriguée après 60 ans d'irrigation, avec une évolution moyenne annuelle de $0,034 \pm 0,08\%/an$.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig. 44) est hautement significative $P = 0,03$ H.S.

**Figure 45 :** Boîte à moustaches de la variation du calcaire total du Sol de l'horizon sub-surface

VI.6.2.1. Discussion

Dans la parcelle irriguée étudiée, nous avons enregistré une augmentation hautement significative de calcaire total de l'horizon sub-surface avec un TVA de $0,034 \pm 0,08\%/an.$, Cette augmentation est probablement due à l'influence des eaux chargées en CO_2 , il y a entraînement par lixiviation provenant de la dissolution progressive des calcaires. Cependant, le complexe adsorbant reste proche de la saturation ou saturé (Halitim, 2006).

VI.7. Évolution de la salinité du sol :

VI.7.1. Évolution de la salinité de l'horizon de surface

Les résultats d'analyses de la salinité de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 27).

Tableau 27. Résultats d'analyses la salinité de l'horizon superficiel.

C.E. à 25°C (dS/m)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	2,52	0,93
Maximum	4,02	1,11
Minimum	1,12	0,85
Écart-type	0,80	0,06
Coefficient de variation %	31,86	-
TVA dS/m/an	-	$0,0267 \pm 0,01$

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, la salinité varie de 0,85 à 1,11 dS/m avec une moyenne de $0,93 \pm 0,06$ dS/m (Sol peu salé).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle irriguée, la salinité varie de 1,12 à 4,02 dS/m, avec une moyenne de $2,52 \pm 0,80$ dS/m (Sol très salé).

L'analyse du taux de variation annuelle de la salinité dans l'horizon superficiel des parcelles étudiées après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de la salinité de l'ordre $0,0267 \pm 0,01$ dS/m /an.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig. 45) est hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

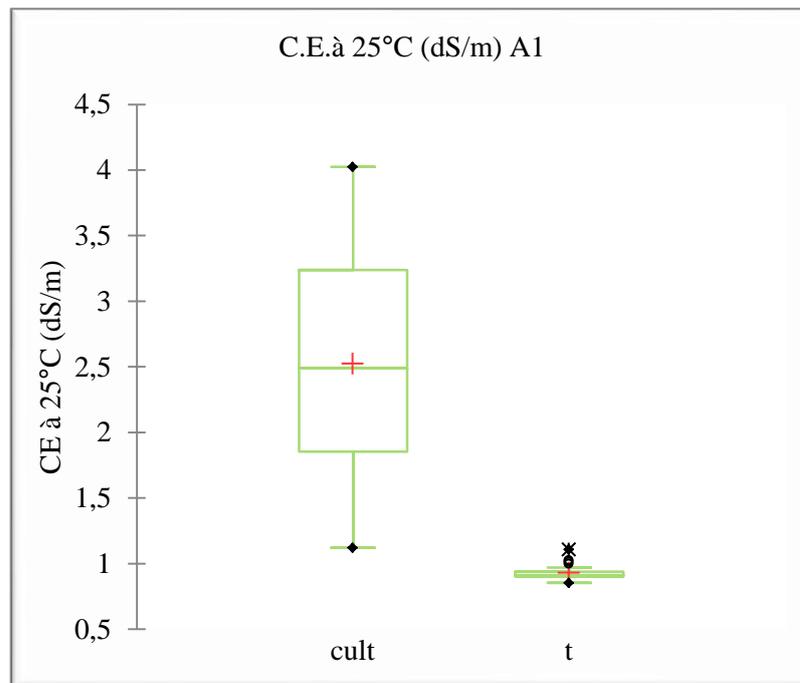


Figure 46 : Boîte à moustaches de la variation de la salinité du Sol de l'horizon de surface.

VI .7.1.1. Discussion

Dans la parcelle étudiée, nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la salinité de l'horizon superficiel avec un TVA de $0,0267 \pm 0,01$ dS/m /an. Cela est dû principalement à l'action de l'irrigation continue et de l'évaporation élevée (milieu aride).

Les régions arides sont généralement caractérisées par l'irrégularité de la pluviométrie, ce qui ne favorise pas la dilution. Les fortes températures provoquent une forte évapotranspiration, qui conduit à une augmentation de la salinité, surtout dans l'horizon de surface (Rouabhia, 2010).

La formation d'un sol salin résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (Churchman et *al.*, 1993 ; Naidu et Rengasamy, 1993 ; Sumner, 1993 ; Essington, 2004).

La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride (Benbrahim, 2006).

VI .7.2. Évolution de la salinité de l'horizon sub-surface

Les résultats d'analyses de la salinité de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 28).

Tableau 28. Résultats d'analyses de la salinité de l'horizon sub-surface.

C.E. à 25°C (dS/m)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	1,71	0,86
Maximum	2,24	1,02
Minimum	0,94	0,67
Écart-type	0,41	0,08
Coefficient de variation %	23,82	-
TVA dS/m/an	-	0,0142 ±0,007

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, la salinité varie de 0,67 à 1,02 dS/m avec une moyenne de $0,86 \pm 0,08$ dS/m (sol peu salé).

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, la salinité varie de 0,94 à 2,24dS/m, avec une moyenne de $1,71 \pm 0,41$ dS/m (sol peu salé à salé).

L'analyse du taux de variation annuelle de la salinité dans l'horizon sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de la salinité de l'ordre $0,0142 \pm 0,007$ dS/m /an.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig. 46) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

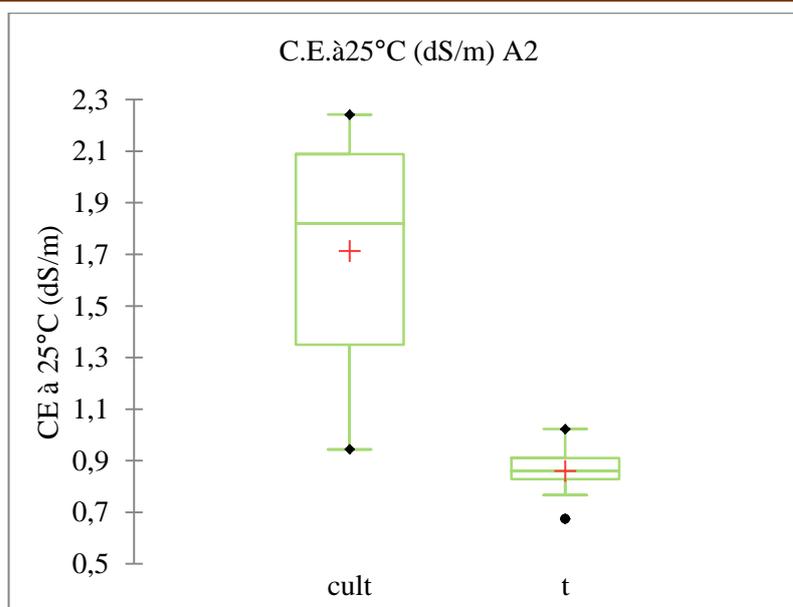


Figure 47 : Boîte à moustaches de la variation de la salinité du Sol de l'horizon sub-surface

VI.7.2.1. Discussion

Nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la salinité de l'horizon sub-surface avec un TVA de $0,0142 \pm 0,007$ dS/m /an. Cette augmentation est probablement due à une dynamique descendante (lixiviation) des sels dans les couches de surface (Benbrahim, 2006) sous l'action de l'irrigation.

