UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire
MASTER ACADIMIQUE

Domaine : Science de la Nature et de la Vie
Filière : Science Agronomiques
Spécialité: Protect. de la ressource sol Eaux Envérennement

Présenté par : **Melle** FROUHAT Sacia

Melle LAROUI Asma

Thème

Les accumulations calcaires des sols de la région de Ouargla: caractérisation, origine et signification paléoenvironnementale

Soutenu publiquement
Le : 04/07/2019

Devant le Jury :

M.	HAMDI-AISSA	Baelhadj	Pr.	Président	UKM Ouargla
Mme	YOUCEF	Fouzia	M.C.B	Encadreur	UKM Ouargla
Mme	KHEMIS	Rezka	Doctorant (e)	Co-Encadreur	UKM Ouargla
M.	BERKAL	Ismaiel	M.C.A.	Examinateur	UKM Ouargla

Année Universitaire: 2018 / 2019

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces années d'étude.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à :

Madame **YOUCEF FOUZIA** notre encadrante de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.

Nous remercions aussi notre co-encadreur Madame **KHEMIS REZKA** pour son aide.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury Monsieur **HAMDI AISSA BAELHADJ** et Monsieur **BERKAL ISMAIEL** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions Mr DJILI BRAHIM et Mr DADI BOUHON Mostapha pour leur aide, leurs orientations et leurs conseils.

Nous remercions les responsables et l'ensemble du personnel du laboratoire de pédologie, département des sciences agronomique, et les responsables du laboratoire de département de géologie, et le laboratoire de l'ANRH surtout Mme Zineb.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Du profonde de mon cœur, je dédie ce travail a tous ceux qui me sont chers,

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon
Bien être.
Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.
Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formules, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, Le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie

A LA MEMOIRE DE MON PERE

Ce travail est dédié à mon père, décédé en 2011, qui m'a toujours poussé et motivé
Dans mes études.
Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

A MES CHERES SŒURS ;

Yamina et Fatima Zohra pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral

A MES CHERS FRERES,

Belkacem, Samir, Noureddine, Mohamed, Elhacen & Elhocine Et Abdelkader pour leur appui et leur encouragement,

A MES CHERS PETIT S NEVEUX ET NIECES

Maria, Oumnia,Imene , Anes, Riad, Lina, Allaa ,Aridj , Ranim , Watin, Djoud & Nada

A MES AMIS DE TOUJOURS

Sacia, Asma, Radia, Maroua ,Naziha, Wafa, Fatima N, Lamia et Abderrezak

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Laroui Asma

Dédicaces

Du fond du cœur, je dédie ce travail à tous mes chers,

A Ma mère et mon père

Aucune dévotion ne peut exprimer mon respect, mon amour éternel et ma gratitude pour les sacrifices que tu as faits à l'éducation et à l'éducation. Bien-être.

Merci pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez donnés depuis mon enfance et j'espère que Barakatkmak m'accompagnera toujours.

J'espère que cette humble tâche consiste à satisfaire vos souhaits exprimés, les fruits de vos innombrables sacrifices. Dieu vous donne la santé, le bonheur et une longue vie

À ma chère grand-mère **<< Sacia kiws >>**

À mes chères sœurs;

Halima, Saida, Fatima et Aisha pour leur encouragement continu et leur soutien moral

À mes chers frères,

Abdul Rahim, Al-Said, Al-Saleh Al,- Taher, Al-Tayeb et Al-Salek pour leur soutien et leurs encouragements,

Aux enfants de mes sœurs et de mes frères

Naima, Mimouna, Boshra, Khadija, Ndoucheh, Shaima, Zahra, Khaduja, Rital et Shukrano et Arwa et jori

El-arbi, Elias, Abdo, Ismail, Lakhdar, Mohamed, Hasne , Boualem, Ahmd, Khadoura, Jawad et Monib

Et tous les membres de ma grande famille << Farouh et Ben Fardia >>

Mes amis toujours

Mon compagnon dans cette mémoire Asma

et Radhia et Asma et Maroua et Naziha et Salima, Selma, Bothaina, Radia, Ichrake,

En souvenir de notre amitié sincère et profonde et des moments agréables passés ensemble.

Et tous ceux qui ont contribué de loin et de loin à rendre ce projet possible, merci.

FROUHAT Sacia

Liste d'abréviations

A.N.R.H. : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CE : Conductivité électrique (dS/m)

D.P.A.T. : Direction de planification et d'aménagement du térritoire

Ech. : Echantillon

F.A.O: Food and Agriculture Organization

MO : Matière organique

O.N.M. Office nationale de météorologie

Prof. : Profondeur

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la wilaya de Ouargla (D.P.A.T., 2010).....11

Figure 2 : Profil topographique SSW-NNE de la cuvette de Ouargla (D'après Rouvillois- Brigole, 1975) 15

Figure 3: Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette de Ouargla (D'après Lelièvre, 1969).....16

Figure 4 : Diagramme ombrothermique de la station de Ouargla (Période 1999-2018). 19

Figure 5: Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla.....20

Figure 6: Méthodologie de travail 22

Figure 7: Localisation des profils étudiés (Google earth, 2019).....24

Figure 8 : Profils calcaires et gypseux du profil SKA.....33

Figure 9 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SKA. 34

Figure 10 : Le bilan ionique du profil SKA. 34

Figure 11 : Profils calcaire et gypseux du profil SKB 38

Figure 12 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SKB. 39

Figure 13 : Le bilan ionique du profil SKB. 40

Figure 14 : profils calcaire et gypseux du profil HSA. 43

Figure 15 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil HSA. 44

Figure 16 : Le bilan ionique du profil HSA. 45

Figure 17 : profils calcaire et gypseux du profil HSB. 49

Figure 18: Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil HSB. 50

Figure 19: Le bilan ionique du profil HSB. 51

Figure 20: profils calcaire et gypseux du profil ORA. 54

Figure 21: Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil ORA 55

Figure 22: Le bilan ionique du profil ORA 56

Figure 23: profils calcaire et gypseux du profil ORB 59

Figure 24: Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil ORB 60

Figure 25: Le bilan ionique du profil OKC. 61

Figure 26: Moyenne des taux de calcaire dans les horizons de surface, de sub-surface et de profondeur. 67

Figure 27 : Taux du calcaire dans les horizons contenant les différentes formes d'accumulation. 68

Figure 28: La fréquence des différentes formes dans tous les profils. 68

Figure 29: Fréquence des formes d'accumulation au niveau des horizons de surface.....69

Figure 30: Fréquence des formes d'accumulation au niveau des horizons de sub-surface. 70

Figure 31: Fréquence des formes d'accumulation au niveau des horizons de profondeur.....70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les données climatiques de la région de Ouargla (1999-2018). 17

Tableau 2 : Résultats des analyses granulométriques du profil SKA 32

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques du profil SKA 32

Tableau 4: Résultats des analyses granulométriques de profil SKB 37

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil SKB.....37

Tableau 6 : Résultats des analyses granulométriques de profil HSA.....42

Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil HSA I 43

Tableau 8 : Résultats des analyses granulométriques de profil HSB 48

Tableau 9 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil HSB.....48

Tableau 10 : Résultats des analyses granulométriques du profil ORA 53

Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques du profil ORA.....54

Tableau 12 : Résultats des analyses granulométriques du profil ORB 58

Tableau 13: Résultats des analyses physico-chimiques de profil ORB 59

.

Liste des photos

Photo 1 : profil SKA. 31

Photo 2 : Profil SKB 36

Photo 3 : profil HSA 42

Photo 4 : profil HSB 47

Photo 5 : Profil ORA 53

Photo 6 : Profil ORB 58

Sommaire

Liste d'abréviations 6

Liste des figures 7

Liste des tableaux 9

Liste des photos 10

Sommaire 11

Introduction 1

Chapitre I: Généralités sur les sols calcaires et les accumulations calcaires dans le sol 3

I. Définition des sols calcaires 3

I.1.Définition et dénomination de sols calcaires 3

I.1.1 Le calcaire 3

I.1.2. Sol calcaire 3

I.2. Origine du calcaire dans le sol 3

I.3. Sols calcaires en Algérie 4

I.4.Classification de sols calcaires 5

I.5. Effet du calcaire sur les caractéristiques du sol et des végétaux 5

I.6. Les formes d'accumulation du calcaire 5

I.6.1. Les distributions diffuses 5

I.6.2. Les concentrations discontinues 6

I.6.3. Les concentrations continues 7

Chapitre II : Présentation de la région d'étude 11

II.1. Situation géographique 11

II.2. Hydrogéologie 12

II.2.1. Les nappes du Complexe Terminal 12
II.2.2. La nappe du Continental Intercalaire 13
II.2.3. Nappe phréatique 13
II.3. Géologie 13
II.4. Hydrologie superficielle 14
II.4.1. Oued M'Ya 14
II.4.2. Oued N’sa 14
II.4.3. Oued M’Zab 14
II.5.Relief 15
II.5.1. Le plateau 15
II.5.2. Les glacis 15
II.5.3. Le chott et la Sebkha 16
II.6. Climat de la cuvette de Ouargla 16
II.6.1. Données climatiques 17
II.6.2. Synthèse climatique 18
II.6.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN 18
II.6.2.2. Climagramme d’Emberger 19
Chapitre III : Matériel et méthodes 22
III.1. Approche méthodologique 22
III.2. Méthode d’approche sur terrain 23
III.2.1. Choix des sites d'étude 23
III.2.2. Présentation des sites d’étude 23
III.2.2.1. Site de sidi Khouiled 23
III.2.2.2. Hassi Ben Abdallah 23
III.2.2.3. La route de Ghardaïa-Ouargla 23
III.3. Description des méthodes utilisées 24
III.3.1. Sur terrain 24

III.3.2. Description morphologique des profils 24

III.4. Echantillonnage.....25

III.5. Au laboratoire 25

III.5.1. Analyses physiques, physico-chimiques et chimiques 26

III.5.1.1. Granulométrie.....26

III.5.1.2. pH 26

III.5.1.3. Conductivité électrique (CE).....26

III.5.1.4. Calcaire total 26

III.5.1.5. Dosage du gypse.....27

III.5.1.6. Matière organique.....27

III.5.1.7. Bilan ionique.....27

Chapitre IV : Résultats.....30

IV.1. Site N° 01: Sidi Khouiled 30

IV.1.1. Caractérisation morphologique et analytique du Profil SKA 30

IV.1.1.1. Description morphologique 30

IV.1.1.2. Données analytiques 32

Tableau 2 : Résultats des analyses granulométriques du profil SKA 32

IV.1.1.3. Interprétation.....33

IV.1.2. Caractérisation morphologique et analytique du profil SKB 35

IV.1.2 .1. Description morphologique 35

IV.1.2.2. Données analytiques 37

IV.1.2.3. Interprétation.....38

IV.2. Site N° 02 : Hassi Ben Abdallah 40

IV.2.1. Caractérisation morphologique et analytique de profil HSA.....40

IV.2.1.1. Description morphologique 40

IV.2.1.2. Données analytiques 42

IV.2.1.3. Interprétation.....43

IV.2.2. Carac térisation morphologique et analytique du profil HSB....46

IV.2.2.1. Description morphologique....46

IV.2.2.2. Données analytiques....47

IV.2.2.3 Interprétation....49

IV.3. Site N° 03 : Ouargla Ghardaïa....52

IV.3.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil I....52

IV.3.1.2. Données analytiques....53

IV.3.1.3. Interprétation....54

IV.3.2. Caractérisation morphologique et analytique du la profil ORB....57

IV.3.2.1. Description morphologique....57

IV.3.2.2. Données analytiques....58

IV.3.2.3. Interprétation....59

Chapitre V: Discussion....63

V.1. Les analyses physiques, physico-chimiques et chimiques....63

V.2. Distribution du calcaire total dans les différentes fractions du sol....64

V.3. Origine des différentes formes du calcaire....64

V.3.1. Les nodules calcaires....64

V.3.2. Forme diffuse....65

V.3.3 L'encroûtement calcaire....65

V.3.4. Les croutes calcaires....66

V.4. Synthèse sur les accumulations du calcaire au niveau des sols des régions arides....66

V.4.1. Distribution du taux de calcaire dans les différents horizons....66

V.4.2. Moyenne du taux de calcaire dans les horizons contenant les différentes formes d'accumulation....67

V.4.3. La fréquence des différentes formes dans tous les profils....68

V.4.4. Les Formes d'accumulation en fonction des horizons....69

Conclusion....72

Références bibliographiques....75

Annexes.....81

Résumé.....82

Introduction

Introduction

Les sols Sahariens sont naturellement très variés, mais en raison de dureté des facteurs climatiques, ce sont surtout ces derniers qui imposent les caractères des sols (Ozenda, 1977). Les sols calcaires sont très fréquents dans les régions méditerranéennes et désertiques, notamment en Algérie, où on les rencontre aussi bien dans les régions semi-arides et arides (Halitim, 1988).

Les carbonates principalement $CaCO_3$ apparaissent par des formes variées comme les filaments, les efflorescences, les revêtements, les nodules, ou comme des imprégnations diffuses…etc. Fréquemment, les carbonates s'accumulent à une profondeur spécifique du profil, formant un horizon calcique (Singer, 1995).

L'étude des accumulations calcaires a montré que la diversité de leur morphologie peut être expliquée par de nombreux facteurs : âge de la surface encroûtée, nature du matériau et situation topographique. Ceci explique que leur genèse a alimenté et alimente encore la littérature scientifique, sur le fait en particulier de savoir si ces accumulations sont dues à des processus sédimentologiques ou pédologiques et s'il y a une relation génétique entre elles et les horizons sous-jacents et sus-jacents (Halitim, 1988).

