

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre  
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Ecologie et environnement

**Spécialité :** Sciences de l'environnement

**Par :DAREM Sabrina**

**Thème**

**Impact de l'intensification agricole (phoeniciculture)  
sur la variation du pH et du taux de calcaire total  
dans la région de Ghardaïa (cas de Zelfana)**

**Soutenu publiquement le : 23/06/2013**

**Devant le jury :**

<b>M. AGOUN Mohammed Salah</b>	Maître Assistant B	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>M. BENSLAMA Mohammed</b>	Maître de conférences	Univ. Annaba	<b>Encadreur</b>
<b>M. BENBRAHIM Fouzi</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Co- Encadreur</b>
<b>M. KEMASSI Abdellah</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>

**Année universitaire 2012/2013**

# Dédicaces

*Je dédie ce travail*

- ☞ *À mes chers et regrettés grands-parents maternels, grand-mère paternel et mon oncle : Zouaoui que Dieu le tout puissant les accueille dans son vaste paradis.*
- ☞ *À mon grand-père paternel que Dieu le préserve une longue vie, ainsi que mon adorable papa qui a énormément fait pour moi.*
- ☞ *À ma chère maman légitime et ma douce mère adoptive sans oublier mes deux anges : Narimane et Nihed.*
- ☞ *À mon adorable Ranim*
- ☞ *À la famille BRANKI mes tatas, mes oncles et leurs petites familles, surtout : Naâmane et Tenfik que je chéris beaucoup.*
- ☞ *À la famille DAREM : en particulier mes oncles et mes tantes.*
- ☞ *À mon aimable, douce et fidèle amie Rekia CHERIF.*
- ☞ *À ma bien aimée et affective Bouchra*
- ☞ *À tous mes amies en particulier Assia, Malika et Aida*



*DAREM Sabrina*

## ***Avant-propos***

*Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens de pouvoir pour accomplir ce modeste travail*

*Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements et toute ma reconnaissance à l'égard de :*

*Dr. BENSLAMA Mouhammed Maître de conférences au département de biologie de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, pour avoir accepté d'encadrer ce travail.*

*M. BENBRAHIM Fouzi Maître Assistant au département de biologie de l'Université de Ghardaïa, pour l'aide très précieuse qu'il m'a apportée mais aussi pour son enthousiasme communicatif, sa patience et sa totale disponibilité, pour le suivi de ce travail.*

*M. AGOUN Salah Maître Assistant au département sciences et technologies de l'Université de Ghardaïa, vous qui me faites le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*M. KEMASSI Abdellah Maître Assistant au département de biologie de l'Université de Ghardaïa, pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je remercie infiniment M.OUELAD Belkeir, pour son aide et ces conseils.*

*Je remercie profondément M. DEMORTIER Pierre, pour sa gentillesse, son aide morale et technique.*

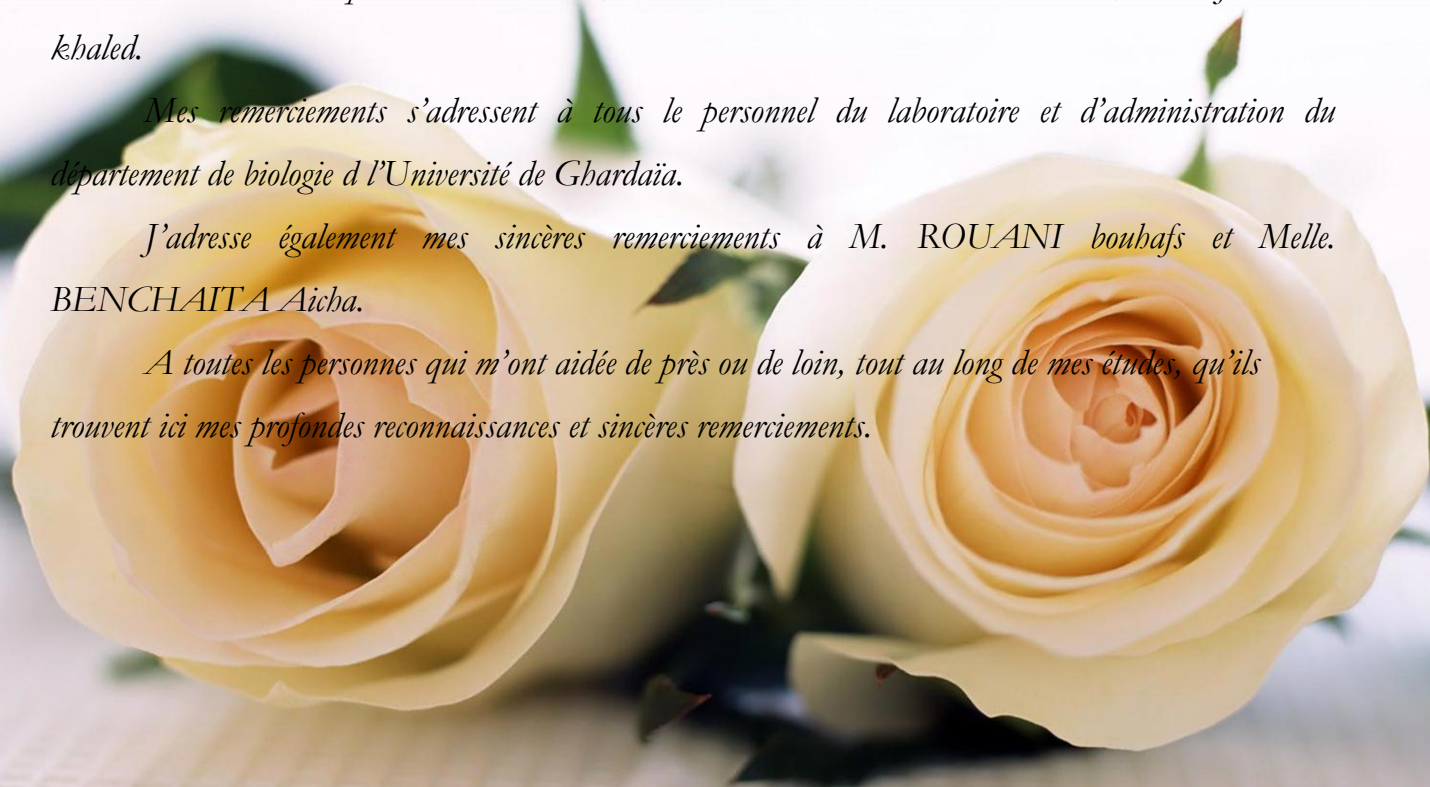
*Mes remerciements les plus chaleureux pour Mme. MEHANI Mouna, Melle. TELLI Alia, M. BENSEMAOUNE Youcef, pour leur gentillesse, compréhension et surtout leur soutien moral.*

*Merci à tout le personnel de D.S.A, en tête M. TIZIGARINE Nourdine, M. DJABRIT khaled.*

*Mes remerciements s'adressent à tous le personnel du laboratoire et d'administration du département de biologie d l'Université de Ghardaïa.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à M. ROUANI bouhafs et Melle. BENCHAITA Aicha.*

*A toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin, tout au long de mes études, qu'ils trouvent ici mes profondes reconnaissances et sincères remerciements.*



## ***Impact de l'intensification agricole (phoeniculture) sur la variation du pH et du taux de calcaire total dans la région de Ghardaia (cas de Zelfana)***

### **Résumé**

Le suivi de la qualité des sols dans les périmètres irrigués est nécessaire pour la mesure de la durabilité des systèmes de production. A ce titre, la variabilité spatiale des propriétés des sols irrigués est un moyen pour connaître l'évolution de ces derniers.

Le présent travail réalisé dans la région de Zelfana, porte sur l'évaluation de l'impact de la phoeniculture sur quelques propriétés du sol à savoir le pH et le calcaire total.

Trois parcelles (cultivée, non cultivée sous palmiers et non cultivée hors palmeraie) ont été échantillonnées selon une grille systématique de 8x8m.

Les résultats analytiques montrent que le sol est modérément à fortement calcaire, alcalin à très alcalin. Le profil calcaire est de type descendant dans toutes les parcelles étudiées, celui de pH est ascendant dans la parcelle cultivée et descendant dans les deux autres parcelles.

L'analyse du taux de variation annuelle des paramètres étudiés a montré, une augmentation très hautement significative du calcaire et une diminution très hautement significative du pH.

La variation spatiale du calcaire est modérée dans la parcelle cultivée et élevée dans les deux parcelles non cultivée, tandis que celle du pH est faible dans toutes les parcelles étudiées. La modélisation géostatistique par l'étude des variogrammes expérimentaux a montré l'efficacité du pas d'échantillonnage choisi.

La variation spatiale et verticale du calcaire et du pH est influencée par l'intensification agricole dans la région de Zelfana.

**Mots clés :** Calcaire, pH, Zelfana, variabilité spatiale, géostatistique.

***Impact of the agricultural intensification (date palm culture) on the variation of the pH and the rate of total calcareous in the region of Ghardaïa (case of Zelfana)***

**Abstract**

Controlling soils quality in irrigated areas is an indispensable process to measure the sustainability of production system, as such the spatial variability of irrigated soils, is a way to know the evolution of the quality.

The present work has been realized in the region of Zelfana, it is essentially relies on the evaluation of the impact of the date palm culture focusing on experimental values of some proprieties (pH, calcareous).

Three plots of soil (cultivated, not cultivated under palm trees and outside of date palm culture were sampled according to a systematic grid of 8x8m.

The analytical results illustrate that the soil is moderately to strongly calcareous and alkaline to very alkaline in the mentioned area , calcareous profile is increases during all the study; About pH profile, we mention that it increase in cultivated plot and decrease in the remaining plots.

The analysis of the rate of annual variation of studied parameters showed a very highly significant increase of the calcareous and a very highly significant decrease of the pH.

The spatial variation of calcareous is moderated in cultivated plot and high in bothun all study cultivated plots, while the pH is low rate in all study plots. Geostatistical modeling study of experimental variograms showed the effectiveness of the sampling chosen.

The spatial and vertical variations of the calcareous and pH are influenced by the region of Zelfana.

**Keywords:** calcareous, pH Zelfana, spatial variability, geostatistical.

## أثر التكتيف الزراعي (زراعة النخيل) على نسبة الكلس ودرجة الحموضة في منطقة غرداية (منطقة زلفانة)

### الملخص

من الضروري رصد نوعية التربة في المساحات المسقية وذلك من أجل قياس مدى استمرارية الانتاج، ولهذا فان التباين المكاني لخصائص التربة المسقية هو وسيلة لمعرفة تطور نوعية التربة.

تعتمد الدراسة الحالية المنجزة في منطقة غرداية وبالأخص منطقة زلفانة على تقييم مدى تأثير زراعة النخيل على بعض خصائص التربة مثل درجة الحموضة والكلس لذلك تم أخذ ثلاث عينات (مساحة مزروعة، مساحة غير مزروعة تحت أشجار النخيل و مساحة غير مزروعة تماما).

أظهرت النتائج التحليلية أن التربة تحتوي على نسبة معتدلة الى عالية من الكلس، مع درجة حموضة قاعدية. المقطع الطولي لتربة هو من النوع النازل في كل المساحات المدروسة أما المقطع الاخر الخاص بدرجة الحموضة فهو من النوع المتصاعد في المساحة المزروعة ونازل في المساحات الأخرى.

بين تحليل نسبة التغير السنوي للخصائص المدروسة بتواجد ارتفاع في نسبة الكلس وانخفاض في درجة الحموضة. التباين المكاني للكلس هو متوسط في المساحة المزروعة ومرتفع في المساحات الاخرى، أما بالنسبة لدرجة الحموضة فهو منخفض في كل المساحات المدروسة.

أثبتت الدراسة النموذجية الاحصائية الجيولوجية بواسطة الفاربيوجرام التجريبي، على صحة المسافة المعتمدة في أخذ العينات.

أثر التكتيف الزراعي في منطقة زلفانة على التغير الأفقي والعمودي للكلس ودرجة الحموضة .

**الكلمات الدالة:** الكلس، درجة الحموضة ، زلفانة، التباين المكاني، الدراسة النموذجية الاحصائية الجيولوجية.

## Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
<b>Tableau 1:</b>	Superficie par communes de la Wilaya de Ghardaïa.....	04
<b>Tableau 2:</b>	Données météorologiques de la Wilaya de Ghardaïa (1996-2012).....	07

## Liste des figures

Figure	Titre	Page
<b>Figure 01:</b>	Situation géographique de la vallée du M'Zab.....	03
<b>Figure 02:</b>	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa.....	08
<b>Figure 03:</b>	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (1996 - 2012).....	10
<b>Figure 04:</b>	Vue aérienne de la Chebka.....	11
<b>Figure 05:</b>	Esquisse hydrogéologique du M'Zab.....	15
<b>Figure 06:</b>	Bassin versant de la région du M'Zab.....	16
<b>Figure 07:</b>	Parcelles étudiées.....	24
<b>Figure 08:</b>	Localisation du site d'étude.....	25
<b>Figure 09:</b>	Plan d'échantillonnage .....	26
<b>Figure 10:</b>	Dispositif expérimental d'étalonnage du Calcimètre.....	29
<b>Figure 11:</b>	Dispositif expérimental du dosage du calcaire total dans le sol.....	31
<b>Figure 12:</b>	Mesure du pH dans le sol.....	33
<b>Figure 13:</b>	Profil calcaire et pH du P1.....	36
<b>Figure 14:</b>	Profil calcaire, pH du P2.....	37
<b>Figure 15:</b>	Profil calcaire, pH du P3.....	37
<b>Figure 16:</b>	Profil calcaire, pH du P4.....	38
<b>Figure 17:</b>	Profil calcaire, pH du P5.....	38
<b>Figure 18:</b>	Profils caractéristiques de la parcelle cultivée.....	39
<b>Figure 19:</b>	Profil calcaire, pH du T1.....	40
<b>Figure 20:</b>	Profil calcaire, pH du T2.....	40
<b>Figure 21:</b>	Profil calcaire, pH du T3.....	41
<b>Figure 22:</b>	Profil calcaire, pH du T4.....	41
<b>Figure 23:</b>	Profil calcaire, pH du T5.....	42
<b>Figure 24:</b>	Profils caractéristiques de la parcelle non cultivée sous palmier.....	42
<b>Figure 25:</b>	Profil calcaire, pH du C1.....	43
<b>Figure 26:</b>	Profil calcaire, pH du C2.....	43



<b>Figure 27:</b>	Profil calcaire, pH du C3.....	44
<b>Figure 28:</b>	Profil calcaire, pH du C4.....	44
<b>Figure 29:</b>	Profil calcaire, pH du C5.....	45
<b>Figure 30:</b>	Profils caractéristiques de la parcelle non cultivée hors palmeraie.....	45
<b>Figure 31:</b>	Boite à moustaches de la variation de CaCO <sub>3</sub> du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et témoin cultivée.....	46
<b>Figure 32:</b>	Boite à moustaches de la variation de CaCO <sub>3</sub> du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et témoin cultivée.....	47
<b>Figure 33:</b>	Boite à moustaches de la variation de CaCO <sub>3</sub> du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée, témoin cultivée et non cultivée (témoin).....	47
<b>Figure 34:</b>	Boite à moustaches de la variation de pH du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et témoin cultivée.....	48
<b>Figure 35:</b>	Boite à moustaches de la variation de pH du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et non cultivée (témoin).....	49
<b>Figure 36:</b>	Boite à moustaches de la variation de pH du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée, témoin cultivée et non cultivée (témoin).....	49
<b>Figure 37:</b>	Variogramme de CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle cultivée.....	53
<b>Figure 38:</b>	Variogramme du pH dans la parcelle cultivée.....	55
<b>Figure 39:</b>	Variogramme du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle non cultivée sous palmier.....	57
<b>Figure 40:</b>	Variogramme du pH dans la parcelle non cultivée sous palmier.....	59
<b>Figure 41:</b>	Variogramme du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle non cultivée hors palmeraie.....	61
<b>Figure 42:</b>	Variogramme du pH dans la parcelle non cultivée hors palmeraie.....	63

## Liste des cartes

<b>Carte</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Carte 01:</b>	Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa.....	05
<b>Carte 02:</b>	Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa.....	13
<b>Carte 03:</b>	Localisation géographique de la région d'étude (Zelfana).....	20
<b>Carte 04:</b>	Répartition spatiale du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle cultivée.....	54
<b>Carte 05:</b>	Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée.....	56
<b>Carte 06:</b>	Répartition spatiale du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle non cultivée sous palmier.....	58
<b>Carte 07:</b>	Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée sous palmier.....	60
<b>Carte 08:</b>	Répartition spatiale du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle non cultivée hors palmeraie.....	62
<b>Carte 09:</b>	Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée hors palmeraie...	64

## Liste des abréviations

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
<b>Profil P1</b>	Profil au point P1
<b>Profil P2</b>	Profil au point P2
<b>Profil P3</b>	Profil au point P3
<b>Profil P4</b>	Profil au point P4
<b>Profil P5</b>	Profil au point P5
<b>Profil T1</b>	Profil au point T1
<b>Profil T2</b>	Profil au point T2
<b>Profil T3</b>	Profil au point T3
<b>Profil T4</b>	Profil au point T4
<b>Profil T5</b>	Profil au point T5
<b>Profil C1</b>	Profil au point C1
<b>Profil C2</b>	Profil au point C2
<b>Profil C3</b>	Profil au point C3
<b>Profil C4</b>	Profil au point C4
<b>Profil C5</b>	Profil au point C5
<b>Profil C5</b>	Profil au point C5
<b>CV</b>	Coefficient de variation
<b>N.S.</b>	Non significative
<b>T.H.S.</b>	Très hautement significative

# Table de matière

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste de figures

Liste des cartes

Liste des abréviations

**Introduction** 01

## Première partie : Matériels et méthodes

### Chapitre I : Présentation de la région de Ghardaïa

1.	Situation géographique.....	04
2.	Climat.....	06
2.1.	Température.....	06
2.2.	Précipitation.....	06
2.3.	Humidité relative.....	06
2.4.	Evaporation.....	06
2.5.	Insolation.....	06
2.6.	Vent.....	07
3.	Synthèse climatique.....	08
3.1.	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN.....	08
3.2.	Climagramme d'EMBERGER.....	09
4.	Géomorphologie.....	10
4.1.	Chabka du M'Zab.....	11
4.2.	Région des dayas .....	12
4.3.	Région des Regs.....	12
5.	Flore.....	14
6.	Géologie.....	14

7.	Hydrologie.....	15
8.	Réseau hydrographique.....	16
8.1.	Nappe phréatique.....	16
8.2.	Nappe du continental intercalaire.....	16
9.	Pédologie.....	17
10.	Agriculture.....	17
11.	Industrie.....	18
12.	Tourisme.....	18
13.	Artisanat.....	19
14.	Présentation de la zone d'étude.....	20
14.1.	Climat.....	21
14.2.	Géologie de la région.....	21
14.2.1.	Quaternaire.....	21
14.2.2.	Néogène.....	21
14.2.3.	Crétacé supérieur.....	22
14.3.	Hydrogéologie.....	22
14.3.1.	Fissures.....	22
14.4.	Hydrologie.....	22

## Chapitre II- Méthodologie du travail

1.	Approche méthodologique.....	23
2.	Choix de site d'étude.....	24
3.	Présentation du site d'étude.....	24
4.	Echantillonnage.....	25
5.	Méthodes d'analyse.....	27
5.1.	Matériel utilisé au laboratoire.....	27
5.2.	Réactifs utilisées.....	27
5.3.	Dosage du calcaire total.....	27
5.3.1.	Méthode au calcimètre de Bernard.....	27
5.3.1.1.	Principe.....	27

5.3.1.2.	Etalonnage du calcimètre.....	27
5.3.1.3.	Dosage du calcaire total.....	30
5.3.1.4.	Mesure.....	30
5.4.	Mesure du pH.....	32
6.	Analyses statistiques.....	34
6.1.	Variation annuelle des paramètres étudiés.....	34
6.2.	Statistiques descriptives.....	34
6.3.	Analyse de la variance à un facteur.....	34
6.4.	Coefficient de variation.....	35
7.	Réalisation de cartes thématiques.....	35

## Deuxième partie : Résultats et discussion

### Chapitre III. Caractéristiques du sol

1.	Etude de la variation verticale des paramètres étudiés.....	36
2.	Etude de la variation spatiale du calcaire total et du pH.....	50

### Conclusion

	Références bibliographiques.....	70
	Annexes.....	76



# *Introduction*

## **Introduction**

L'étude des sols d'Algérie constitue une préoccupation majeure des pédologues algériens. En effet, les grandes potentialités en terres agricoles qu'on dispose exigent une bonne connaissance de ce patrimoine en vue de le préserver et le mieux gérer (KHEMGANI, 2010).

En régions sahariennes la quasi-totalité de la surface est constituée de terrains marginaux ; malgré les potentialités en eaux souterraines, les sols présentent des contraintes sévères pour la mise en valeur (salinité, encroûtements calcaire, gypseux et siliceux de sub-surface, profondeur du sol, pierrosité,...etc.) (KHEMGANI, 2010).

Les ressources de l'agriculture des zones arides sont limitées si on les compare aux populations qui y vivent. Dans la plupart de ces régions l'extension de la production agricole s'accompagne de la réalisation de systèmes d'irrigation. Cependant à cause de la rareté de l'eau et de ses caractéristiques chimiques ainsi que des conditions climatiques très évaporantes, les irrigations doivent être réalisées rationnellement, pour éviter en particulier, la dégradation des sols. C'est ainsi que 200.000 ha sont pratiquement perdus pour l'agriculture tous les ans dans le monde, par des irrigations mal conduites (LE HOUEROU, 1979).

La qualité du sol est un élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités des sols et des eaux (LARSON et PIERCE, 1992).

Dans la région de Zelfana caractérisée par une période sèche étalée sur toute l'année, l'irrigation est indispensable pour une production agricole suffisante et stable.

D'après DAOUD et HALITIM (1994), la majorité des eaux d'irrigation du Sahara contiennent des quantités excessives de sels solubles. Utilisées en irrigation, ces eaux provoquent des phénomènes de dégradation des sols par alcalinisation, salinisation et sodisation (CHEVERRY et ROBERT, 1998), et par conséquence la faiblesse des rendements des cultures (DAOUD et HALITIM, 1994).

La phoeniciculture par la place qu'elle occupe dans l'agriculture saharienne constitue la principale ressource des 2,2 millions d'habitants des régions sahariennes de l'Algérie (MESSAR, 1996). Le patrimoine phoenicicole de l'Algérie est estimé à plus de 12 millions de palmier dattiers (ALLAM, 2007). Cependant, les statistiques et la position de la phoeniciculture ne révèlent pas la



situation réelle de ce secteur dans la mesure où cette phoeniciculture, depuis l'indépendance, se trouve dans un stade de dégradation continue à tous les niveaux.

En effet, la production des dattes reste corrélée à la situation et au nombre de palmiers productifs et les rendements obtenus sont très faibles (35 kg/ pied). Ce dernier reste faible par rapport à ceux enregistrés aux U.S.A avec 80 à 100 kg/ arbre, l'Egypte avec 70 à 80 kg/ arbre et la Tunisie avec 40 kg/ arbre (DJERBI, 1992). Cette production dattière en quantité et en qualité est influencée par plusieurs facteurs qui peuvent être liés au climat, au sol, à l'âge des palmiers, à la qualité de l'eau, à la fertilisation, à l'irrigation, au drainage, aux maladies, aux ravageurs et aux soins apportés aux régimes depuis leur pollinisation jusqu'à la récolte (BRUN et al., 1998), et c'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a pour objectifs :

- De diagnostiquer l'état du calcaire total et du pH dans une palmeraie à Zelfana et d'étudier leur répartition spatiale verticale et horizontale.
- D'évaluer les variations causées par l'irrigation par submersion pour le calcaire total et la réaction du sol.
- D'estimer l'intensité de l'évolution des taux de calcaire total et du pH par l'analyse des taux de variation annuelle (TVA).

La présente étude comporte deux parties. La première est consacrée à la méthodologie adoptée pour la partie expérimentale et la deuxième regroupe l'ensemble des résultats qui seront suivis d'une discussion.



*Partie I*

---

# *Matériel et Méthodes*



## *Chapitre I*

---

# *Présentation de la région de Ghardaïa*

## Chapitre I- Présentation de la région de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaïa issue du dernier découpage administratif, est située à 600 km au sud de la capitale d'Alger (Fig.1), et s'intègre dans la partie septentrionale de la plateforme saharienne (A.N.A.R.H, 2007).

Elle est 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).



**Figure 1.** Situation géographique de la vallée du M'Zab  
(A.N.A.R.H, 2007).

## 1. Situation géographique

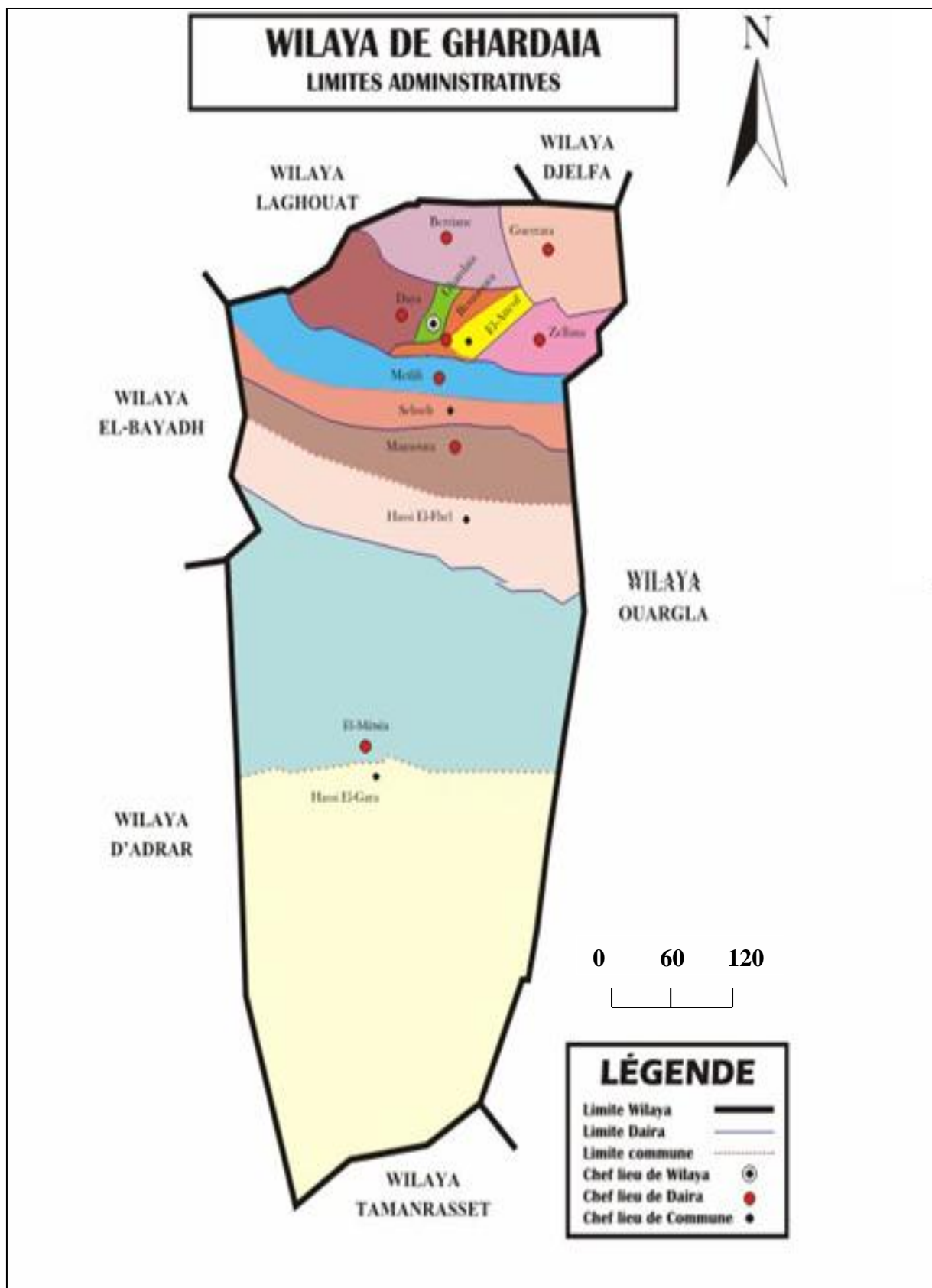
La wilaya de Ghardaïa, se situe à 600 Km au sud d'Alger dans la partie centrale du nord du Sahara algérien aux portes du désert à 32° 30' de latitude Nord et à 3° 45' de longitude (ATLAS, 2004). Le territoire de la wilaya abrite 309.740 habitants répartis sur 86.560 Km<sup>2</sup> de surface, elle compte 9 daïras et 13 communes (Tabl.1) (A.N.R.H, 2007). Ses principales agglomérations sont Berriane, Guerrara, Ghardaïa, Zelfana, Metlili, Hassi F'Hel et El-Goléa (MAKSOUUD et ABDOU, 2008). La wilaya du Ghardaïa joue le rôle de jonction entre la zone des hauts plateaux et le grand sud (BEN SEMAOUNE, 2008) (carte1).