VI.8. Évolution de la réaction du sol (pH) :

VI.8.1. Évolution de la réaction du sol (pH) de l'horizon de surface

Les résultats d'analyses du pH de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 29).

Tableau 29 : Résultats d'analyses du pH de l'horizon de surface.

pH	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	8,30	8,71
Maximum	8,70	8,80
Minimum	8,00	8,60
Écart-type	0,19	0,07
Coefficient de variation %	2,24	-
TVA /an	-	-0,0067 \pm 0,003

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, pH varie de 8,60 à 8,80 avec une moyenne de $8,71 \pm 0,07$ (alcalin).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle P1, le pH varie de 8,00 à 8,70, avec une moyenne de $8,30 \pm 0,19$ (alcalin).

L'analyse du taux de variation annuelle de pH dans l'horizon superficiel après 60 ans d'irrigation, montre une diminution de pH de l'ordre de $-0,0067 \pm 0,003/\text{an}$.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig. 47) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

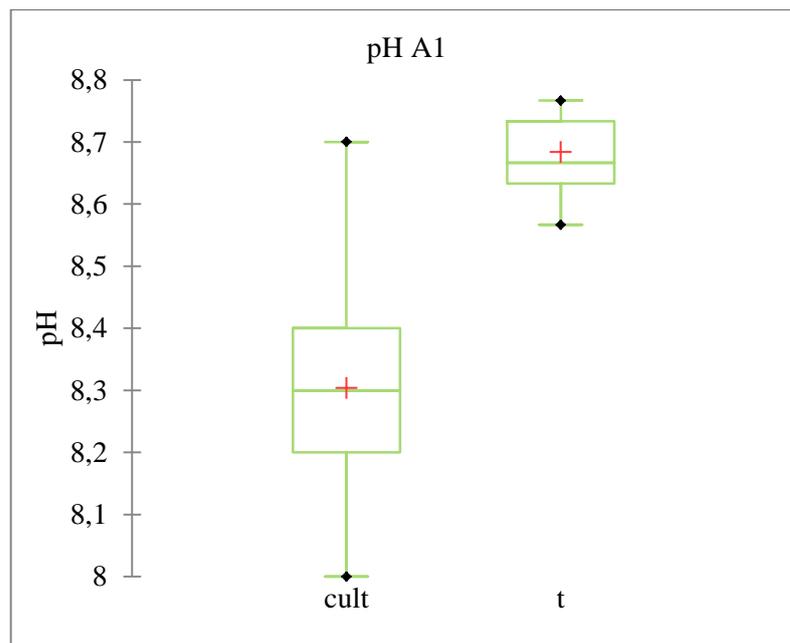


Figure 48 : Boîte à moustaches de la variation de pH du Sol de l'horizon de surface

VI.8.1.1. Discussion

Dans les parcelles étudiées, nous avons enregistré une diminution très hautement significative de pH d'horizon de surface avec un TVA de $-0,0067 \pm 0,003/\text{an}$.

Cette diminution est probablement due à la diminution considérable du calcaire. (Floate et Enrigh, 1991 ; Baize, 2000) ont trouvé une relation hautement significative entre l'apport du calcaire et l'augmentation du pH, (Vorobyova et *al.*, 1991 ; Baize, 2000) pensent que les variations des valeurs du pH sont conditionnées par l'équilibre calcium- carbonates des sols.

La végétation agit sur la baisse du pH indirectement par la biomasse qu'elle abandonne au sol pour donner par transformation des composés humiques constitués d'acides organiques, et

directement en absorbant plus de cations que d'anions de la solution du sol, ce qui conduit à la libération de protons et à la mise en place d'une acidolyse.

VI.8.2. Évolution de la réaction du sol de l'horizon sub-surface

Les résultats d'analyses du pH de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 30).

Tableau 30. Résultats d'analyses du pH de l'horizon sub-surface.

pH	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	8,24	8,56
Maximum	8,75	8,70
Minimum	7,95	8,40
Écart-type	0,24	0,08
Coefficient de variation %	2,90	-
TVA dS/m/an	-	-0,0053±0,003

Dans l'horizon profond de la parcelle témoin, pH varie de 8,52 à 8,83 avec une moyenne de $8,67 \pm 0,14$ (alcalin).

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle irriguée, le pH varie de 8,65 à 8,74, avec une moyenne de $8,70 \pm 0,03$ (alcalin).

L'analyse du taux de variation annuelle de pH dans l'horizon sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de pH de l'ordre de $-0,0053 \pm 0,003/\text{an}$.

L'analyse de variance a montré que cette diminution (Fig. 48) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

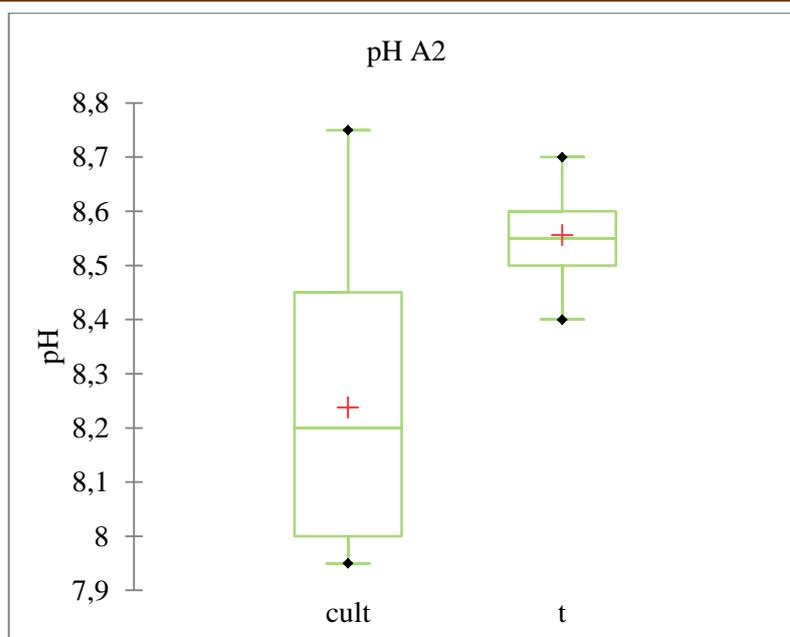


Figure 49 : Boîte à moustaches de la variation de pH du Sol de l'horizon sub-surface

VI.8.2.1. Discussion

L'étude de l'évolution de pH du sol dans les parcelles étudiées par l'analyse du taux de variation annuelle, a révélé une diminution très hautement significative de pH d'horizon de sub-surface surface avec un TVA de $-0,0067 \pm 0,003/\text{an}$. Ces variations sont très hautement significatives avec une légère diminution du pH en fonction des irrigations (Benbrahim, 2006).

VI.9. Évolution de la matière organique du sol :

VI.9.1. Évolution de la matière organique du sol l'horizon de surface

Les résultats d'analyses de la M.O de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 31).

Tableau 31. Résultats d'analyses de la M.O de l'horizon superficiel.

M.O (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	0,35	0,01
Maximum	0,67	0,02
Minimum	0,25	-
Écart-type	0,09	0,01
Coefficient de variation %	26,15	-
TVA dS/m/an	-	$0,00580 \pm 0,002$

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, la M.O varie de 0 à 0,02 % avec une moyenne de 0,01 % (très pauvre. absence).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle, la M.O varie de 0,25 à 0,67%, avec une moyenne de $0,35 \pm 0,09$ % (pauvre).