Dans les régions sahariennes tous les auteurs s'accordent pour considérer que les accumulations carbonatées sont héritées de périodes plus humides (Dutil, 1971 ; Rognon et Miskovsky, 1987 ; Fedoroff et Courty, 1994). Se sont donc essentiellement des fluctuations entre des conditions sub-humides et semi-arides qui sont enregistrées dans ces accumulations (Fedoroff et Courty, 1989).

Selon l'origine des formes d'accumulations calcaires, il existe différents types : forme diffuse, accumulation discontinues (amas friable, granule et nodule, pseudo-mycélium), les accumulations continues (croute, encroutement et les dalles calcaire) (Ruellan, 1984).

L'objectif de notre travail, est d'une part la contribution à la connaissance des sols de la région de Ouargla, et d'autres parts l'étude de quelques formes d'accumulations du calcaire dans le sol afin de mieux comprendre leur origine.

Chapitre I

Généralités sur les sols calcaires et les accumulations calcaires dans le sol

Chapitre I: Généralités sur les sols calcaires et les accumulations calcaires dans le sol

I. Définition des sols calcaires

I.1.Définition et dénomination de sols calcaires

I.1.1 Le calcaire

Le constituant essentiel de calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (Deo shorta, 1979 ; Djili et Daoud, 1999 ; Djili, 2000).

Le calcaire est une roche sédimentaire principalement organogène qui peut être détritique (contenant au moins 50% de $CaCO_3$. Exemple : un calcaire marneux) (Baize et Jabiol, 1995), ou chimique (Lozet et Mathieu, 2002). Le calcaire est généralement bien stratifié ou compact. Sa couleur est variable mais souvent blanchâtre, gris ou sombre (Lozet et Mathieu, 2002).

I.1.2. Sol calcaire

Selon Lozet et Mathieu (2002) et Legros (2007), les sols calcaires se détectent facilement par un test à l'acide chlorhydrique. Une goutte d'acide posée sur l'échantillon provoque un dégagement de CO_2 d'autant plus violent qu'il y a beaucoup de calcaire. La réaction est la suivante:

$$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

Les sols calcaires contenant du calcaire actif c'est-à-dire du carbonate de calcium à l'état de particules si fines que leur solubilisation continuelle par les acides de sol entretient dans la solution une concentration importante d'ions Ca^{+2}. Le complexe adsorbant de ces sols est en général bien pourvu, si non saturé en calcium (Lozet et Mathieu, 2002; Soltner, 2005).

I.2. Origine du calcaire dans le sol

D'une manière générale, les matériaux originaux calcaires, laissent dans le sol des fragments de roches calcaires (carbonatées, calcaires et dolomite ou simplement riches en

calcium (les basaltes par exemple) de dimensions diverses et en quantités variables selon la nature de la roche d'une part et selon les conditions de l'altération d'autre part (Ruellan, 1976).

La fraction grossière du calcaire présente dans le profil correspond aussi à l'héritage direct de la roche mère sous- jacente (Brewer, 1964) cité par Bonneau et Souchier (1979).

Cependant, le calcaire est soluble, et dans de nombreuses situations, il y a un enchaînement de phénomènes de dissolution et de précipitation du carbonate de calcium, dans un premier stade, le calcaire est dissous :

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftarrows Ca^{+2} + 2H_2CO_3$$

Insoluble Soluble

C'est la décarbonations qui libère dans le milieu des ions calcium, ces ions sont déplacés par les eaux percolantes ou par diffusion sur des distances variables, tant au sein d'un horizon ou des divers horizons du profil.

Le transfert du calcium s'arrête avec la reprécipitassions du carbonate de calcium, dans ce cas il y a un calcaire de néoformation dont l'accumulation peut présenter une intensité et des formes très diversifiées (Pseudo mycélium, nodules, encroûtement, croûtes compactes) (Bonneau et Souchier, 1979).

Il arrive aussi que le calcaire du sol ait une origine biologique et qu'il soit constitué, partiellement ou en totalité, par des coquilles de gastéropodes (Hélicidés) (Mathieu et *al*., 2003).

I.3. Sols calcaires en Algérie

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le Nord du pays, où ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires (Djili, 2000).

Selon F.A.O (2005) les types de sols calcaires en Algérie sont :

- Sols bruns calcaires dans les bioclimats humides et sub- humides (calcisols);

- Sols à accumulations calcaires en profondeur (châtains et bruns isohumiques) dans les bioclimats semi- arides et arides (calcisols).

I.4.Classification de sols calcaires

La plupart des sols calcaires sont regroupés selon la classification C.P.C.S (1967) parmi les sols peu évolués, calcimagnésiques, isohumiques et les sols fersiallitiques à réserves calciques (Ruellan, 1976).

Dans le cadre de la classification FAO (1973), ce sont selon les cas, des fluvisols, des rendzines, des yermosols des verusols, des castanozems, des cambisols.

I.5. Effet du calcaire sur les caractéristiques du sol et des végétaux

Eliard (1979), montre que le calcaire produit le calcium pour provoquer la floculation des colloïdes minéraux et organiques du sol, cette action nécessaire pour l'établissement d'état structural, et permet au sol de créer des réserves d'éléments nutritifs.

On peut dire que l'humus calcique est le meilleur ciment des agrégats, le calcium est nécessaire aussi à l'édification des tissus de végétaux (Mathieu et *al.*, 2003).

Mais quand le calcaire se trouve dans le sol en quantité trop forte, l'effet de ce dernier sur les plantes est néfaste (Baize et Jabiol, 1995).

I.6. Les formes d'accumulation du calcaire

L'accumulation ou l'individualisation du calcaire dans les dépôts Quaternaires et dans les sols (isohumiques et rouges) peut se réaliser sous huit formes différentes : les accumulations diffuses, les amas friables, les granules, les nodules, les encroûtements, les croûtes, les dalles compactes, les pellicules rubanées (Ruellan, 1967).

I.6.1. Les distributions diffuses

Le calcaire se présente sous forme de particules fines, de dimensions égales ou inférieures à 1 mm, il est donc souvent assez difficile de reconnaître l'existence de ce calcaire. Ces particules sont distribuées au hasard dans l'horizon (Ruellan, 1971).

I.6.2. Les concentrations discontinues

Le calcaire devient visible : il est concentré, individualisé, en un certain nombre de points séparés les uns des autres par des zones moins calcaires à distribution diffuse (ces zones peuvent même être très peu calcaires) (Ruellan, 1977). Les principales formes que ces concentrations discontinues de calcaire peuvent avoir, sont les suivantes :

a. Les pseudo-mycéliums

Se sont des résultats de précipitation de carbonate de calcium qui se forme des macropores tubulaires dans les racines (Blancaneaux et *al.*, 1987).

Le pseudomycellium, soulignent la porosité des horizons, et en particulier les pores d'origine radiculaire (Ruellan ,1971).

b. Les amas friables

Individualisation d'éléments calciques secondaires dont la cohésion est inférieure ou, au plus, égale à celle des agrégats (Baize et Jabiol, 1995).

Il est très fréquent dans les sols des dépôts Quaternaires, se sont des concentrations de calcaires disposés dans la masse d'un ou plusieurs horizons. De formes et de dimensions très variées (quelque mm à quelque cm), les granules et les nodules sont plus ou moins durcis alors que les amas friables ne le sont pas. Les granules ont un volume inférieur à 1 cm. Les amas friables, de couleur blanche à crème, ont des contours plus ou moins nets (Ruellan, 1984).

c. Les nodules

Les nodules qui peuvent être définis comme étant des amas durs : à l'état sec, on ne peut pas les écraser avec les doigts. Par convention, on appelle « granules » les petits nodules, d'un volume inférieur à 1 cm^3 (Ruellan, 1971).

La dureté des granules et nodules est plus ou moins accentuée et la couleur intérieure varie souvent en fonction de cette dureté : quand ils sont très durs, ils sont généralement de teinte saumon, et ils tendent vers le blanc quand ils sont plus tendres. Cependant, leur dureté peut varier d'une façon importante en fonction de leur humidité : tendres quand on les prélève

dans un horizon humide, ils durcissent rapidement en séchant à l'air. Par ailleurs, le durcissement est souvent hétérogène : le noyau peut être très dur, de couleur saumon, alors que, vers l'extérieur, le calcaire est plus tendre, plus blanc ; l'inverse est aussi possible mais plus rare. À signaler également la fréquence des inclusions de teintes rouges ou noires. La structure interne des nodules est variée. Le plus souvent, cette structure est celle des « nodules », c'est-à-dire qu'il n'y a pas, en dehors des inclusions (sables, graviers) appartenant au squelette du sol, de structure particulière, sauf dans les gros nodules et les rognons qui peuvent être entourés d'une pellicule rubanée (Ruellan, 1971).

I.6.3. Les concentrations continues

A partir du moment où, dans un horizon, la concentration du calcaire, qu'elle soit diffuse, en amas ou en nodules, devient telle qu'elle fait disparaître, en très grande partie ou totalement, la couleur brune ou rubéfiée habituelle des sols et des dépôts, on donne à cet horizon le nom d'encroûtement calcaire. La teneur en carbonates est alors le plus souvent supérieure à 60% et la consolidation de l'horizon peut être très accentuée (Ruellan 1977). Les principaux types d'encroûtements que l'on peut distinguer sont les suivants :

a. Les encroûtements non feuilletés

Parmi lesquels on peut distinguer deux types principaux :

a.1. Les encroûtements massifs

Les encroûtements massifs, sont d'aspect crayeux ou tuffeux, de structure massive, dureté en général plutôt faible. Formation parfois pulvérulente (Ruellan, 1977 ; Lozet et Mathieu, 2002).

a.2. L'encroûtement nodulaire

L'encroûtement nodulaire de couleur également claire mais moins homogène, il est essentiellement constitué par des nodules plus ou moins nombreux, pris dans une gongue très calcaire. La structure est à la fois nodulaire et polyédrique et elle peut être finalement feuilletée. La dureté est en générale assez forte, surtout quand l'encroûtement est très sec (Ruellan, 1967).

b. Les encroûtements feuilletés

Parmi lesquels on doit distinguer les deux types principaux suivants :

b.1. La croûte

Accumulation généralisée a tout l'horizon, le cimentant dans sa quasi-totalité et présentent souvent une structure interne lamellaire ou rubanée (Baize et Jabiol, 1995). On peut définir les croûtes calcaires comme des accumulations calcaires en couches individualisées continues à la surface et dans les formations superficielles. Contrairement aux tufs, travertins, etc. et aux précipitations discontinues, on a à faire dans ce cas à des formations affleurant largement et préférentiellement dans les régions semi-arides et subarides, donc ayant un caractère zonal (Vogt, 1984).

La croûte calcaire est une formation très durcie, à structure feuilletée : il s'agit de la superposition de feuillets, pouvant atteindre quelques cm d'épaisseur, mais de plus en plus fins quand on va du sommet vers la base. Ces feuillets ne sont pas continus : ils sont séparés par des fentes sub-horizontales s'anastomosant entre elles, fentes de plus en plus fines quand on va du haut vers le bas.

La croûte est généralement de couleur blanc-crème; quand elle est très durcie, elle tend vers le rose : c'est la transformation de la croûte en dalle compacte. Après une limite supérieure toujours très nette la teneur en calcaire et le durcissement de la croûte diminuent toujours du sommet vers la base où elle passe progressivement à un encroûtement (Ruellan, 1984).

b.2. Dalle compacte

Accumulation continue, massive, dure, généralement sans structure interne. Encroûtement, croûtes et dalles sont généralement suffisamment épais (quelques centimètres) et présentent une telle importance pédogénétique et pratique (comme obstacle à l'enracinement qu'ils doivent être considérés comme des horizons particuliers distincts (Baize et Jabiol, 1995).

La dalle compacte (plus de 90 % de calcaire) est constituée par un ou plusieurs feuillets de calcaire, très durs, de couleur grise ou saumon, chaque feuillet, généralement très continu, à structure massive, pouvant atteindre 10 à 20 cm d'épaisseur. En profondeur, la dalle compacte passe progressivement à la croûte.

b.3. Les encroûtements lamellaires

I1 s'agit là d'une formation stratifiée, constituée par la superposition de lamelles très fines. Très calcaire (plus de 80 %) et très dure, son épaisseur varie de quelques mm à quelques cm. Elle est en général blanche ou saumon, mais présente toujours plusieurs filets plus ou moins sombres. Cette pellicule ne se développe qu'au sommet des dalles compactes, des croûtes ou des encroûtements. Elle peut également se développer sur les parois inférieures des fentes subhorizontales les plus larges qui séparent les feuillets des croûtes (Ruellan, 1984).

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

II.1. Situation géographique

La wilaya de Ouargla (Figure 01) est située au Nord-Est du Sahara septentrional. Elle s'étend sur une superficie de 163,233 km^2 (Khadraoui, 2005).

Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Djelfa et l'Oued ;
- A l'Est par la frontière tunisienne ;
- Au Sud par les wilayas de Tamanrasset et Illizi;
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

Les coordonnés géographiques de la région de Ouargla sont :

-Altitude: 157 m;

-Latitude: 31°57';

-Longitude : 5°19'.