**Tableau 1.** Superficie par communes de la Wilaya de Ghardaïa

Communes	Superficies (km <sup>2</sup> )
Ghardaia	300
El-Ménéa	27.000
Daya	2.175
Berriane	2.250
Metlili	7.300
Guerrara	2.900
El-Atteuf	750
Zelfana	2.220
Sebseb	5.640
Bounoura	810
Hassi-El-F'hel	6.715
Hassi-El-Gara	22.000
Mansoura	6.500
<b>Total</b>	<b>86.560 km<sup>2</sup></b>

La wilaya de Ghardaïa est limitée par :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km)
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km)
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km)
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km)
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km)
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 Km) (BENKENZOU, 2009)



Carte 1. Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa (ATLAS, 2005)

## 2. Climat

Les données climatiques sont fournis par la station météorologique de Ghardaia. Nous avons pris en considération les moyennes mensuelles concernant une période s'étalant sur 16 ans (1996 à 2012) ,afin de mieux distinguer les variations climatiques de la région d'étude. Pour YUCEF (2003), 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.

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'été 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 16 ans entre 1996 et 2012, à partir des données de l'Office National de Météorologie (Tabl.2).

**Tableau 2.** Données météorologiques de la Wilaya de Ghardaia (1996-2012) (O.N.M., 2013)

	T (°C)	P (mm)	H. (%)	I. (h)	E. (mm)	V.V (m/s)
Janvier	12,34	5,05	53,81	50.74	17.62	5,91
Février	14,38	3,06	44,21	46.39	25.97	7,69
Mars	16,66	8,23	38,38	52.87	33.58	6,9
Avril	21,3	11,23	38,63	74,42	43.18	7,75
Mai	26,11	2,62	28,34	62.64	50.18	7,09
Juin	30,99	2,12	24,87	67	75.04	7,08
Juillet	33,41	1,17	21,98	70.60	76.97	6,11
Août	33,63	9,96	25,61	65.93	71.15	5,63
Septembre	29,16	15,85	35,3	54.18	51.47	6,17
Octobre	23,88	8,2	42,74	54.5	33.07	7,82
Novembre	16,6	3,46	46,94	50.63	24.57	5,29
Décembre	12,51	6,06	52,47	49.52	24.82	6,16
<b>Moyenne</b>	22,58083	77,01	37,77333	699.42*	527.62*	6,633333

H. : Humidité relative      T. : Température      P. : Pluviométrie      I. : Insolation

V.V. : Vitesse de vent      E. : Evaporation      \* : Cumulés annuelle

## 2.1. Température

La température moyenne annuelle est de 22,58°C, avec 33,41°C en Juillet pour le mois le plus chaud et 12,34°C en Janvier pour le mois le plus froid (O.N.M., 2013).

## 2.2. Précipitation

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularité mensuelle et annuelle), leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue de Mai jusqu'à Juillet, et par un maximum de 15,85 mm en Septembre. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 77,01mm (O.N.M., 2013).

## 2.3. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 21,98 % en juillet, atteignant un maximum de 53,81 % en mois de Janvier et une moyenne annuelle de 37,77% (O.N.M., 2013).

## 2.4. Evaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 527,62 mm/an, avec un maximum mensuel de 76,97 mm au mois de Juillet et un minimum de 17,62 mm en janvier (O.N.M., 2013).

## 2.5. Insolation

L'ensoleillement est considérable à la région de Ghardaïa, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. La durée moyenne de l'insolation est de 58,28 heures/mois, avec un maximum de 70,60 heures en Juillet et un minimum de 46,39 heures en mois de Février. La durée d'insolation moyenne annuelle entre 1996 et 2012 est de 699,42 heures/an, soit approximativement 1,94 heures/jour (O.N.M., 2013).

## 2.6. Vent

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 sec et entraînent une forte évapotranspiration, nécessitent des irrigations importantes



(BENSAMOUNE, 2008). D'après les données de l'O.N.M. (2013) pour la période de 1996-2012, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 6,63 m/s.

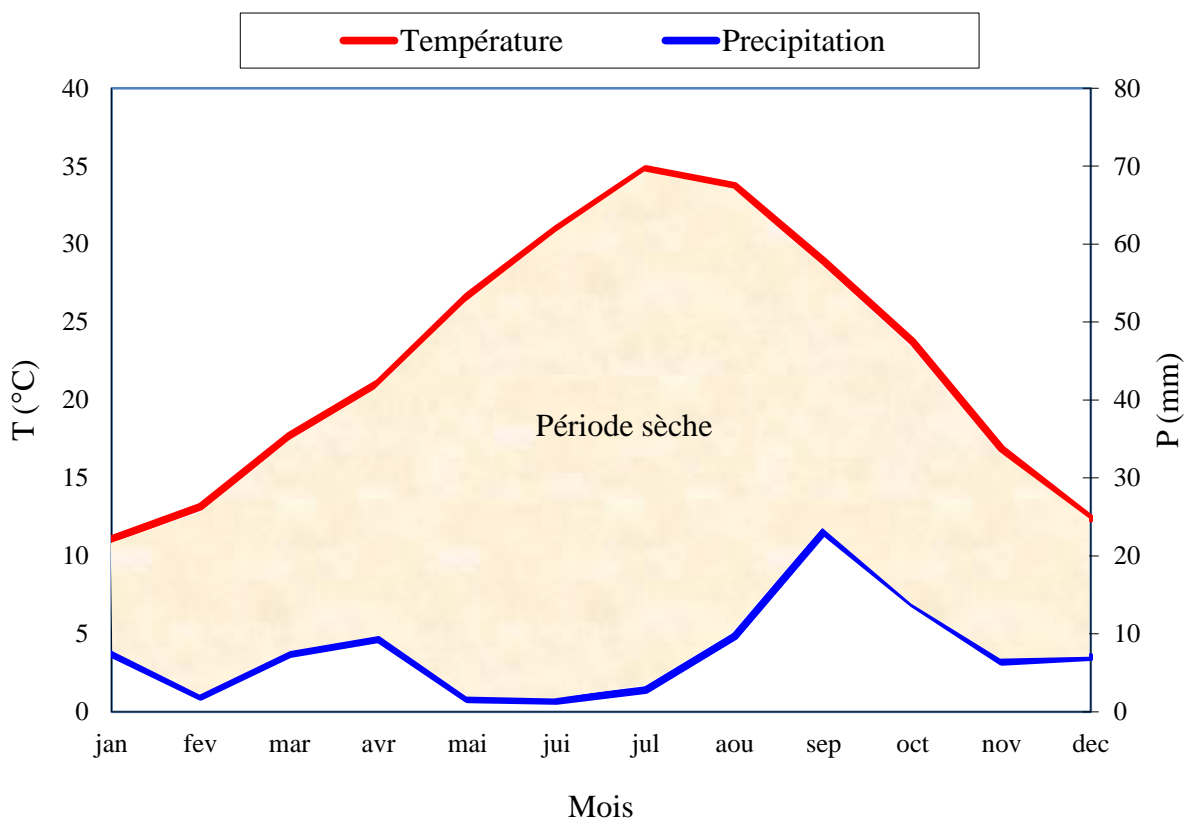
### 3. Synthèse climatique

#### 3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

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 10 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 (Fig.2).

- ✚ 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 compris entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ghardaïa nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.



**Figure 2.** Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa (1996 - 2012).

### 3.2. Climagramme d'EMBERGER

Elle permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Elle est représentée :

- La moyenne des minima du mois le plus froid est représentée dans l'axe des abscisses.
- Le quotient pluviométrique ( $Q_2$ ) d'EMBERGER est représenté dans l'axe des ordonnées.

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

$$\varphi_2 = 3,43 \cdot \frac{P}{M - m}$$

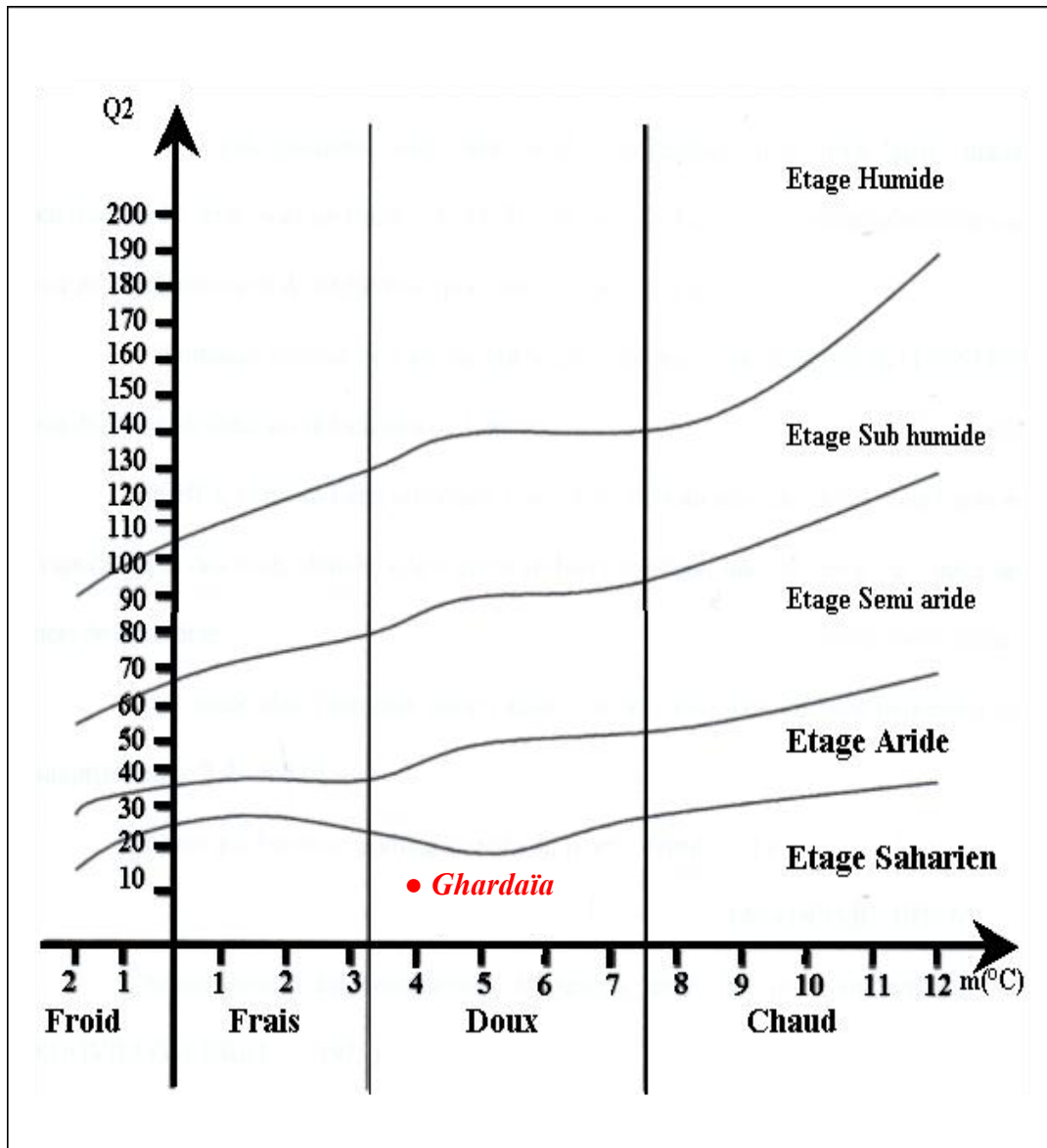
$\varphi_2$  : Quotient thermique d'EMBERGER

$P$  : Précipitations moyennes annuelle 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 figure (3), la Wilaya de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique ( $\varphi_2$ ) est de 7,57.



**Figure 3.** Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (1996 – 2012)

#### 4. Géomorphologie

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (Carte 2) (D.P.A.T., 2005).

- La Chabka du M'Zab
- La région des dayas
- La région des Ergs

#### 4.1. Chabka du M'Zab

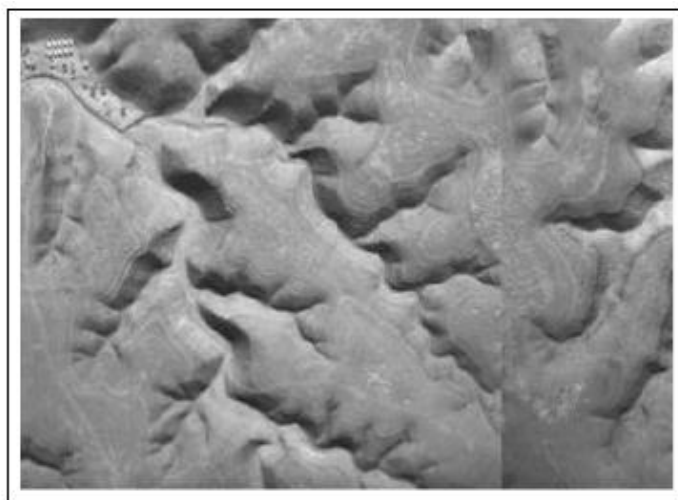
La Chebka du M'Zab présente une unité topologique et s'incline de 800 m au nord à 400 m au sud. Elle est difficile d'accès et se situe dans une zone délimitée à l'est par la route reliant Ghardaïa à El Goléa, à l'ouest par la Gaâda, au nord par le bassin de l'Oued El Abioud et au sud par le bassin de l'Oued El Fahl.

La Chabka est un plateau crétaé rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles. Leur pente est dirigée vers l'Est (D.P.A.T. ,2005).

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable et n'atteint pas les cent mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au-dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges (D.P.A.T. ,2005).

Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km<sup>2</sup>, représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement.

Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoura et Hassi L'Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.



**Figure 4.** Vue aérienne de la Chebka (A.N.R.H., 2013)

## **4.2. Région des dayas**

Au sud de l'Atlas saharien d'une part et d'autre part du méridien de Laghouat s'étend une partie communément appelée «plateau des dayas» en raison de l'abondance de ces entités physiologiques et biologiques qualifiées des dayas (D.P.A.T. ,2005).

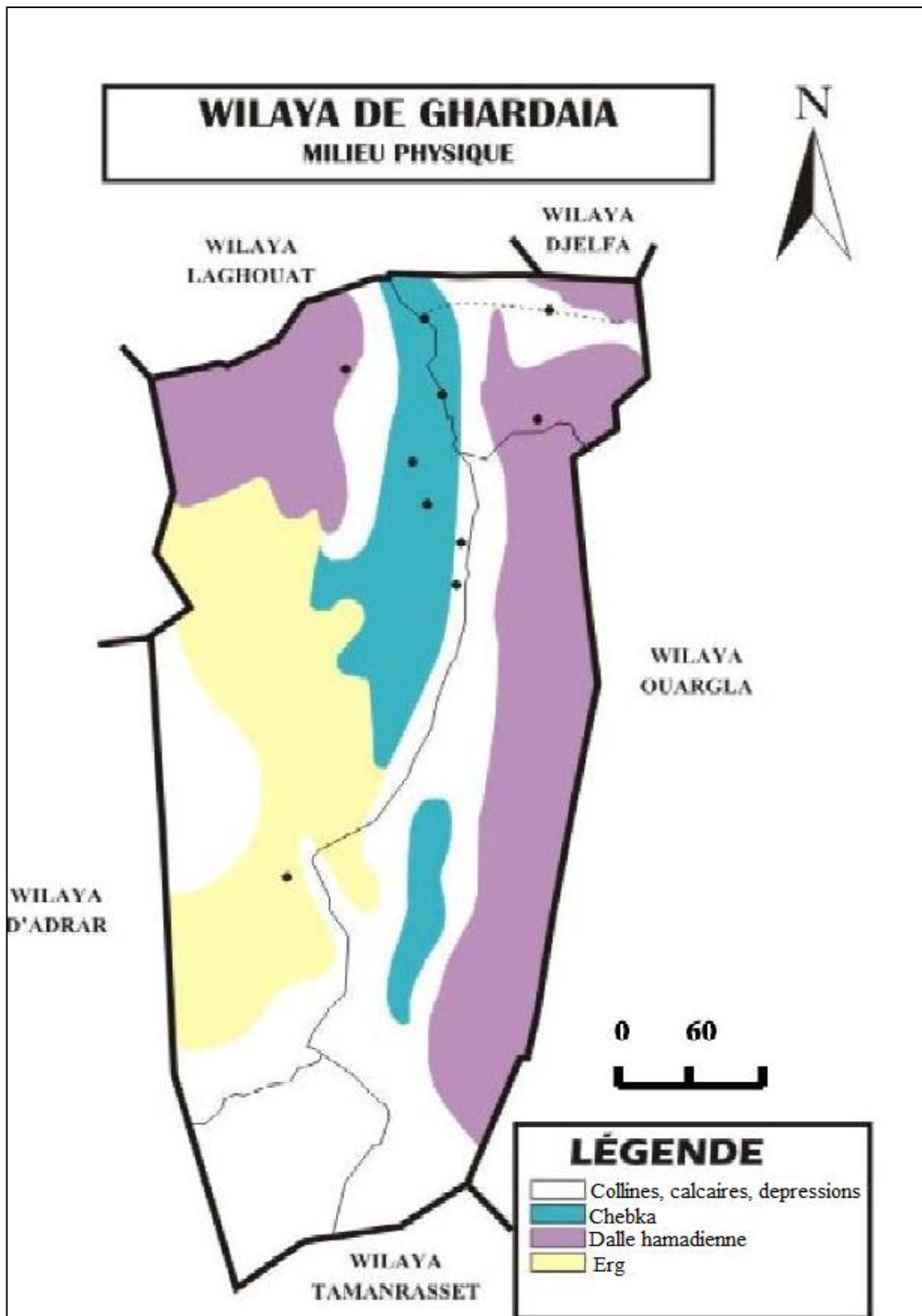
Dans la région de Ghardaïa, seule la commune de Guerrara, située au nord-est, occupe une petite partie du pays des dayas (D.P.A.T. ,2005).

De substratum géologique miopliocène, les dayas sont des dépressions de dimensions très variables, grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques de dissolution souterraine qui entraînent à la fois un approfondissement de la daya et son extension par corrosion périphérique (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT et MAHMA, 1997).

## **4.3. Région des Regs**

Située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux.

Les Regs sont le résultat de la déflation éolienne, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf (BELERAGUEB, 1996 *in* MIHOUB, 2008).



Carte 2. Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa (ATLAS, 2004)

## 5. 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, de l'ordre de 91,81mm/an. 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).

Ainsi on y rencontre des arbres toutes espèces confondues sur les bandes vertes, les bosquets est essentiellement comme brise vent dans les périmètres de mise en valeur ; parmi les espèces comptée on note le casuarina, le faux poivrier, l'eucalyptus, le tamarix (dans les lits des oueds), le pin d'Alep et le cyprès (BEN SEMAOUNE, 2008).

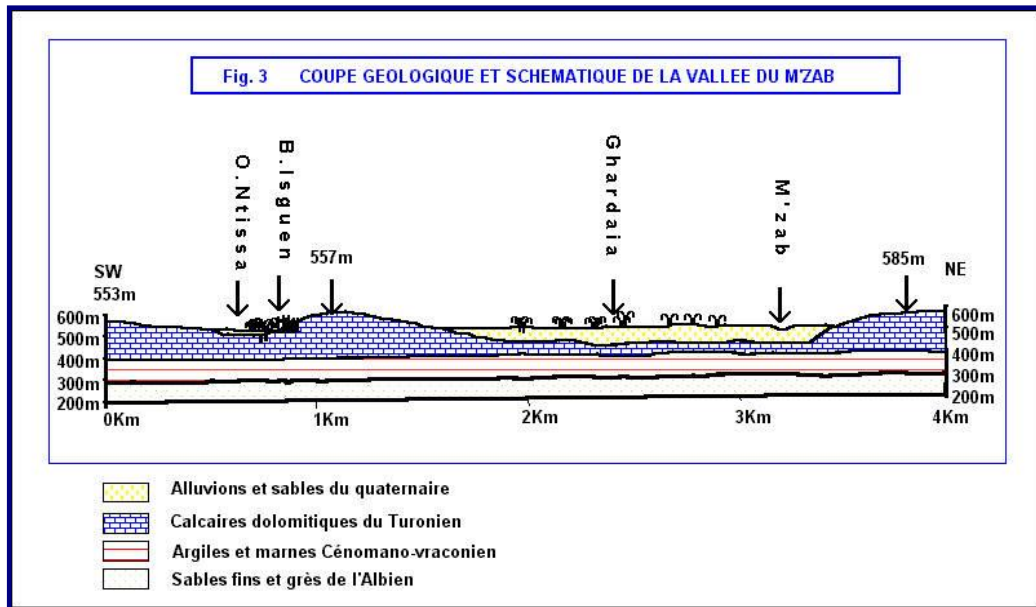
En dehors des palmeraies on peut rencontrer des peuplements floristiques constituant un cas particulier important dans cette zone subdésertique, citant *Aristida pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum*., *Ephedra allata*., *Urginea noctiflora*, *Erodium glaucophyllum*, *Haloxylon scoparium*.,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

## 6. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab"(A.N.R.H., 2009).

L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres (A.N.R.H., 2009).

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (Fig.5) (A.N.R.H., 2009).



**Figure 5.** Esquisse hydrogéologique du M'Zab (A.N.R.H., 2009)

## 7. Hydrologie

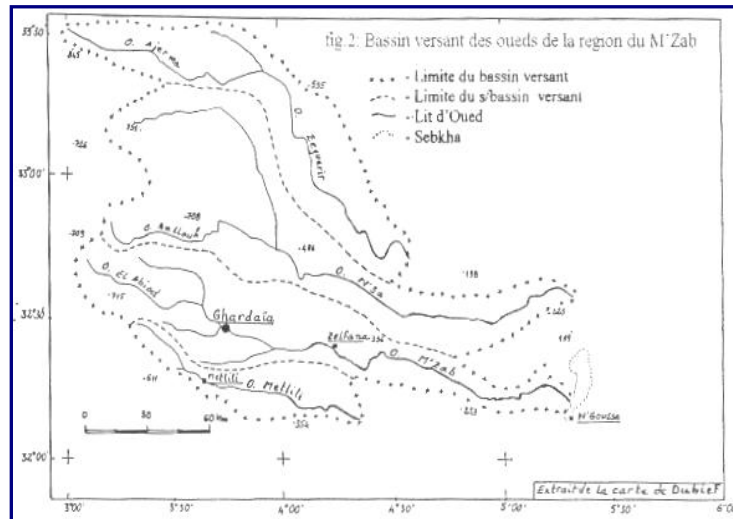
La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir (A.N.R.H., 2007).

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig.6), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région (A.N.R.H., 2007).

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m<sup>3</sup>/s (A.N.R.H., 2007).

Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'Zab et Metlili où chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations (A.N.R.H., 2007).





**Figure 6.** Bassin versant de la région du M'Zab (A.N.R.H., 2013)

## 8. Réseau hydrographique

### 8.1. 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.

La qualité chimique des eaux est comme suit :

- à l'amont, elle est bonne à la consommation.

à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H., 2007).

### 8.2. Nappe du continental intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m.

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique.

La nappe du Continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au Continental intercalaire, elle est :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).

Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) (A.N.R.H., 2007).

## 9. Pédologie

La région du M'zab est caractérisée par des sols peu évolués, meubles, profonds, peu salés et sablo-limoneux. Elle possède une texture assez constante qui permet un drainage naturel suffisant. Par contre la dorsale du M'zab qui entoure la vallée appartient aux regs autochtones (BELERAGUEB, 1996 *in* MIHOUB, 2008).

## 10. Agriculture

La superficie totale de la Wilaya s'étend sur 8.466.012 hectares et se répartit comme suit :  
Les terres utilisées par l'agriculture couvrent 1.370.911 Ha dont,

- Surface agricole utile (S.A.U) : 32745 ha en irrigué en totalité
- Pacages et parcours : 1.337.994 ha
- Terres improductives des exploitations agricoles : 172 ha.

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Oasien de l'ancienne palmeraie
- La mise en valeur.

Le patrimoine phoénicicole de la Wilaya compte 1.224.810 palmiers dont 1.014.295 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 50.000 tonnes dont 21.000 tonnes de type Deglet Nour. Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives de développement.

L'élevage sédentaire et nomade est important dans la Wilaya, La superficie des parcours et pacages est de 1.337.994 hectares.

L'élevage ovin est essentiellement du ressort des nomades qui se subdivisent en deux grandes catégories :

- Ceux inscrits dans les communes de la Wilaya et se déplaçant sur des courtes et moyennes distances
- Ceux venant d'autres Wilayas, en transit pour des durées plus ou moins longues sur les pâturages de la Wilaya de Ghardaïa.

Les communes de la Wilaya concernées par le nomadisme local :

- Metlili, Sebseb et Guerrara où activent des éleveurs avec des troupeaux de taille moyenne de 50 à 140 têtes.

- El Ménée et Hassi El Gara où sont localisés des éleveurs avec des troupeaux de taille moyenne de 50 à 200 têtes.

Les communes de la Wilaya concernées par le nomadisme régional :

- Les communes de Guerrara et Berriane, au Nord de la Wilaya, reçoivent périodiquement des troupeaux en provenance des Wilayate de Djelfa (Guettara, Messaâd) et de Laghouat (Hassi R'Mel, Delaâ).

- Les communes de Zelfana, Mansoura et Metlili accueillent des troupeaux en provenance du Nord et de l'Ouest (Djelfa, El-Bayadh, Saida et Boussaâda,...). Les troupeaux sont importants (200 à 300) têtes et viennent pendant la saison d'hiver.

A El-Ménée, les troupeaux proviennent des régions éloignées (El-Bayadh, Ouargla, Hassi-Messaoud, Timimoun, Ain Salah,...). Leur présence durant la saison d'été dure trois mois dans l'année (D.P.A.T. ,2005).