L'analyse du taux de variation annuelle de la M.O dans l'horizon de surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de la M.O de l'ordre $0,00580 \pm 0,002$ %/an.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig 49) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

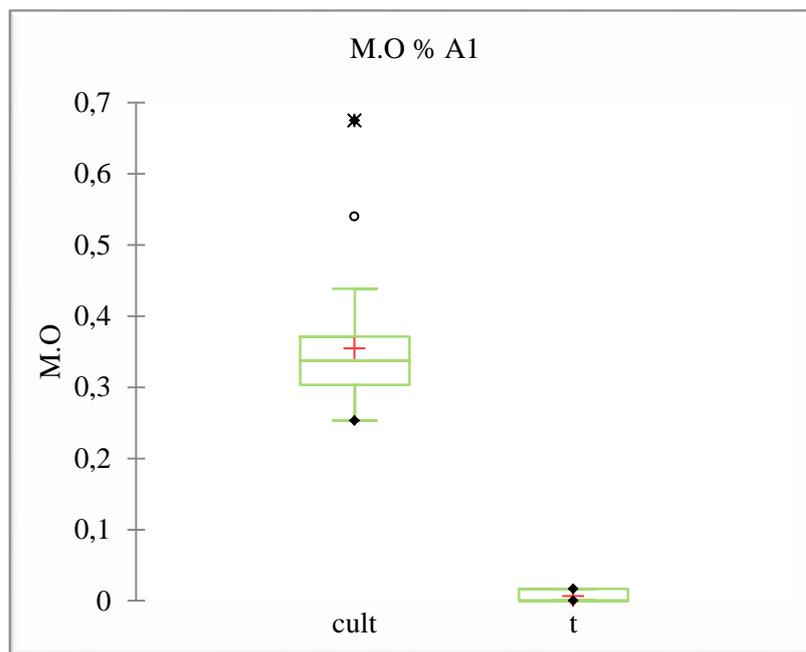


Figure 50 : Boîte à moustaches de la variation de la M.O Sol de l'horizon de surface

VI.9.1.1. Discussion

Dans les parcelles étudiées, nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la M.O de l'horizon superficiel avec un TVA de $0,087 \pm 0,038$ %/an. Cette augmentation de la M.O est expliquée par une amélioration du sol par les débris végétaux et animaux. (Benbrahim, 2006)

VI.9.2. Évolution de la matière organique du sol l'horizon de sub-surface

Les résultats d'analyses de la M.O de l'horizon sub-surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans (tableau. 32).

Tableau 32. Résultats d'analyses de la M.O de l'horizon sub-surface

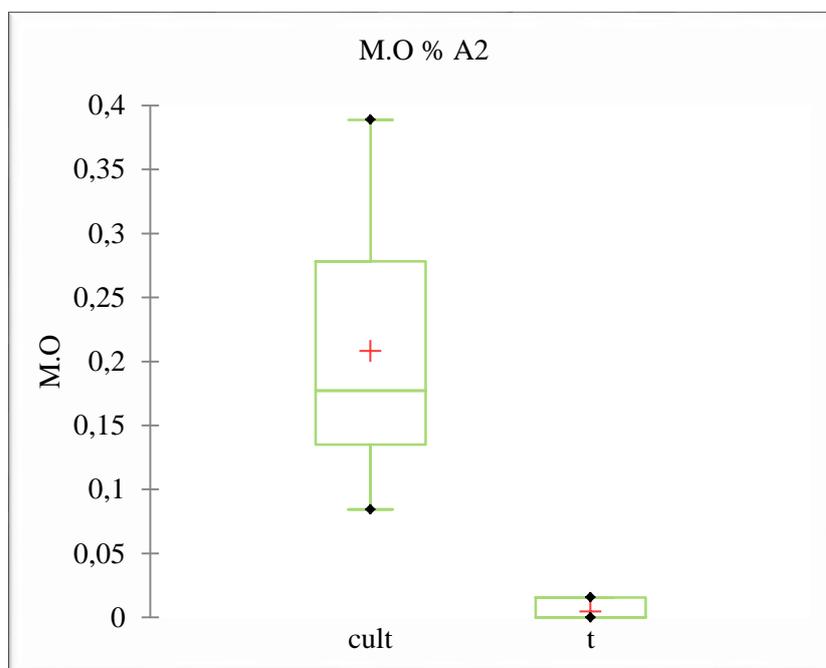
M.O (%)	Irriguée	Témoin
Nombre d'échantillons	25	25
Moyenne	0,21	0,0044
Maximum	0,39	0,02
Minimum	0,08	-
Écart-type	0,09	0,01
Coefficient de variation %	42,29	-
TVA dS/m/an	-	0,00340±0,001

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle témoin, la M.O varie de 0,00 à 0,02 % avec une moyenne de 0,004 % (très pauvre. absence).

Dans l'horizon sub-surface de la parcelle, la M.O varie de 0,08 à 0,39 %, avec une moyenne de 0,21±0,09 % (pauvre).

L'analyse du taux de variation annuelle de la M.O dans l'horizon sub-surface après 60 ans d'irrigation, montre une augmentation de la M.O de l'ordre 0,00340±0,001% /an.

L'analyse de variance a montré que cette augmentation (Fig.50) est très hautement significative $P < 0,0001$ T.H.S.

**Figure 51 :** Boîte à moustaches de la variation de la M.O du Sol de l'horizon sub-surface.

VI.9.2.1. Discussion

Nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la M.O de l'horizon sub-surface avec un TVA de $0,00340 \pm 0.001\%$ /an. Cette augmentation de la M.O est expliquée par une amélioration du sol par les débris végétaux et animaux. (Benbrahim, 2006)



Conclusion



Conclusion

Cette étude s'est concentrée sur l'évaluation et la caractérisation de certaines propriétés (la conductivité hydraulique, la porosité, la densité apparente, l'humidité, conductivité électrique, pH, calcaire total et matière organique) du sol dans la région de Ghardaïa (Zelfana) et leurs changements dus à l'impact de l'agriculture et de la gestion agricole après 60 ans de culture de palmiers, qui a un grand intérêt agroalimentaire en Algérie. Ceci a été fait dans le but de réaliser une culture de palmiers durable et respectueuse de l'environnement et de prévenir les risques de dégradation de ces sols, en particulier la structure.

Les résultats analytiques ont montré que l'eau d'irrigation utilisée dans la région de Zelfana sont de mauvaise qualité (C3S1), tandis que la qualité des eaux de drainage sont mauvaise (C4S2).

Les résultats de la caractérisation morphologique et analytique de la parcelle non cultivée (témoin) montrent qu'il s'agit d'un sol peu évolué, de type A/C avec deux horizons (A 0-60 cm et C 60-120 cm), sableux, à structure particulière, traces de matière organique, moyennement à fortement calcaire, alcalin et légèrement salin. Le sol a une porosité très élevée, avec une densité apparente de 1,24 à 1,36 g/cm³ et une teneur en eau de 3,14 à 8,03 %. La conductivité hydraulique est modérément forte.

Les profils salinité, calcaire total, conductivité hydraulique, porosité, humidité et sable sont caractérisés par un maximum en profondeur, tandis que les profils argile, densité apparente et de pH sont caractérisés par un maximum en surface. Le profil du limon est équilibré.