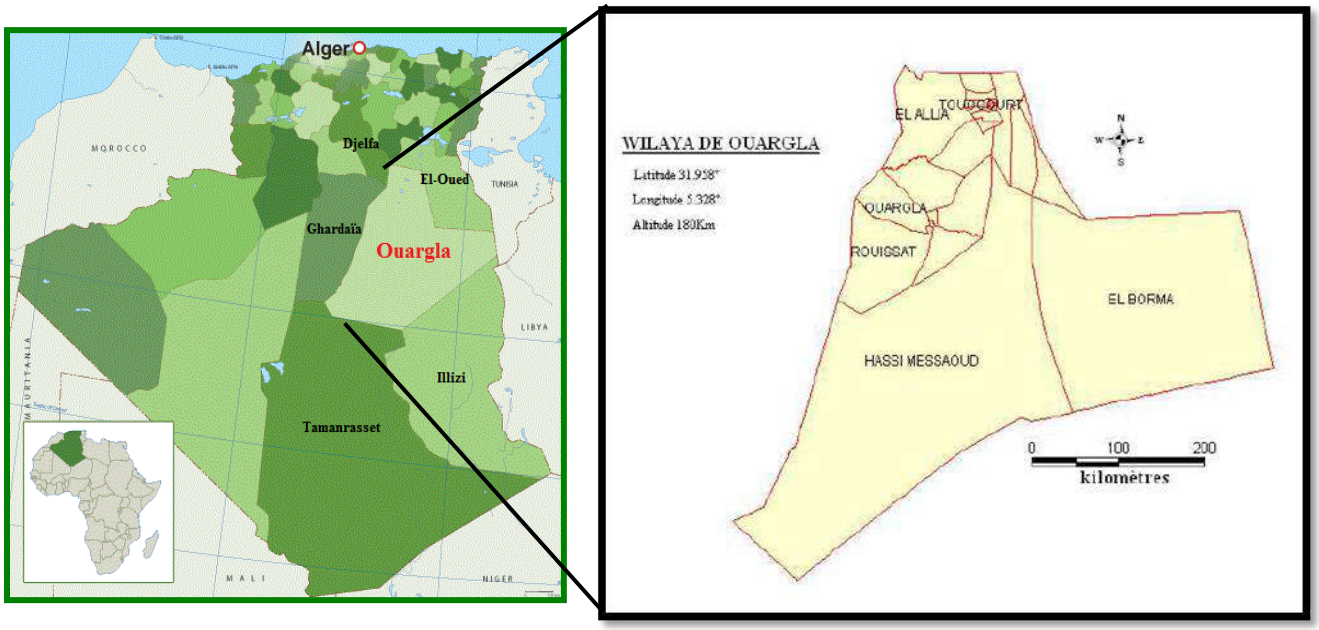

Figure 1 : **Situation géographique de la wilaya de Ouargla (D.P.A.T., 2010)**

II.2. Hydrogéologie

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

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés :

La puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Éocène, les nappes artésiennes du Continental terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles (ANRH, 2019)

II.2.1. Les nappes du Complexe Terminal

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (ANRH, 2019).

a. Nappe des sables du Mio-pliocène

Fortement exploitée dans la région pour les besoins agricoles, cette nappe constituée de dépôts sableux à une profondeur variant entre 60 m (à Rouissat) et 200 m (à N'goussa), est caractérisé par un débit qui s'échelonne entre 5 et 50 l/s et un résidu sec de 4 g/l (ANRH, 2008).

b. Nappe des calcaires Sénoniens

Formée par de calcaires porreaux et fissurés, cette nappe destinée principalement pour l'alimentation en eau potable des agglomérations, est caractérisée par une profondeur comprise entre 180 et 290 m (avec un résidu sec ne dépassant pas les 2,5 g/l) (ANRH, 2008).

II.2.2. La nappe du Continental Intercalaire

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m (ANRH, 2019).

II.2.3. Nappe phréatique

Est contenue dans les sables alluviaux de la vallée, à une profondeur de 1 à12 mètres selon les lieux et la saison. Son écoulement est du sud vers le nord, suivant la pente de la vallée (Rouvilois-Brigol, 1975).

II.3. Géologie

La géologie de la région se caractérise par des formations sédimentaires qui, se sont accumulées dans la cuvette avec le temps, notamment le continental intercalaire qui est constitué d'une série gréseuse dont l'épaisseur atteint les 2000 m. Cette série détritique forme un important aquifère de 400 m d'épaisseur, reposant sur un substratum correspondant à la série imperméable du cénomanien anhydrique et argileux (ANRH, 2008).

Les crétacés moyen et supérieur se caractérisent par la mise en place des marnes calcaires au cénomanien et des calcaires fissurés au turonien. Ce dernier constitue un aquifère très salé. Ces deux couches jouent un rôle fondamental dans le paysage morphologique de la région. La superposition des couches résistantes, calcaires du turonien, sur les assises tendres du cénomanien donne des formes plus rigoureuses aux extrémités du plateau. Au tertiaire, la mer se retirant définitivement à laissée des bars de mer, lagune et lacs (ANRH, 2008).

Le Mio-pliocène repose, quant à lui, en discordance sur le sénonien. Il est constitué d'une alternance d'argiles et de sables où l'on constate deux niveaux perméables séparés par une couche d'argile (ANRH, 2008).

Le Quaternaire, se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (ANRH, 2008).

II.4. Hydrologie superficielle

Différents bassins versants (Oued Mya, Mzab et Oued N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à la Sebkha Safioune, Nord de la cuvette de Ouargla (Hamdi-Aissa, 2001).

II.4.1. Oued M'Ya

Il draine le versant nord-est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued M'ya est en forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m), avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2%) vers le Nord-Est, il s'étend sur 19 800 Km^2. Le cours fossile de l'Oued M'ya inférieur est jalonné par de vaste Sebkha jusqu'à Ouargla (Dubief, 1953).

II.4.2. Oued N'sa

Il présente une superficie de 7.800 km^2 environ (Dubief, 1953). Il part de la région de Tilrempt vers 750 m d'altitude, coule sur environ 240 km en direction Ouest-Est puis Sud-Est pour aboutir à la Sebkha Safioune à la cote 110 m au nord d'Ouargla (Khadraoui, 2005).

II.4.3. Oued M'Zab

La superficie du bassin du M'Zab est de 5.000 km^2 environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. Limitée à Ghardaïa, point le plus bas généralement atteint par les crues, cette superficie tombe à 1.500 km^2 (Dubief, 1953). Il coule sensiblement, d'Ouest en Est sur 225 km environ et il se termine à la Sebkha Safioune (110 m) (Khadraoui, 2005). En ce qui concerne les deux Oueds (N'sa et M'Zab), ils sont fonctionnels, et peuvent avoir une ou deux crues par ans, par rapport à l'Oued Mya qui est considéré comme fossile (Hamdi-Aissa, 2001).

II.5.Relief

II.5.1. Le plateau

À l'Ouest de Ouargla la vallée est limitée par le plateau de la Hamada Pliocène de 200 à 250 m d'altitude, appelée localement « plateau des Gantera ». Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Il est interrompu par une vaste dépression ovale de la Sebkha Mellala (30 km de long, de 6 à 11 km de large, 80 à 90 m de profondeur), qui s'étend parallèlement à la vallée de l'Oued Mya (Hamdi-Aissa, 2001).

II.5.2. Les glacis

Le versant Ouest de la cuvette, présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques, le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes, son altitude s'abaisse de 225 m à l'Ouest à 200 m environ à l'Est. Les glacis de 180 m et 160 m plus visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux de Mio-Pliocène, le glacis de 160 m a été fortement démantelé lors de la formation du dernier glacis de 140 m d'altitude environ (Hamdi-Aissa ,2001).

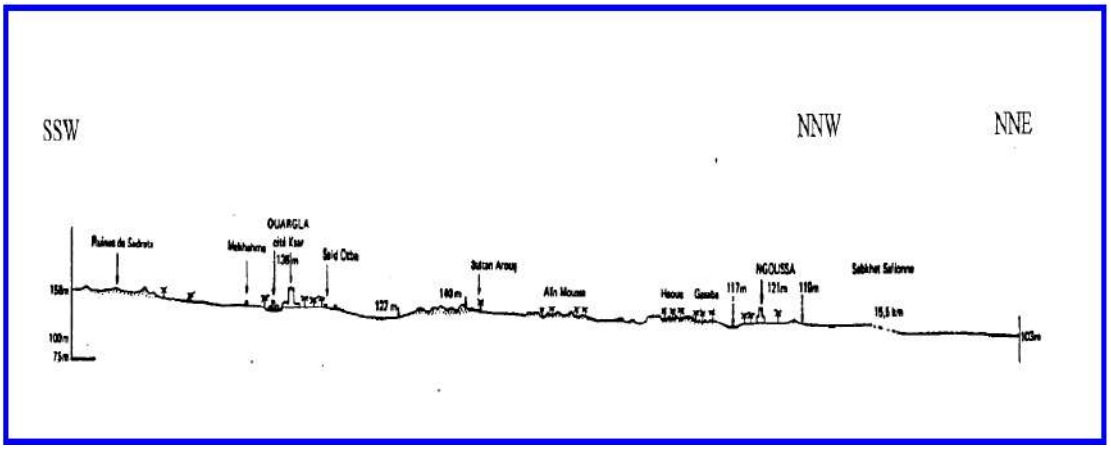

Figure 2 : Profil topographique SSW-NNE de la cuvette de Ouargla (D'après Rouvillois-Brigole, 1975)

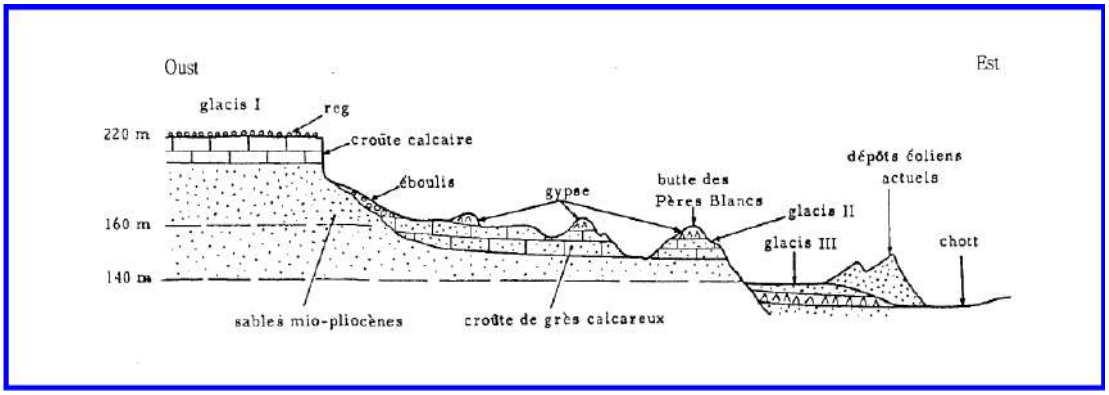

Figure 3: Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette de Ouargla (D'après Lelièvre, 1969).

II.5.3. Le chott et la Sebkha

Dans la région d'étude le niveau le plus bas du paysage est un très vaste glacis, il constitue le paysage de chott dans lequel s'encaisse l'immense sebkha de Ouargla en forme de croissant qui entoure la ville et l'oasis d'Ouest en l'Est et du Nord. C'est sur le chott que sont implantées les principales oasis de Ouargla (Hamdi-Aissa, 2001).

II.6. Climat de la cuvette de Ouargla

Pour étudier le climat de la cuvette de Ouargla nous avons utilisées les données climatiques (1999-2018) (Tableau 1) de la station météorologique de l'Office National de la Météorologie ONM de Ouargla.

Le tableau 1 englobe les données climatiques de la région de Ouargla depuis 1999 Jusqu'à 2018.

II.6.1. Données climatiques

Tableau 1 : Les données climatiques de la région de Ouargla (1999-2018).

	T° Min (°C)	T° Max (°C)	T Moy (°C)	H Moy (%)	Vent (Km/h)	Precipitations (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (heure)
Janvier	4.54	19.18	11.86	58.52	48.33	6.79	100.69	236.89
Février	6.39	21.18	13.79	50.38	45.92	2.20	136.30	238.95
Mars	10.49	26.16	18.33	43.49	54.59	4.04	213.99	270.60
Avril	14.99	31.03	23.01	37.27	64.39	1.35	276.78	282.65
Mai	20.21	35.87	28.04	33.42	62.64	3.84	355.86	301.79
Juin	24.69	40.62	32.66	28.34	49.90	0.42	415.61	267.47
Juillet	28.00	44.03	36.01	25.19	57.17	0.21	479.71	327.20
Aout	27.38	42.82	35.10	28.88	54.12	1.10	414.67	331.67
September	23.34	38.18	30.76	38.08	51.40	3.66	308.68	269.31
October	17.46	32.49	24.98	44.91	46.05	6.55	234.64	263.67
November	10.17	24.38	17.27	54.79	44.04	5.70	133.89	242.35
December	5.89	19.51	12.70	60.28	40.96	3.05	94.59	216.17
Moyenne annuelle	16.13	31.29	23.71	41.96	51.63	38.90*	3165.39*	270.73

***cumul annuel** **(ONM, 2019)**

a)Précipitations

Dans la région de Ouargla, nous avons observé une faiblesse et une irrégularité des précipitations durant la période : (1999-2018), un cumul annuel de 38.90 mm/an. En été elles sont rares surtout en juillet (0,21 mm) et atteint le maximum au mois de janvier (6,79 mm) (O.N.M. 2019).

b) Température

Dans la région de Ouargla, la température moyenne annuelle est de 23,71°C. Le mois le plus chaud est juillet avec une température maximale de 44,03°C et le mois le plus froid est janvier avec une température minimale de 4,54°C. Selon le tableau1, il existe de grands écarts de température entre l'hiver et l'été.

c)Vent

Selon le tableau1, nous avons remarqués que le vent est fréquent toute l'année, avec une moyenne de 51,63 Km/h et un maximum enregistré pendant le mois d'Avril avec 64.39 Km/h. la direction dominante des vents est le Nord-Ouest selon Dubief (1953).

d) Evaporation

A partir du tableau 1, l'évaporation est très importante dans la région de Ouargla, avec un cumul annuel de 3165,39* mm. Le maximum est enregistré en juillet avec 479,71 mm et le minimum enregistré en décembre avec 94.59 mm.

e) Humidité de l'air

L'humidité de l'air est faible avec une moyenne annuelle de 41,96 %. Elle atteint son maximum au mois de décembre avec 60,28%, et son minimum au mois de Juillet avec 25,19 %.

f) Insolation

Selon le tableau 1 La durée moyenne de l'insolation est de 270.73 heurs, avec un maximum de 331,67 heurs en Aout et un minimum de 216,17 heurs au mois de Décembre.