## **11. Industrie**

La wilaya de Ghardaïa a connu, ces dernières années, une forte implantation de l'investissement industriel, le tissu industriel de la Wilaya est composé de 189 unités industrielles dans les branches d'activité :

- ISMME : 26 unités dont : 25 unités du secteur privé
- Matériaux de construction, céramique et verre : 52 unités dont : 52 unités du secteur privé
- Textile : 57 unités dont : 57 unités du secteur privé
- Agroalimentaire : 10 unités dont : 10 unités du secteur privé
- Chimie, caoutchouc et plastique : 25 unités dont : 23 unités du secteur privé
- Bois, liège, papier et impression : 19 unités dont : 19 unités du secteur privé (ATLAS, 2004).

## **12. Tourisme**

La Wilaya touristique de Ghardaïa offre une multitude de curiosités (naturelles, historique et culturelles) telles que la vallée du M'ZAB constituant un joyau architectural classé par L'UNESCO, la région de METLILI, les oasis de ZELFANA, SEBSEB et EL-MENEA avec son désert constituant un début de l'Erg occidental.

La Wilaya de Ghardaïa présente un intérêt important, elle a l'avantage d'être un point d'escale pour les touristes allant vers d'autres régions touristiques. Elle en effet, un passage obligatoire pour se rendre vers le grand Sud (TAMANRASSET) et la région de la SAOURA (TIMIMOUN).

La vallée du M'ZAB, véritable musée à ciel ouvert est classée par l'UNESCO patrimoine historique mondial. Ce « musée du temps » et ce « musée de l'espace », ainsi que le qualifient nombreux chercheurs, est le produit d'une relation toute particulière entre l'homme et la nature qui se sont mutuellement façonnés selon un schéma de peuplement unique en son genre et accordant à La vallée du M'ZAB un cachet historique et un label touristique radicalement différent des autres « Sud Algériens » (D.P.A.T. ,2005).

### **13. Artisanat**

Le secteur de l'artisanat dans la wilaya de Ghardaïa se caractérise par la diversité des activités et la qualité des produits fabriqués, le tissage occupe une place toute particulière dans l'artisanat de la wilaya, la tapis symbolise l'activité artisanale de la région.

Les activités de sculpture sur le bois, de céramique, de bijouterie, de broderie, de maroquinerie, et de tannerie complètent la gamme de produits artisanaux de la wilaya (D.P.A.T., 2009).

La wilaya de Ghardaïa présente comme principale atouts, sa position géographique (centre de la partie nord de SAHARA) privilégiant les transactions commerciales, les échanges socio-culturels, malgré son climat désertique, la population locale a élaboré un système per formant et ingénieux pour la gestion des ressources hydrologique par le captage et distribution équitable de l'eau (D.P.A.T., 2009).

Trace a cette organisation sociale, une agriculture diversifié s'est développé autour du palmier dattier qui constitué la base de l'agriculture saharienne et en général et un moyen de fixation de la population cependant ajouté aux cultures herbacées, céréalières, maraichère, fourragères et beaucoup plus l'arboriculture fruitières (D.P.A.T., 2009).

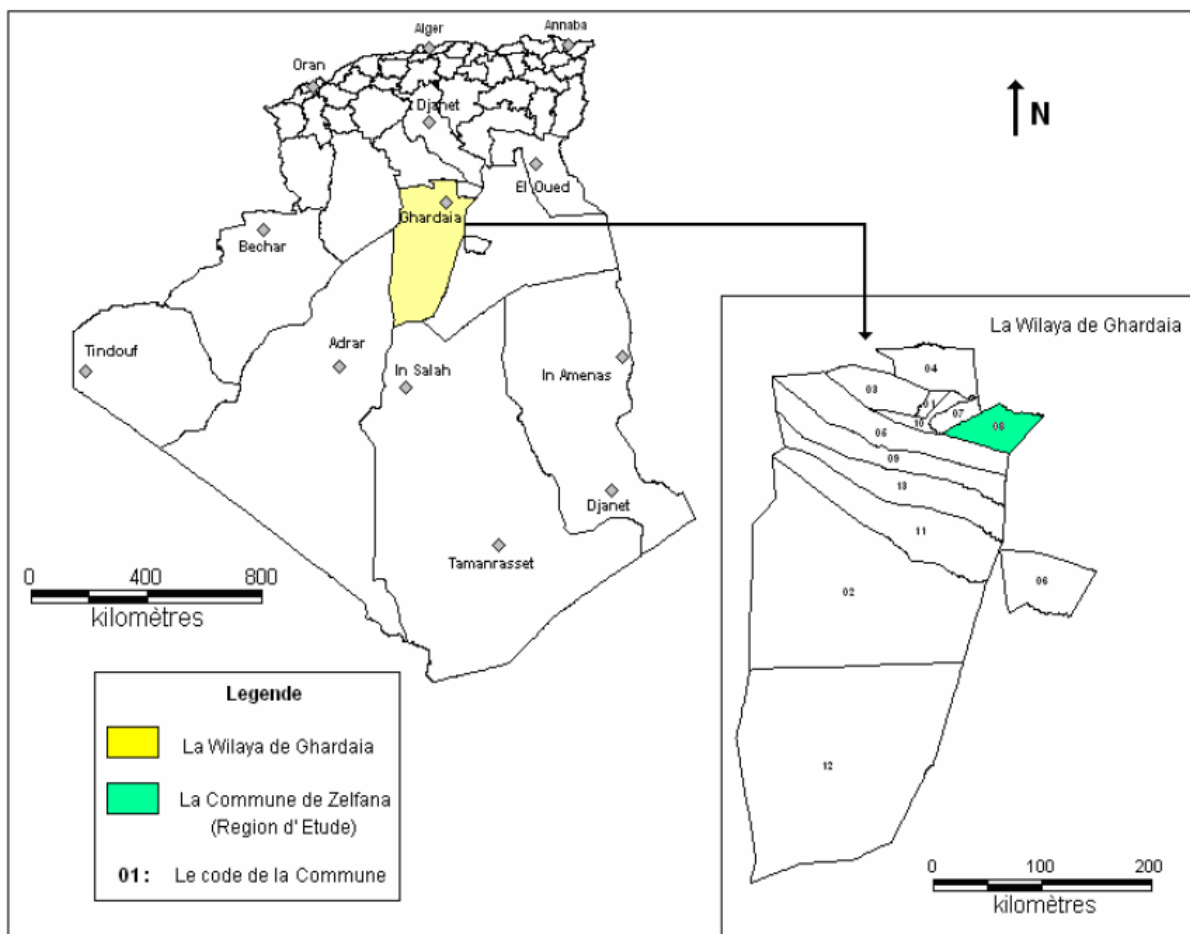
A côté de secteur tertiaire (commerce et tourisme), la région dispose une activité industrielle très variée notamment dans les domaines de textile et des matériaux de construction, la transformation agroalimentaire est en perpétuel développement (industrie litière), alors que la transformation dattier est presque inexistante (D.P.A.T., 2009).

## 14. Présentation de la zone d'étude

La ville de Zelfana se situe à 65 Km du Chef-lieu de la wilaya (Ghardaia), et à 40 Km à l'Est de la route de l'Unité Africaine, et à 5,5 Km au R.N 49. Elle couvre une superficie de 2220 Km<sup>2</sup>

Elle est limitée :

- Au nord : Par la commune de Guerara
- Au sud : Par la commune de Metlili
- A l'ouest : Par la commune d'El Ateuf
- A l'est : Par la commune d'Ouargla (KOUZMINE, 2003).



**Carte 3.** Localisation géographique de la zone d'étude (Zelfana) (KOUZMINE, 2003)

### **14.1. Climat**

La région de Zelfana se caractérise par un climat saharien de type sec. Les hivers sont courts et rigoureux et les étés sont longs et chauds (O.N.M., 2013).

Les précipitations annuelles sont faibles allant de 100 à 200 mm/an et les températures extrêmes peuvent atteindre 50°C (O.N.M., 2013)

Ces caractéristiques climatiques se répercutent directement sur l'hydrographie saharienne entraînant la rareté des eaux superficielles et l'importance des eaux souterraines (KOUZMINE, 2003).

### **14.2. Géologie de la région**

La région de Zelfana appartient structurellement au domaine de la plate-forme saharienne, elle est recouverte en majeure partie par des formations récentes d'âges Néogène (Moi-Pliocène) et Quaternaire, qui reposent en discordance sur les formations carbonatées du Crétacé supérieur (D.P.A.T., 2005).

#### **14.2.1. Quaternaire**

Le Quaternaire est largement répandu à travers toute la région, il est représenté par des encroûtements gypseux calcaires et des dépôts alluvionnaires (sable graveleux-caillouteux, limoneux et argileux) (D.P.A.T., 2005).

#### **14.2.2. Néogène**

Le Néogène est très développé dans la région, il est représenté par des formations continentales à faciès variables (complexe argilo-gypseux, argiles, conglomérats et microconglomérat) (D.P.A.T., 2005).

#### **14.2.3. Crétacé supérieur**

Il est caractérisé par des formations sub-affleurantes marines et lagunaires tabulaires, représentés par :

- Un Cénomaniens calcaire, dolomies marnes et roches argileuses gypsifères.
- Un Turonien calcaro-dolomitique à bancs de marnes et de grès.
- Un Sénonien constitué par des alternances de calcaires et marnes dolomitisées et argiles gypsifères. Du point de vue sédimentologique, la région de Zelfana présente une lithologie étagée (D.P.A.T., 2005).

### 14.3. Hydrogéologie

La région de Zelfana est caractérisée par le développement d'une nappe phréatique essentiellement alimentée par des rejets des eaux domestiques, l'irrigation intensive des périmètres agricoles et les pertes dans les forages.

Durant l'opération des sondages aucune nappe n'a été détectée du moins jusqu'à 6.00 mètres de profondeur (D.P.A.T., 2005).

#### 14.3.1. Fissures

Le phénomène de fissuration du sol est observé dans la ville de Zelfana, il affecte la proximité des endroits humides. L'origine de ce phénomène est liée à la présence d'un complexe argilo gypseux sensible aux départs et arrivées des eaux (D.P.A.T., 2005).

### 14.4. Hydrologie

La seule ressource de l'eau dans la commune de Zelfana est la nappe albienne, cette nappe est caractérisée par une salinité moyenne qui varie de 1,65 à 2,35 dS/m à 25°C avec une moyenne de  $1,96 \pm 0,25$  dS/m à 25°C (OUALI et al., 2007).

Selon le diagramme de REVERSIDE modifié par DURAND (1958), les eaux albienne de Zelfana appartiennent aux classes C3 et C4 caractérisés par :

➤ **Classe C3**

C.E. à 25°C comprise entre 0,75 et 2,25 dS/m : eaux à forte salinité, inutilisables même avec un bon drainage ; il faut des pratiques spéciales de contrôle de salinité, et seules les plantes tolérantes peuvent être cultivées.

➤ **Classe C4**

C.E. à 25°C comprise entre 2,25 et 5 dS/m : eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation ; exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels. Les eaux thermales de cette nappe se caractérisent par une température moyenne de plus de 46 °C et une salinité moyenne de 1 g/l. (OUALI et al., 2007).

## Chapitre II- Méthodologie du travail

Dans les sols des zones arides, le calcaire est très souvent un élément fondamental de description et de classification : c'est en grande partie d'après sa présence ou son absence dans un ou plusieurs horizons, d'après sa répartition verticale dans un profil, ou spatiale (horizontale) dans une chaîne de sols, d'après les formes sous lesquelles il peut apparaître, que l'on classe bien des sols (RUELLAN, 1967).

### 1. Approche méthodologique

La qualité du sol est élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités des sols (LARSON et PIERCE, 1992).

Pour évaluer la qualité du sol, l'U.S.D.A. (1999) a proposé deux manières d'évaluation :

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

L'approche méthodologique choisie dans notre étude permet de caractériser les sols et comparé les valeurs mesurées des caractéristiques du sol à un état de référence (témoin), pour déduire l'effet de l'intensification agricole sur quelques propriétés du sol à savoir le pH et le taux de calcaire dans la région de Zelfana.

Trois parcelles sont sélectionnées ; une parcelle cultivée, une parcelle non cultivée sous palmier et une parcelle non cultivée hors palmier (Fig.7). Les parcelles témoins constituent l'état de référence en absence des analyses de sol avant le début de l'irrigation (avant le début de la mise en culture).





**Figure 7.** Parcelles étudiées

## **2. Choix de site d'étude**

Nous avons sélectionné le site de KHARNEG situé à Zelfana pour le déroulement de notre travail expérimental. Ce choix est fait pour les raisons suivantes :

- Le nombre important d'année de culture, ce qui est recherché pour estimer l'évolution annuelle des paramètres étudiés.
- Utilisation de l'irrigation traditionnelle par submersion, ce qui permet de déduire l'impact de l'irrigation.

## **3. Présentation du site d'étude**

La ferme de KHARNAG a été créée en 1956 par les français dans la région de Ghardaïa, dans le périmètre Hassi Sud, commune de Zelfana (Fig.8). Elle couvre une superficie totale de 1,14 ha.

Cette ferme spécialisée en phoeniculture avec un effectif de 90 pieds, comprenant deux variétés Deglat Nour et Ghars. Le rendement est de 65qx/ha.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent d'un forage collectif. Les palmiers sont irrigués chaque 9 jour, la fertilisation est limitée au fumier organique.



**Figure 8.** Localisation du site d'étude

#### 4. Echantillonnage

Les sols des 3 parcelles sont échantillonnés à la tarière sur une profondeur de 0-30 cm pour les 36 prélèvements tandis que les 5 profils sont échantillonnés de 0 à 75 cm divisés en trois horizons, de surface H1 (0-15 cm), de sub-surface H2 (15-45cm) et l'horizon profond H3 (45-75cm). La parcelle échantillonnée a été irriguée pendant 57 ans. Les deux parcelles non irriguées (témoins), sont échantillonnées aussi de la même méthode.

Nous avons procédé à un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 8x8m en fonction de l'écartement entre les palmiers (ROSSI et LAVELLE, 1993) et un échantillonnage diagonale pour les profils (RAYEN et *al.*, 2003).

La figure (9), montre la répartition des échantillons sur les parcelles étudiées.

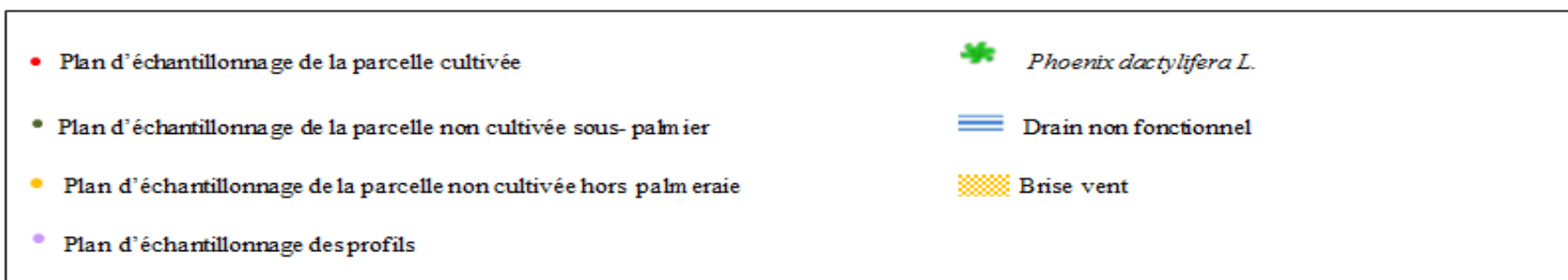
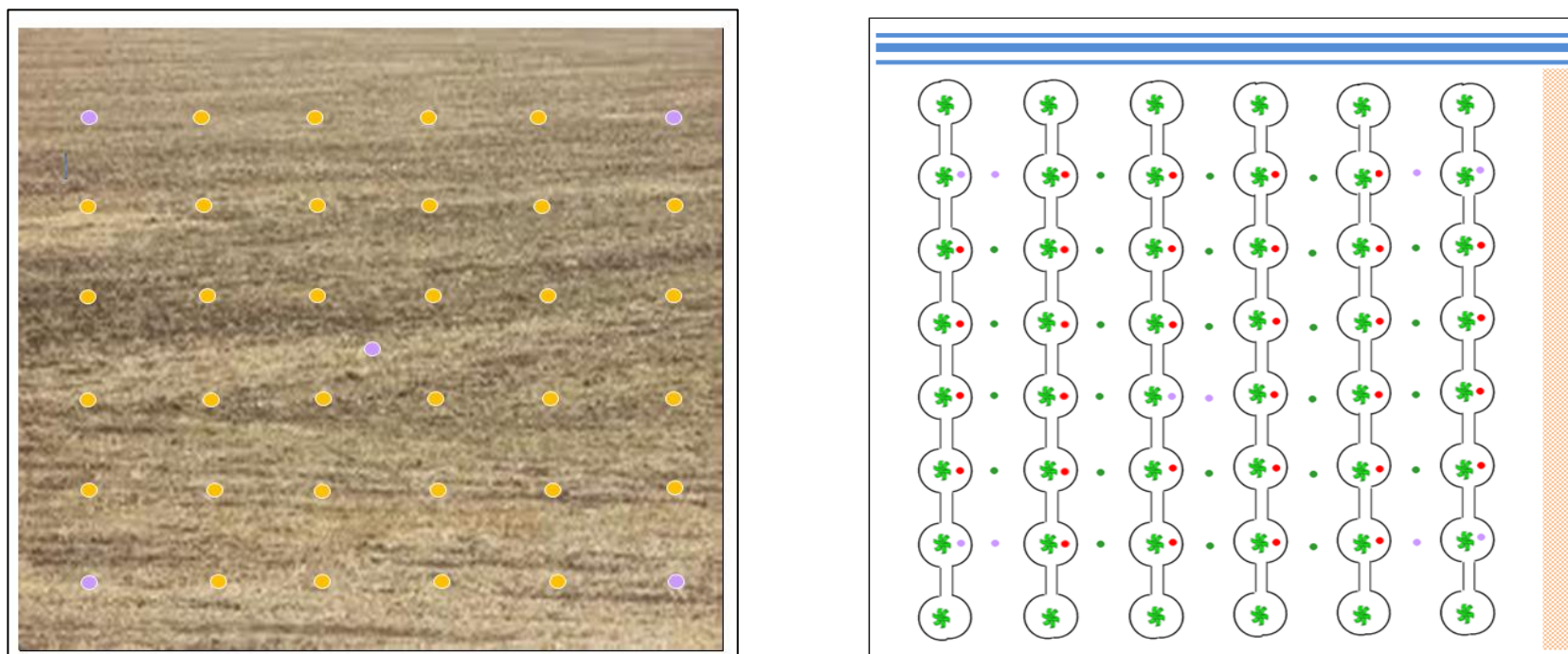


Figure 9. Plan d'échantillonnage

Les échantillons de sol prélevés sont séchés à l'air libre dans un laboratoire bien aéré, tamisés à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 2 mm. La fraction < 2mm a ensuite été envoyée au laboratoire. Les analyses des échantillons prélevés concernent, le calcaire total et le pH.

## 5. Méthodes d'analyse

### 5.1. Matériel utilisé au laboratoire

Afin de réaliser les analyses du calcaire total et du pH nous avons besoin de :

Balance de précision à 0,1mg, calcimètre de Bernard, flacon en verre, tube à essai de 10ml, spatules, verre de montre, pissette souple de 250ml, éprouvette de 5 ml, béciers de 50ml (1 par échantillons), pH-mètre + électrodes, agitateur magnétique et barreaux aimantés.

### 5.2. Réactifs utilisés

- Eau déminéralisée ayant une conductivité inférieure à  $0,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
- Acide chlorhydrique technique (HCl) ( $d= 1,18$ ) puis dilué à  $\frac{1}{2}$
- Carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ )

### 5.3. Dosage du calcaire total

#### 5.3.1. Méthode au calcimètre de Bernard

##### 5.3.1.1. Principe

On décompose par un acide (acide chlorhydrique) le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique (BAIZE et BERNARD, 1995; MATHIEU et PIELTHAIN, 2003) :



##### 5.3.1.2. Etalonnage du calcimètre (Fig.10)

- Peser 100 mg de carbonate de calcium et verser dans le flacon
- Rassembler au fond à l'aide de 5ml d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince
- Vérifier que le niveau du liquide dans le tube gradué est au zéro et adapter le flacon au calcimètre
- Egaliser les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre

- Fermer le tube à l'aide de la pince de Mohr
- Prendre le flacon par son bouchon et renverser l'acide dans le flacon, agiter
- Attendre la réaction soit complète : 1 min suffit pour le sel pur
- A l'aide du niveau, égaliser à nouveau les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre
- Lire le volume dégagé :  $V_1$
- Recommencer l'opération avec une prise d'essai de 200mg de carbonate de calcium
- Lire le volume dégagé :  $V_2$
- Vérifier que :

$$V_2 = 2V_1$$

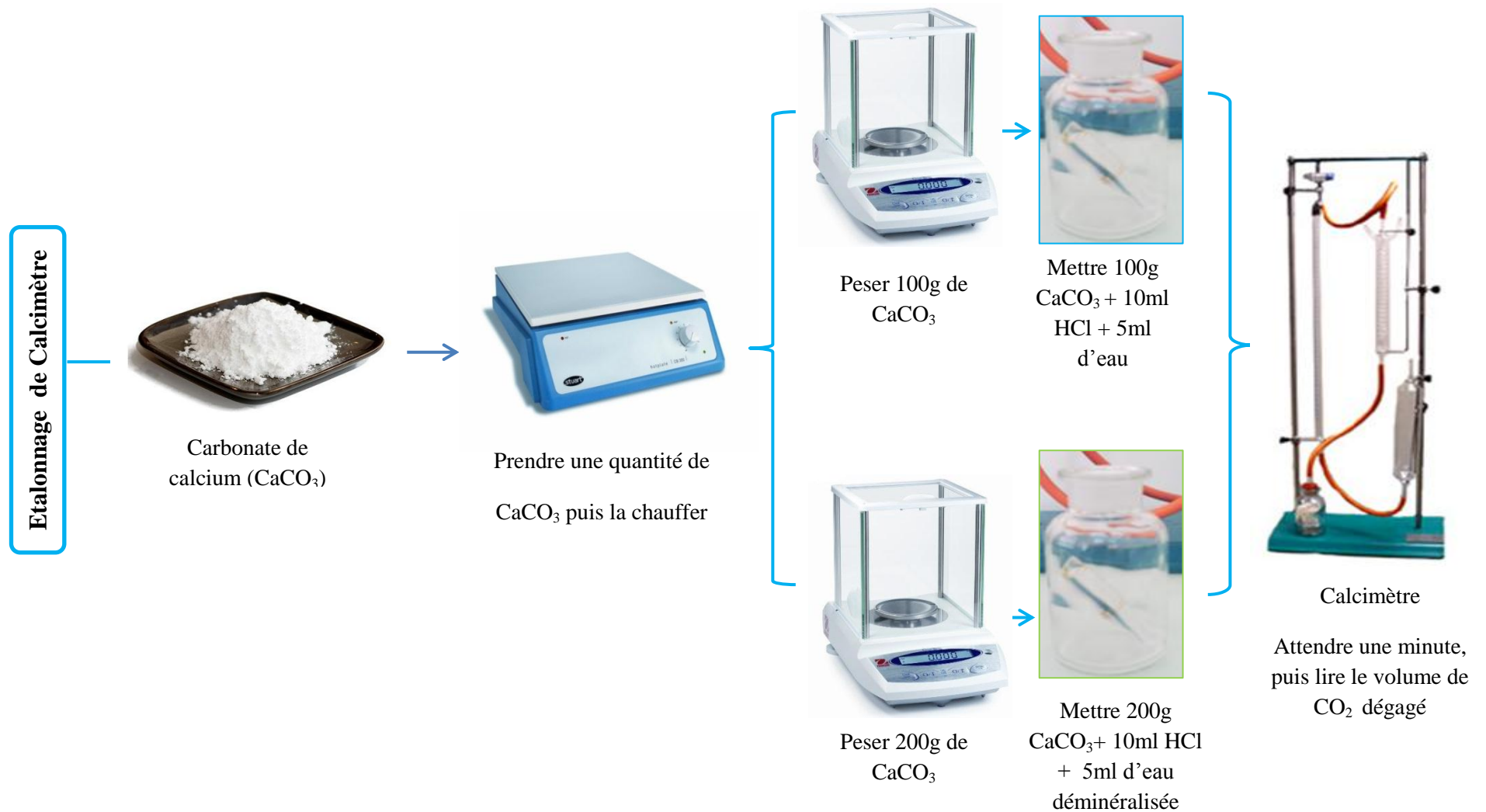


Figure 10. Dispositif expérimental d'étalonnage du Calcimètre

### 5.3.1.3. Dosage du calcaire total (Fig.11)

La méthode proposée par MATHIEU et PIELTHAIN (2003) est de :

- Peser 0,3g de carbonate de calcium et verser dans le flacon
- Rassembler au fond à l'aide de 5ml d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince
- Vérifier que le niveau du liquide dans le tube gradué est au zéro et adapter le flacon au calcimètre
- Egaliser les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre
- Fermer le tube à l'aide de la pince de Mohr
- Prendre le flacon par son bouchon et renverser l'acide dans le flacon, agiter
- Attendre la réaction soit complète : 1 min suffit pour le sel pur
- A l'aide du niveau, égaliser à nouveau les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre
- Lire le volume dégagé :  $V_3$
- Noter la température de l'air ambiant
- Recommencer l'opération avec une prise de 4g de terre, rassembler avec à l'aide de quelques gouttes d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince
- Lire le volume dégagé :  $V_4$

### 5.3.1.4. Mesure

Le pourcentage de calcaire est alors calculé d'après la relation suivante (MATHIEU et PIELTHAIN, 2003) :

$$x (\%) = \frac{30 V_4}{V_3 P}$$

Avec ;

x: pourcentage de carbonate de calcium

P : prise d'essai en gramme

$V_3$  : volume de  $\text{CO}_3$  en ml dégagé par le carbonate de calcium contenu dans la prise de terre P

$V_4$  : volume de  $\text{CO}_3$  en ml dégagé par 0,3g de carbonate de calcium



**Figure 11.** Dispositif expérimental du dosage du calcaire total dans le sol



#### **5.4. Mesure du pH (Fig.12)**

La méthode proposée par MATHIEU et PIELTHAIN (2003) est de :

- Peser 10g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.
- Noter les valeurs à la décimale près.



Figure 12. Mesure du pH dans le sol

## 6. Analyses statistiques

### 6.1. Variation annuelle des paramètres étudiés

Le nombre d'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 ( $t_2 - t_1$ ) d'irrigation

### 6.2. 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.

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

### 6.3. Analyse de la variance à un facteur

Nous avons procédé à une analyse de variance à un facteur entre les échantillons du sol témoin et ceux du sol cultivé pour chaque paramètre et pour chaque horizon.

Les traitements des données obtenues fait appel à des approches statistiques. Les résultats obtenus pour chaque paramètre seront interprétés statistiquement. D'après DAGNILLIE (1975 in CHEIKH et NAKES, 2011) l'analyse de la variance consiste à étudier la comparaison des moyennes à partir de la variabilité des échantillons. Il permet suivant le niveau de la signification de déterminer l'influence des facteurs étudiés ou des interactions entre les facteurs. La probabilité inférieure à 0,001 donne un effet très hautement significatif, à 0,01 un effet hautement significatif et à 0,05 un effet significatif et pour une probabilité supérieure à 0,05 on considère que l'effet n'est pas significatif.

#### **6.4. Coefficient de variation**

Le coefficient de variation est obtenu par le rapport entre l'écart type ( $\sigma$ ) et la moyenne ( $m$ ), a été utilisée pour comparer la variabilité des descripteurs (BECKETT et WEBSTER, 1971).