Les résultats de la caractérisation morpho-analytique de la parcelle irriguée montrent que les sols irrigués ont un profil morphologique similaire, peu évolué, de type A/C, divisé en trois horizons A1 de 0-30 cm, A2 de 30-60 cm et C de 60-120 cm, avec une texture sableuse et une faible teneur en matière organique. Le sol est calcaire et alcalin, avec une porosité élevée, et une conductivité hydraulique modérée. Les différents profils (conductivité hydraulique, porosité, humidité, sable et pH) montrent un maximum en profondeur, tandis que le profil calcaire total, limon, argile, densité apparente et conductivité électrique montrent un maximum en surface.

L'étude de l'évolution des paramètres étudiés après 60 ans d'irrigation en étudiant le taux de variation annuel des deux premiers horizons 0-30 cm et 30_60 cm a révélé ;

➤ La densité apparente a augmenté d'une manière très hautement significative dans l'horizon de surface et de sub-surface.

➤ Une diminution très hautement significative de la porosité de l'horizon de surface et de l'horizon de subsurface.

➤ Une augmentation très fortement significative de l'humidité dans l'horizon de surface et l'horizon de sub-surface.

➤ Une diminution très hautement significative de la perméabilité de l'horizon de surface et de l'horizon de sub-surface.

➤ Une augmentation très hautement significative de l'argile et du limon dans l'horizon de sub-surface. Alors que le sable a diminué de manière très significative. Nous avons également enregistré une augmentation non significative de l'argile et une augmentation hautement significative du limon dans l'horizon de sub-surface. Alors que le sable a diminué de manière très significative.

➤ Une diminution très hautement significative du calcaire total de l'horizon superficiel. Une augmentation hautement significative du calcaire total de l'horizon sub-surface.

➤ Dans la parcelle étudiée, nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la salinité de l'horizon superficiel. Nous avons enregistré une augmentation très hautement significative de la salinité de l'horizon sub-surface.

➤ Une augmentation très hautement significative de la salinité de l'horizon de surface. Une augmentation très importante de la salinité de l'horizon de sub-surface.

➤ Une diminution très hautement significative du pH de l'horizon de surface. Une diminution très hautement significative du pH de l'horizon de sub-surface.

➤ Une augmentation très hautement significative de la MO dans les deux horizons.

Après 60 ans de culture, notre investigation a montré que la gestion agricole pratiquée a un impact hautement significatif sur les propriétés morpho-analytiques du sol, sachant que tous les paramètres examinés ont été impactés, qui est dû aux pratiques agricoles adoptées par les agriculteurs, telles que l'ajout de fumure organique d'origine animale et la dégradation des résidus de palmiers (racines et feuilles). La combinaison de l'irrigation et du climat, qui a entraîné une forte évaporation, exigé une grande quantité d'eau à l'irrigation. Cependant, l'excès d'eau a entraîné un mouvement d'eau dans le profil de sol sableux avec des sels solubles et des particules plus fines (argile et limon).

Cette recherche a révélé que la culture irriguée des sols sableux sahariens du centre de l'Algérie, entraîne à terme une modification de leurs propriétés et de leurs caractéristiques pédologiques. Elle entraîne une modification de la structure du sol, de sa texture et de sa composition chimique. Cela met en évidence l'importance de surveiller étroitement les impacts environnementaux de l'agriculture intensive et d'assurer que les pratiques sont durables. Il est important de noter que la gestion agricole peut contribuer à l'accumulation de matière organique dans le profil du sol, même dans les sols sablonneux du désert, ce qui peut aider à atténuer les effets du changement climatique.

Enfin, cette étude, qui est une contribution à la connaissance des sols sableux, en particulier ceux du milieu aride du centre de l'Algérie, a mis l'accent sur l'importance des pratiques culturales sur la préservation des sols et la pérennité des rendements, d'où la nécessité de son élargissement à une plus grande échelle et d'être affinée par des investigations plus appropriées à ce type de recherche.

Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer plus en détail l'impact des pratiques agricoles sur les sols sableux en zone aride, afin de déterminer les stratégies les plus efficaces pour préserver leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. Il serait également intéressant de mener des études comparatives entre différents systèmes agricoles, pour évaluer les différences d'impact sur le sol.

Il est important de sensibiliser les agriculteurs et les décideurs politiques aux impacts potentiels des pratiques agricoles sur les sols sableux en zone aride. Afin d'encourager la mise en place de pratiques durables qui préservent la qualité et les propriétés des sols sur le long terme. Cela permettra de garantir la durabilité des systèmes agricoles dans les zones arides et d'assurer la sécurité alimentaire.



Références bibliographiques



Références bibliographiques

- **Abbass, R.A., Kumar, P., El-Gendy, A., 2018.** An overview of monitoring and reduction strategies for health and climate change related emissions in the Middle East and North Africa region. *Atmospheric Environment*. 175, pp : 33-43.
- **AENOR, 2001.** Qualité du sol .Détermination de la conductivité électrique spécifique. Madrid : Association espagnole de normalisation et de certification.
- **ANRH, 2011.** Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albiennne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques,17.
- **ANRH, 2012.** Inventaire des forages d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ghardaïa ; Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 15.
- **ANRH, 2016.** Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albiennne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- **Arshad, M.A., Coen, G.M., 1992.** Characterization of Soil Quality: Physical and Chemical Criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), pp: 25-31.
- **Badraoui M., Agbani M., Soudi B., 2000.** Évolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire: Intensification agricole et qualité des sols et des eaux, Rabat 2000, 11p.
- **Badraoui M., Lahlou M., Soudi B., 1998.** SMSS: Un logiciel de simulation du mouvement de sels dans le sol. *Etude et Gestion des sols*, 5, pp : 247-256.
- **Badraoui M., Soudi B., Farhat A., 1998.** Variation de la qualité des sols : une base pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc, *Etude et gestion des sols* 5(4), pp : 227-234.
- **Bahtiyar M., 1996.** Toprak Fiziği. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayın No: 260 Ders Kitabı No:31 S:251. Tekirdağ.

- **Bait A., Chettouch C., Guemia S., 1977.** Possibilités de développement de la palmeraie de Guerrara. Mémoire d'ingénieur d'Etat, I.T.A., Mostaganem, 82p.
- **Baize D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie (choix- expression - présentation- interprétation). I.N.R.A., Paris, 172p.
- **Baize D., 2000.** Teneurs totales en «métaux lourds» dans les sols français: résultats généraux du programme ASPITET. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA, (40), 39-54.
- **Baize D., Jabiol B., 1995.** Guide pour la description des sols - Paris, INRA, coll. Techniques et Pratiques, 375 p.
- **Ben Semaoune Y., 2008.** Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale: contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (SAGE)-cas de la région de Ghardaïa. Mémoire Magister, Université Kesdi Merbah, Ouargla, 54-57.
- **Benbrahim F., 2006.** Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdellah). Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah-Ouargla, 111 p.
- **Benbrahim F., 2018.** Variabilité spatiale de la qualité du sol dans les agrosystèmes du Sahara Algérien. Thèse de doctorat. Université Badji mokhtar-Annaba, 140p.
- **Benbrahim F., Benslama M., Kemassi A., Darem S., Hamel I., Chikhi F., Halilat M.T., 2016.** Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 31(5), pp : 107-123.
- **Benchetrit M., 1956.** Les sols d'Algérie. *Revue de géographie alpine*, 44(4), pp : 749-761.
- **Benslama A., 2021.** Qualité des eaux d'irrigation et salinisation des sols dans une palmeraie dans la région de Ghardaïa – cas de Zelfana. Thèse de doctorat. Université de Ghardaïa, 144p.