II.6.2. Synthèse climatique

II.6.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

La figure 4 montre que le climat de la région de Ouargla est caractérisé par une sécheresse permanente pendant toute l'année (climat saharien).

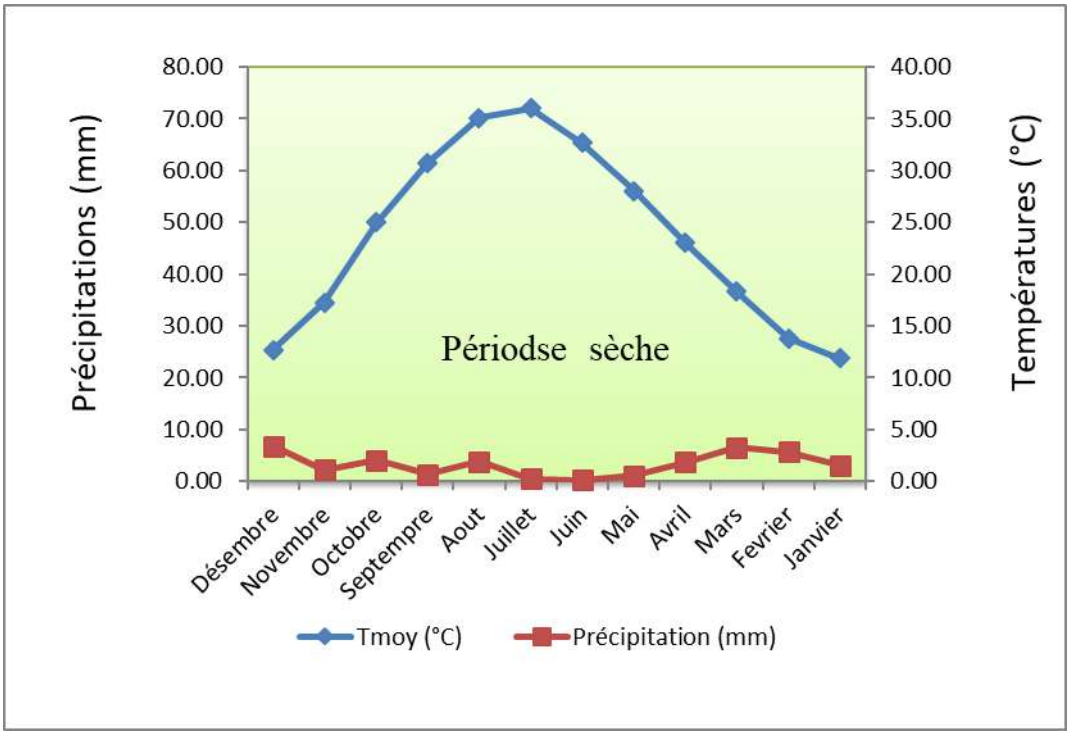

Figure 4 : Diagramme ombrothermique de la station de Ouargla (Période 1999-2018).

II.6.2.2. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger appliqué au niveau de la région d'Ouargla permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (DAJOZ, 1971). Le quotient pluviothermique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante (STEWART, 1969) :

$$Q_3 = 3{,}43 * p/(M-m)$$

P est la somme des précipitations annuelles exprimées en mm.

T max. est la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud.

T min. est la moyenne des températures minima du mois le plus froid.

Le quotient Q3 de la région d'étude est égal à 3,38 calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période s'étalant sur 20 ans de 1999 jusqu'en 2018. En rapportant cette valeur sur le Climagramme d'Emberger, il est à constater que la région d'Ouargla se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hivers doux

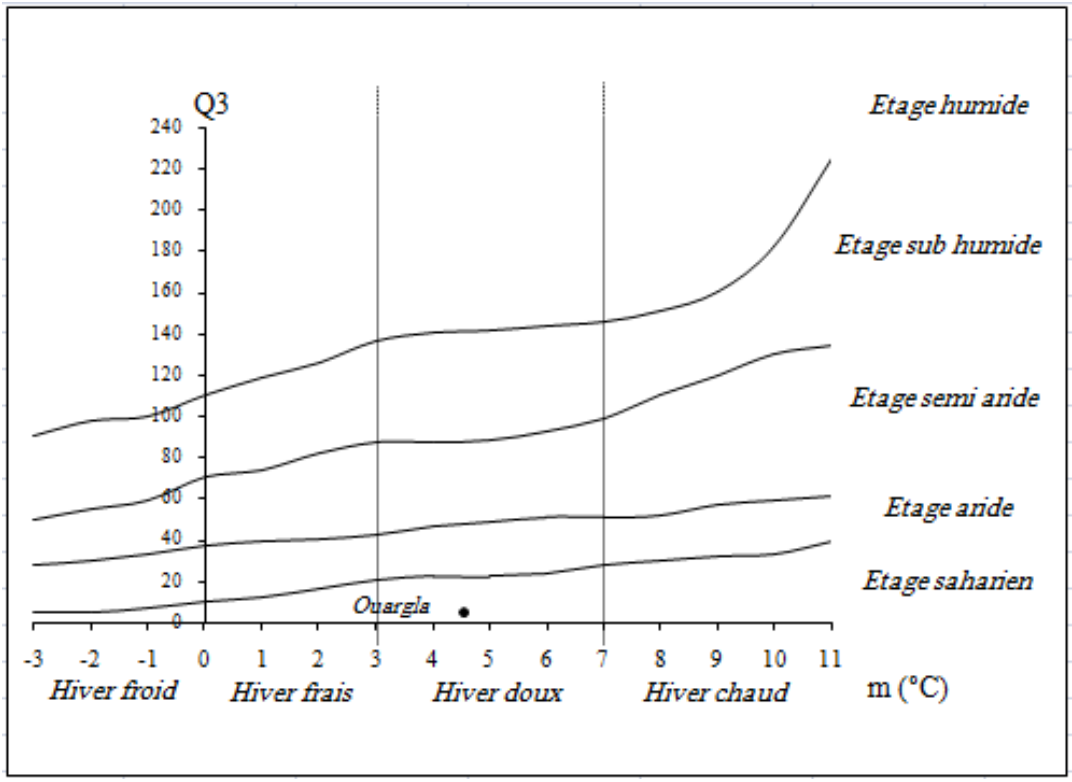

Figure 5: Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla

Chapitre III

Matériel et méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Approche méthodologique

Les différentes étapes de la méthodologie de travail sont schématisées comme

Suit **:**

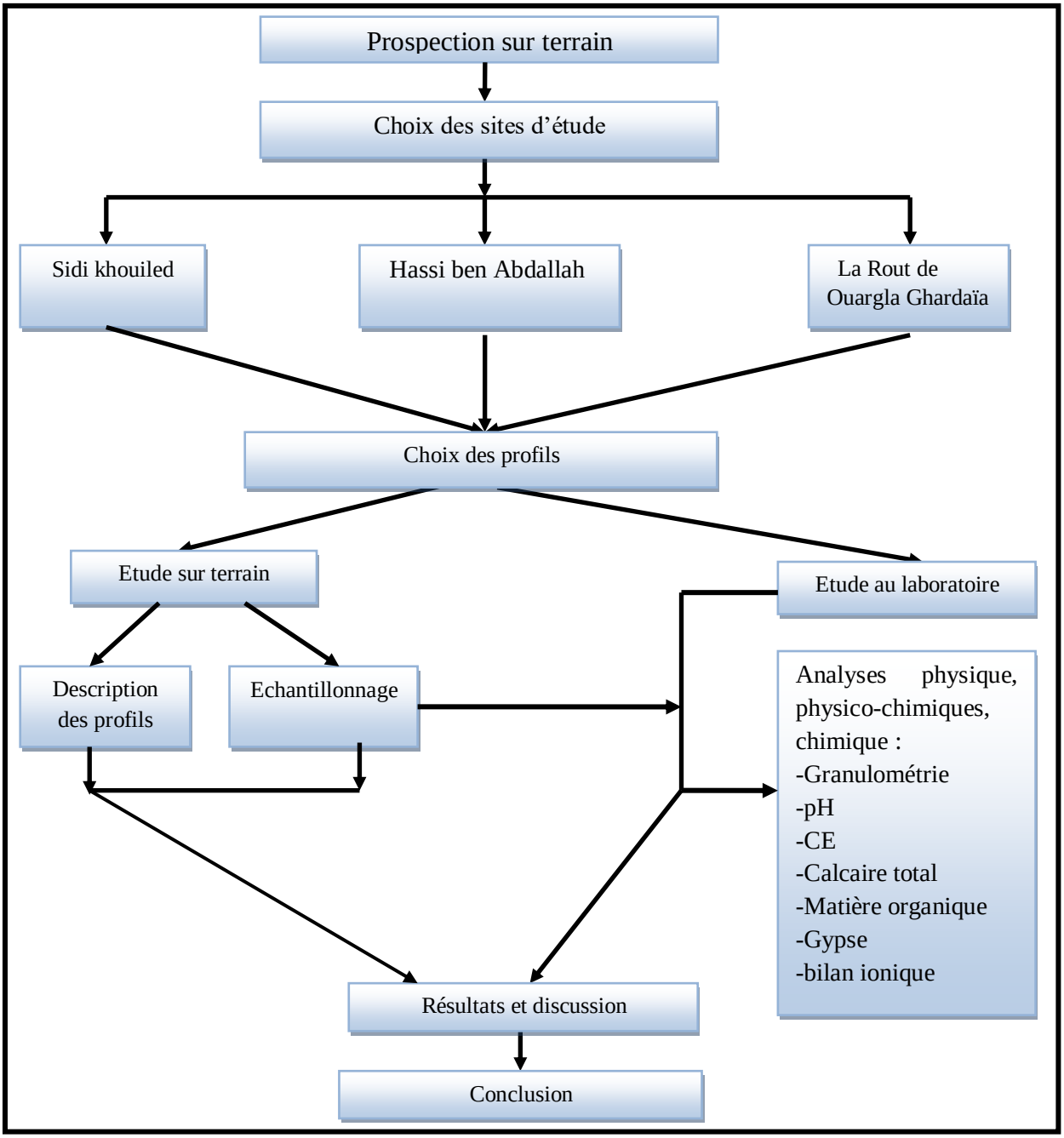

Figure 6: Méthodologie de travail

III.2. Méthode d'approche sur terrain

III.2.1. Choix des sites d'étude

Le choix des sites (Figure 07) d'étude a été effectué après consultation des travaux ayant traités les sols de la région et des prospections sur terrain des différents sites dans la région de Ouargla. Le critère de choix des profils d'étude a été basé surtout sur l'existence du calcaire (reconnus par des tests à l'HCl) et leurs présences sur des terrains naturels non fonctionnels pour nous aider à étudier l'origine de ces formes.

III.2.2. Présentation des sites d'étude

III.2.2.1. Site de sidi Khouiled

Dans cette station nous avons réalisé deux profils SKA et SKB : située au côté droit de la route qui mène de l'aéroport de Ain Beida vers Sidi Khouiled.

III.2.2.2. Hassi Ben Abdallah

Dans cette station nous avons réalisés deux profils HSA et HSB : le premier à gauche de la route appelée localement El-khalij le deuxième au coté droite de la route El khalij.

III.2.2.3. La route de Ghardaïa-Ouargla

Dans cette station nous avons réalisé deux profils : le premier est situé a droite de la route Ouargla vers Ghardaïa, le deuxième à droite de la route Ghardaïa vers Ouargla.

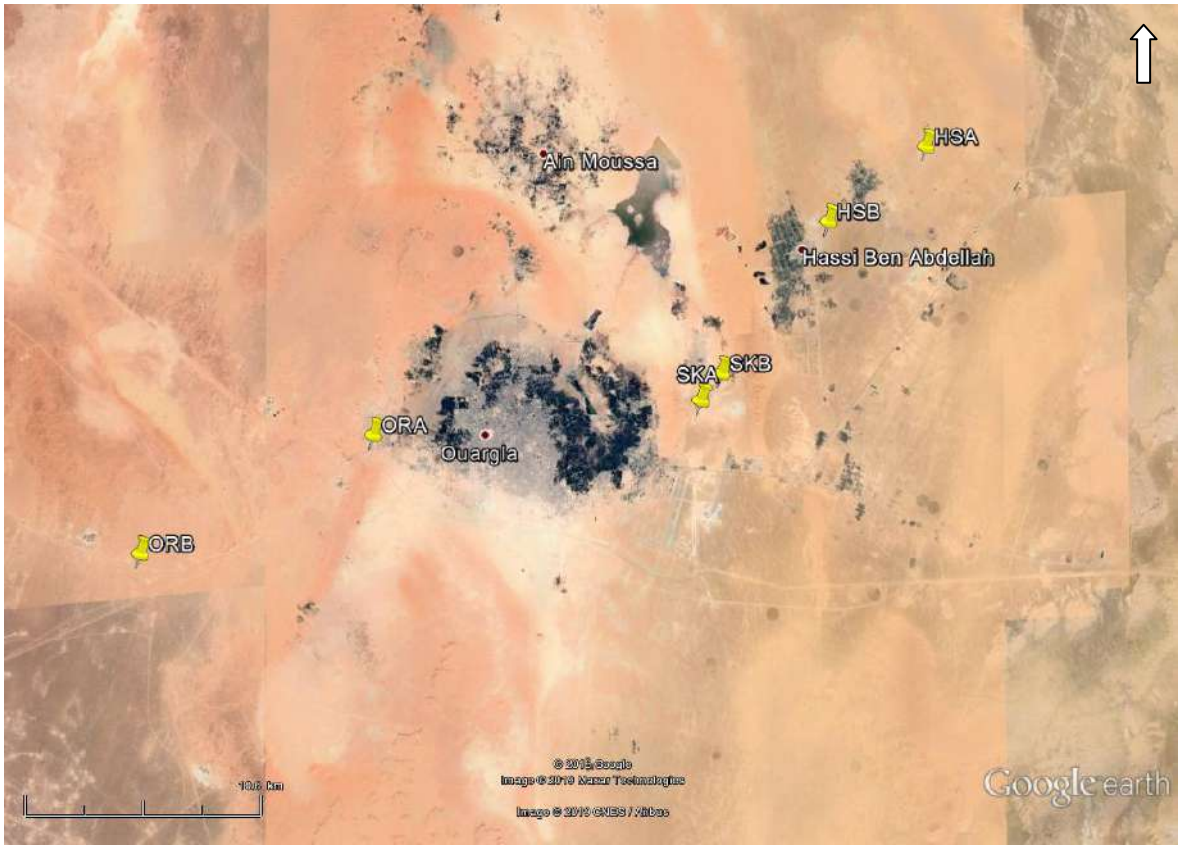

Figure 7: Localisation des profils étudiés (Google earth, 2019)