Le coefficient de variation représente le rapport de l'écart type à la moyenne, et 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 (BECKETT et WEBSTER, 1971).

$$CV (\%) = 100 \cdot \sigma / m$$

Tous les résultats sont présentés synthétiquement de la façon suivante :

$$N ; \pm sd (\text{min} - \text{max})$$

Dont :

- N : nombre d'observation
- M : moyenne
- sd : écart type
- min : minimum
- max : maximum

#### **7. Réalisation de cartes thématiques**

Les cartes thématiques de différents paramètres étudiés sont tracées par le logiciel SURFER afin de mettre en évidence la répartition spatiale du calcaire total et du pH.

Le SURFER est un programme servant à la réalisation des présentations graphiques en deux et trois dimensions. Il peut convertir toutes informations numériques où data en représentation graphique « out standing contour », image, surface,... dont tous les aspects virtuels peuvent être personnalisées pour produire exactement la représentation qu'on veut réaliser.



*Partie II*

---

# *Résultats et Discussion*



## *Chapitre III*

---

# *Caractéristiques du sol*

## Chapitre III- Caractéristiques du sol

### 1. Etude de la variation verticale des paramètres étudiés

#### 1.1. Parcelle cultivée

##### 1.1.1. Résultats analytique du profil P1

D'après la figure (13<sub>A,B</sub>), le profil calcaire est caractérisé par un maximum en profondeur, contrairement au profil pH qui est de type ascendant spécifié par un maximum en surface.

La teneur du calcaire dans le premier horizon est de 14,38% ce qui exprime que le sol est modérément calcaire. Il est fortement calcaire dans les deux autres horizons (38,91%, 29,05%). Le pH est alcalin d'ordre 8,36 dans le premier horizon, 8,34 dans l'horizon moyen et 8,18 pour le troisième horizon.

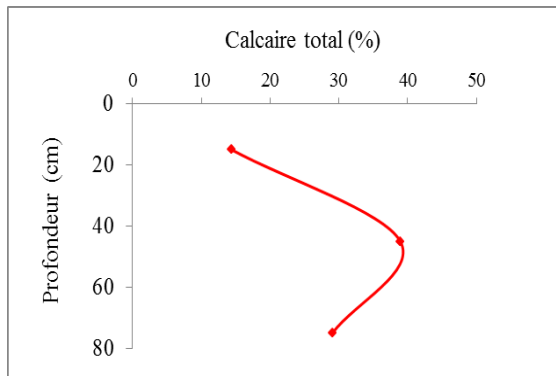


Figure 13.A. Profil calcaire du P1

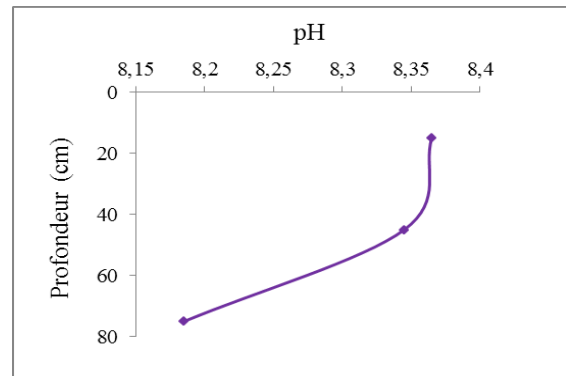


Figure 13.B. Profil pH du P1

Figure 13<sub>A,B</sub>. Profil calcaire et pH du P1

##### 1.1.2. Résultats analytique du profil P2

Au vu des résultats de la figure (14<sub>A,B</sub>), il ressort que les deux profils suivent des allures différentes dont le profil calcaire est spécifié par un maximum en profondeur et le profil pH caractérisé par un maximum superficiel.

Le sol appartenant à ce profil est modérément calcaire dans les trois horizons (17,19%, 22,82%, 22,49%), avec un pH élevé fluctuant dans l'intervalle 8,23-8,47.

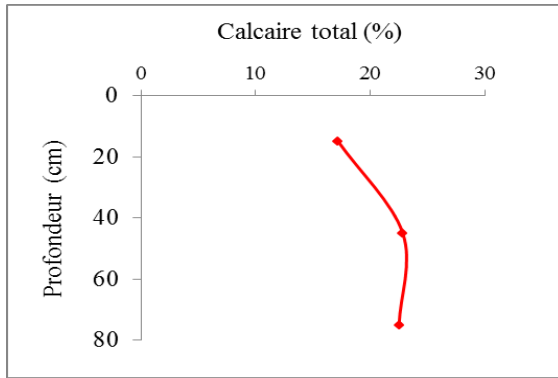


Figure 14.A. Profil calcaire du P2

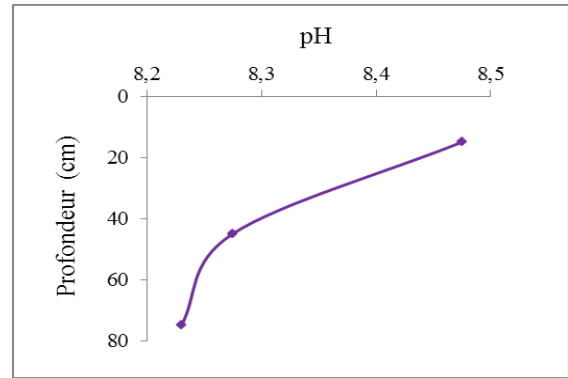


Figure 14.B. Profil pH du P2

Figure 14<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du P2

### 1.1.3. Résultats analytique du profil P3

Selon la figure (15<sub>A,B</sub>), le profil calcaire et pH sont de type descendant, caractérisés par un maximum en profondeur.

Les trois horizons sont modérément calcaire (12,94%, 27,70%, 16,97%). Ils ont un pH alcalin d'ordre 8,17%, 8,14%, 8,3% respectivement

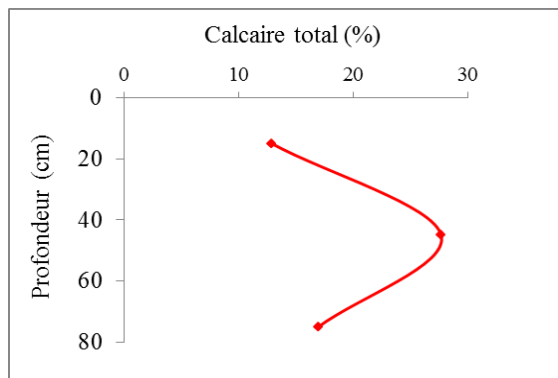


Figure 15.A. Profil calcaire du P3

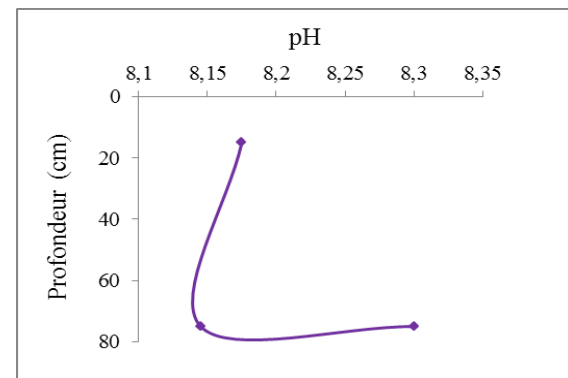


Figure 15.B. Profil pH du P3

Figure 15<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du P3

### 1.1.4. Résultats analytique du profil P4

La valeur du pH et la teneur en calcaire du sol est plus élevée en profondeur, celle du calcaire varie de 11,64% à 23,90% ce qui montre que le sol est modérément calcaire. Le pH est alcalin à très alcalin, compris entre 8,33 et 8,76 (Fig.16<sub>A,B</sub>).



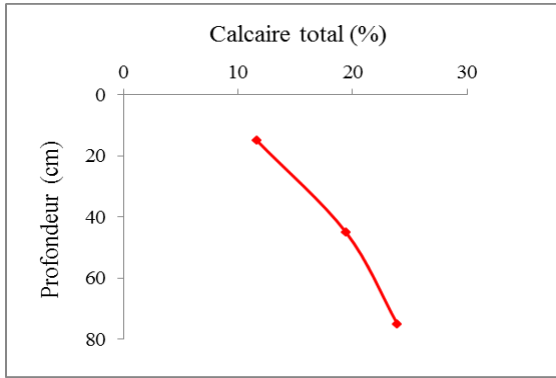


Figure 16.A. Profil calcaire du P4

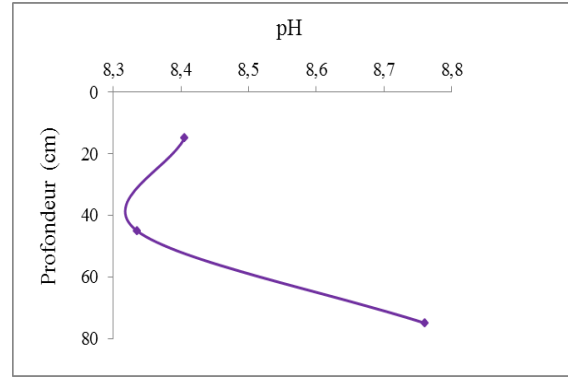


Figure 16.B. Profil pH du P4

Figure 16<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du P4

### 1.1.5. Résultats analytique du profil P5

La figure (17<sub>A,B</sub>), montre que le profil calcaire et pH sont caractérisés par un maximum en profondeur, de type descendant.

Le sol est modérément calcaire dont le taux est 12,71%, 18,83%, 22,53% dans l'horizon de surface, de moyenne profondeur et profond respectivement. Le pH décroît de la surface vers la profondeur, il atteint son maximum dans le premier horizon (8,54).

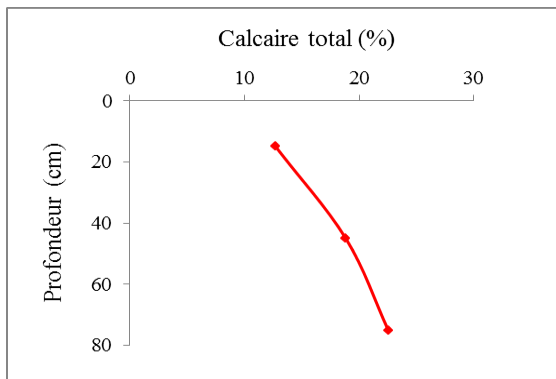


Figure 17.A. Profil calcaire du P5

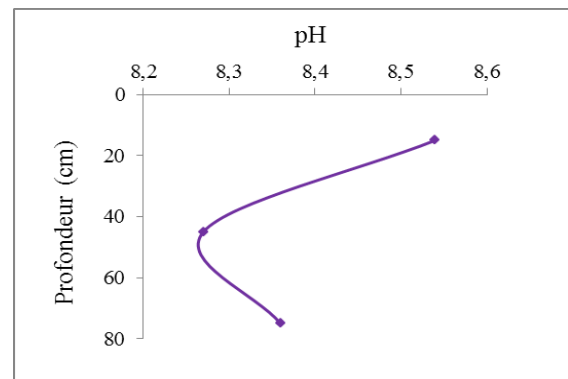


Figure 17.B. Profil pH du P5

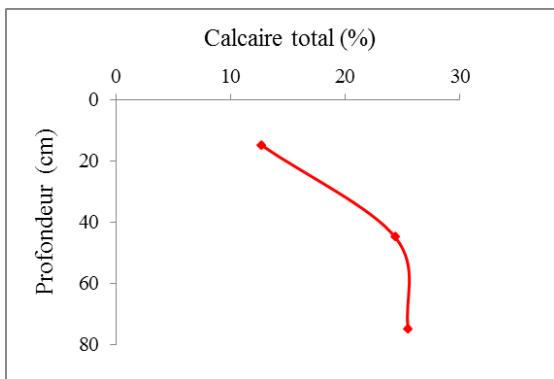
Figure 17<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du P5

### 1.1.6. Profils caractéristiques de la parcelle cultivée

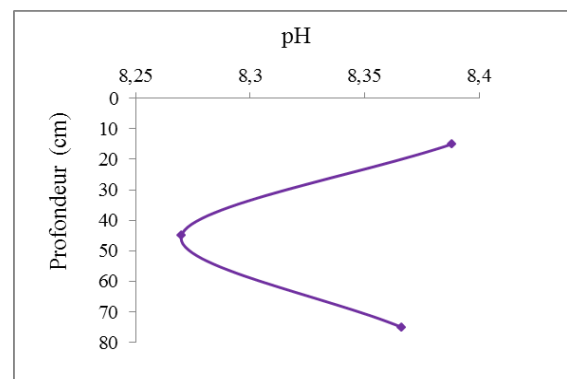
Afin de bien cerner l'évolution des paramètres étudiés, nous avons procédé à la réalisation des profils moyens caractéristiques de chaque parcelle.

La figure (18<sub>A,B</sub>), illustre que le profil du calcaire est de type descendant caractérisé par un maximum en profondeur, or que le profil pH est caractérisée par un maximum superficiel.

Le sol du profil caractéristique est modérément calcaire dans les trois horizons (12,74%, 24,35%, 25,47%), avec un pH alcalin variant de 8,27 à 8,38.



**Figure 18.A.** Profil calcaire de la parcelle cultivée



**Figure 18.B.** Profil pH de la parcelle cultivée

**Figure 18<sub>A,B</sub>.** Profils caractéristiques de la parcelle cultivée

## 1.2. Parcelle non cultivée sous palmier

### 1.2.1. Résultats analytique du profil T1

Selon la figure ci-dessous (Fig.19<sub>A,B</sub>), on constate que le profil calcaire est caractérisé par un maximum en profondeur, tandis que le profil pH qui est de type ascendant spécifié par un maximum superficiel.

Le sol est modérément à fortement calcaire ( $21,27\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 35,57\%$ ) et très alcalin ( $8,55 \leq \text{pH} \leq 8,83$ ).

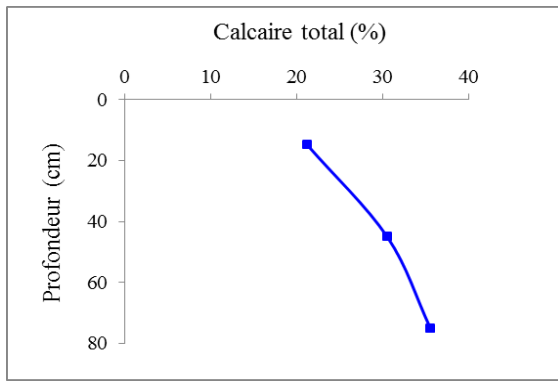


Figure 19.A. Profil calcaire du T1

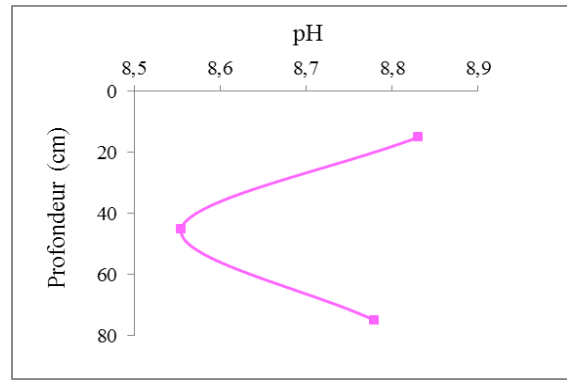


Figure 19.B. Profil pH du T1

Figure 19<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du T1

### 1.2.2. Résultats analytique du profil T2

D'après la figure (20<sub>A,B</sub>), on observe que le sol est modérément calcaire et alcalin pour tous les horizons du profil ( $13,40\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 22,82\%$ ), ( $8,36 \leq \text{pH} \leq 8,75$ ).

Les valeurs de pH décroissent en allant en profondeur ce qui signifie que le profil est de type ascendant, contrairement au profil calcaire qui est de type descendant.

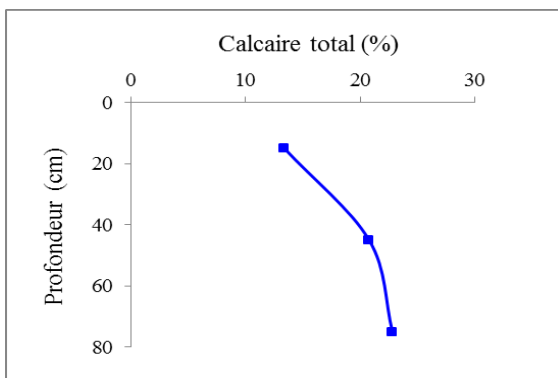


Figure 20.A. Profil calcaire du T2

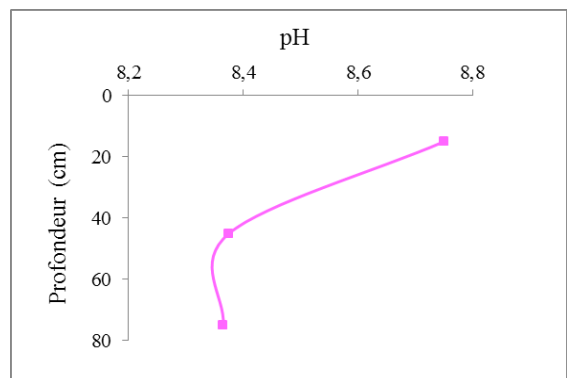


Figure 20.B. Profil pH du T2

Figure 20<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du T2

### 1.2.3. Résultats analytique du profil T3

La figure (21<sub>A,B</sub>), mentionne que le profil calcaire et pH suivent la même allure. Ils sont de type descendant caractérisés par un maximum en profondeur.

Le sol du profil est modérément calcaire dans les trois horizons (10,92%, 16,08%, 22,38%), avec un pH alcalin variant de 8,06 à 8,44.

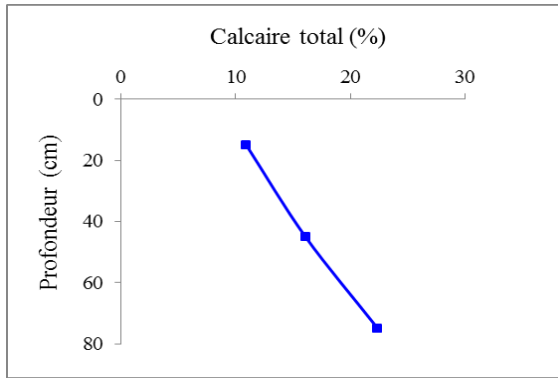


Figure 21.A. Profil calcaire du T3

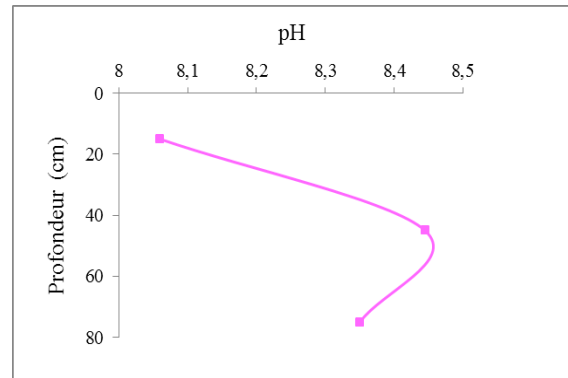


Figure 21.B. Profil pH du T3

Figure 21<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du T3

#### 1.2.4. Résultats analytique du profil T4

Les valeurs de calcaire et de pH montrent que le sol est modérément calcaire ( $12,14\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 22,28\%$ ) et alcalin ( $8,16 \leq \text{pH} \leq 8,50$ ). Les deux profils sont de type descendant, spécifiés par un maximum en profondeur (Fig.22<sub>A,B</sub>).

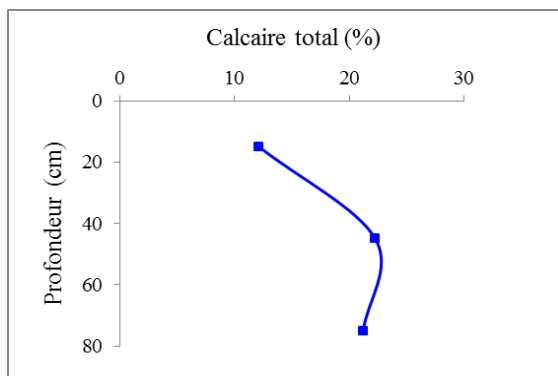


Figure 22.A. Profil calcaire du T4

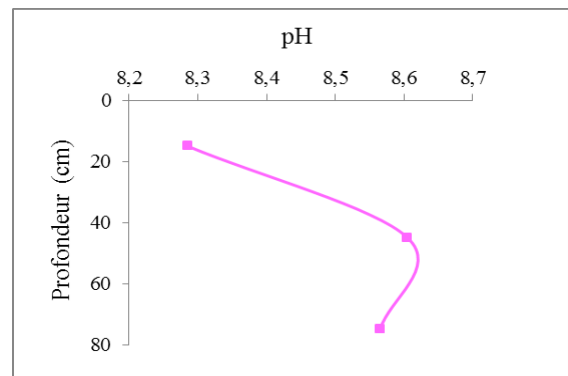


Figure 22.B. Profil pH du T4

Figure 22<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du T4

#### 1.2.5. Résultats analytique du T5

Au vu des résultats de la figure (23<sub>A,B</sub>), il ressort que le profil calcaire et pH sont caractérisés par un maximum en profondeur, le sol est modérément calcaire dans l'horizon de surface (14,21%) et fortement calcaire dans l'horizon profond (39,12%) et de moyenne profondeur (35,32%), le pH est alcalin dans tous les horizons ( $8,28 \leq \text{pH} \leq 8,60$ ).

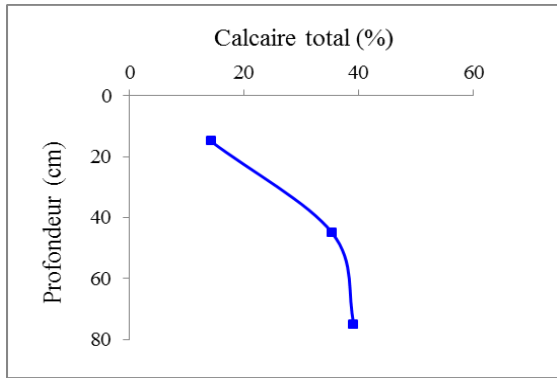


Figure 23.A. Profil calcaire du T5

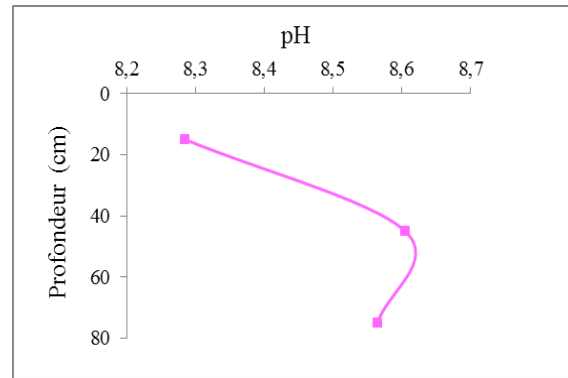


Figure 23.B. Profil pH du T5

Figure 23<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du T5

### 1.2.6. Profils caractéristiques de la parcelle non cultivée sous palmier

A l'issue des résultats de la figure (24<sub>A,B</sub>), il ressort que les deux profils sont de type descendant dont le sol est modérément calcaire dans le premier et le deuxième horizon (14,38%, 25%) mais fortement calcaire dans le troisième (28,22%), avec un pH alcalin par un maximum de 8,50 en profondeur.

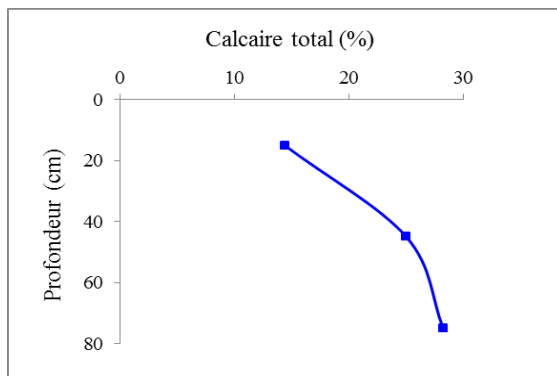


Figure 24.A. Profil calcaire de la parcelle non cultivée sous palmier

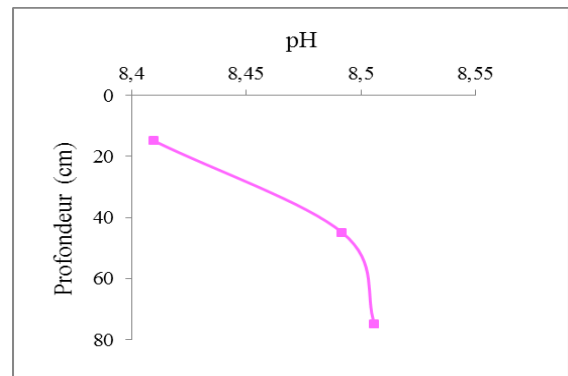


Figure 24.B. Profil pH de la parcelle non cultivée sous palmier

Figure 24<sub>A,B</sub>. Profils caractéristiques de la parcelle non cultivée sous palmier

### 1.3. Parcelle non cultivée hors palmeraie

#### 1.3.1. Résultats analytique du profil C1

La figure (25<sub>A,B</sub>) illustre que le profil calcaire et pH sont de type ascendant caractérisés par un maximum superficiel.

Dans l'horizon superficiel et profond, le sol est modérément calcaire (24,34%, 13,69%), or que l'horizon de moyenne profondeur est fortement calcaire 34,34%. Le pH est alcalin dans l'horizon superficiel et profond (pH 8.49 et 8,33) respectivement et très alcalin dans l'horizon de moyenne profondeur (pH 8,77).

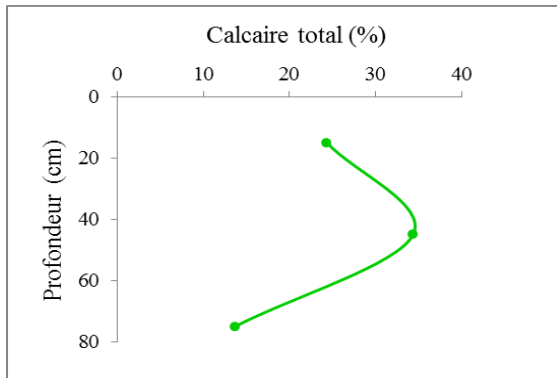


Figure 25.A. Profil calcaire du C1

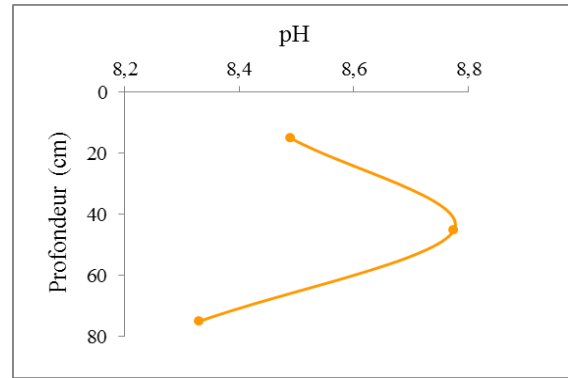


Figure 25.B. Profil pH du C1

Figure 25<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du C1

### 1.3.2. Résultats analytique du profil C2

La figure (26<sub>A,B</sub>) représente l'évolution verticale du taux de calcaire et du pH. Elle indique une augmentation du taux de calcaire et de pH en fonction de la profondeur. Le sol est modérément calcaire 9,23%, 21,88%, 13,58% respectivement dans les trois horizons, avec un pH alcalin ( $8,30 \leq \text{pH} \leq 8,59$ ).