- **Bradaï A., Douaoui A.E.K., Marlet S., 2009.** Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, 26-28 mai 2008, pp : 1-7.
- **Brady, N., Weil, R., 2002.** The Nature and Properties of Soils, 13th Ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 960p.
- **Bucchignani E., Mercogliano P., Panitz H.J et Montesarchio M., 2018.** Climate change projections for the Middle East–North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. *Advances in Climate Change Research*. 9(1), pp : 66-80.
- **CDARS, 2019.** Commissariat au Développement Agricole des Régions Sahariennes de Ouargla. Effectif du cheptel camelin en Algérie.
- **Chabour, N., 2006.** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de Doctorat d'Etat en géologie Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire. Université Mentouri Constantine. 176p.
- **Ahire P.R., Ahire D.V., Chkravarty M., Maity S., 2013.** Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2), pp: 1-8.
- **Churchman G.J., Skjemstad J.O., Oades J.M., 1993.** Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. *Soil Research*, 31(6), pp: 779-800.
- **Collares G.L., Reinert D.J., Reichert J.M., et Kaiser D.R., 2006.** Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, (41),pp : 1663-1674.
- **Cornet A., 1964.** Introduction à l'hydrogéologie du Sahara, Algérie, *Revue de géographie physique et de géologie dynamique* (6).

- **Côte M., 1998.** Des oasis malades de trop d'eau?. Science et changements planétaires. Sécheresse, 9(2), pp: 123-130.
- **Crescimanno G., Desantis A., Provenzano G., 2007.** Soil structure and bypass flow processes in a Vertisol under sprinkler and drip irrigation. Geoderma, 138(1-2), pp : 110-118.
- **Dagnelie P., 1975.** Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques : les méthodes de l'inférence statistique. Edition des presses agronomiques de Gembloux, Belgique, (2), 464p.
- **Dajoz R., 1971.** Précis d'écologie. Edition Bordas. Paris, 434p.
- **Daoud Y., Halitim A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Science et changements planétaires/ Sécheresse. 5(3) : 151-160.
- **Delmo J., Refugio C., 2018.** Empirical research on Mann-Whitney U-test. Negros Oriental State University: Dumaguete, Philippines. pp : 1-8.
- **Dey R., Dash A.K., Panda N., Dash R.R., Nayak B.R., et Sahu S.G., 2019.** Effect of Continuous Irrigation on Soil Texture, Bulk Density and Saturated Hydraulic Conductivity of Some Soils in Hirakud Command Area of Odisha, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 8(8), pp: 836-843.
- **Djili B., 2018.** Contribution à l'étude des sols alluviaux des bassins du M'zab : Approche morpho-analytique, organisation spatiale et intérêt environnemental. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah- Ourgla.210p.
- **Djili K., Daoud Y., Gaouar A., et Beldjoudi Z., 2003.** La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Science et changements planétaires/Sécheresse. 14(4) : 241-246.
- **DSA, 2021.** Direction des Services Agricoles ; Rapport des Cultures en Wilaya.
- **Dubief J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Direction du service de la colonisation et de l'hydraulique, Service des études scientifiques, Alger, 457p.

- **Dubief J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. *Ed.* Service des études scientifiques, Alger, 457 p.
- **Dubois O., 2008.** The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk, 3rd *Ed.*, Earthscan, pp: 154–196.
- **Dubost D., 1986.** Utilisation des eaux chaudes au Bas Sahara. *Bulletin Agro. Sah.* (5), pp : 7-33.
- **Dubost D., 2002.** Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. *Ed.* Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les régions Arides, Biskra. 423p.
- **Duchauffour, 1984.** Abrégés de Pédologie. *Ed.* Masson, Paris, 214p.
- **Duchauffour P., 2001.** Etude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile. 367p.
- **Essington M.E., Foss J.E., Roh Y., 2004.** The soil mineralogy of lead at Horace's Villa. *Soil Science Society of American Journal*, 68(3), pp : 979-993.
- **FAO, 2020.** Global Soil Partnership Report.
- **FAO, 2014.** Statistical Yearbook- Near East and North Africa. Regional Office for the Near East and North Africa, Cairo. 156p.
- **FAO, 2015.** Les sols sont une ressource non renouvelable. 2015. Available from: <https://www.fao.org/home/fr>.
- **FAO, 2016.** Voluntary guidelines for sustainable soil management.
- **FAO, 2017.** Les multiples rôles du sol au Proche-Orient et en Afrique du Nord.
- **FAO, 2021.** The Multi-Faced rôle of Soil in the Near East. And North. Africa Region. Policy Brief. Rome.

- **Fayolle E., 2019.** Facteurs pédoclimatiques et production viti-vinicole : contribution à une approche pédo-fonctionnelle du terroir à Saint-Emilion. Thèse de doctorat en Sciences du sol.235p.
- **Floate M.J.S., Enright P.D., 1991.** Effects of lime and 5 years' sulphur and phosphorus applications on soil pH, sulphur, and phosphorus status of tussock grassland soils on East Otago uplands. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 34(4), pp: 453-465.
- **Gascuel-Oudoux C., 1984.** Application de la géostatistique a l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines).ONM, 2020 O.N.M. Ghardaïa, 2020 - Office Nationale Météorologie. Les données climatiques de la région de Ghardaïa (1990-2018), 1p.
- **Gautier M., Gousskov M.N., 1951.** Le forage de Guerrara. Deuxième sondage d'étude et premier grand sondage d'exploitation de la nappe Albienne jaillissant dans le Bas-Sahara. *Terre et Eaux*. Alger, pp : 38-42.
- **Gee G.W., Bauder, J.W., 1986.** "Particle size analysis." In: Klute, A. (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 1 (2nd Ed.)*. Madison, WI: American Society of Agronomy, pp: 383-411.
- **GIS, 2006.** Global Soil Map. Global Soil Partnership. Le stock de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols de France métropolitaine »
- **Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2003.** Le sol vivant : Deuxième édition revue et augmenté. Presses polytechniques et universitaires romandes, France, 568p.
- **Gravetter F.J., Wallnau L.B., Forzano L.A.B., Witnauer J.E., 2020.** Essentials of statistics for the behavioral sciences. Cengage Learning.461p.
- **Halitim S., 2006.** Contribution a l'étude de la réserve utile en eau des sols de CEDRAIES dans les AURES : Influence des facteurs édaphiques. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Université EL HADJ LAKHDAR de Batna.138p.
- **Hongtao H., 2010.** Slumping of cultivated sandy soils: factors, processes and indicators. Thèse de doctorat, INRA Orleans, 218p.