III.3. Description des méthodes utilisées

III.3.1. Sur terrain

III.3.2. Description morphologique des profils

Nous avons fait une description morphologique des profils étudiés basée sur les critères suivants déterminés par Baize et Jabiol (1995) et Soltner (2005) :

- Caractérisation de l'environnement de la station; Situation géographique; Date de description; Géomorphologie; Topographie; Conditions climatiques (le temps) et la Végétations.
- Description morphologique des profils : Selon Vieillefon (1978), la description du profil d'un sol représente un inventaire, aussi exhaustif que possible, des caractères de ce sol. L'un des plus évidents étant la subdivision du profil en horizons fait que l'on a justement tendance à insister sur les caractères de ces horizons**.** Les variables sont

donc en fait des subdivisions des rubriques correspondant aux caractères intrinsèques du sol. Une liste presque exhaustive de ces rubriques comprendra :

- épaisseur et profondeur d'apparition des horions

-limite des horizons

- couleur et taches (exemple le chart munsell)

- matière organique

- texture

- structure

- porosité d'ensemble

- éléments grossiers

- effervescence

- enracinement

- traces d'activité biologique

- humidité

III.4. Echantillonnage

Après la réalisation des profils pédologiques et leur description, nous avons prélevés des échantillons de chaque horizon en commençant du bas vers le haut du profil, et on les conservant dans des sacs à double étiquetage (interne et externe).

III.5. Au laboratoire

Les échantillons du sol ont été transmis au laboratoire, séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm.

III.5.1. Analyses physiques, physico-chimiques et chimiques

Les analyses physiques, physico-chimiques et chimiques ont été réalisées au laboratoire de pédologie du département des sciences agronomiques et le laboratoire de recherche scientifique "Géologie du Sahara" du département de géologie et au laboratoire de l'agence nationale des ressources hydriques.

III.5.1.1. Granulométrie

Nous avons utilisé la méthode de granulométrie par tamisage à voie humide, à travers une Série de tamis à différents diamètres (1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm, 0,1 mm, 0,045 mm).

III.5.1.2. pH

La mesure du pH s'effectue au pH mètre sur une suspension de terre fine, (Mathieu et Peitain, 2009) le rapport terre/liquide de 1 / 5.

III.5.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon c'est-a-dire son degré de salinité. En science du sol, la conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho.cm^{-1}ou dS/m à une température de 25 °Cà partir de l'extrait de sol dont le rapport (terre/eau) est de 1/5 (Mathieu et Peitain, 2009).

III.5.1.4. Calcaire total

Le dosage du calcaire total est réalisé par la méthode du calcimètre de Bernard (Soltner, 2005), c'est-à-dire par mesure du volume de CO_2 dégagé, suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon (Baize, 2000).

- **Etude de la distribution du calcaire total dans les différentes fractions granulométriques**

Nous avons effectué le dosage du calcaire total dans les différentes fractions granulométriques, pour déterminer la fraction qui contient la teneur la plus élevée en calcaire:

STG sable très grossier (de 1000-2000 µm) ;

SG sable grossier (de 500-1000µm) ;

SM sable moyen (de 200-500 µm) ;

SF sable fin (de 100-200 µm) ;

STF sable très fin (de 50-100 µm) ;

L/A limon et l'argile (< 50 µm).

III.5.1.5. Dosage du gypse

Le dosage du gypse a été effectué selon la méthode proposée par Coutinet (1965), et dont le principe est le dosage des ions SO_4^{-2} après une attaque aux carbonates d'ammonium et une précipitation au chlorure de baryum

III.5.1.6. Matière organique

Par la méthode de Anne qui est basée sur l'oxydation du carbone organique du sol par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr, en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Aubert et Girard, 1978; Soltner, 2003).

III.5.1.7. Bilan ionique

a. Le dosage des cations : à partir de l'extrait aqueux (1/5).

a.1. Potassium (K^+), Calcium (Ca^{++}) et Sodium (Na^+)

Les cations K^+, Ca^{++} et Na^+ sont analysés par le spectrophotomètre à flamme. Une Aliquote de l'extrait sera mise en réserve et soumise aux déterminations spectrophotométriques. Selon les résultats obtenus on effectuera des dilutions plus ou moins importantes (Pelloux et *al.*, 1971).

a.2. Dosage du magnésium Mg^{++}

Mg^{2+} est dosé par la méthode de compléxométrie, d'abord Ca+Mg, puis Ca, en fin le Mg est obtenus par différence.

b. Le dosage des anions

b.1. Dosage des chlorures Cl^-

Les chlorures, en présence du thiocynate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

b.2. Dosage de sulfates SO_4^{--}

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfates de baryum par le chlorure de baryum (Méthode turbidimétrique) :

Le précipité ainsi obtenu, très fin, est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble ainsi obtenu une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde 495 nm à l'aide d'un spectrophotomètre

b.3. Carbonate et Bicarbonate ($CO3^{--}$ et $HCO3^-$)

Par titration à l'acide sulfurique en présence des indicateurs (Phénophtaléine et orange de méthyle). La fin de la réaction est indiquée par le changement de couleur à l'orange.

Chapitre IV

Résultats

Chapitre IV : Résultats

IV.1. Site N° 01: Sidi Khouiled

IV.1.1. Caractérisation morphologique et analytique du Profil SKA

IV.1.1.1. Description morphologique

Localisation : côté droit de la route qui mène de l'aéroport de Ain Beida vers Sidi Khouiled

Coordonnée géographique

Latitude : 31°57'30'' N

Longitude : 5°25'5'' E

Altitude : 140 m

Topographie : plane

État de surface : reg graveleux

Végétation : inexistante

Temps : ensoleillé

Date:01/12/2018

SKA 1 : 0-17cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, friable, de couleur 7.5YR 6/8 (reddish yellow), présentant une forte effervescente à l'HCl. Existence de nodules calcaires de couleurs blanchâtres très effervescentes à l'HCl, de diamètre de 0,2 à 0,5 cm, très abondantes. Existence de graviers de 0,1 à 0,5 cm de diamètre. Limite régulière, transition progressive.

SKA 2: 17-33 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, peu dur, de couleur (stronug brown) 7.5YR 5/8. L'horizon présente une forte effervescence à l'HCl. Présence des nodules calcaires moins abondants que le premier horizon de 0,2 à 2 cm, très effervescentes à l'HCl. Limite régulière, transition progressive.

SKA 3 : 33-57 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, de structure particulaire, sec, peu dur, de couleur (reddish yellow) 7,5 YR 6/6, forte effervescence à l'HCl, existence de manchons calcaires très effervescentes à l'HCl, de 1 à 5 cm de diamètre, limite régulière, transition distincte.

SKA 4 : >75 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, structure particulaire, sec, dur, de couleur (pink yellow) 5YR 7/4. L'effervescence à l'HCl est moyenne, existence d'un encroutement calcaire très effervescents à l'HCl, existence de taches rougeâtre.

Photo 1 : profil SKA.

IV.1.1.2. Données analytiques

Tableau 2 : Résultats des analyses granulométriques du profil SKA

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie en %					
			Sable fin		Sable grossier		
		Fraction <45µm	45-100µm	100-200µm	200-500µm	500-1000µm	1000-2000µm
SKA 1	0-17 cm	11,58	3,55	19,12	59,92	3,11	2,72
SKA 2	17-33 cm	11,96	3,91	16,62	64,62	1,76	1,13
SKA 3	33-75 cm	8,15	1,27	9,68	76,27	3,76	0,87
SKA 4	>75 cm	43,39	1,88	11,16	41,22	1,55	0,8

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques du profil SKA

Ech.	Prof (cm)	pH	CE (dS/m à 25°C)	Calcaire totale %	Gypse %	MO %
SKA 1	0-17 cm	7,84	5,47	10,54	2,78	1,50
SKA 2	17-33 cm	7,67	5,96	9,60	3,73	0,37
SKA 3	33-75 cm	7,64	4,02	8,20	3,28	0.18
SKA 4	>75 cm	7,51	8,81	5,62	2,31	0.55

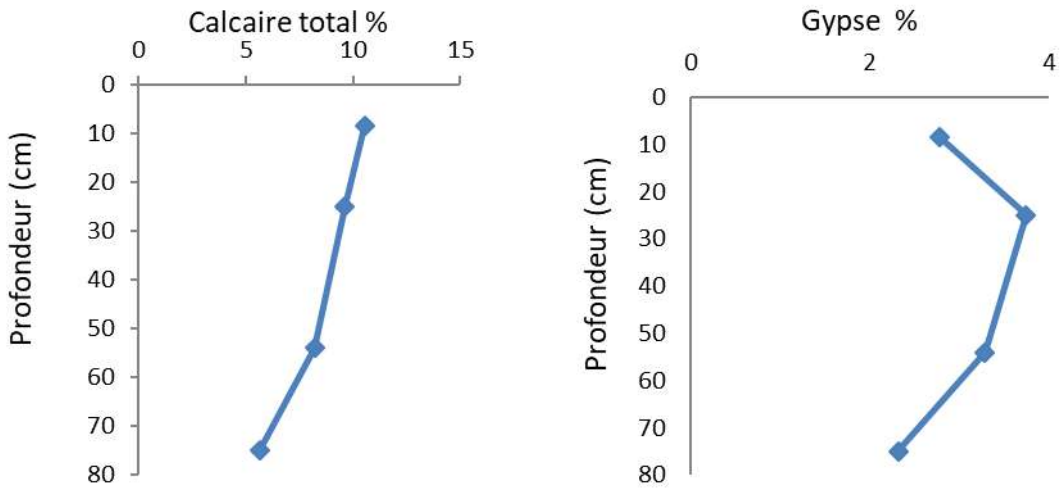

Figure 8 : Profils calcaires et gypseux du profil SKA.

IV.1.1.3. Interprétation

Dans ce profil, le calcaire prend la forme de nodules, très effervescentes à l'HCl, cette forme existe surtout dans le premier horizon et moins abondante dans le deuxième. Mais pour le troisième horizon, il y a une autre forme de calcaire c'est des manchons et pour le quatrième c'est les encroutements très effervescents à l'HCl.

D'après les résultats obtenus (Tableau 2 et figure 8), on remarque que ce profil est caractérisé par une dominance de la fraction sableuse surtout le sable grossier.

Les valeurs du pH (tableau 3), montrent qu'il varie entre 7,51 % et 7,84%, selon le tableau 3 (annexe I) le pH est légèrement alcalin.

Les résultats de la conductivité électrique (tableau 3), de ce profile varie entre 4,02 dS/m au niveau de l'horizon SKA 3 qui est très salé et 8,81 dS/m au niveau de l'horizon SKA 4 qui est extrêmement salé (le tableau 2 annexe I).

Le profile étudié présente un taux de calcaire (tableau 3) variant entre 5,62 % et 10,54 %. À partir de ces résultats et selon le tableau 3 (annexe I), on peut dire que tous les niveaux de ce profil sont classés en une seule catégorie, qui est celle des sols modérément calcaire.

Pour la matière organique (tableau 3), le profil étudié présente une faible teneur de 1,50% au niveau de SKA1, et un taux très faible pour les niveaux SKA 2, 3 et 4.

Les résultats d'analyse du taux de gypse (tableau 3) effectué dans le profil révèlent un taux variant entre 2,31% au niveau de SKA 4 et 3,28% au niveau de SKA 2. Tous les niveaux du profil SKA sont légèrement gypseux.

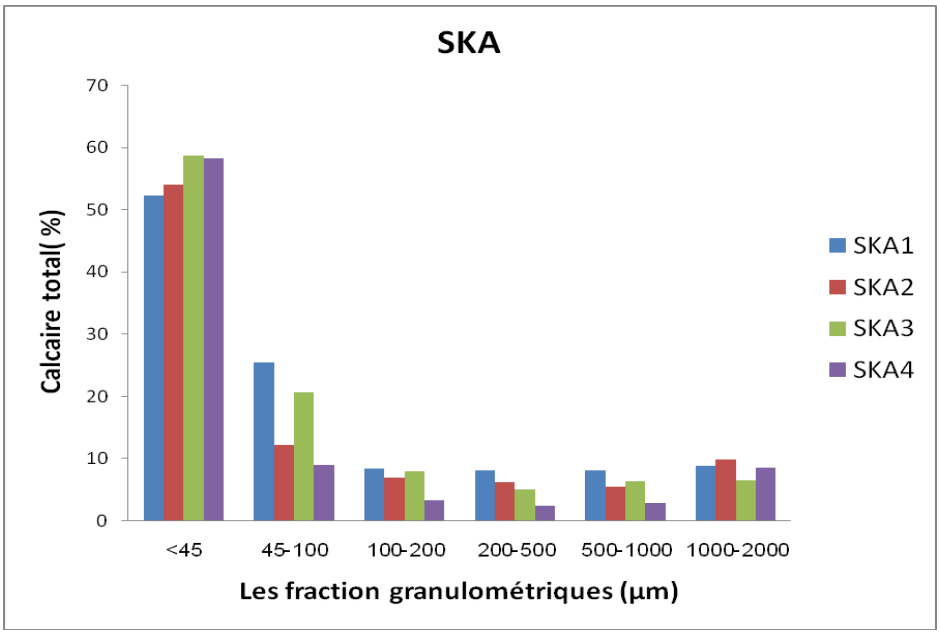

Figure 9 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SKA.