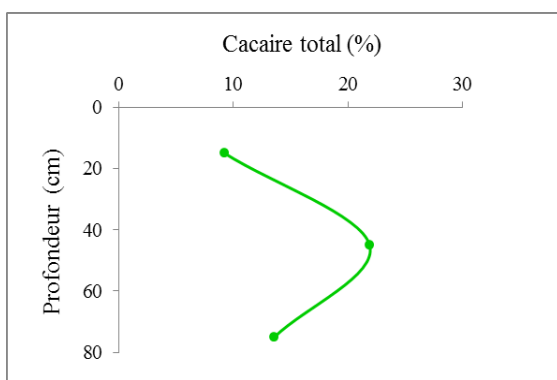


Figure 26.A. Profil calcaire du C2

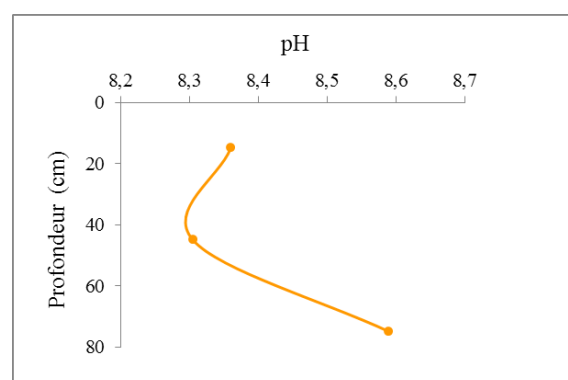


Figure 26.B. Profil pH du C2

Figure 26<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du C2

### 1.3.3. Résultats analytique du profil C3

Selon la figure (27<sub>A,B</sub>), le profil calcaire est de type descendant caractérisé par un maximum en profondeur, tandis que le profil pH est spécifié par un maximum en surface. Le sol est modérément calcaire dans le premier horizon (15,50%) et fortement calcaire dans l'horizon à moyenne profondeur et profond (26,37%, 27,49%) avec un pH très alcalin dans les trois horizons de l'ordre de 8,55, 8,37 et 8,45 respectivement.

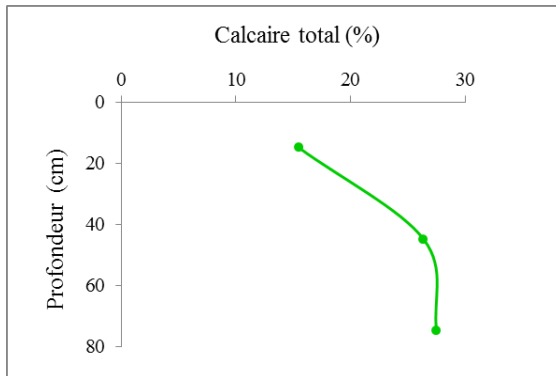


Figure 27.A. Profil calcaire du C3

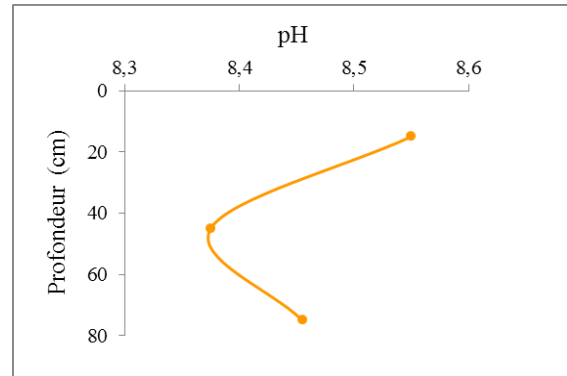


Figure 27.B. Profil pH du C3

Figure 27<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du C3

### 1.3.4. Résultats analytique du profil C4

D'après la figure (28<sub>A,B</sub>), le profil calcaire est caractérisé par un maximum en profondeur, or que le profil pH est caractérisé par un maximum superficiel. Le sol est modérément calcaire dans tous les horizons ( $11,19\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 18,83\%$ ) et très alcalin ( $8,56 \leq \text{pH} \leq 8,79$ ).

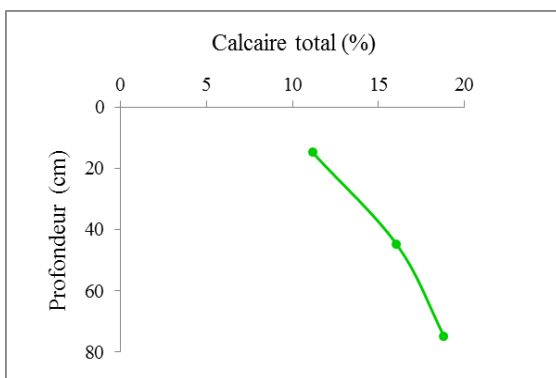


Figure 28.A. Profil calcaire du C4

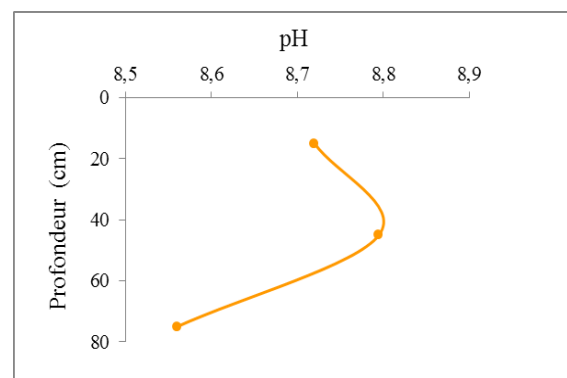


Figure 28.B. Profil pH du C4

Figure 28<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du C4

### 1.3.5. Résultats analytique du C5

Au vu des résultats de la figure (29<sub>A,B</sub>), il ressort que le sol est peu calcaire dans l'horizon de surface (4,48%), fortement calcaire dans l'horizon à moyenne profondeur (39,85%) et modérément calcaire dans l'horizon profond (11,30%). Le pH est alcalin dans l'horizon superficiel et de de sub-surface 8,34, 8,58 tandis que l'horizon profond est très alcalin 8,64.

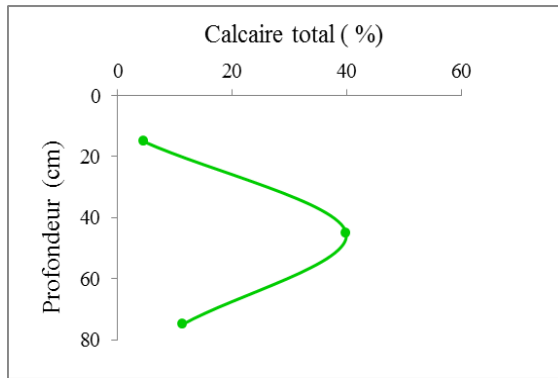


Figure 29.A. Profil calcaire du C5

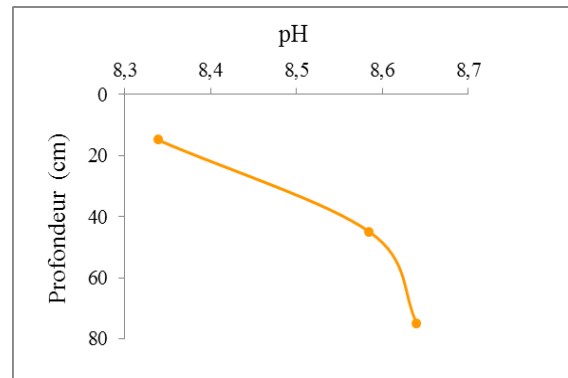


Figure 29.B. Profil pH du C5

Figure 29<sub>A,B</sub>. Profil calcaire, pH du C5

### 1.3.6. Profils caractéristiques de la parcelle non cultivée hors palmeraie

Les résultats relatifs aux variations du taux de calcaire et de pH constaté dans le profil caractéristique de la parcelle non cultivée hors palmeraie montrent que le sol est modérément calcaire dans l'horizon de surface (12,94%) et dans l'horizon profond (16,97%), mais fortement calcaire dans l'horizon de moyenne profondeur (27,70%). Le sol est alcalin ( $8,49 \leq \text{pH} \leq 8,56$ ) dans les trois horizons. Les profils pH et calcaire sont de type descendant (Fig.30<sub>A,B</sub>).

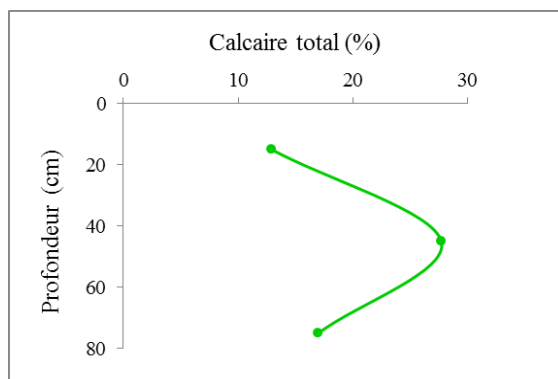


Figure 30.A. Profil calcaire de la parcelle non cultivée hors palmeraie

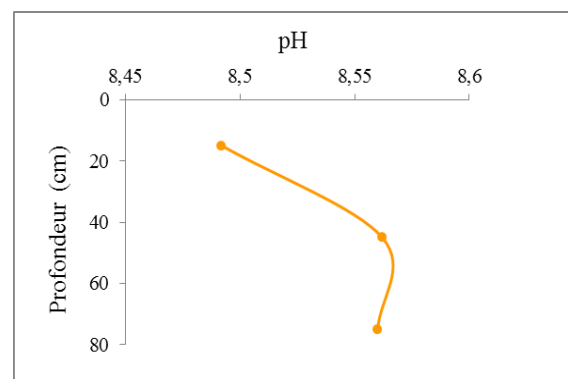


Figure 30.B. Profil pH de la parcelle non cultivée hors palmeraie

Figure 30<sub>A,B</sub>. Profils caractéristiques de la parcelle non cultivée hors palmeraie

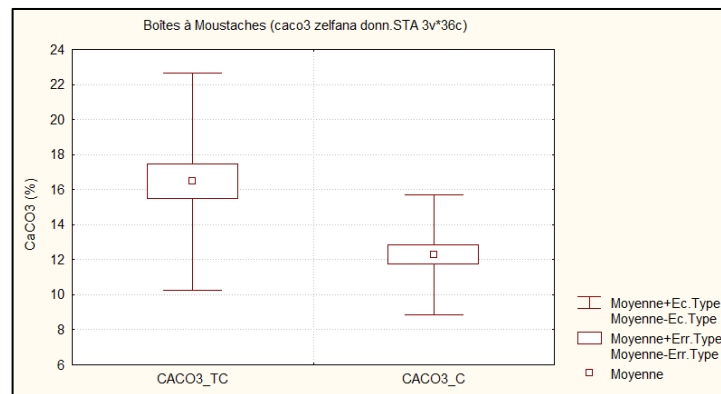


#### 1.4. Evolution de CaCO<sub>3</sub> de l'horizon de surface

Dans l'horizon superficiel de la parcelle non cultivée sous palmier TC, le calcaire total varie de 7,03 à 33,99 % avec une moyenne de  $16,30 \pm 5,77$  % et un CV de 35,43% (modérément calcaire).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée C, le calcaire total varie de 6,03 à 19,46% avec une moyenne de  $12,31 \pm 3,58$  % et CV= 26,66% (modérément calcaire).

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le calcaire total a diminué dans la parcelle cultivée par rapport à celle de témoin cultivée, avec une évolution moyenne annuelle de  $-0,069 \pm 0,10$  %. L'analyse de variance montre que cette diminution est très hautement significative ( $F^{1,70} = 12,94$  ;  $P = 0,0005$ , T.H.S.).

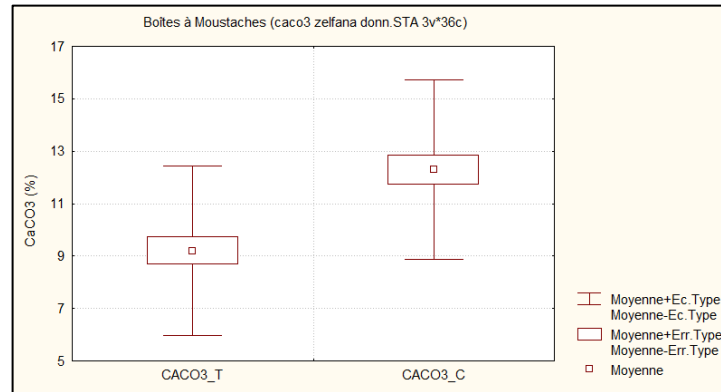


**Figure 31.** Boîte à moustaches de la variation de CaCO<sub>3</sub> du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et témoin cultivée

Dans l'horizon superficiel de la parcelle non cultivée hors palmeraie T, le calcaire total varie de 3,69 à 24,34 % avec une moyenne de  $8,89 \pm 3,26$  % et un CV de 36,66 % (modérément calcaire).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée C, le calcaire total varie de 6,03 à 19,46% avec une moyenne de  $12,31\% \pm 3,58$  % et un CV de 26,66% (modérément calcaire).

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le calcaire total a augmenté dans la parcelle cultivée par rapport au témoin non cultivée, avec une évolution moyenne annuelle de  $0,060 \pm 0,07$  %. L'analyse de variance montre que cette augmentation est très hautement significative ( $F^{1,70} = 19,77$  ;  $P = 0,0000$ , T.H.S.).



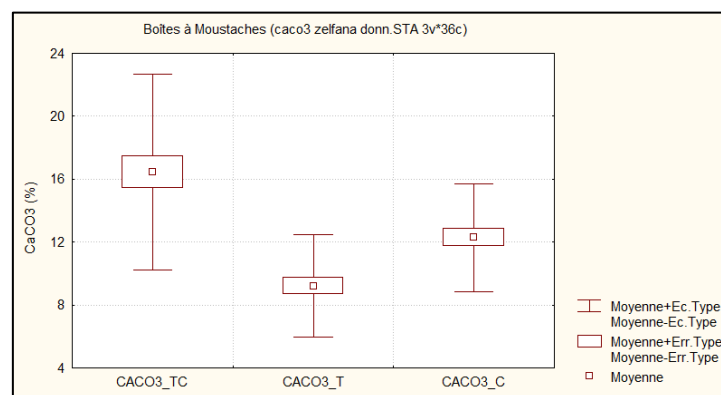
**Figure 32.** Boîte à moustaches de la variation de  $\text{CaCO}_3$  du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et témoin cultivée

Dans l'horizon superficiel de la parcelle non cultivée sous palmier TC, le calcaire total varie de 7,03 à 33,99 % avec une moyenne de  $16,30 \pm 5,77$  % (modérément calcaire).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle non cultivée hors palmeraie T, le calcaire total varie de 3,69 à 24,34 % avec une moyenne de  $8,89 \pm 3,26$  % (modérément calcaire).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée C, le calcaire total varie de 6,03 à 19,46% avec une moyenne de  $12,31\% \pm 3,58$  % (modérément calcaire).

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le calcaire total a augmenté dans la parcelle non cultivée sous palmier par rapport à la parcelle témoin non cultivée, avec une évolution moyenne annuelle de  $0,12 \pm 0,11$  %. L'analyse de variance montre que cette augmentation est très hautement significative ( $F^{1,70} = 44,97$  ;  $P = 0,0000$ , T.H.S.).



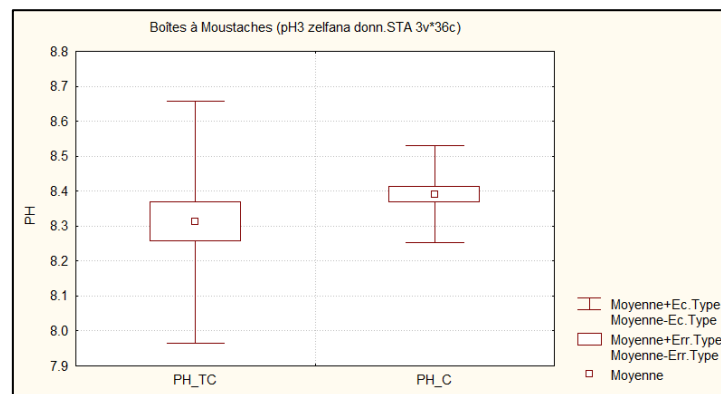
**Figure 33.** Boîte à moustaches de la variation de  $\text{CaCO}_3$  du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée, témoin cultivée et non cultivée (témoin)

### 1.5. Evolution du pH de l'horizon de surface

Dans l'horizon superficiel de la parcelle non cultivée sous palmier TC, le pH varie de 7,91 à 8,91 avec une moyenne de  $8,31 \pm 0,34$  et un CV de 4,16% (alcalin à très alcalin).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée C, le pH varie de 8,17 à 8,53 avec une moyenne de  $8,39 \pm 0,13$  et un CV de 1,65% (alcalin à très alcalin).

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le pH a augmenté dans la parcelle cultivée par rapport à la parcelle non cultivée sous palmiers, avec une évolution moyenne annuelle de  $0,0013 \pm 0,006$ . L'analyse de variance montre que cette augmentation est non significative ( $F^{1,70} = 1,59$  ;  $P = 0,21$ , N.S.).

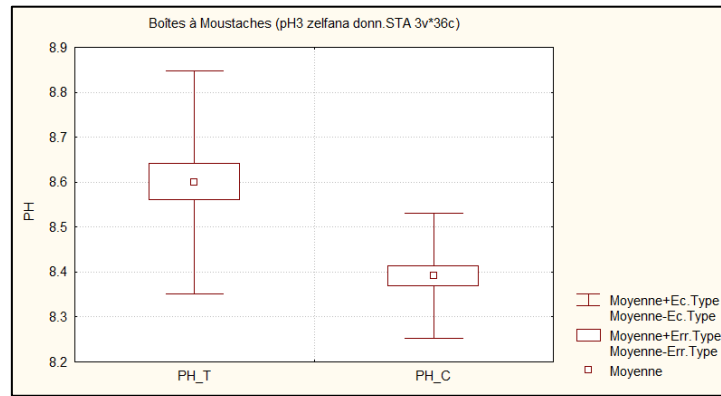


**Figure 34.** Boîte à moustaches de la variation de pH du sol de l'horizon de surface dans la parcelle cultivée et témoin cultivée

Dans l'horizon superficiel de la parcelle non cultivée hors palmeraie T, le pH varie de 8,05 à 9,1 avec une moyenne de  $8,6 \pm 0,34$  et un CV de 2,89% (alcalin à très alcalin).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée C, le pH varie de 8,17 à 8,71 avec une moyenne de  $8,39 \pm 0,24$  et un CV de 1,65% (alcalin à très alcalin).

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le pH a diminué dans la parcelle cultivée par rapport à la parcelle non cultivée hors palmeraie, avec une évolution moyenne annuelle de  $-0,003 \pm 0,004$ . L'analyse de variance montre que cette diminution est très hautement significative ( $F^{1,70} = 19,37$  ;  $P = 0,0000$ , T.H.S.).



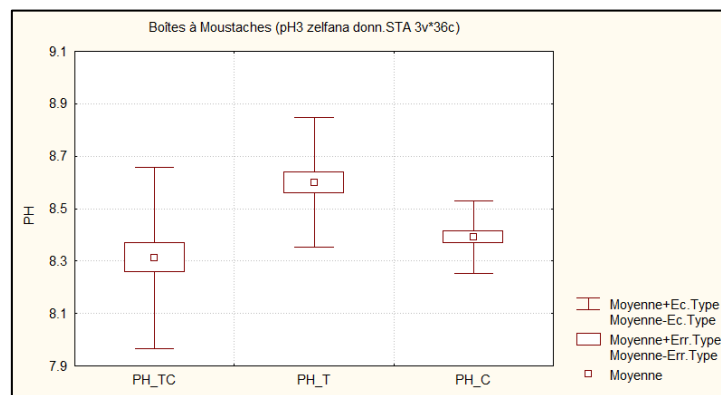
**Figure 35.** Boite à moustaches de la variation de pH du sol de l’horizon de surface dans la parcelle cultivée et non cultivée (témoin)

Dans l’horizon superficiel de la parcelle non cultivée sous palmier TC, le pH varie de 7,91 à 8,91 avec une moyenne de  $8,31 \pm 0,34$  et un CV de 4,16% (alcalin à très alcalin).

Dans l’horizon superficiel de la parcelle non cultivée hors palmeraie T, le pH varie de 8,05 à 9,1 avec une moyenne  $8,6 \pm 0,34$  et un CV de 2.89% (alcalin à très alcalin).

Dans l’horizon superficiel de la parcelle cultivée C, le pH varie de 8,17 à 8,71 avec une moyenne de  $8,39 \pm 0,13$  et un CV de 1,65% (alcalin à très alcalin).

L’analyse du taux de variation annuelle montre que le calcaire total a diminué dans la parcelle cultivée par rapport à la parcelle témoin non cultivée, avec une évolution moyenne annuelle de  $-0,005 \pm 0,008$ . L’analyse de variance montre que cette diminution est très hautement significative ( $F^{1, 70} = 19,37$  ;  $P = 0,0000$ , T.H.S.), selon le coefficient de variation nous remarquons une variabilité entre les parcelles témoins et la parcelle cultivée.



**Figure 36.** Boite à moustaches de la variation de pH du sol de l’horizon de surface dans la parcelle cultivée, témoin cultivée et non cultivée (témoin)

## 2. Etude de la variation spatiale du calcaire total et du pH

### 2.1. Modélisation

Le mot géostatistique est un néologisme forgé à l'école de Mines. La géostatistique est née des problèmes rencontrés dans le secteur de la mine : contrôle des teneurs, optimisation de maille, cartographie des ressources, prévision des réserves récupérables, étude de scénarios d'exploitation... etc.

Le terme géostatistique désigne l'étude statistique des phénomènes naturels. Elle permet de mieux résoudre les problèmes d'estimation d'un paramètre donné et d'évaluer la précision obtenue.

Les études géostatistiques réalisées en sciences du sol ne sont que de nature mono-factorielle. Elles ont pour but la définition de la structure de la variable régionalisée (GASCULEL *et al.*, 1991).

### 2.2. Variogramme

#### 2.2.1. Définition

Le variogramme est un outil permettant de connaître la structure spatiale d'une variable donnée.

Le problème consiste à rechercher une fonction caractéristique de la structure de la variable étudiée à partir de l'analyse du variogramme.

Si l'hypothèse de stationnarité ne peut être posée, l'utilisation du variogramme est recommandée, car elle suppose seulement que les accroissements  $(Z(x) - Z(x + h))$  sont stationnaires.

- $Z$  : est une constante quelle que soit la proposition  $x$  (AZZOUG, 1993).

#### 2.2.2. Propriétés du variogramme

Le variogramme est une fonction de  $h$ , croissante et souvent caractérisé par trois paramètres : la portée, le palier et l'effet de pépité (AZZOUG, 1993).

##### 2.2.2.1. Portée

La portée est une distance à partir de laquelle les valeurs de la variable entre deux points sont indépendantes (AZZOUG, 1993).

#### **2.2.2.2. Palier**

Le palier du variogramme donne la distance en delà de laquelle, les mesures sont corrélées et au-delà de laquelle, elles sont indépendantes ; c'est la valeur du variogramme pour la distance à la portée (AZZOUG, 1993).

#### **2.2.2.3. Effet de pépité**

L'effet de pépité exprime le comportement du variogramme à l'origine. Il peut être imputé, soit aux erreurs de mesure, soit à une micro-régionalisation non visible à cause d'un pas d'échantillonnage trop grand.

WILFRIED (2006), a défini l'effet de pépité comme le comportement à l'origine du variogramme reflète le degré de régularité spatiale de la variable régionalisée. Si le variogramme présente un saut abrupt à l'origine (effet de pépité), cela indique une absence partielle de corrélation entre les valeurs prises en deux sites très proches. C'est-à-dire qu'il y a une faible ressemblance entre les valeurs régionalisées très voisines.

#### **2.2.3. Ajustement du variogramme**

L'ajustement du variogramme expérimental à un modèle théorique, a pour objectif de rendre compte des caractéristiques observées.

Ce modèle structural est une fonction simple, on distingue cinq types de modèles : modèle linéaire, sphérique, Gaussien, exponentiel et cubique.

Nous avons procédé à l'ajustement du variogramme expérimental au modèle linéaire puisque c'est le modèle le plus convenable à l'échantillonnage systématique à maille régulière (AZZOUG, 1993).

### **2.3. Réalisation des cartes thématiques**

La cartographie thématique fait partie de ce qu'on appelle plus généralement la représentation cartographique. Elle permet la réalisation d'images graphiques particulières qui traduisent les relations spatiales d'un ou plusieurs phénomènes, d'un ou plusieurs thèmes. Qu'on les définit comme carte d'inventaire, d'analyse, statique ou dynamique (BURNET, 1990).

#### **2.3.1. Définition de la carte thématique**

ZANIN et TREMELO (2003), ont défini la carte thématique comme, un document graphique basé sur la communication par les signes. Elle révèle du langage visuel. A ce titre et

même si sa construction doit suivre les règles de la sémiologie graphique, elle reste un outil formidable de communication et d'information qui ne restreint pas son champ d'actions aux seuls géographes. Le langage visuel est spécifique car il est inverse du langage écrit ou parlé : l'œil perçoit d'abord un ensemble, il généralise puis cherche le détail. Enfin, il s'agit d'un système spatial où trois variables sont mises en relation ; les deux dimensions orthogonales qui définissent le plan et les phénomènes représentés qui apparaissent comme des «taches».

La carte thématique est consacrée à la représentation de la distribution spatiale d'un phénomène, d'une variable (exemple cartes de la population, de la végétation, de l'industrie, etc.) (BOSSON et EVRARD, 2005).

### **2.3.2. Krigeage**

Le krigeage est la méthode optimale, au sens statistique du terme d'estimation. Le krigeage porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain KRIGE. Dans les années 60, KRIGE a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. Dix ans plus tard, Gorges MATHERON développa un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs appelé le «variogramme» et une méthode d'estimation basée sur le variogramme appelé «krigeage». Aujourd'hui, la géostatistique s'exprime dans des champs d'applications comme l'océanographie, la météorologie, le génie civil, l'environnement, la géologie, la qualité de l'air et des sols, la santé, etc.

Le terme de krigeage désigne un ensemble de méthodes d'interpolation linéaire basées sur l'expression de la dépendance spatiale par le semi-variogramme. Les deux types de krigeage les plus communs sont le krigeage ponctuel et le krigeage par blocs (BURGESS et WEBSTER, 1980).