- **Houichiti R., 2009.** Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable : Cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA). Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah-Ouargla, 90 p.
- **Jaillard M., 2010.** Relation entre dynamique de l'eau et organisation morphologique d'un sol calcaire. Ed. I.N.R.A., C.R.A.M.-E.N.S, A.M. p 22.
- **Jones A., Breuning-Madsen H., Brossard M., Dampha A., Deckers J., Dewitte O., Gallali T., Hallett S., Jones R., Kilasara M., Le Roux P., Micheli E., Montanarella L., Spaargaren O., Thiombiano L., Van Ranst E., Yemefack M., Zougmore R., Jones A., Montanarella L., Jones R., 2015.** Atlas des sols d'Afrique. Union Européenne, Luxembourg.
- **Jones J.A., Gregory A.S., K. Ritz, S.P., McGrat J.N., Quinton K.W.T., Goulding R.J.A., Harris R. Bol P., Wallace E.S., Pilgrim A.P., Whitmore. 2015.** A review of the impacts of degradation threats on soil properties in the UK. Soil Use and Management 31(S1). pp :1-15.
- **Khadraoui A., 2007.** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes : caractérisation contraintes et propositions d'aménagement. Alger : Ministère des ressources en eau. 32p.
- **Kheyar M O, Amara M, Harrad F, 2007.** Mécanisation de la céréaliculture algérienne : Constat et perspectives. Annales de l'Institut National Agronomique, (28), pp : 1-2.
- **Kughur P G, Otene V A, et Audu O C, 2015.** Effects of intensive agricultural production on the environment in benue state, Nigeria. IOSR J. Agric. Vet. Sci. Vet. I, 8, 2319-2372.
- **Larson, W.E., Pierce, F.J., 1991.** Conservation and enhancement of soil quality. Conf in The Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai, Thailand. pp: 175-203.

- **Le Houerou H.N., 1990.** Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Sècheresse* 1(4), pp : 246-259.

- **Lesturgez G., 2005.** Densification des sols sableux sous culture mécanisée. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré Nancy I.164p.

- **Maignien R., 1969.** Manuel de prospection pédologique. Paris : ORSTOM, Initiations Documentations Techniques, (11). 132p.

- **MAPA, 1986.** Méthodes officielles d'analyse. Ministère de l'Agriculture. Pêche et Alimentation.1986(1) : pp : 221-285.

- **Martinez Chois C.P., 2012.** Réhabilitation des sols pollués par les éléments traces métalliques grâce aux bactéries du sol associées à la rhizosphère de *Miscanthus X Giganteus*. Thèse de doctorat en Écotoxicologie, Biodiversité, Écosystèmes.167p.

- **Mathieu C., 2020.** La dégradation des sols en France et dans le monde, une catastrophe écologique -environnement-pollution/la-degradation-dessols-en-france-et-dans.

- **Mathieu C., Françoise P., 2009.** Analyse chimique des sols. *Ed ; TEC et DOC*.321p.

- **Mello Ivo, W.M. P., Mielniczuk J., 1999.** Influence de la structure du sol sur la distribution et la morphologie des racines de maïs sous trois méthodes de travail du sol. *Journal brésilien des sciences du sol*. 23(1), pp : 135-143.

- **Moulias D., 1927.** L'eau dans les oasis sahariennes : (Organisation hydraulique, régime juridique). Thèse de doctorat. Université d'Alger, 305p.

- **Naidu R., Rengasamy P., 1993.** Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. *Australian Journal of Soil Research*, 31(6), pp : 801-819.

- **Nedjraoui D., 2001.** Country Pasture/Forage Resource Profiles, Algeria, 'Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres (URBT), Algérie. pp : 1-28.

- **Nelson D.W., Sommers L., 1983.** Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, (9), pp: 539-579.

- **Nolin M.C., Cailler M.J., Wang C., 1991.** Variabilité des sols et stratégie d'échantillonnage dans les études pédologiques détaillées de la plaine de Montréal. *Canadian Journal of Soil Science*. 71(4), pp : 439-451.
- **O.N.M. 2020.** Données climatiques de la région de Ghardaïa. Rapport de l'Office National de Météorologie, Ghardaia, 14p.
- **Ouali S., Mehmah B., Malek A., 2007.** Etude de faisabilité d'utilisation des eaux thermales de Zelfana dans la Production d'Hydrogène. *Revue du Développement des Énergies Renouvelables*. 2IWH, pp : 1-9.
- **Ozenda P., 1983.** Flore du Sahara. Ed. du centre nationale des recherches scientifiques. Centre Nationale de la Recherche Scientifique, Paris, 624p.
- **Ozenda P., 1991.** Flore et végétation du Sahara. 3^{ème} Ed. Centre Nationale de la Recherche Scientifique, Paris, France. 662 p.
- **Reid W V, Mooney H A, Cropper A, Capistrano D, Carpenter S R, Chopra K, Dasgupta P, Dietz T, Duraiappah A K, Hassan R, Kasperson R, Leemans R, May R M, McMichael T, Pingall P, Samper C, Scholes R, Watson R, Zakri A, Shidong Z, Ash N, Bennett E, Kumar, P, Lee M, Raudsepp-Hearne C, Simons H, Thonell J et Zurek M B, 2005.** *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- **Riah W., Trap J., Cheviron N., Mougín C., Criquet S., Houot S., Legras M., Vian J.F., Bispo A., Grand C., Galsomies L., Peres G., Laval K., Trinsoutrot-Gattin I., 2012.** Effet des pratiques agricoles sur treize activités enzymatiques du sol. Résultats du programme "Bioindicateurs". 11^{èmes} journées d'Etude des Sols, 94p.
- **Rognon P., 1994.** *Biographie d'un désert: le Sahara*. Paris: Le Harmattan.350p.
- **Rouabhia A.E.K., Djabri L., 2010.** L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'EL MA EL ABIOD. *Larhyss Journal* 8(2010), pp : 55-67

- **Schoeneberger P.J., D.A. Wysocki, E.C., Benham, and Soil Survey Staff. 2002.** Field book for describing and sampling soils Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- **Soltner D., 1986.** Les bases de la production végétale. 27^{ème} Ed Tome 01. Le sol et son amélioration. Collection Science et Techniques Agricoles, 464p.
- **Steichen P., 2013.** Terres, sols et sécurité alimentaire. Revue juridique de l'environnement, 38(4), pp : 595-612.
- **Sumner M.E., 1993.** Sodic soils-New perspectives. Soil Research, 31(6), pp : 683-750.
- **Tavares Filho J, Barbosa G.M.C, Guimarães M.F, et Fonseca L.C B, 2001.** Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, pp: 725-730.
- **Tessier D., 2002.** Soil- an exchange and transfer medium. On sequences of soil use by humans: a French example. *Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science*, 15, pp : 9-26.
- **Toutain G, 1979.** Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. Ed. I.N.R.A., Paris. 276p.
- **U.S.D.A, 1999.** Soil Quality Test Kit Guide. Pub. United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute, 38p.
- **Urbatia, 1996.** Plan Directeur de l'Aménagement Urbain (PDAU) de la commune de
USSL Staff (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No 60 Washington DC, USA, 160 pp.
- **USDA, NRCS, 2012.** Soil bulk density/moisture/aeration. *Nutrition and food Science*, 2012, 42(4), pp: 11-14.

- **Vinas A., Joukov B., 1974.** Étude agro-pédologique du Touat-Gourar, direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. La sous-direction des ressources en sol, Alger, 103p.
- **Voltz M., 1986.** Rapport IV. 7: Etude des conséquences d'un abaissement de nappe phréatique sur les transferts hydriques au sein d'une culture de maïs. Journées de l'hydraulique, 19(4), pp : 1-6.
- **Vorobyova O, Dyukova G et Shepeleva I, 1991.** The treatment of vegetative crise (panic attacks). Žurnal nevropatologii i psihiatrii im. SS Korsakova, 91(5), pp : 3-5.
- **WRB I.W G., 2015.** World Reference Base for Soil Resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. In World Soil resources reports No (106), Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 192p.
- **Yılmaz E., ALAGÖZ Z., 2008.** Organik madde toprak suyu ilişkisi. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Antalya Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi (Journal turc des revues scientifiques), 1(2), pp : 15-21.
- **Youcef F., 2003.** Mise au point d'une étude climatique du Sahara septentrional algérien (Ouargla, Touggourt, Ghardaïa). Mémoire d'ingénieur d'État. Université Kasdi Merbah-Ouargla, 88p.