D'après les analyses, et selon le tableau 1 (annexe III), le taux de calcaire est très élevé dans la fraction <45µm avec un taux de 52,37% dans l'horizon SKA 1, de 54,10% dans l'horizon SKA 2 et de 58,70% dans l'horizon SKA 3, avec un taux de 58,26% dans l'horizon SKA 4. Pour les autres fractions, nous avons observés un taux variable de calcaire total (Figure 9).

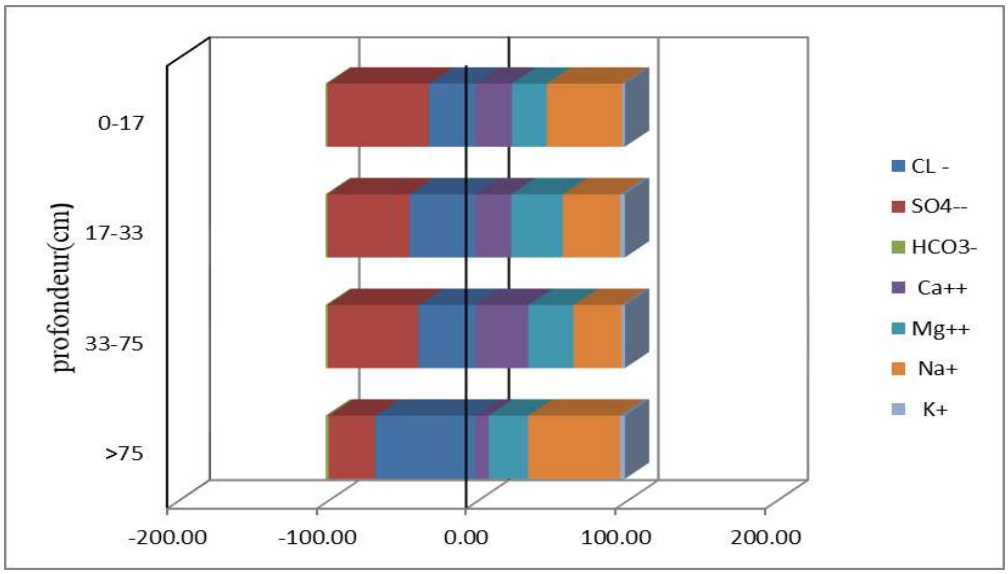

Figure 10 : Le bilan ionique du profil SKA.

Pour le bilan ionique:

L'anion le plus dominant dans la solution du sol est le $SO4^{--}$qui est présent dans les horizons SKA1, SKA2 et SKA3, tandis que c'est le Cl^- qui est dominant au niveau de l'horizon SKA4. Concernant les cations, c'est le Na^+ qui est dominant dans les horizons SKA1, SKA2, SKA4, et c'est le Ca^{++} pour l'horizon SKA3

Donc, le faciès chimique est sulfaté sodique pour SKA1 et SKA2, sulfaté calcique pour SKA3, et chloruré sodique pour SKA4 (Figure 10).

IV.1.2. Caractérisation morphologique et analytique du profil SKB

IV.1.2 .1. Description morphologique

Localisation : côté droit de la route qui mène de l'aéroport de Ain Beida vers Sidi Khouiled

Coordonnées géographiques:

Latitude : 31 ° 58'9.47 " N

Longitude : 5 ° 25'40.67 "E

Altitude : 914 m

Topographie : plane

Etat de surface : reg graveleux

Végétation : inexistante

Temps : ensoleillé

Date: 09/04/2019

SKB 1 : 0-31 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, friable, de couleur à l'état humide 5YR 5/6 (yellowish red), l'horizon est effervescent à l'HCl, et nous avons observé la présence du calcaire sous forme diffuse, limite régulière, transition distincte.

SKB 2 : 31-59 cm

Horizon à texture sableuse, à structure particulaire, sec, peu dur, de couleur à l'état humide 5YR 6/6 (reddish yellow), l'horizon est effervescent à l'HCl, présence des nodules calcaires très abondants, taches blanchâtres et rougeâtres, limite régulière, transition diffuse.

SKB 3 : 59-79 cm

Horizon à texture sableuse, structure particulaire, sec, peu dur, de couleur à l'état humide 5YR 5/6 (yellowish red), Faible effervescence à l'HCl, présence des nodules calcaires très fortement effervescentes à l'HCl, avec l'existence de taches de couleur blanchâtre et rougeâtre, limite régulière, transition distincte.

SKB 4 : >79 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, dure, de couleur à l'état humide 5YR 7/6 (reddish yellow), forte effervescente à l'HCl. Existence d'encroûtement nodulaire très effervescent à l'HCl.

Photo 2 : Profil SKB

IV.1.2.2. Données analytiques

Tableau 4: Résultats des analyses granulométriques de profil SKB

Ech.	Prof (cm)	Granulométrie en %					
		Fraction <45µm	Sable fin		Sable grossier		
			45 -100µm	100-200µm	200-500µm	500-1000µm	1000-2000µm
SKB1	0-31	18,23	3,77	19,7	50,47	4,79	3,04
SKB 2	31-59	13,16	3,61	16,7	63,23	2,87	0,43
SKB 3	59-79	12,98	10,33	12,31	62,15	2,11	0,12
SKB 4	>79	15,79	4,31	12,96	63,52	2,63	0,79

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil SKB

Ech.	Prof. (Cm)	pH	CE (dS/m à 25°C)	Calcaire totale %	Gypse %	MO %
SKB 1	0-31	8,06	5,69	3,93	14,81	1,71
SKB 2	31-59	8,05	6,10	2,17	16,49	0,79
SKB3	59-79	8,08	3,92	2,76	7,44	0,63
SKB 4	>79	8,14	4,97	4,96	2,67	0,60

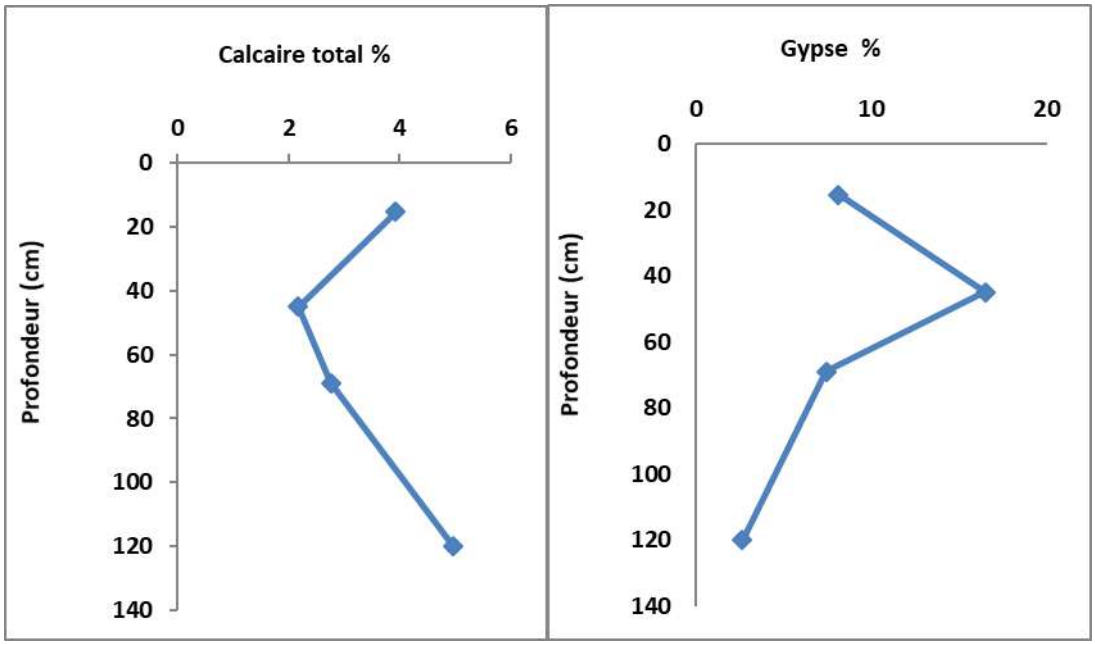

Figure 11 : Profils calcaire et gypseux du profil SKB

IV.1.2.3. Interprétation

Ce profil est caractérisé, par trois formes d'accumulation : les nodules dans le deuxième horizon, et la forme diffuse dans le premier horizon, et l'encroutement dans le dernier horizon. Les trois horizons présentent une forte effervescence à l'HCl.

La granulométrie, classe les éléments constitutifs du sol en fonction du diamètre des particules, on constate que le profil se caractérise par une texture sableuse à sablo-limoneuse, surtout le sable grossier.

En ce qui concerne le pH du sol, il varie entre 8,05 à 8,14, selon le tableau 1 (annexe I), le profil est légèrement à moyennement alcalin.

Pour la CE, elle est variable entre : 3,92 et 6,10 dS/m. Selon le tableau 2, (annexe I) le sol est divisé en sol très salé pour les horizons SKB 1, SKB3 et 4, et sol extrêmement salé pour l'horizon SKB 2.

Les résultats obtenus pour le taux de calcaire total (Tableau 5 et Figure 11) montrent qu'il varie entre 2,17% et 4,96%. À partir de ces résultats et selon le tableau 3 (annexe I), on remarque que tous les horizons de ce profil sont peu calcaires.

Le taux de gypse de ce profile montre que les horizons SKB4, SKB 3, sont légèrement gypseux avec les valeurs suivantes : 2,67 et 7,44 %. L'horizon SKB 1 est modérément

gypseux avec 14,81%, et l'horizon SKB 2 est extrèmement gypseux avec une valeur de 16,49% (tableau 4, annexe I).

Le taux de la matière organique pour ce profil est très faible entre 0,6 et 0,79%, sauf l'horizon SKB 1 qui est faible en matière organique avec 1,71% (tableau 5, annexe I).

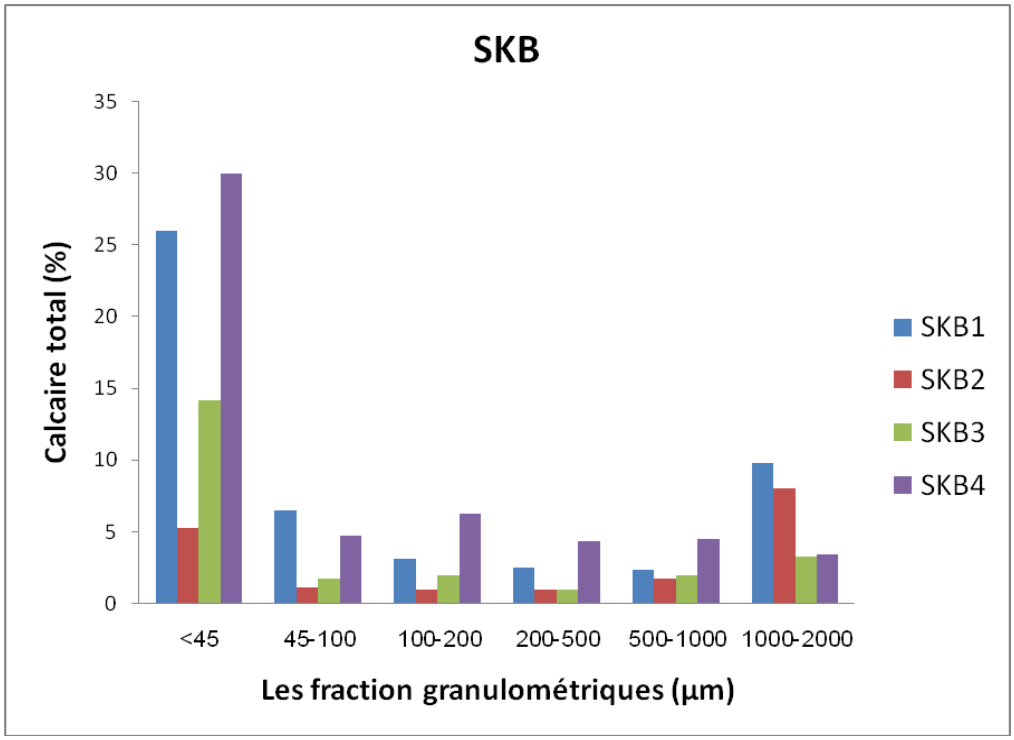

Figure 12 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SKB.

Les résultats du dosage du calcaire total dans les différentes fractions du sol, montrent une dominance dans la fraction inférieure à 45 µm dans les horizons SKB 1 et SKB 3 et SKB 4, avec un taux égal à 26,05 % et 14,21% et 30%, et pour l'horizon SKB 2, le calcaire total est plus dominant dans la fraction 1000-2000 µm avec un taux de 8,09%. Pour les autres fractions le taux de calcaire est variable (Figure 12).