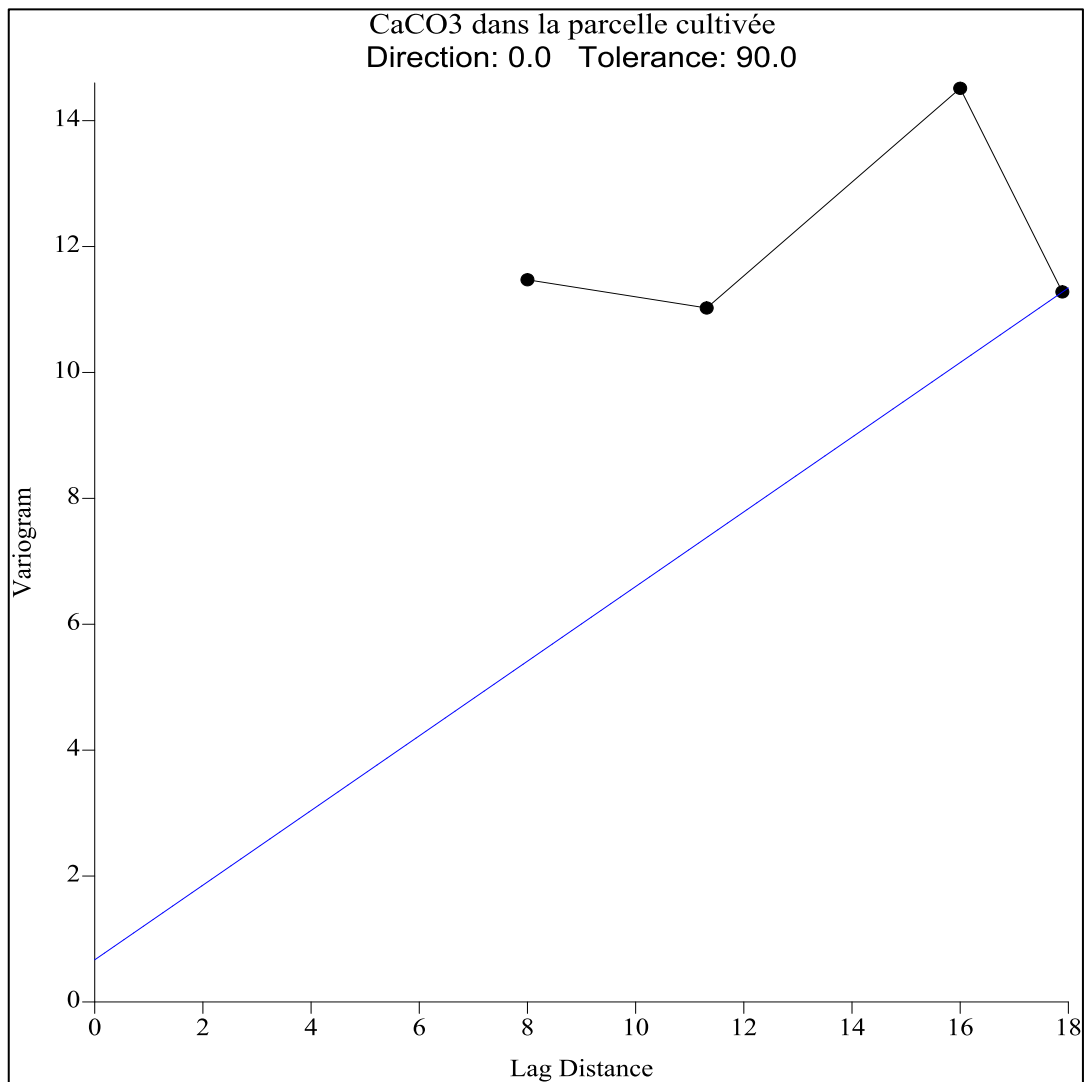
Le krigeage ponctuel correspond à l'estimation de la valeur d'une variable en un point non échantillonné, le krigeage par blocs estimant la valeur moyenne de cette variable sur une surface déterminée. Dans les deux cas, on procède à l'interpolation linéaire de la variable étudiée Z en un point où aucune mesure n'a été réalisée. Un certain nombre de points échantillonnés sont utilisés dans le calcul de la valeur estimée et le poids alloué à chaque point est une fonction de la distance le séparant du site où l'estimation est faite. Cette fonction est reliée à la structure spatiale par l'intermédiaire du semi-variogramme (WEBSTER, 1985 ; WEBSTER et OLIVER, 1990).

Le krigeage utilise le variogramme pour assigner les poids aux points d'observation pendant le processus d'interpolation (MARCOTTE, 2003 in OUELD BELKHEIR, 2013).

## 2.4. Parcelle cultivée

La figure ci-dessous illustre que le variogramme théorique est de type linéaire dans la parcelle cultivée.

Le variogramme expérimental du calcaire total est ajusté à un modèle linéaire, ce qui indique une présence de corrélation régionale entre les valeurs analysées. La relation entre les points est dépendante avec une pente de 0,593. Les valeurs représentant la distance fluctue entre 04 point dont la valeur minimale est de 8m et la valeur maximale atteint 17,88 m.

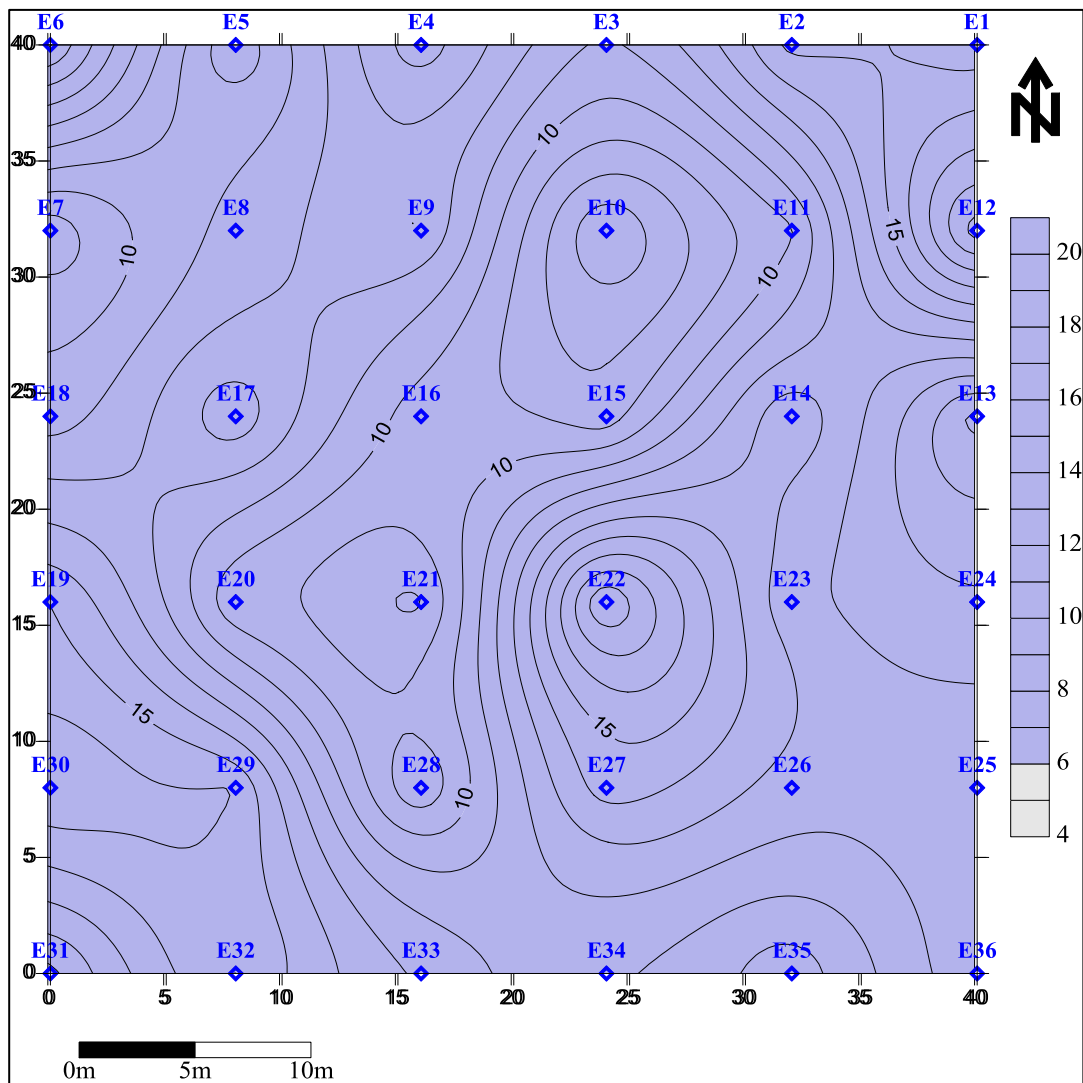


**Figure 37.** Variogramme de CaCO<sub>3</sub> dans la parcelle cultivée



L'accumulation du calcaire peut commencer dès que la végétation s'installe. La carte (1) représente une variation spatiale claire et homogène du calcaire total dans la parcelle cultivée qui varie entre 6.03 et 19.46%. Les valeurs montre que le sol est modérément calcaire, dont les valeurs maximales sont situées en majorité en aval (côté nord) avec une valeur de 19,46% au point E12 ensuite 17,19% au E6.

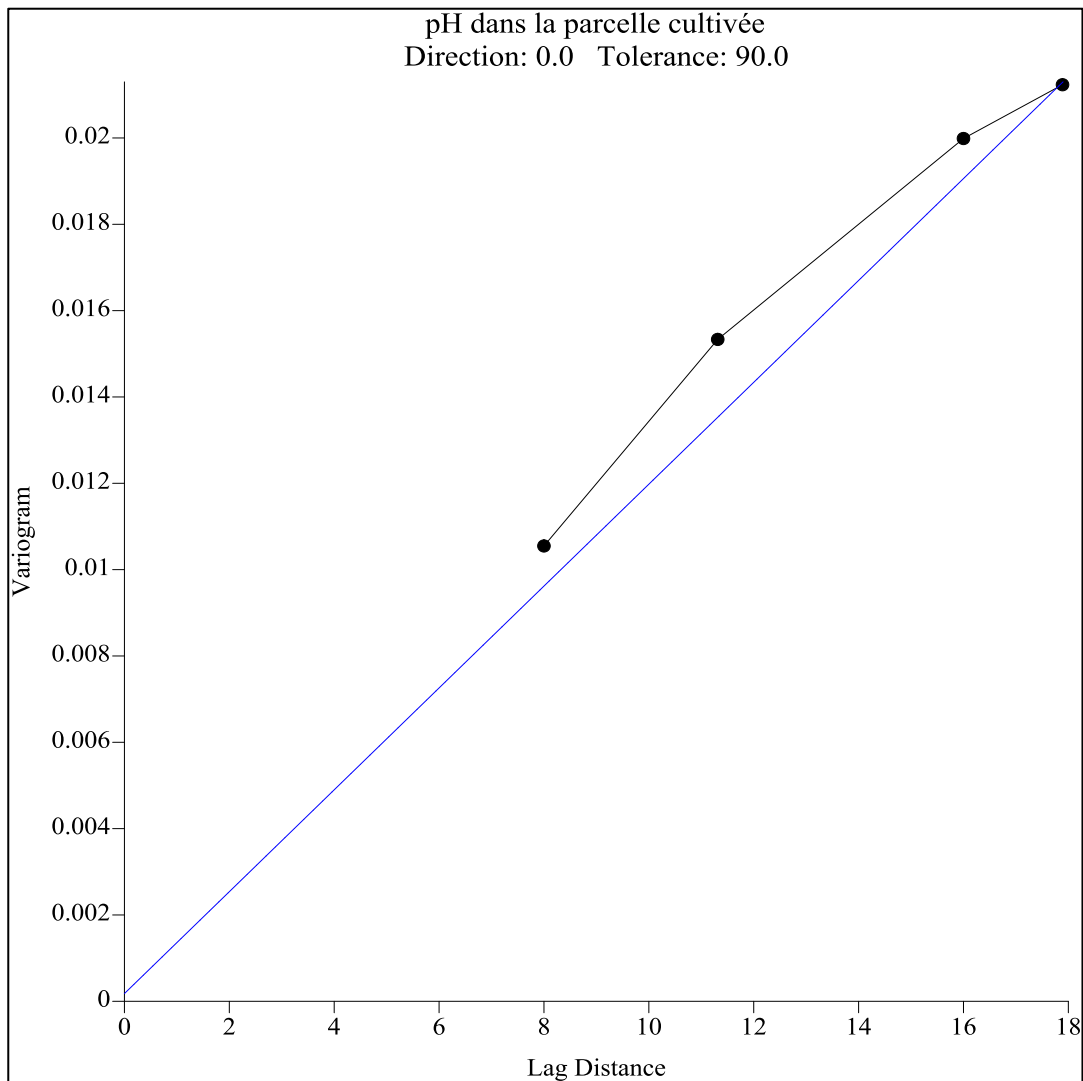
La forte concentration en aval est due à l'accumulation du  $\text{CaCO}_3$  par l'effet du mauvais drainage et le transport latéral du calcaire par l'eau d'irrigation.



Carte 4. Répartition spatiale du  $\text{CaCO}_3$  dans la parcelle cultivée

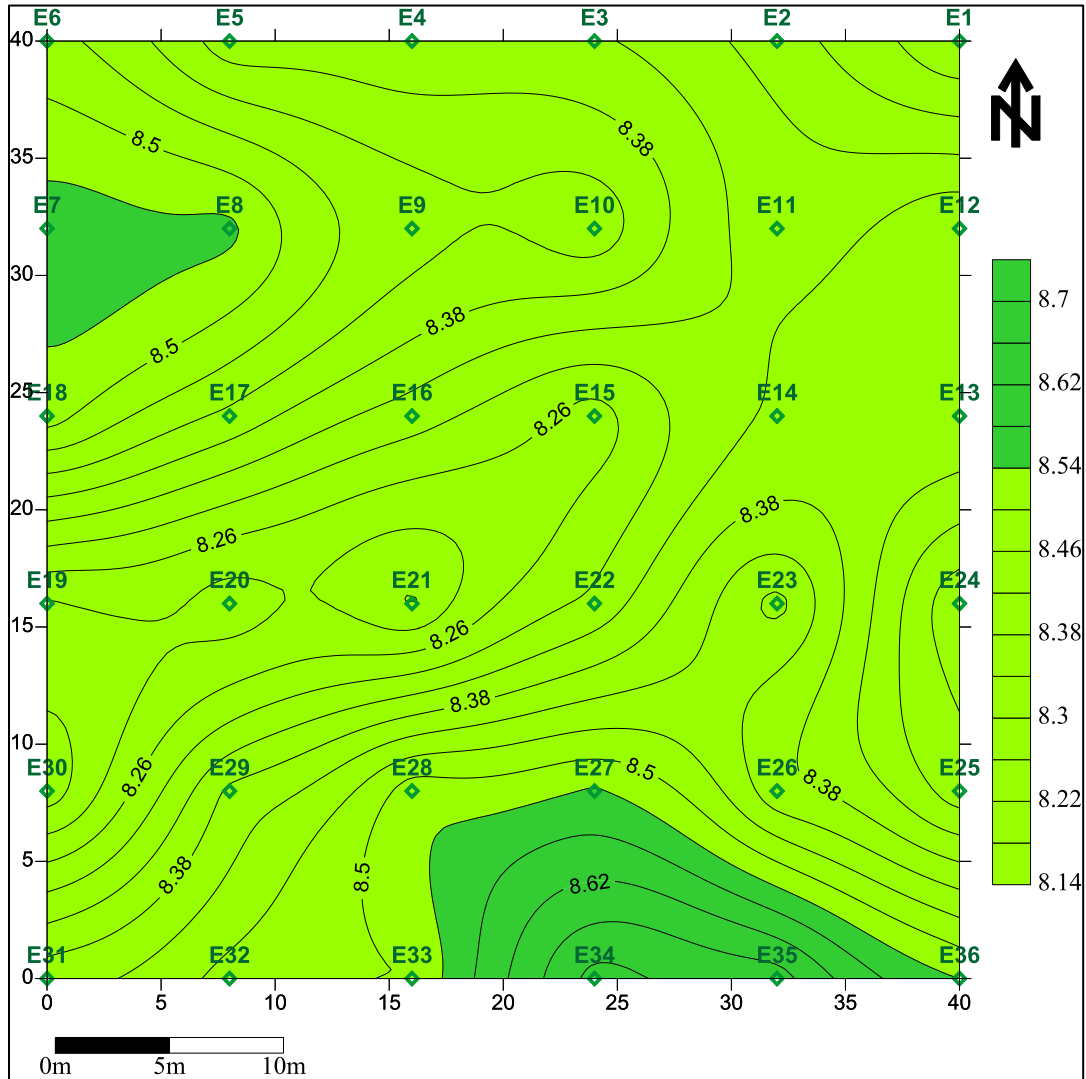
Nous remarquons que le variogramme théorique de la figure (38) est de type linéaire, pour cela le krigeage est utilisé comme un moyen d'interpolation.

Le variogramme expérimental du pH est ajusté à un modèle linéaire. Il est représenté par quatre points dont la valeur minimale est de 8 m, puis 11,31m, 16 m pour la deuxième et la troisième valeur successivement et 17,88 concernant la valeur maximale, avec une pente de 0,001.



**Figure 38.** Variogramme du pH dans la parcelle cultivée

D'après la carte (2), le pH présente une variation spatiale claire dans la parcelle cultivée qui varie entre 8,17 et 8,71. Les valeurs qui présentent une alcalinité sont situées au centre de la palmeraie, or que les valeurs très alcalin sont situées en sud-est et le nord- ouest de la palmeraie, avec une valeur maximale au point E34 ensuite E35.

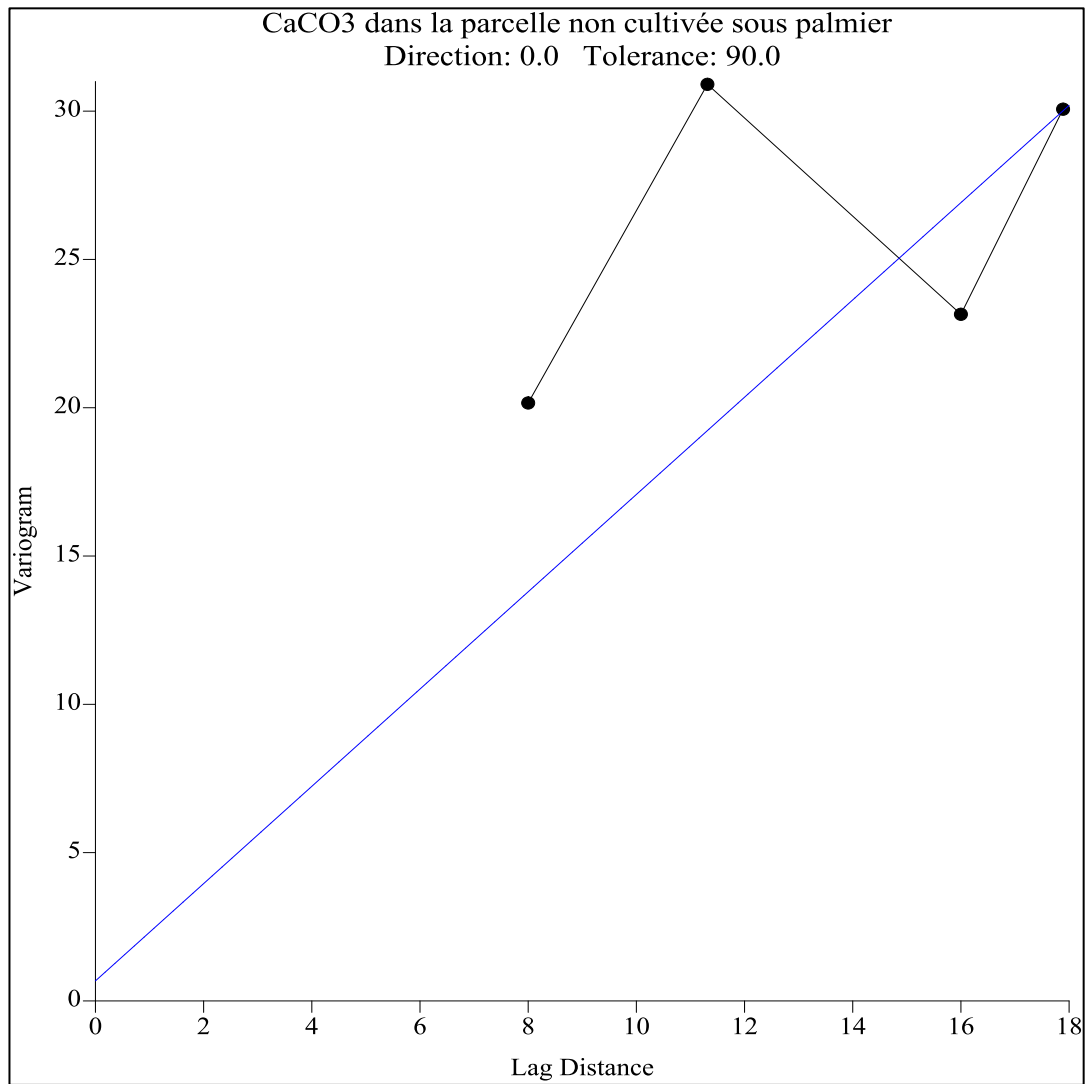


Carte 5. Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée

## 2.5. Parcelle non cultivée sous palmier

Le variogramme expérimental de  $\text{CaCO}_3$  représenté dans la figure (39) suit un modèle linéaire, sa pente est de 1,64.

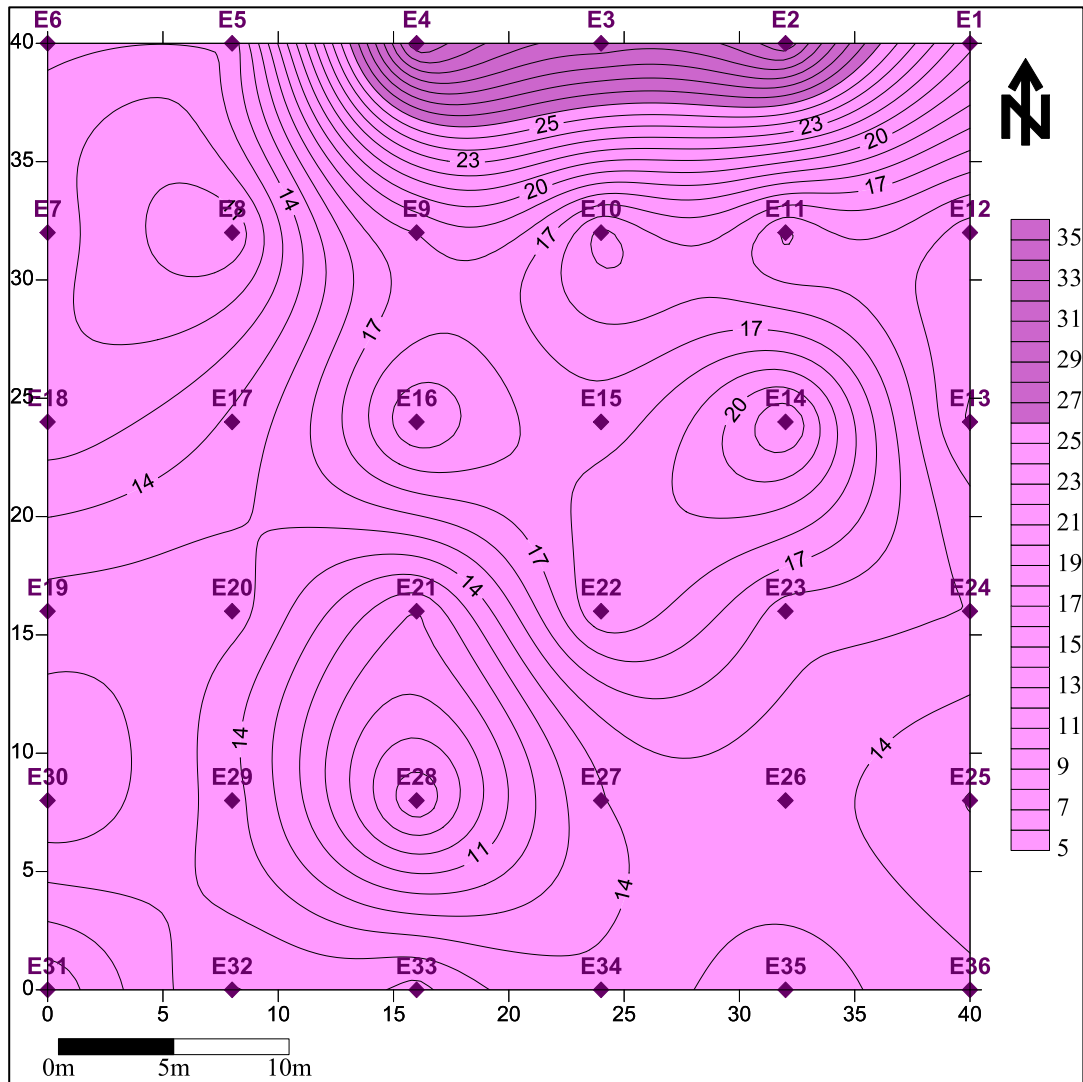
La variation du variogramme expérimental de la parcelle non cultivée sous palmeraie s'étale entre quatre points, 8 m, 11,31m, 16m et 17,88 m successivement.



**Figure 39.** Variogramme du CaCO<sub>3</sub> dans la parcelle non cultivée sous palmier

Selon la carte (3), les résultats obtenus révèlent que le sol est fortement à modérément calcaire dont les valeurs varient de 7,03 et 33,99%.

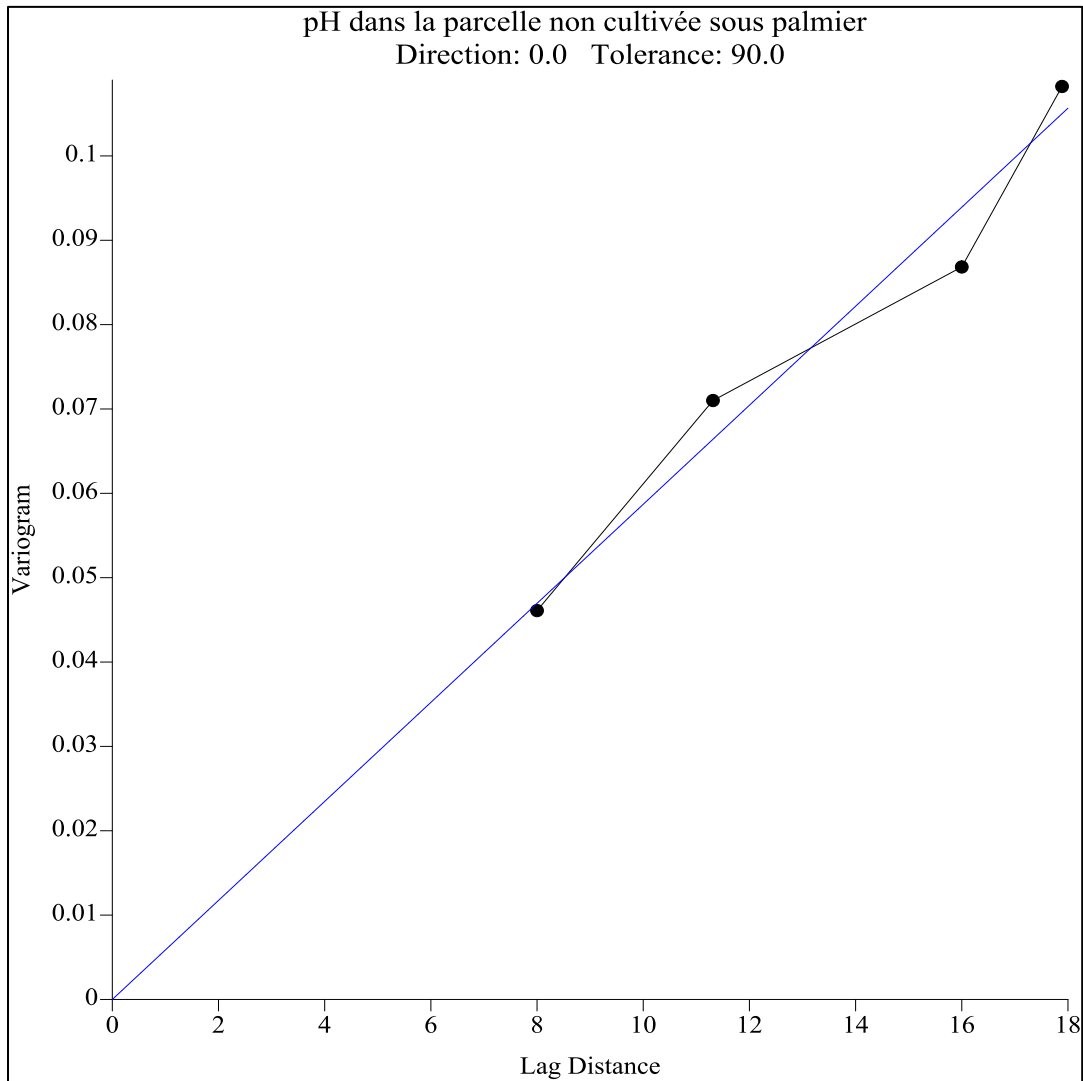
Les valeurs maximales se concentrent dans la partie nord de la parcelle notamment dans les points E4 et E2. Cela est dû (en aval) à cause du mauvais drainage et par la circulation latérale de l'eau d'irrigation, tandis que les valeurs minimales sont situées en amont cela est expliqué par la lixiviation du calcaire ou sa décarbonatation.