Annexes



Annexe I: Échelles utilisées à l'interprétation des résultats

Tableau I: Classe du calcaire total (BAIZE, 1988)

CaCO ₃ (%)	Horizon
≤ 1	Non calcaire
1 < CaCO ₃ ≤ 5	Peu calcaire
5 < CaCO ₃ ≤ 25	Modérément calcaire
25 < CaCO ₃ ≤ 50	Fortement calcaire
50 < CaCO ₃ ≤ 80	Très calcaire
> 80	Excessivement calcaire

Tableau II: Classement de la salinité selon la conductivité électrique.

C.E. (dS/m à 25°c)	Degré de salinité
≤ 0.6	Sol non salé
0.6 < C.E. ≤ 2	Sol peu salé
2 < C.E. ≤ 2.4	Sol salé
2.4 < C.E. ≤ 6	Sol très salé
> 6	Sol extrêmes salé

Tableau III: Classement de la Matière organique (I.T.A., 1975)

M.O. (%)	Sol
≤ 1	Très pauvre
1 < M.O. ≤ 2	Pauvre
2 < M.O. ≤ 4	Moyenne
> 4	Riche

Tableau IV: Normes d'interprétation du pH-eau du sol (MATHIEU et al, 2009).

pH	Normes
0 à 3	Extrême acide
3 à 4	Très fort acide
4 à 5	Forte acidité
5 à 6	Modérée acidité
6 à 7	Faible acidité
7 à 8	Faible alcalinité
8 à 9	Modérée alcalinité
9 à 10	Fort alcalinité
10 à 11	Très fort alcalinité

Tableau V: Echelle d'interprétation des résultats de calcaire actif (INRA 2012).

CaCO₃ actif en (%)	Horizon
0 à 5	Faible
5 à 10	Assez faible
10 à 20	Elevé
> 20	Très élevé

Tableau NI: Evaluation de la porosité totale du sol (KATCHINSKI., 1983)

Porosité totale	Appréciation qualitative
> 70	Sol gonflé excessivement poreux
55 – 65	Sol excellent, couche arable cultivable
50 – 55	Satisfaisant pour la couche arable
< 55	Insatisfaisant pour la couche arable
40 – 25	Porosité trop basse, caractéristique des horizons illuviaux

Annexe II: publications

Eco. Env. & Cons. 28 (3) : 2022; pp. (120-128)
 Copyright© EM International
 ISSN 0971-765X

Evaluation soil changes under agricultural management and irrigation in an arid region: the case of Ghardaïa (Zelfana)

Faredj Chikhi^{1,*}, Mohamed Benslama², Fouzi Benbrahim³, Abderraouf Benslama^{1,4}, Sabrine Darem², Imane Hamel¹ and Jose Navarro-Pedreño⁴

¹*Laboratoire de mathématiques et sciences appliquées, Université de Ghardaïa, BP 455 Ghardaïa 47000, Algeria*

²*Laboratory of Soils and Sustainable Development, Badji Mokhtar University-Annaba, P.O.Box 12 Annaba, Algeria*

³*Ecole normale supérieure de Ouargla, BP 398, Haç Ennasr, Ouargla 30000, Algeria*

⁴*Department of Agrochemistry and Environment, University Miguel Hernández of Elche, 03202-Elche, Alicante, Spain*

(Received 5 November, 2021; accepted 27 December, 2021)

ABSTRACT

The sustainability of soils is a major concern as they provide multiple functions such as agricultural production, water filtration and biotope for living organisms. Crop sustainability in an arid environment requires the study of the components of this environment. Our work carried out in the region of Zelfana (Sahara Desert), 60 km far from the capital of Ghardaïa province, aims to diagnose and characterize the soil changes produced due to the cultivation of palm trees. For this purpose, systematic sampling was carried out and soil data measured on plots cultivated for 60 years, comparing with those of an uncultivated area (control). The undisturbed soils have coarse textured, low organic matter content, are moderately to highly calcareous, and present low to high salinity and alkaline. The results of the cultivated topsoil and the annual rate of change showed that there was a highly significant decrease in total limestone and pH, and a highly significant increase in electrical conductivity and organic matter due to the cropping system. These changes are justified by the effect of the years of cultivation and the farmers' management (i.e. addition of organic manure and the flood irrigation).

Key words: Irrigation, Palm tree, Sahara Desert, Salinity, Soil organic matter



Spatial Variability of Soil Properties in Palm Groves of the Central Algerian Sahara (Case of Zelfana)

HAMEL Imane^{1,a)}, BENSLAMA Mohamed², BENBRAHIM Fouzi³, KRAIMAT Mohamed⁴, CHIKHI Faredj¹, DAREM Sabrina²

¹University of Ghardaia, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Department of Biology, Laboratory of Mathematics and Applied Sciences, B.P.455 Ghardaia 47000, Algeria.

²University of Badji Mokhtar, Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Biology, Soil and Sustainable Development Research Laboratory, Annaba, P.O. Box 12, 23000 Annaba, Algeria.

³École Normale Supérieure de Ouargla, BP 398, Hai Ennasr, Ouargla 30000, Algérie.

⁴University of Kasdi Merbah, Faculty of Natural Sciences and Life, Department of Agronomy, Saharan Bioresources Laboratory, 1st November Avenue, Ouargla 30000, Algeria.

^{a)} Corresponding Author: hamel_imne@yahoo.com

Received : 9/2/2022

Acceptance : 13/3/2022

Available online: 1/6/2022

Abstract. Monitoring soil quality in irrigated areas is essential for assessing the sustainability of production systems. In this respect, the spatial variability of the properties of irrigated soils is a mean to know the evolution of the latter. This study aims to determine the spatial variability of soil organic matter, salinity, pH and active limestone using a geostatistical approach. The present study was carried out in the region of Zelfana located in the Algerian central Sahara, the samples were collected from a depth of 0 to 30 cm and analysed for organic matter, salinity, pH and active limestone. The analytical results show that the soil is very poor in organic matter, very salty, alkaline to very alkaline and moderately calcareous. The geostatistical analysis revealed various patterns and levels of spatial distribution of the studied properties. The results showed a weak spatial dependence for organic matter, moderate for pH and salinity and strong for active limestone. The variographic analysis showed that the nugget effect is weak for organic matter and pH, moderate for salinity, while active limestone does not show a nugget effect. The range varies from 75 meters for salinity to 299 meters for organic matter, confirming the validity of the adopted sampling and allowing the optimization of future sampling plans. The Arcgis autoKriging function was used to select the best theoretical variogram model from those most commonly used in geostatistics (Gaussian, spherical, exponential and circular). This model was used to produce the spatial variability maps using ordinary kriging. Spatial variability of soil properties is influenced by agricultural intensification, something that must be taken into consideration for integrated and sustainable land management in similar regions.