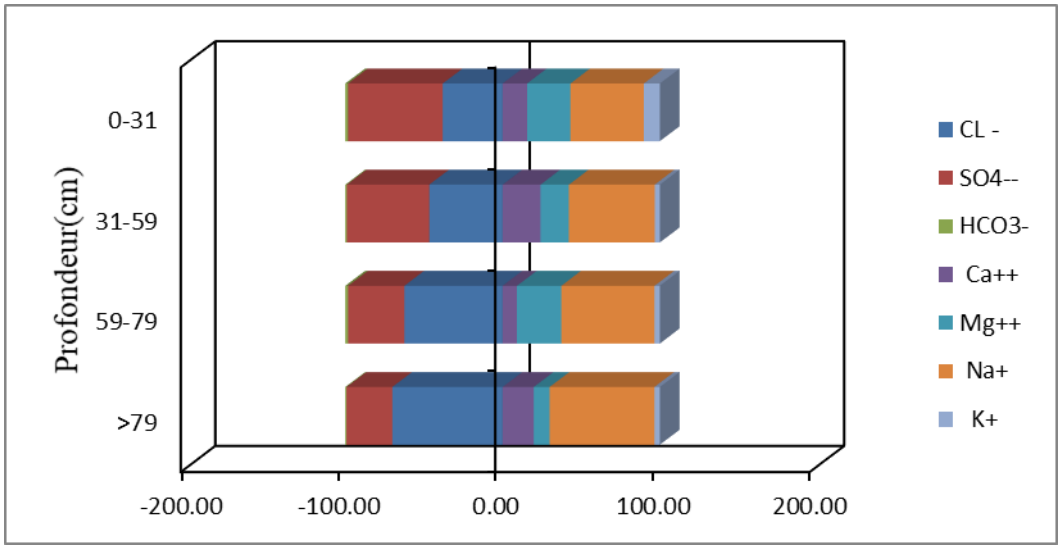

Figure 13 : Le bilan ionique du profil SKB.

Pour le bilan ionique:

L'anion le plus dominant dans la solution du sol est le $SO4^{--}$ présent dans les horizons SKB1 et SKB2 et Cl^- au niveau de l'horizon SKB3 et SKB4. Concernant le cation le plus dominant c'est le Na^+ présent dans tous les horizons.

Donc le faciès chimique est sulfaté sodique pour SKB1 et SKB2 et chloruré sodique pour SKB3 et SKB4 (figure 13).

IV.2. Site N° 02 : Hassi Ben Abdallah

IV.2.1. Caractérisation morphologique et analytique de profil HSA

IV.2.1.1. Description morphologique

Localisation : Coté gauche de la route de El Khalij

Coordonnée géographique :

Latitude : 32°3'44''N.

Longitude : 5°31'37'' E

Altitude : 130 m

Topographie : plane

Etat de surface : reg graveleux

Végétation : pas de végétation

Temps : ensoleillé.

Date : 01/01/2019

HSA 1 : 0 - 50 cm

Horizon à texture sableuse, à structure particulaire. Sec, peu dur de couleur ; 10 YR 7/3 (very pâle Brown). L'horizon est effervescent à l'HCl, présence des graviers de 0,1 à 0,3 cm de diamètre et existence des taches noirâtres. Présence des cailloux de nature calcaire; très effervescents à l'HCl, de limite régulière, transition distincte.

HSA 2 : 50 - 80 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, dur, de couleur ; 2.5Y 7/3 (pâle yellow). L'horizon présente une forte effervescence à l'HCl. Existence de graviers de 0,1 cm à 0,3 cm et de taches noires et d'autres jaunâtre. présence des cailloux de nature calcaire ; très effervescents à l'HCl, Limite régulière, transition progressive.

HSA 3 : 80 – 135 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, de structure particulaire, sec, dur, de couleur ; 2.5 YR 7/4 (pâle yellow), l'horizon présente une faible effervescence à l'HCl. Présence de graviers de 0,1 cm de diamètre, et existence de taches noires et de taches jaunâtres. Présence des cailloux de nature calcaire très effervescents à l'HCl, limite régulière, transition distincte.

HSA 4 : > 135 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, de structure particulaire, sec, dur, de couleur;10 YR 7/4 (very pâle Brown). L'horizon présente une faible effervescence à l'HCl. Présence des graviers de 0,1 à 0,5 cm de diamètre, et existence de taches noires et de taches jaunâtre, en plus de couches horizontales de graviers. Présence des cailloux de nature calcaire ; très effervescents à l'HCl, et Présence des insectes**.**

Photo 3 : profil HSA

IV.2.1.2. Données analytiques

Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques du profil HSA sont présentés dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 6 : Résultats des analyses granulométriques de profil HSA

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie en %					
		Fraction <45µm	Sable fin		Sable grossier		
			45 -100µm	100-200µm	200-500µm	500-1000µm	1000-2000µm
HSA 1	0-50	16,86	9,21	15,17	32	15,76	11
HSA 2	50-80	11,95	11,28	16,69	38,38	12,12	9,58
HSA 3	80-135	10,54	4,76	16,57	44,13	13,76	10,24
HSA 4	>170	5,94	6,84	9,45	58,45	13,44	6,24

Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil HSA I

Ech.	Prof. (Cm)	pH	CE (ds/m à 25°C)	Calcaire totale %	Gypse %	MO %
HSA 1	0-50	7,36	2,67	2,98	17,28	0,58
HSA 2	50-80	7,07	2,62	8,93	21,42	0,48
HSA 3	80-135	7,21	2,60	1,60	15,12	0,11
HSA 4	>170	7,13	2,67	0,35	6,82	0,11

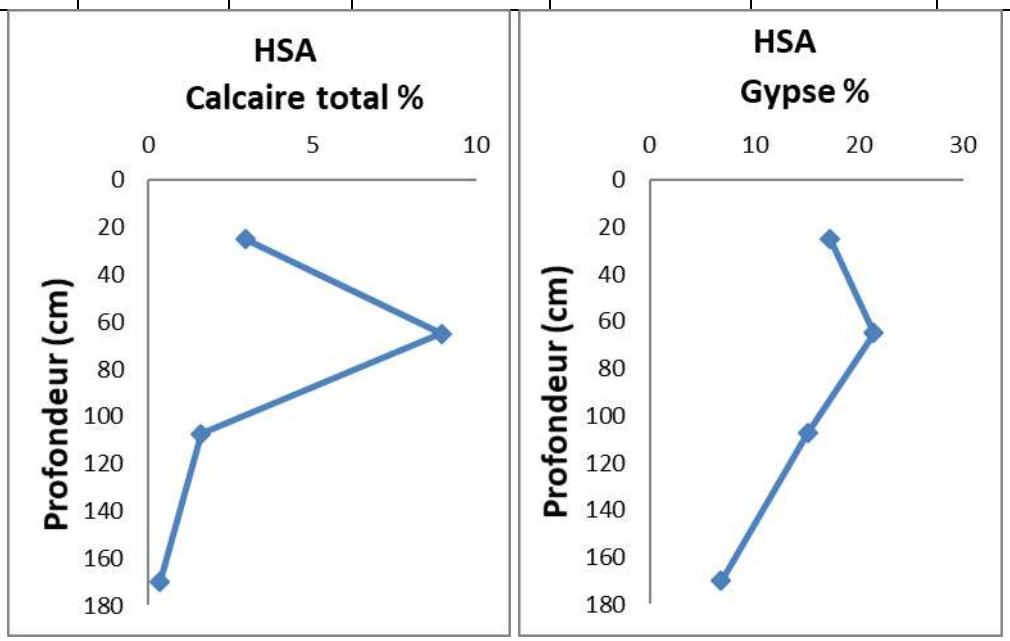

Figure 14 : profils calcaire et gypseux du profil HSA.

IV.2.1.3. Interprétation

Dans ce profil, le calcaire se trouve sous forme de cailloux de nature calcaire dans tous les horizons.

L'analyse granulométrique de ce profil montre que la fraction dominante est le sable grossier.

A travers les résultats obtenus on remarque que le pH varie entre 7,07 et 7,36. Selon le tableau 1 (Annexe I), le pH est neutre.

Alors que les résultats de la CE de ce profil varient de 2,60 dS/m et 2,67 dS/m. Selon le tableau 2 (Annexe I), c'est un sol très salé.

En ce qui concerne le taux de calcaire total dans ce profil, il varie entre 0.35 % dans HSA 4 qui est un horizon non calcaire, et 8.93 % dans HSA 1 qui est un horizon modérément calcaire selon le tableau 3 (Annexe I).

Les résultats obtenus après le dosage du gypse montrent une teneur variable entre 6,82% dans le niveau HSA 4 où le sol est légèrement gypseux et 21,42% dans le niveau HSA 2 où c'est extrêmement gypseux, selon le tableau 4 (Annexe I).

Pour la matière organique, le profil étudié présente une teneur entre 0,11 et 0,58 %. Selon le tableau 5 (Annexe I) c'est un sol très faible en matière organique.

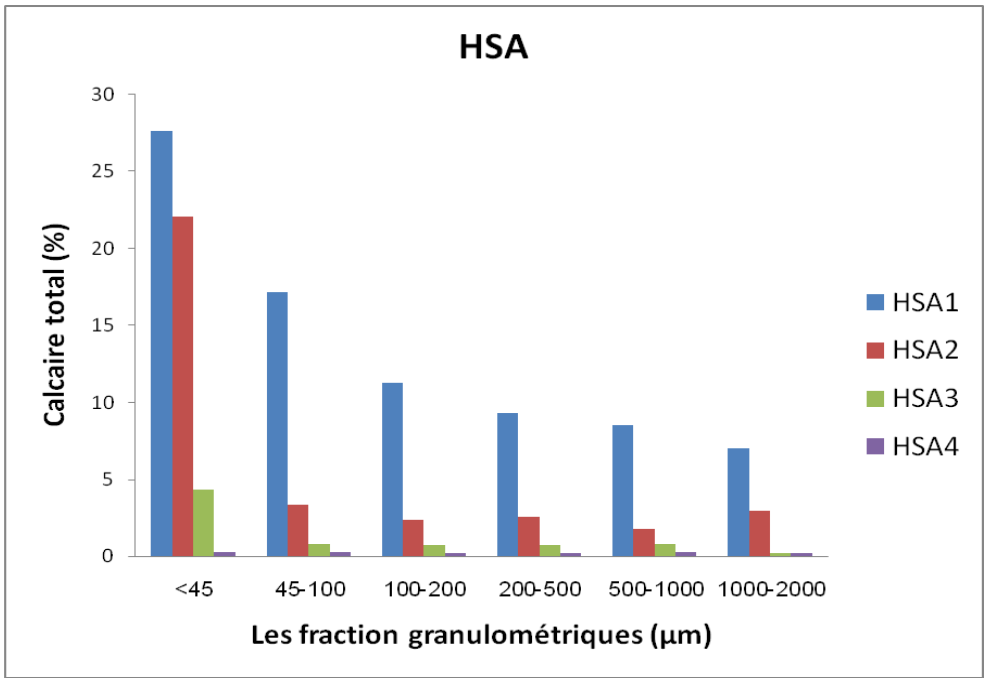

Figure 15 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil HSA.

D'après les analyses, et selon le tableau 1 (Annexe III), le taux de calcaire est très élevé dans la fraction < 45µm avec un taux de 27,63% dans l'horizon HSA, de 22,11% dans l'horizon HSA 2, de 4.34 % dans l'horizon HSA3, et de 0,25% dans l'horizon HSA 4. Pour les autres fractions, nous avons observés une faible teneur de calcaire total.

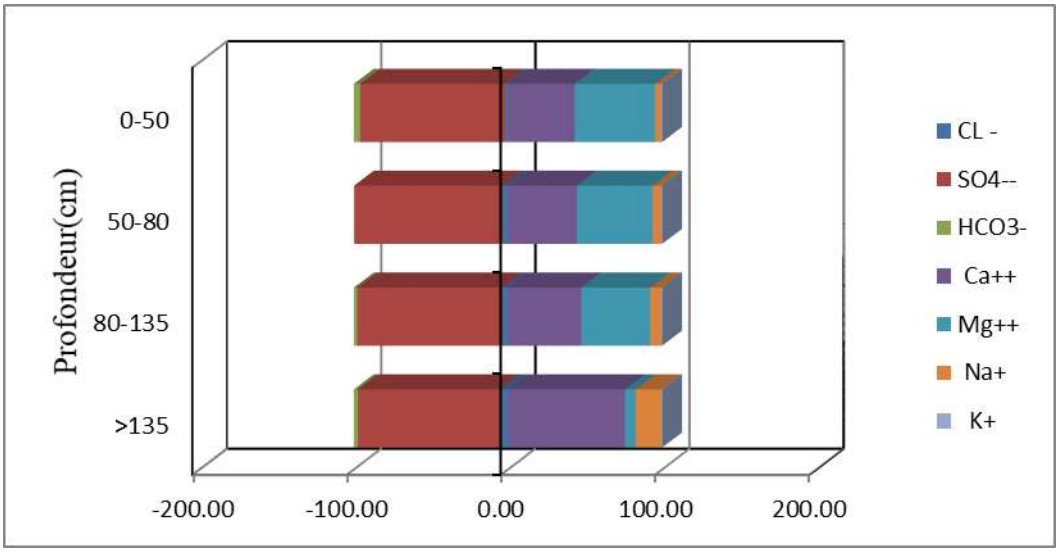

Figure 16 : Le bilan ionique du profil HSA.

Pour le bilan ionique:

L'anion le plus dominant dans la solution du sol est le $SO4^{--}$ pour tous les horizons de ce profil. Alors que le cation le plus dominant est le Mg^{++} dans les horizons HSA1 et HSA2 et le Ca^{++} pour les horizons HSA3 et HSA4.

Donc le faciès chimique est sulfaté magnésique pour HSA1 et HSA2 et sulfaté calcique pour HSA3 et HSA4 (Figure 16).