**Carte 6.** Répartition spatiale du  $\text{CaCO}_3$  dans la parcelle non cultivée sous palmier

D'après la figure (40), le variogramme théorique de la parcelle non cultivée sous-palmier est de type linéaire.

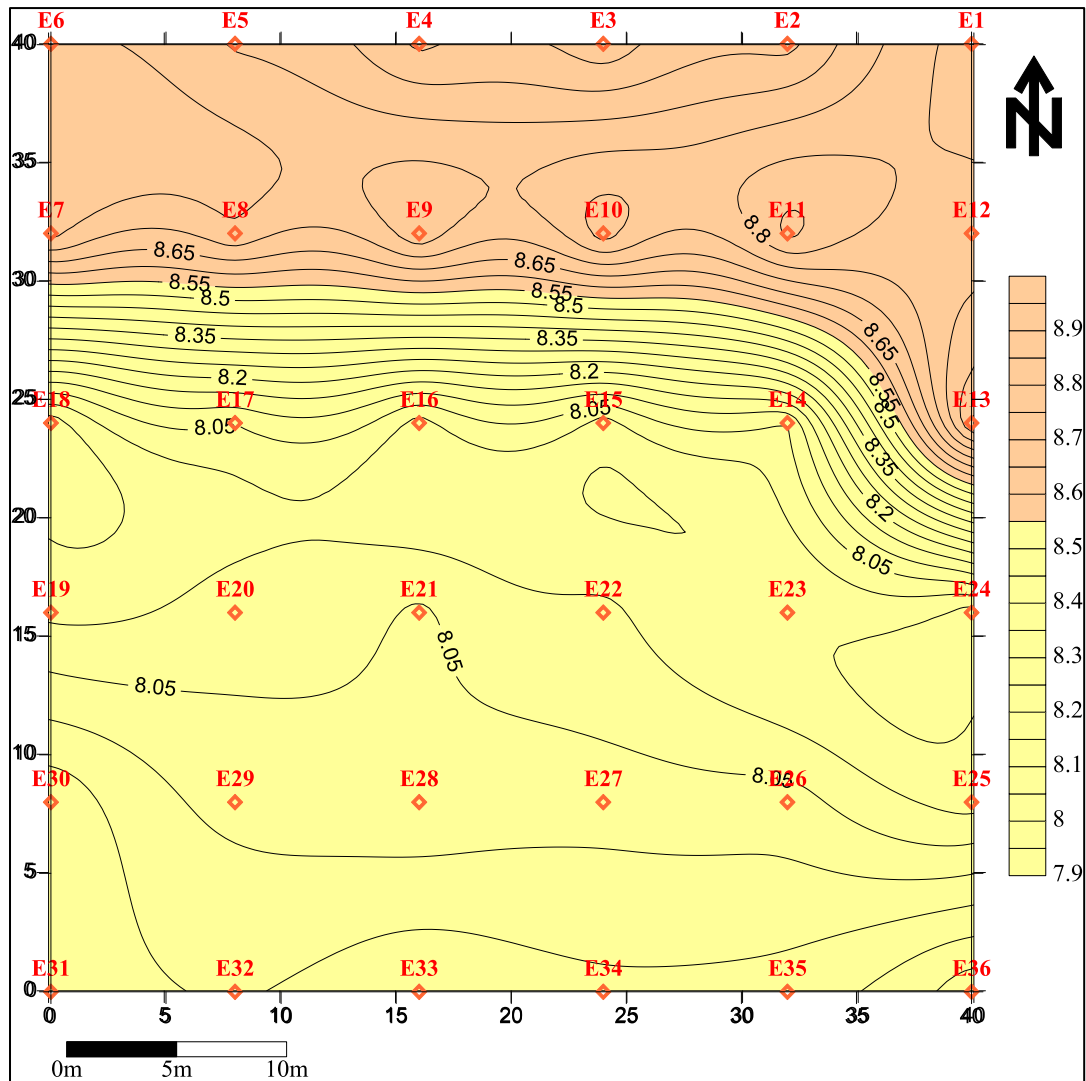
Le variogramme expérimental du pH s'ajuste au modèle linéaire avec une pente de 0,00587, sa variation est en augmentation continue qui se manifeste par quatre points dont la valeur minimale est de 8m et la maximale atteint 17,88m, tandis que les deux points intermédiaires sont d'ordre 11,31m et 16m respectivement. La relation entre ses points est dépendante.



**Figure 40.** Variogramme du pH dans la parcelle non cultivée sous palmier

La carte (4) représente la répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée sous-palmiers, cette dernière est réalisée sur le Surfer par la méthode de Krigeage. Les valeurs de pH sont comprises entre 7,91 au point E18, et 8,91 au point E13.

Selon la carte, il ressort que la variation est linéaire au centre de la palmeraie, vers le nord les teneurs de pH commencent à s'élever contrairement au côté sud que nous enregistrons une diminution.

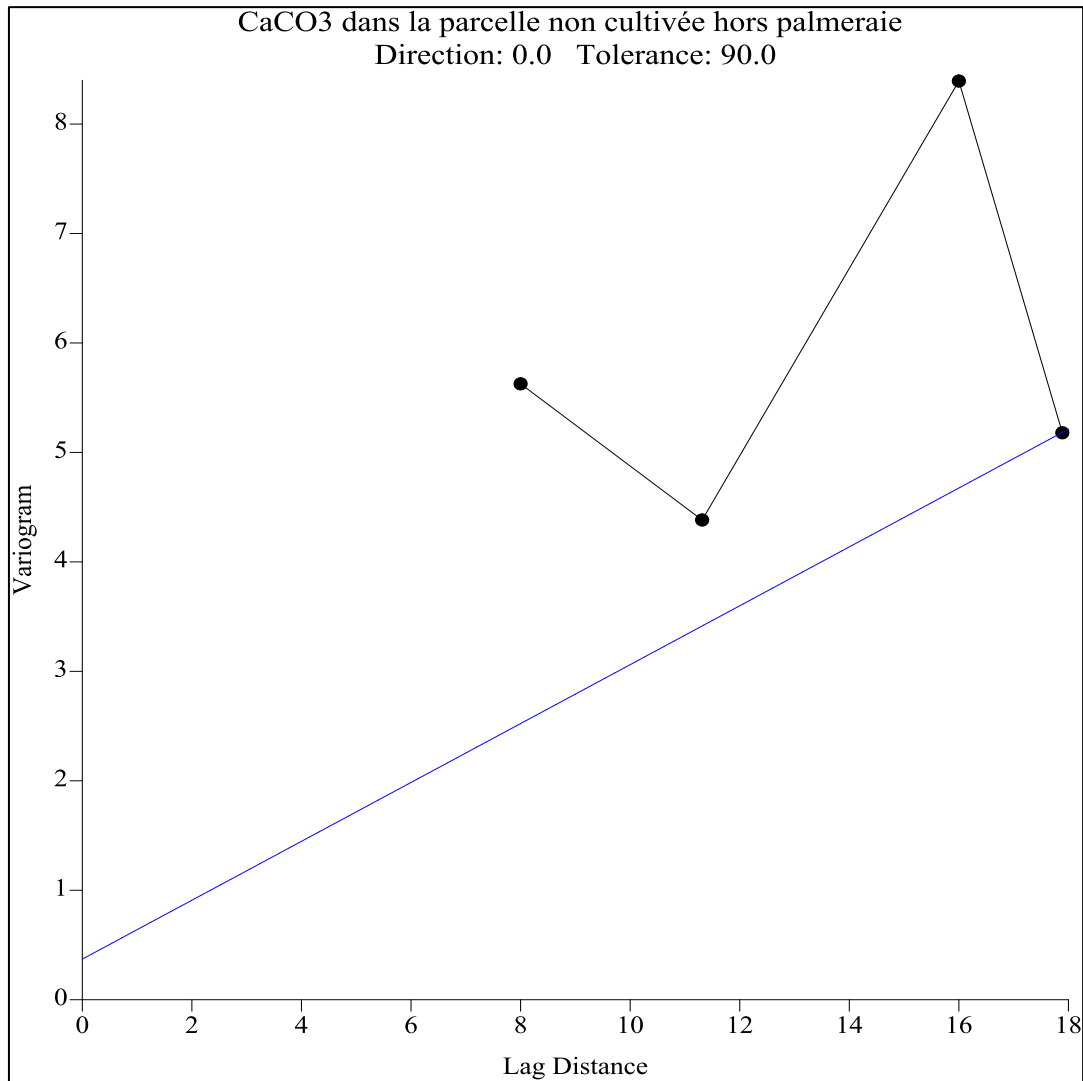


Carte 7. Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée sous palmier

## 2.6. Parcelle non cultivée hors palmeraie

La figure (41) laisse apparaître que le variogramme théorique de la parcelle non cultivée hors-palmier est de type linéaire.

Le variogramme expérimental du  $\text{CaCO}_3$  s'ajuste au modèle linéaire avec une pente de 0,269, sa variation fluctue entre quatre points qui possèdent une relation dépendante. La valeur minimale est de 8m et la maximale atteint 17,88m, tandis que les deux points intermédiaires sont d'ordre 11,31m et 16m respectivement.

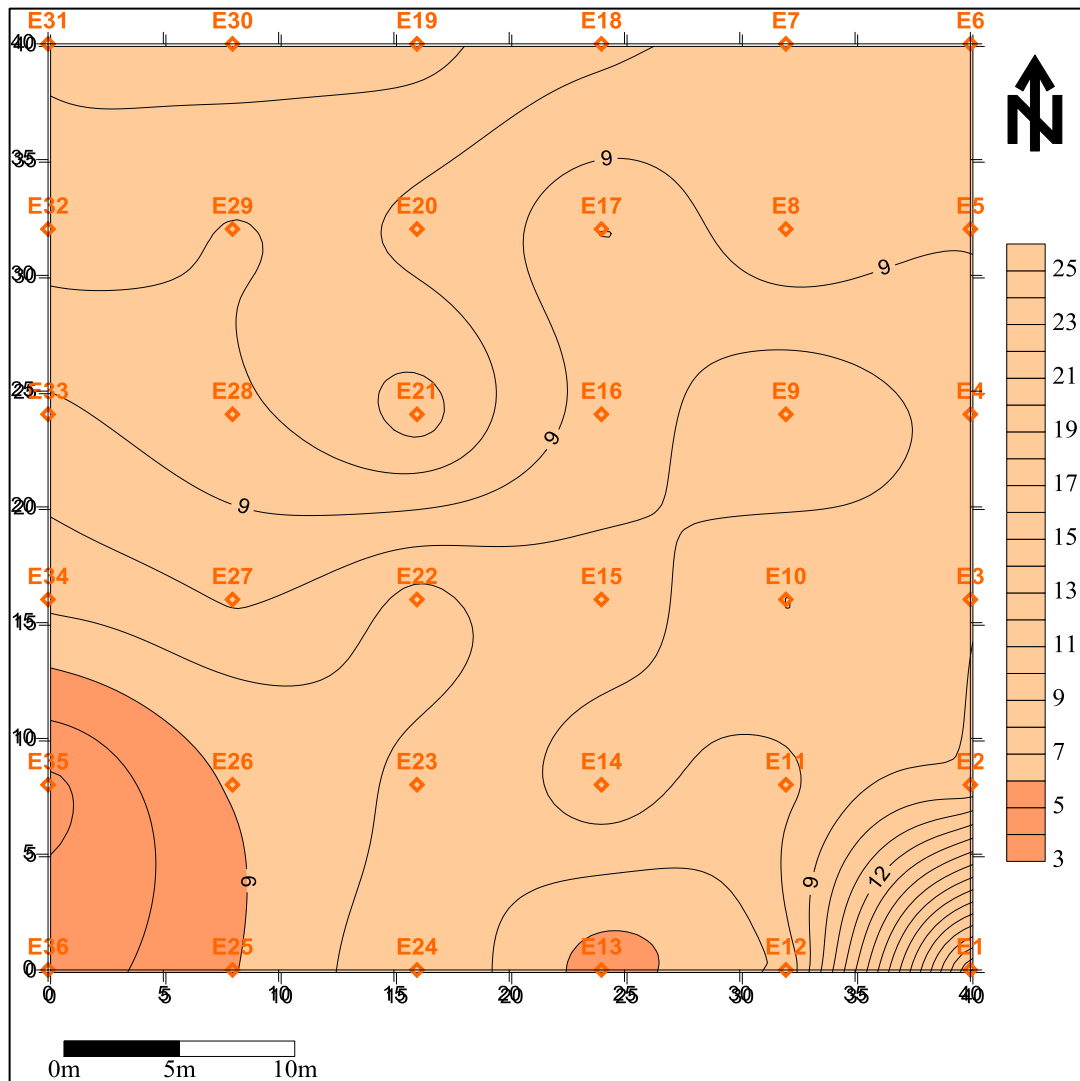


**Figure 41.** Variogramme du CaCO<sub>3</sub> dans la parcelle non cultivée hors palmeraie

Au vu des résultats de la carte (5), il ressort que la variation spatiale du calcaire total est claire dans la parcelle non cultivée hors-palmier. Les teneurs varient entre 3,69 et 24,34 %

Le sol est peu à modérément calcaire, les valeurs minimales se concentrent dans le côté sud-ouest notamment au point E35, or que les valeurs maximale s'étale sur toute la surface de la parcelle avec un maximum de 24,34% au point E1.

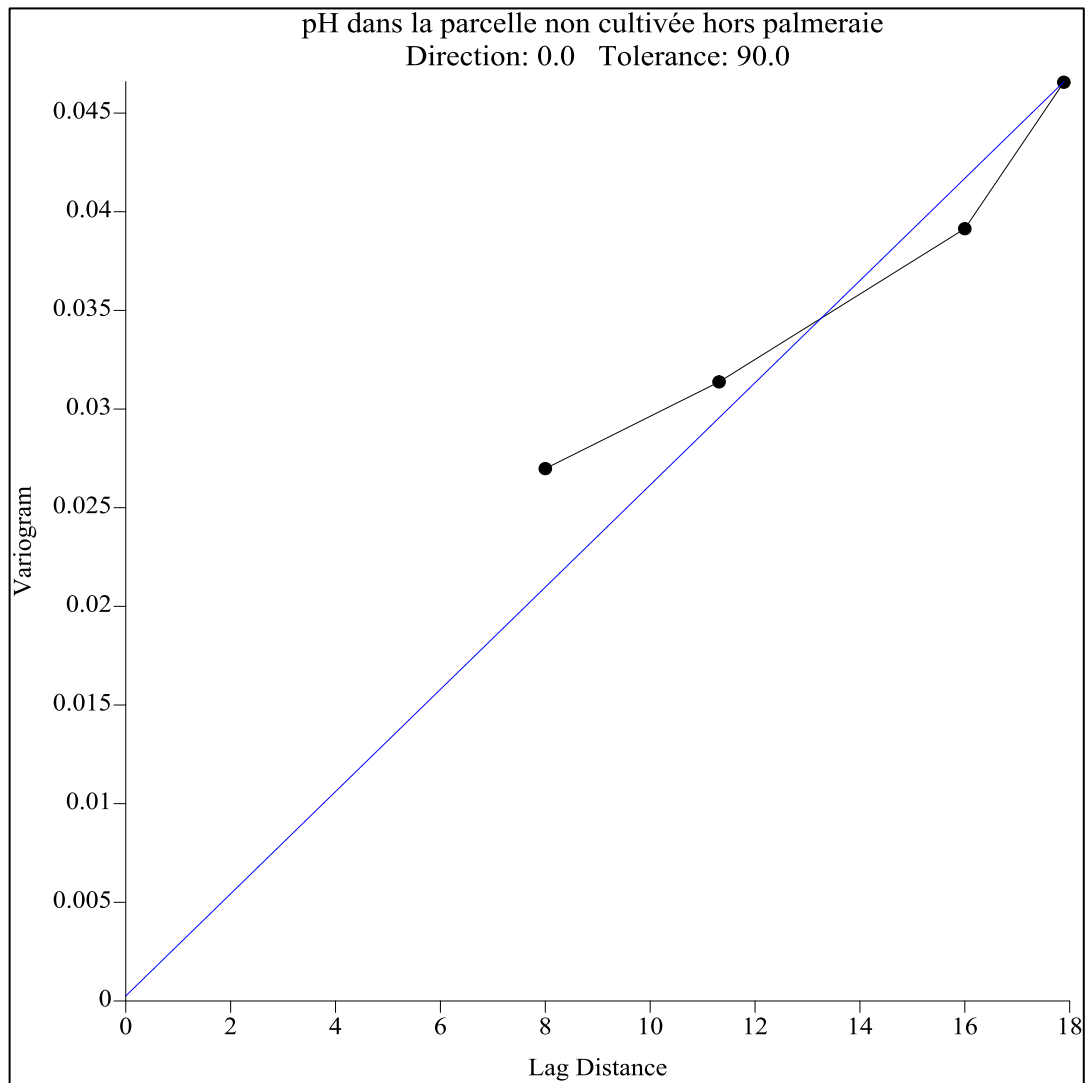




**Carte 8.** Répartition spatiale du  $\text{CaCO}_3$  dans la parcelle non cultivée hors palmeraie

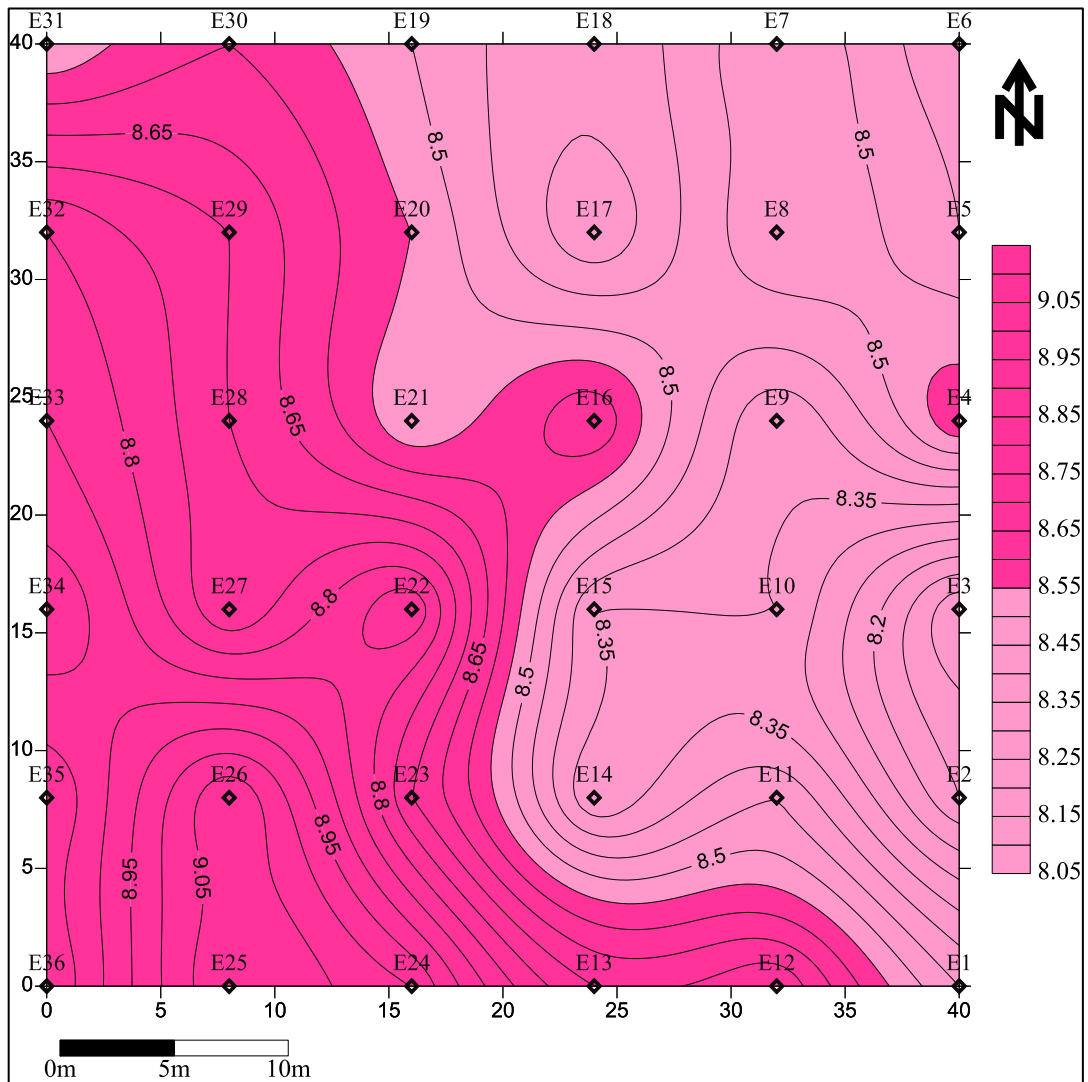
Nous observons que le variogramme théorique de la figure (42) est de type linéaire, pour cela le krigeage est utilisé comme un moyen d'interpolation.

Le variogramme expérimental du pH est ajusté à un modèle linéaire. Il est représenté par quatre points dont la valeur minimale est de 8 m, puis 11,31m, 16m pour la deuxième et la troisième valeur successivement et 17,88 concernant la valeur maximale, avec une pente de 0.00259.



**Figure 42.** Variogramme du pH dans la parcelle non cultivée hors palmeraie

D'après la carte (6), le pH présente une variation spatiale claire dans la parcelle non cultivée hors-palmier qui varie entre 8,05 et 9,1. Les valeurs qui présentent une alcalinité sont situées à l'est de la parcelle, or que les valeurs très alcalin sont situées à l'ouest, avec une valeur maximale au point E25 ensuite E24.



Carte 9. Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée hors palmeraie

### 3. Discussion

Les résultats laissent apparaître que le sol est modérément à fortement calcaire. La teneur en calcaire des horizons étudiés varie de 3,69 à 39,12%. Pour la parcelle cultivée, la teneur en calcaire total varie de 6,03 à 17,19% dans l'horizon superficiel, de 18,83 à 38,91% dans l'horizon de moyenne profondeur et de 22,49 à 29,41% dans L'horizon profond, tandis que les parcelles non cultivées (sous palmier et hors palmeraie) ont des teneurs de 4,48 à 24,34% dans l'horizon superficiel, de 16,08 à 39,85% dans l'horizon de moyenne profondeur et de 11,30 à 39,12% dans l'horizon profond.

Dans la parcelle cultivée, nous avons enregistré une augmentation très hautement significative du taux de calcaire dans l'horizon superficiel avec une évolution moyenne annuelle de  $0,060 \pm 0,07$  %. Cela est dû principalement à l'action de l'irrigation continue. Nous observons une

augmentation du calcaire avec la profondeur pour la majorité des solums, cela montre une accumulation du calcaire dans les horizons profonds ce qui met en évidence un gradient de décarbonation ou une lixiviation sous l'effet d'irrigation (BAIZE, 2000 ; DJILI *et al.*, 1999; DJILI et DAOUD, 1999 ; DUCHAUFOUR, 1977; DURAND, 1958 ; DURAND, 1983; POUGET, 1980 ).

L'accumulation du calcaire peut commencer dès que la végétation s'installe. Cette dernière se fait au niveau du système racinaire qui absorbe l'eau provenant de toute part, et provoque la précipitation du calcaire ; Le prélèvement de l'eau autour de la racine induit un dessèchement local qui a pour effet de concentrer les solutés au voisinage de la racine. Cette concentration relative en calcium et autres cations augmente l'alcalinité, le pH et déplace les équilibres des espèces chimiques carbonatées en solution. Il se produit en particulier une diminution de la concentration en  $H_2CO_3$  au voisinage de la racine. En même temps, la saturation de la solution du sol par rapport à la calcite induit une précipitation de carbonate de calcium. La simulation de ces transferts de matière dans la rhizosphère montre que, en dehors de tout autre phénomène, le prélèvement d'eau par les racines est d'origine d'une accumulation de  $CaCO_3$  autour des racines, dans un rayon de quelques millimètres (ANOUA *et al.*, 1997). Ces précipitations de carbonates de calcium sont très fréquentes et d'autant plus importantes que les solutions sont riches en calcium et que les besoins en eau de la plante sont importants (BYE, 1997).

Il a été remarqué que des concentrations de carbonate de calcium peuvent également se produire à l'intérieur des cellules de la racine, comme l'a montré JAILLARD (1985). Ces structures caractéristiques appelées structures rhizomorphes calcaires (SRC) s'observent dans des milieux où les échanges gazeux sont faibles, souvent au contact de la roche calcaire ou dans des microsites argileux et compactés. Cette réorganisation sur place des carbonates de calcium est très différentes des concentrations de carbonate de calcium péri-racinaire. Elle implique le prélèvement de calcium par la cellule et simultanément une recristallisation dans la vacuole. Le calcium prélevé est échangé contre des protons ( $H^+$ ) (mécanisme de pompe à proton) (GOBAT *et al.*, 2003 ; MATHIEU et PIELTHAIN, 2003).

Dans un sol à drainage déficient et une faible aération, les structures rhizomorphes calcaires sont liées à des phénomènes de chlorose (JAILLARD, 1982). Dans un milieu à faible porosité, l'accumulation de SRC peut aboutir à la formation d'un horizon calcaire induré, réduisant considérablement les possibilités d'infiltration de l'eau et l'aération. Seule la faune du sol est capable d'éviter cette compaction, de créer une macroporosité qui favorise la dissolution des SRC en période hivernale dans les milieux humides ou par l'eau d'irrigation, de les ingérer et les

remonter dans les couches de surface. Ce processus de pédo-turbation effectué par les vers de terre et les fourmis permet par ailleurs une recarbonatation des couches de surface (JAILLARD, 1982).

Le matériau originel a certainement par sa texture et sa perméabilité, une influence importante sur les formes que prennent les accumulations de calcaire : une granulométrie un peu grossière dans notre cas favorisera plutôt les granules, les nodules et les encroûtements nodulaires (AUBERT, 1947, BEAUDET, 1966).

Des quantités énormes de calcaire ont été solubilisées par les eaux, transportées par la nappe phréatique puis s'accumulées dans la zone de battement de cette nappe. Ce qui signifie que l'épaisseur et la profondeur des accumulations sont alors le résultat de la quantité d'eau et de calcaire qui peut être apportée, de la vitesse à laquelle l'eau peut circuler, de la vitesse à laquelle elle peut s'évaporer, de la profondeur à laquelle l'eau venant de la surface pour pénétrer dans le sol, de la quantité d'eau qui peut remonter des horizons profonds (RUELLAN, 1973).