Keywords. Geostatistics, Spatial variability, Organic matter, Salinity, pH, Active limestone.

Eco. Env. & Cons. 27 (4) : 2021; pp. (1524-1534)
 Copyright@ EM International
 ISSN 0971-765X

Spatial Dynamics of Soil Salinity in an Arid Palmtree Cultivation System in Algeria

Abderraouf Benslama^{1,5*}, Kamel Khanchoul², Fouzi Benbrahim³, Sana Boubehziz², Faredj Chikhi¹, Mohamed Amine Abdennour⁴, Mahmoud Tourki² and Jose Navarro-Pedreño⁵

¹*Laboratoire de Mathématiques et Sciences Appliquée, Université de Ghardaïa, BP 455 Ghardaïa 47000, Algeria*

²*Laboratory of Soils and Sustainable Development, Badji Mokhtar University-Annaba, P.O.Box 12 Annaba, Algeria*

³*Ecole Normale Supérieure de Ouargla, BP 398, Haç Ennasr, Ouargla 30000, Algeria*

⁴*Laboratory of Ecosystem Diversity and Agricultural Production System Dynamics in Arid Zones (DEDSPAZA), Mohamed Khider University, 07000 Biskra, Algeria*

⁵*Department of Agrochemistry and Environment, University Miguel Hernández of Elche, 03202-Elche, Alicante, Spain*

(Received 16 February, 2021; Accepted 21 April, 2021)

ABSTRACT

Soil salinity is the first real threat of soil degradation in drylands. This degradation will affect agricultural yields and thus accelerate the phenomenon of desertification. This study consisted mainly in knowing the movement of salts after two periods in an irrigated agricultural palm tree oasis influenced by an arid climate. The objective of this study was to quantify and model seasonal changes and try to understand the movement of salts in the soil profile to establish a sustainable management of the agro systems. Physico-chemical properties were analysed to determine the quality of the irrigation water showing that this is admissible. A systematic soil sampling was applied to collect 45 samples covering the entire study area at two depths A1 (0-30cm) and A2 (30-60cm) in May (M) and November (N). Ordinary Kriging geostatistical method was used to obtain maps of soil salinity and the variation between depths: $\Delta (M1-M2)$, $\Delta (N1-N2)$, and as a function of time: $\Delta (M1-N1)$, $\Delta (M2-N2)$. The efficiency of these models was evaluated by calculating the mean error ME and the root mean square error RMSE for all the maps. There was a movement of salts facilitated by the sandy texture of the soils. A tendency of salt accumulation on the surface due to the scarcity of vegetation cover and a high evaporation rate was noticed. An accumulation in depth (A2) was observed in the middle of the study area due to the density of the planted palm trees which ensures a good soil cover, limiting evaporation and favouring the salt leaching process. This research can provide a tool to implement an adequate crop management program in this or similar areas, considering the need of a good palmtree cover of the soil to minimize salt accumulation in the soil surface, creating a microclimate inside the oasis.

Key words: Agricultural, Geostatistics, Ordinary Kriging, Salt displacement, Soil degradation



Article

Monitoring the Variations of Soil Salinity in a Palm Grove in Southern Algeria

Abderraouf Benslama ^{1,*}, Kamel Khanchoul ², Fouzi Benbrahim ³ , Sana Boubehziz ²,
Faredj Chikhi ¹ and Jose Navarro-Pedreño ^{4,*} 

¹ Laboratoire de Mathématiques et Sciences Appliquée, Université de Ghardaïa, BP 455, Ghardaïa 47000, Algeria; faredjeco@gmail.com

² Laboratory of Soils and Sustainable Development, Badji Mokhtar University-Annaba, P.O.Box 12, Annaba 23000, Algeria; kamel.khanchoul@univ-annaba.dz (K.K.); sanaboubehziz@gmail.com (S.B.)

³ École Normale Supérieure de Ouargla, BP 398, Hai'Ennasr, Ouargla 30000, Algeria; fouzibenbrahim@yahoo.fr

⁴ Department of Agrochemistry and Environment, University Miguel Hernández of Elche, 03202 Elche, Alicante, Spain

* Correspondence: bensrofa@yahoo.fr (A.B.); jonavar@umh.es (J.N.-P.)

Received: 7 July 2020; Accepted: 23 July 2020; Published: 29 July 2020



Abstract: Soil salinity is considered the most serious socio-economic and environmental problem in arid and semi-arid regions. This study was done to estimate the soil salinity and monitor the changes in an irrigated palm grove (42 ha) that produces dates of a high quality. Topsoil samples (45 points), were taken during two different periods (May and November), the electrical conductivity (EC) and Sodium Adsorption Ratio (SAR) were determined to assess the salinity of the soil. The results of the soil analysis were interpolated using two geostatistical methods: inverse distance weighting (IDW) and ordinary Kriging (OK). The efficiency and best model of these two methods was evaluated by calculating the mean error (ME) and root mean square error (RMSE), showing that the ME of both interpolation methods was satisfactory for EC (−0.003, 0.145) and for SAR (−0.03, −0.18), but the

Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla

Benbrahim Fouzi^(1,2), Benslama Mohamed¹, Kemassi Abdellah^{2,3}, Darem Sabine^(1,2), Hamel Imen^(1,2), Chikhi Faradj^(1,2), and Halilat Mohamed Tahar^(4,5)

1- Département de biologie Université Baji-Mokhtar- Annaba, Algérie.

2- Département de biologie Université de Ghardaïa, BP 455 Ghardaïa 47000 Algérie 3- Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-arides, Université Kasdi Merbah, Ouargla, BP 511 Ouargla 3000 Algérie.

4- Laboratoire de bio-ressources sahariennes : Préservation et Valorisation, Université Kasdi Merbah, Ouargla, BP 511 Ouargla 3000 Algérie.

5- Département de biologie université de M'sila Algérie

Résumé

La céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes est confrontée à plusieurs contraintes qui s'opposent à son développement. Ce travail réalisé dans la région de Hassi Ben Abdellah (Ouargla), s'inscrit dans le domaine des contraintes techniques et porte sur un facteur limitant de développement de la céréaliculture dans les régions arides. Ce facteur est la salinité du sol qui a été suspectée responsable des chutes des rendements et jugée comme critère d'évaluation de la mise en valeur agricole dans ces régions. Les résultats analytiques montrent que le sol est d'une texture grossière avec un faible taux de matière organique et d'azote et une faible capacité d'échange cationique. Le sol est modérément calcaire, non salé à faiblement salé, alcalin et non sodique. Les eaux d'irrigation appartiennent à la classe C4S2, caractérisée par un degré de salinisation élevé et un danger d'alcalinisation appréciable. L'analyse couplée de la variance et du taux de variation annuelle des paramètres étudiés a montré une augmentation très hautement significative de la salinité en fonction du nombre de campagne agricole donc de la quantité d'eau appliquée. Avec une intensité de salinisation plus prononcée dans l'horizon de sub-surface. L'évaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot a montré que d'ici 48 à 70 ans, le site n'aura plus l'aptitude à produire des céréales à cause de la salinisation. Cette variation est en fonction de l'espèce, de l'état actuelle de la salinité et du taux d'évolution annuelle de cette dernière. Elle est relative et conditionnée par plusieurs facteurs, essentiellement l'itinéraire technique, les facteurs édapho-climatiques et économiques.

Mots clés : Régions sahariennes, céréaliculture, eau, sol, salinité, durabilité.