La topographie et les reliefs jouent un rôle majeur dans la régulation des mouvements d'eau dans le sol. La lixiviation verticale du calcaire, s'accroissant avec l'humidité et la fraîcheur. Ce processus empêche le calcaire amené par les eaux latérales (nappe phréatique) de s'accumuler trop près de la surface (DALLONI, 1951 ; RUELLAN, 1971 ; RUELLAN, 1973).

BIROT et DRECH (1964), ont précisé que les eaux non utilisées par les plantes et qui ont donc pu percoler profondément dans le sol, peuvent ensuite remonter par capillarité vers le système racinaire après s'être enrichies en calcaire à tous les niveaux ce qui augmente la teneur du calcaire dans l'horizon superficiel (BOULAIN, 1961).

Par ailleurs, il est certain que la présence de matière organique dans les horizons supérieurs provoque un enrichissement de l'eau en gaz carbonique et peut-être aussi en composés organiques qui vont lui permettre de dissoudre encore du calcaire (RAHAJAHARITOMPO, 2004).

Les bactéries hétérotrophes dégradent la matière organique par oxydation des composés carbonés, ce qui acidifie le milieu, favorisent ainsi la dissolution des carbonates. Cette acidification se produit dans la couche de surface et autour des racines où l'activité microbienne est importante, ce phénomène s'accroît avec l'ajout du fumier en hivers (BYE, 1997).

Dans les couches intermédiaires, les solutions se chargent en cations provenant des horizons supérieurs, en particulier en calcium, et les précipitations de carbonate de calcium se font de manière préférentielle autour et dans les racines. Lorsque ces accumulations se poursuivent dans le

temps, elles aboutissent à la formation d'encroûtement calcaire avec alcalinisation du milieu (BYE, 1997).

Le pH est l'une des propriétés les plus instructives du sol et exerce une profonde influence sur la croissance des plantes, notamment sur la solubilité des éléments nutritifs essentiels et leur disponibilité pour les plantes. Dans la parcelle cultivée nous avons enregistré une diminution très hautement significative du taux de calcaire dans l'horizon superficiel avec une évolution moyenne annuelle de  $-0,003 \pm 0,004$  cela est probablement due à la dissolution du  $\text{CaCO}_3$  et à l'action de la végétation.

Dans le sol, les racines prélèvent les éléments minéraux à l'état d'ions. Lorsque la racine prélève des cations, par exemple le potassium  $\text{K}^+$ , le calcium  $\text{Ca}^{2+}$  ou l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ , elle libère dans le milieu des ions ( $\text{H}^+$ ) qui compensent les charges prélevées. Cette libération de protons se traduit par une acidification locale du milieu. Inversement lorsque la racine prélève des anions, comme les nitrate  $\text{NO}_3^-$  elle libère des  $\text{OH}^-$  et induit une alcalinisation du milieu (CALLOT et *al.*, 1978 ; MOUREAUX, 1973).

L'alcalinité du sol est causée par l'addition d'engrais d'azote (par exemple, nitrates, ammonium et urée), mais pourrait aussi refléter des matériaux parentaux de base comme le calcaire et la dolomie, le pH augmente lorsque la concentration en calcium de la solution diminue (BRADY et NYLE, 1990).

La capacité d'échange cationique (CEC) désigne la capacité du sol de maintenir des réserves d'éléments nutritifs à charge positive. L'échange cationique se produit lorsque des particules colloïdales sont le théâtre d'un échange d'ions positifs entre les colloïdes du sol et la solution. Les cinq cations échangeables les plus abondants dans le sol sont le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et l'aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ). La CEC est une propriété de la texture du sol. Cela signifie qu'elle est liée à la matière argileuse et organique contenue dans le sol (DUCHAUFOR, 2001). Une fois adsorbés, les éléments minéraux sont entreposés de façon sécuritaire sur des particules colloïdales pour prévenir toute perte. Ainsi, des réserves d'éléments nutritifs sont disponibles pour que les racines des plantes puissent les absorber. La CEC devrait diminuer quand les taux de calcaire augmentent, ainsi que le pH augmente (DJILI, 2000), donc les cations ne sont pas retenus ni adsorbés vers des colloïdes, la plupart d'entre eux flottent mollement dans la solution du sol. Ils peuvent être perdus pour les racines des plantes à cause de la lixiviation par l'effet de percolation de l'eau. Les sols des régions arides sont caractérisés par des CEC faibles, ce qui favorise la lixiviation des éléments suite à l'irrigation.

À n'importe quel pH supérieur à 7,5, les éléments nutritifs essentiels sont moins disponibles et des symptômes de déficience peuvent se manifester. Il peut en résulter une croissance ralentie et des plantes rabougries, un jaunissement des feuilles et une faible croissance des tiges.

DJILI (2000), a montré que le pH est l'une de ces principales caractéristiques du sol qui est fortement influencée par la teneur en carbonate de calcium mais certains sol ont un pH élevé avec un taux faible du calcaire, ce qui signifie que d'autres carbonates tel que carbonates de magnésium ( $MgCO_3$ ), Carbonates de sodium ( $Na_2CO_3$ ), Carbonates de potassium ( $K_2CO_3$ ) sont responsables de l'alcalinisation du sol (FAO-UNESCO, 1967 in BENBRAHIM, 2001).

L'analyse variographique par l'ajustement des variogrammes expérimentaux aux modèles théoriques linéaires, montre que la variabilité spatiale du pH et du calcaire totale est dépendante de la distance parcourue jusqu'à 17,88m ; au-delà de cette distance, les valeurs des paramètres étudiés sont indépendantes. L'absence d'effet de pépite, montre l'efficacité du pas d'échantillonnage choisi.

La variation spatiale du calcaire dans le sol est modérée dans la parcelle cultivée ( $CV=26,66\%$ ) et élevé dans les deux parcelles non cultivée sous palmier ( $CV=35,43\%$ ) et non cultivée hors palmeraie ( $CV=36,66\%$ ), cela est dû à l'homogénéisation de la variabilité de ce paramètre suite à l'impact des pratiques agricoles surtout l'irrigation.

La variation spatiale du pH dans le sol est faible dans toutes les parcelles étudiées avec un CV de 1,65% pour la parcelle cultivée, de 4.65 % dans la parcelle non cultivée sous palmier et de 2.89% dans la parcelle non cultivée hors palmeraie, ce qui est inférieur à celui de la parcelle non cultivée sous palmier et supérieur à celui de la parcelle cultivée. La variabilité spatiale dans la parcelle non cultivée reflète l'état de l'écosystème naturel. Dans la parcelle cultivée la variabilité faible est expliquée par l'impact de l'irrigation et l'action de la végétation sur la distribution des sels alcalinisant. Dans la parcelle non cultivée sous palmiers, l'accumulation des sels alcalinisant dans l'horizon de surface suite à la remonté capillaire à provoquer une légère augmentation du CV, sachant que la remonté capillaire est fonction de la texture, ce qui implique que cette remonté est hétérogène dans la parcelle et par conséquent, la distribution des sels alcalinisant est hétérogène, ces sels proviennent en fait de la lixiviation provoquée par l'irrigation.



---

# *Conclusion*



---

## Conclusion

La présente étude sur l'impact de l'intensification agricole sur les propriétés du sol dans la région de Zelfana (Ghardaïa) permet d'évaluer la variation spatiale du calcaire total et du pH du sol.

Le profil calcaire réalisé dans la parcelle cultivée est caractérisé par un maximum en profondeur, or que le profil pH est caractérisée par un maximum superficiel. Pour les parcelles non cultivée sous palmier et non cultivée hors palmeraie, il apparait que les deux profils sont de type descendant.

Les résultats analytiques du taux de variation annuelle montre une augmentation très hautement significative du calcaire total en fonction de l'irrigation dans l'horizon de surface et une diminution très hautement significative pour le pH ce qui est due probablement à la dissolution du  $\text{CaCO}_3$  et à l'action de la végétation.

La variation spatiale du calcaire est modérée dans la parcelle cultivée ( $\text{CV}=26,66\%$ ) et élevé dans les deux parcelles non cultivée sous palmiers ( $\text{CV}=35,43\%$ ) et non cultivée hors palmeraie ( $\text{CV}= 36,66\%$ ), tandis que celle du pH est faible dans toutes les parcelles étudiées avec un CV de 1,65% pour la parcelle cultivée, de 4.65 % dans la parcelle non cultivée sous palmier et de 2.89% dans la parcelle non cultivée hors palmeraie. La modélisation géostatistique par l'étude des variogrammes expérimentaux a montré l'efficacité du pas d'échantillonnage choisi.

A la lumière de ce constat, la dynamique du calcaire est influencée dans la parcelle cultivée par la lixiviation (irrigation), la remontée capillaire et l'évapotranspiration. Dans la parcelle non cultivée la dynamique du calcaire est influencée en plus de la remontée capillaire et l'évaporation.

Le problème du calcaire et d'alcalinisation constituent un danger réel sur l'agriculture en irriguée. Cependant il est souhaitable de poursuivre ce travail dans le but de mieux cerner ce problème, et de préconiser des techniques susceptibles de limiter l'accumulation du calcaire, donc de dégradation et de stérilisation des sols.

Enfin, ce travail sur le calcaire et le pH du sol dans la région de Zelfana reste insuffisant et mérite d'être compléter en tenant compte des éléments suivants :

- L'étude pédologique détaillée en vue d'une bonne interprétation des résultats d'analyses
- Le suivie de la variation saisonnière du calcaire et du pH afin de bien cerner son évolution
- La caractérisation des eaux d'irrigation



# *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

**A.N.A.R.H., 2007**– Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 19 p.

**A.N.A.R.H., 2009**– Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 19 p.

**A.N.A.R.H., 2012**– Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 19 p.

**A.N.A.R.H., 2013**– Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 20 p.

**ALLAM A., 2007**- Etude de l'évolution des infestations du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* Linné, 1793) par *Parlatoria blanchardi* Targ. (Homoptera diaspididae Targ. 1892) dans quelques biotopes de la région de Touggourt. Thèse. INRAA Touggourt. 88p.

**ANOUA M., JAILLARD B., RUIZ T., BEBET J.C., COUSIN B., 1997**. Couplage entre transfert de matière et réactions chimiques dans le sol. Partie 2 : Application à la modélisation des transferts de matière dans la rhizosphère. Entropie, 207p.

**ATLAS, 2004**- Agriculture de la wilaya de Ghardaïa. Ed. D.S.A., 22p.

**ATLAS, 2005**- Agriculture de la wilaya de Ghardaïa. Ed. D.S.A., 20p.

**AUBERT Ci., 1947** - Les sols à croûtes calcaires. Conf. Pédol. Méditer. 1947. Alger-Montpellier, 339p.

**AZZOUG A., 1993**- Susceptibilité des sols à l'érosion et variabilité spatiale de quelques paramètres pédologiques, Mém. Ing., Institut National Agronomique, 52p.

**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, pp. 227-234.

**BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1953**- Saison sèche xérothermique, Volume I. Carte des productions végétales, art. 8, Toulouse, 47p.

**BAIZE D. et BERNARD J., 1995**- Guide pour la description des sols. INRA, Paris, 375p.

**BAIZE D., 2000-** Guide des analyses courantes en pédologie, 2ème édition revue et augmentée. I.N.R.A., Paris, 257p.

**BARRY D., STAUNTON S., CALLOT G., 1994-** Mode of the adsorption of water and nutrients by ascocarps of tuber melanosporum tuber aestivum. A radioactive tracer technique. Can., Bot., 322p.

**BEAUDET G., 1966** - Le cadre géomorphologique de la pédogénèse au Maroc. In : Congr. Pédol. méditer, 1966. Madrid. Excursion au Maroc. Livret-guide. Tome 1. Le milieu marocain, 24p.

**BECKETT. P. H. T., WEBSTER. R. 1971-** Soil variability: a review. Soil Fertil. 34: 1-15p.

**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 (S.A.G.E.), thèse de Magistère, Univ. Ouargla 105 p.

**BENBRAHIM F., 2001-** Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la cuvette d'Ouargla (cas de l'exploitation de l'IAS).Mém. Ing. IAS. Ouargla .115p.

**BENBRAHIM F., 2006-** Evolution de la durabilité de céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla (Cas De Hassi Ben Abdellah), Thèse Mag. Univ Ouargla ,111p.

**BENKENZOU D., 2009** – Annuaire statistique – 2009, Volume I et II, 131 p.

**BIROT P., DRESCH J., 1964-** La Méditerranée et le Moyen-Orient, t. 1. La Méditerranée occidentale. P.U.F., Paris, VIII-552 p.

**BOSSON L., EVRARD C., 2005-** Des outils pour apprendre en sciences humaines. 8ème tirage. Belgique. 100p.

**BOULAIN J., 1961** - Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires méditerranéennes. C.R. Acad. Sci. Tome 253, 2570p.

**BRADY, NYLE C., 1990-** The Nature and Properties of Soils, New York : Collier Macmillan publishers.

**BRUN J., MARRO J. et IPERTI G., 1998-** La lutte biologique : Les ravageurs du palmier dattier, Ed. I.N.R.A. U.R.B.I.C., Antibes, Paris, 6 p.

**BURGESS T.M., WEBSTER R., 1980-** Optimal interpolation and isarithmic mapping soil of properties. The semi-variogram and punctual kriging. Soil Sci. 31, 331p.

**BURNET R., 1990-** La carte mode d'emploi, Ed. Fayard Reclus, Paris, 270p.

**BYE P., 1999-** La truffe, la terre, la vie. I.N.R.A., 207p.

**CALLOT, PIOMBO G., BARE D., FLLAVIER P., CAZEVIELLE P., ARVI J.C., 1978-** Desert varnish: evidence for cyclic deposition of manganese. Nature,267, N° 5687, 489-491p.

**CHEIKH H., NAKES N., 2011-** Recherche de l'activité allélopathique chez quelques plantes spontanées du Sahara sur quelques espèces adventices associées à la culture de blé dur dans la région d'Ouargla. Mem. Ing. Univ. Ouargla ,95p.

**CHEVERRY CL., ROBERT M., 1998-** La dégradation des sols irrigués et ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. Etude et gestion des sols 5(4), pp. 217-226.

**COYNE A., 1989 -** Le M'Zab Ed. Adolphejourdon, Algérie, 41p.

**D.P.A.T., 2004 -** Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 142 P.

**D.P.A.T., 2005 -** Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 142 P.

**D.P.A.T., 2009-** Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 140 P.

**DALLONI M., 1951-** Sur la genèse et l'âge des terrains à croûte nord-africains. In : Actions éoliennes, phénomènes d'évaporation et d'hydrologie superficielle dans les régions arides, Alger 27 mars - 31 mars 1951. Coll. int. CNRS, XXXV, Paris, 260p.

**DAOUD Y., HALITIM, 1994-** Irrigation et salinization au Sahara Algérien. Séchresse 5(3), pp. 155-160.

**DJERBI M., 1992-**Précis de phoeniciculture, F.A.O. Rome, 191 p.

**DJILI K et DAOUD Y., 1999-**Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 02 juin, n° 99, pp : 25- 44.

**DJILI K., 2000-** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.

- DJILI K., DAOUD Y. et AYACHE N., 1999-** Etude et gestion des sols, 213 p.
- DUCHAUFOR P., 1977-** Pédologie. Pédogénèse et classification. Tome I, Ed. Masson, Paris, 477p.
- DUCHAUFOR P., 2001-** Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement. 6<sup>ème</sup> Ed. DUNOD, Paris, 331 p.
- DURAND J.H., 1958-** Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190p.
- DURAND J.H., 1983-** Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris, 339p.
- GASCUL- ODOUX Ch., GRIMALDI M., VEILLON L., 1991-** Apport de la géostatistique à l'analyse morphologique du sol : cas d'un transect représentatif de la plaine côtière guynaise. Science du sol. Vol. 29, 3, 189-209 p.
- GOBAT Jean-Michel, ARGANO Michel, MATTHEY Willy, 2003.** Le sol vivant- Deuxième édition revue et augmenté. Presses polytechniques et universitaires romandes, France, 568p.
- HALITIM A., 1988-** Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384p.
- JAILLARD B., 1982-** Relation entre dynamique de et organisation morphologique d'un sol calcaire. Sri. Sol, 20, 31-52 p
- JAILLARD B., 1985-** Activité racinaire et rhizostructures en milieu carbonaté. Pédologie. 297-313p.
- KHEMGANI Mou., 2010-**Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara, Mém. Magister, Université de Ouargla, 78p.
- KOUZMINE Y., 2003-** L'espace saharien algerien', Memoire de maîtrise de géographie. Dynamiques démographiques et migratoires, Université de Franche-Comté.
- LARSON W.E., PIERCE F.J., 1992-** Conservation and enhancement of soil quality In: Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management. IBSRAM Proceedings No. 12(2). pp. 175-203.
- LE HOUEROU, 1979-** Climate, flora and fauna changes in the Sahara over the past 500 million years. Ed Academic Press Limited, Montpellier, 647p.

**LEBATT A., MAHMA A., 1997** - Contribution à l'étude d'un système agricole oasien cas de la région du M'Zab INFS/AS, 92p.

**MAKSOU D Ab., ABDOU A., 2008** – Analyse des faciès argilo-gypseux des formations du Crétacé supérieur de « Noumerate » cas de la région de Ghardaïa, Algérie, Mémoire d' Ingénieur, Univ. Ouargla 104 p.

**MATHIEU C., PIELTHAIN F., 2003-** Analyse chimique des sols. 2ème édition. LAVOISIER, 385p.

**MATHIEU Q., 2009-** Cartographie à l'échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l'aide de la télédétection et des nouvelles technologies. Thèse Doc., institut national de la recherche scientifique Eau, Terre et Environnement, Quèbec, 234p.

**MESSAR E. M., 1996-** Le secteur phoenicicole algérien: Situation et perspectives à l'horizon 2010. Série A: Séminaire Méditerranéennes, n°. 28, Options méditerranéennes, CIHEAM, pp. 23 - 36.

**MIHOUB A. , 2008-** Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*triticum durum* l. var. carioca) (dans la région d'El-Goléa-Ghardaïa) .Mém. Ing. Univ. Ouargla .85p

**MOUREAUX C., 1973-** Microbiologie du sol. O.R.S.T.O.M., 164p.

**O.N.M., 2013** - Données climatiques de la région de Ghardaïa. Ed. Office National de la Météorologie, Ghardaïa.

**OUALI S., MEHMAH B., MALEK A., 2007-** Etude de faisabilité d'utilisation des eaux thermales de Zelfana dans la Production d'Hydrogène, 2IWH 2007, 27-29 October 2007, Ghardaïa – Algeria 9p.

**OULED BLKHEIR C., 20013-** La cartographie piézométrique et hydro-chimique de la nappe phréatique de la vallée de Metlili. Mémoire. Université de Ghardaïa. 95p.

**OZENDA P., 1983** – Flore du Sahara. Ed. Centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S.), Paris, 622 p.

**POUGET M., 1980-** Les sols à croûtes calcaires dans les steppes algériennes. Quelques aspects morphologiques et esquisse d'une évolution actuelle. Cah. ; ORSTOM Sec. Pedol. 18,3.4, 235-236p.

**RAHAJAHARITOMPO RL., 2004-** Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Thèse doctorat. Univ. D'Annaba. Antananarivo, 199p.

**ROSSI J.P., LAVELLE P., 1993-** «Statistical procedures for field surveys». In Conservation of soil fertility in low agricultural systems of the humid tropical by manipulating earthworm communities. (Macrofauna projet 2). Edited by LAVELLE P. Orstom, 63-86p..

**RUELLAN A., 1967-** Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc, Cah. ORSTOM., sér. Pédol., Vol. V, N°4, 462p.

**RUELLAN A., 1971-** Les sols de la base Moulaya (Marroc oriental). Cah. ORSTOM. N°54, 302p.

**RUELLAN A., 1973-** Morphologie et répartition des sols calcaires dans des régions méditerranéennes et désertiques. Soils bulletin N°21, rapport of the FAO. UNDP régional science ou réclamation and ravagèrent of calcareous soils. Cairo. Egypte. 272-300p.

**U.S.D.A., 1999-** Soil Quality Test Kit Guide. Pub. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute, 82p.

**WEBSTER R., 1985-** Quantitative spatial analysis of soil in the field. Adv. Soil Sci. 3:2-70p.

**WEBSTER R., OLIVER M.A., 1990-** Statistical methods in soil and land resource survey, Oxford University Press.

**WILFRIED, 2006-** Rapport de stage « Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales ». Thèse de Master.

**YOUCEF F., 2003-** Mise au point d'une étude climatique du Sahara Septentrionale Algérien (Ouargla, Touggourt, Ghadaia), Mém. Ing., Université de Ouargla, 88p.

**ZANIN C., TREMELO M.L., 2003-** Savoir faire une carte. Aide à la conception et la réalisation d'une carte thématique uni-variée, Belin-Sup Géographie, Paris, 199p.



جون راين، جورج اسطفان، عبد الرشيد، 2003- دليل مختبري لتحليل التربة والنبات. الاصدار الأول باللغة العربية. نشر بشكل مشترك من قبل المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا) والمؤسسة الوطنية للبحوث الزراعية. حلب، سوريا. 172ص.



# *Annexes*

## Annexes

### Annexe I : Echelles utilisées à l'interprétation des résultats

**Tableau I.** Classe du calcaire total (BAIZE, 1988)

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

**Tableau II.** Valeurs du pH en cas d'un horizon pédologique (BAIZE, 1988)

<b>Valeurs de pH</b>	<b>Signification</b>
< 3,5	Hyper-acide
3,5- 5	Très acide
5-6,5	Acide
6,5-7,5	Neutre
7,5-8,5	Basique
> 8,5	Très basique

**Tableau III.** Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et *al.*, 1997 in MATHIEU, 2009)

<b>Intensité de la variabilité</b>	<b>Coefficient de variabilité (%)</b>
Faible	<15
Modéré	15-35
Elevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

---

---

**Annexe II: Statistiques descriptives**

**Tableau IV.** Statistique descriptive de la parcelle cultivée

	<b>Nombre d'échantillons</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart - type</b>	<b>Taux de variation annuelle</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Calcaire total</b>	36	12,31	3,28	0,060	26,66
<b>pH</b>	36	8,39	0,0013	-0,003	1,65

**Tableau V.** Statistique descriptive de la parcelle non cultivée  
sous palmiers

	<b>Nombre d'échantillons</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart - type</b>	<b>Taux de variation annuelle</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Calcaire total</b>	36	16,30	5,77	-0,069	35,43
<b>pH</b>	36	8,31	0,0013	0,0013	4,16

**Tableau IV.** Statistique descriptive de la parcelle non cultivée  
hors palmeraie

	<b>Nombre d'échantillons</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart - type</b>	<b>Taux de variation annuelle</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Calcaire total</b>	36	8,89	3,26	0,12	36,66
<b>pH</b>	36	8,31	0,0013	-0,005	2,89

## *Impact de l'intensification agricole (phoeniculture) sur la variation du pH et du taux de calcaire total dans la région de Ghardaia (cas de Zelfana)*

### **Résumé**

Le suivi de la qualité des sols dans les périmètres irrigués est nécessaire pour la mesure de la durabilité des systèmes de production. A ce titre, la variabilité spatiale des propriétés des sols irrigués est un moyen pour connaître l'évolution de ces derniers. Le présent travail réalisé dans la région de Zelfana, porte sur l'évaluation de l'impact de la phoeniculture sur quelques propriétés du sol à savoir le pH et le calcaire total. Trois parcelles (cultivée, non cultivée sous palmiers et non cultivée hors palmeraie) ont été échantillonnées selon une grille systématique de 8x8m. Les résultats analytiques montrent que le sol est modérément à fortement calcaire, alcalin à très alcalin. Le profil calcaire est de type descendant dans toutes les parcelles étudiées, celui de pH est ascendant dans la parcelle cultivée et descendant dans les deux autres parcelles. L'analyse du taux de variation annuelle des paramètres étudiés a montré, une augmentation très hautement significative du calcaire et une diminution très hautement significative du pH. La variation spatiale du calcaire est modérée dans la parcelle cultivée et élevée dans les deux parcelles non cultivée, tandis que celle du pH est faible dans toutes les parcelles étudiées. La modélisation géostatistique par l'étude des variogrammes expérimentaux a montré l'efficacité du pas d'échantillonnage choisi. La variation spatiale et verticale du calcaire et du pH est influencée par l'intensification agricole dans la région de Zelfana.

**Mots clés :** Calcaire, pH, Zelfana, variabilité spatiale, géostatistique.

## *Impact of the agricultural intensification (date palm culture) on the variation of the pH and the rate of total calcareous in the region of Ghardaia (case of Zelfana)*

### **Abstract**

Controlling soils quality in irrigated areas is an indispensable process to measure the sustainability of production system, as such the spatial variability of irrigated soils, is a way to know the evolution of the quality. The present work has been realized in the region of Zelfana, it is essentially relies on the evaluation of the impact of the date palm culture focusing on experimental values of some properties (pH, calcareous). Three plots of soil (cultivated, not cultivated under palm trees and outside of date palm culture) were sampled according to a systematic grid of 8x8m. The analytical results illustrate that the soil is moderately to strongly calcareous and alkaline to very alkaline in the mentioned area, calcareous profile is increases during all the study; About pH profile, we mention that it increase in cultivated plot and decrease in the remaining plots. The analysis of the rate of annual variation of studied parameters showed a very highly significant increase of the calcareous and a very highly significant decrease of the pH. The spatial variation of calcareous is moderated in cultivated plot and high in bothun all study cultivated plots, while the pH is low rate in all study plots. Geostatistical modeling study of experimental variograms showed the effectiveness of the sampling chosen. The spatial and vertical variations of the calcareous and pH are influenced by the region of Zelfana.

**Keywords:** calcareous, pH, Zelfana, spatial variability, geostatistical.

## **أثر التكثيف الزراعي (زراعة النخيل) على نسبة الكلس ودرجة الحموضة في منطقة غارداية (منطقة زلفانة)**

### **الملخص**

من الضروري رصد نوعية التربة في المساحات المسقية وذلك من أجل قياس مدى استمرارية الانتاج. ولهذا فان التباين المكاني لخصائص التربة المسقية هو وسيلة لمعرفة تطور نوعية التربة. تعتمد الدراسة الحالية المنجزة في منطقة غرداية وبالأخص منطقة زلفانة على تقييم مدى تأثير زراعة النخيل على بعض خصائص التربة مثل درجة الحموضة والكلس, لذلك تم أخذ ثلاث عينات (مساحة مزروعة, مساحة غير مزروعة تحت أشجار النخيل و مساحة غير مزروعة تماما). أظهرت النتائج التحليلية أن التربة تحتوي على نسبة معتدلة الى عالية من الكلس, مع درجة حموضة قاعدية. المقطع الطولي لتربة هو من النوع النازل في كل المساحات المدروسة أما المقطع الاخر الخاص بدرجة الحموضة فهو من النوع المتصاعد في المساحة المزروعة ونازل في المساحات الأخرى. بين تحليل نسبة التغير السنوي للخصائص المدروسة بتواجد ارتفاع في نسبة الكلس وانخفاض في درجة الحموضة. التباين المكاني للكلس هو متوسط في المساحة المزروعة ومرتفع في المساحات الاخرى, أما بالنسبة لدرجة الحموضة فهو منخفض في كل المساحات المدروسة. أثبتت الدراسة النموذجية الاحصائية الجيولوجية بواسطة الفاربيوجرام التجريبي, على صحة المسافة المعتمدة في أخذ العينات. أثار التكثيف الزراعي في منطقة زلفانة على التغير الأفقي والعمودي للكلس ودرجة الحموضة.

**الكلمات الدالة:** الكلس, درجة الحموضة, زلفانة, التباين المكاني, الدراسة النموذجية الاحصائية الجيولوجية.