IV.2.2. Caractérisation morphologique et analytique du profil HSB

IV.2.2.1. Description morphologique

Localisation : à droite de la route El Khalji

Coordonnée géographique :

Latitude : 32°1’53’’ N

Longitude : 5°28’47’’ E

Altitude : 150 m

Topographie: plane

État de surface: gravier

Végétation: pas d'végétation

Temps : ensoleillé

Date: 22/04/2019

HSB1: 0 - 30 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, friable, de couleur; 7.5 YR 5/8 (strong Brown). L’horizon est fortement effervescent à l’HCl. Présence des graviers de 0,1 à 1 cm de diamètre de 10 %. Présence de gravier cimenté par le calcaire très effervescent à l’HCl et des nodules calcaires très effervescentes à l'HCl. Limite régulière, transition distincte.

HSB 2: 30 - 80 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, friable, de couleur ; 10YR 6/6 (browinsh yellow). L’horizon présente une forte effervescence à l’HCl. Présence des graviers de 0,1 à 1 cm de diamètre avec une abondance de 25% et du gravier cimenté par le calcaire très effervescent à HCl. Limite régulière, transition progressive.

HSB 3 : 80 – 120 cm

Horizon à texture sableuse, de structure particulaire, sec, friable, de couleur ; 10 YR 5/8 (yellowish Brown). L’horizon présente une forte effervescence à l’HCl, présence des graviers de 0,1 à 0,5 cm de diamètre, de 50% et du gravier cimenté par le calcaire très effervescent à l’HCl. Limite régulière, transition distincte.

HSB 4: 120 – 160 cm

Horizon à texture sableux, de structure particulaire, sec, friable, de couleur ; 10 YR 7/4 (very pale Brown). L’horizon présente une forte effervescence à l’HCl, présence des

graviers de 0,1 à 0,2 cm de diamètre et de 40 % d'abondance. Limite régulière, transition distincte.

HSB 5 : >160 cm

Horizon à texture sableuse, à structure particulaire, sec, friable, de couleur ; 10 YR 5/6 (yellowish Brown). L'horizon présente une forte effervescence à l'HCl. Présence des graviers de 0,1 à 0,2 cm de diamètre et 15% d'abondance et du gravier cimenté avec le calcaire très effervescent à l'HCl.

Photo 4 : profil HSB

IV.2.2.2. Données analytiques

Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques du profil HSB sont présentés dans les tableaux 8 et 9.

Tableau 8 : Résultats des analyses granulométriques de profil HSB

Ech.	Prof (cm)	Granulométrie en %					
			Sable fin		Sable grossier		
		Fraction <45µm	45 - 100µm	100-200µm	200-500µm	500-1000µm	1000-2000µm
HSB 1	0-30	8,67	0,78	25,05	40,26	15,73	9,51
HSB 2	30-80	1,13	6,35	37,6	36,09	0,66	18,17
HSB 3	80-120	3,63	0,55	3,74	52,74	28,28	11,06
HSB 4	120-160	6,57	0,86	65,5	7,07	14,19	5,81
HSB 5	>160	4,22	1,03	6,92	58,32	24,85	4,66

Tableau 9 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil HSB

Ech.	Prof. (cm)	pH	CE (dS/m à 25°C)	Calcaire totale %	Gypse %	MO %
HSB 1	0-30	7,40	0,72	4,30	1,27	0,26
HSB 2	30-80	7,23	1,97	8,70	1,54	0,66
HSB 3	80-120	7,49	0,63	2,57	0,34	0,79
HSB 4	120-160	7,15	0,76	3,13	1,35	1,43
HSB 5	>160	7,69	0,60	1,87	1,56	0,56

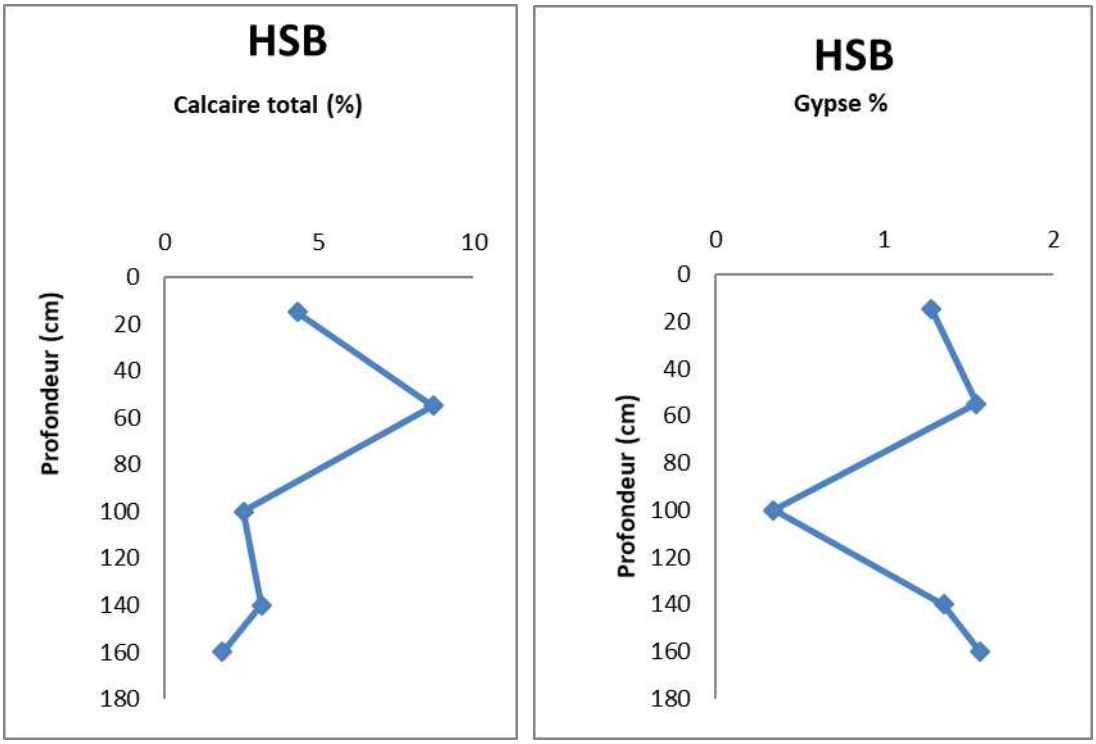

Figure 17 : profils calcaire et gypseux du profil HSB.

IV.2.2.3 Interprétation

Ce profil est caractérisé, par deux formes d'accumulation : les nodules dans le premier horizon, et du gravier cimenté par le calcaire dans les autres horizons. Le profil est effervescent à l'HCl.

En ce qui concerne les résultats de l'analyse granulométrique (tableaux 8), on remarque que ce profil est caractérisé par une dominance de la fraction sableuse et surtout le sable grossier.

Les résultats de mesure du pH, montrent qu'il varie entre 7,15 au niveau de l'horizon HSB4 (neutre) et 7,69 au niveau de l'horizon HSB 5 qui est légèrement alcalin (tableau 1, Annexe I).

A travers les résultats obtenus, on remarque que la CE de ce profil varie de : 0,60 et 1,97 dS/m, selon le tableau 2 (annexe I) c'est un sol peu salée à salé.

En ce qui concerne le taux de calcaire total dans le profil, il varie entre 1,87 et 8,70 %. Selon le tableau 3 (annexe I), le sol étudié est modérément calcaire.

Les résultats obtenus pour le gypse montrent une teneur variable entre 0,34 et 1,56 %. Selon le tableau 4 (annexe I), le sol est légèrement gypseux.

Pour la matière organique, le profil étudié présente une faible teneur entre 0,26 au niveau de l'horizon HSB 1 (très faible en matière organique) et 1,43 % au niveau de l'horizon HSB 4 (faible en matière organique), selon le tableau 5 (annexe I).

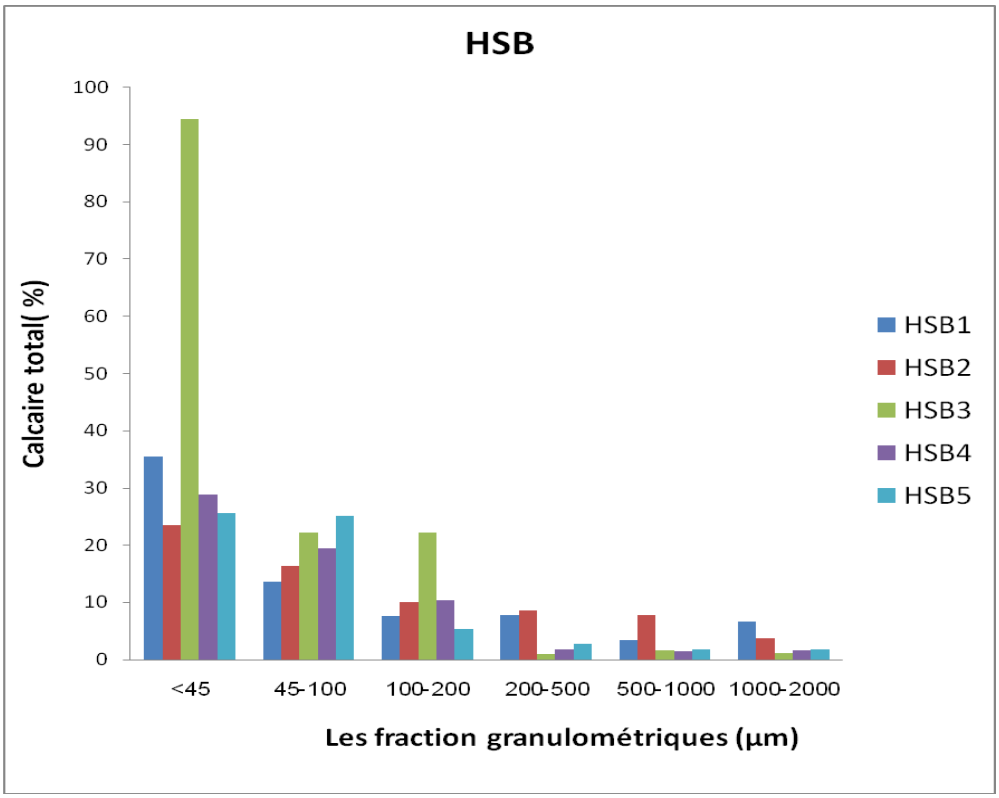

Figure 18: Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil HSB.

D'après les analyses, et selon le tableau1 (annexe III), le taux de calcaire est très élevé dans la fraction < 45µm avec un taux de 35,47 % dans HSB1, de 23,54 % dans HSB 2, de 94,48 % dans HSB 3, de 28,84% dans l'horizon HSB4, et de 25,59% dans l'horizon HSB 5. Pour les autres fractions, nous avons observés une faible teneur en calcaire total.

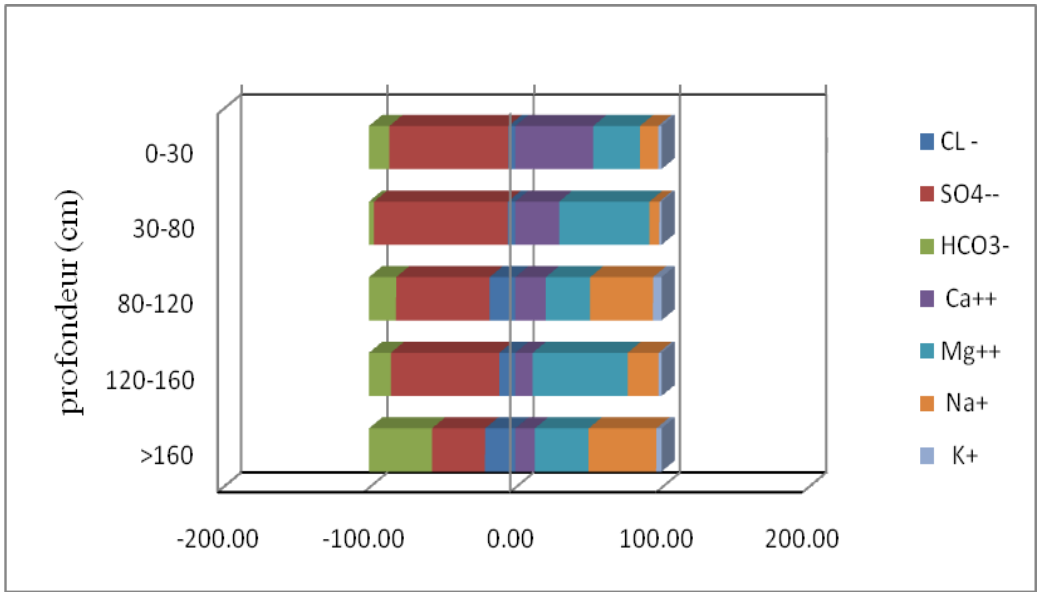

Figure 19: Le bilan ionique du profil HSB.

Pour le bilan ionique :

L'anion le plus dominant dans la solution du sol est le $SO4^{--}$, pour les horizons HSB1, HSB2, H

SB3 et HSB4 et au niveau de l'horizon HSB5 c'est le $HCO3^{-}$. Le cation le plus dominant est le Ca^{++} dans l'horizon HSB1, le Mg^{++} pour l'horizon HSB2 et HSB4 et pour les horizons HSB3 et HSB5 c'est le Na^{+} (Figure19).

Donc le faciès chimique est sulfaté calcique pour HSB1, sulfaté magnésique pour HSB2 SHB4, sulfaté sodique pour HSA3, et pour HSB5 est bicarbonatée sodique.

IV.3. Site N° 03 : Ouargla Ghardaïa

IV.3.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil I

Description morphologique

Localisation :

Coordonnée géographique :

Latitude : 31 ° 56'38.91 " N

Longitude : 5 ° 15'39.96 " E

Altitude : 461m

Topographie : plane

État de surface : reg graveleux

Végétation: pas de végétation

Temps : ensoleillé.

Date: 26/01/2019

ORA 1 : 0 -70 cm

Horizon à texture sableuse, à structure particulaire, sec, peu dur, de couleur 5 YR 6/8 (reddish yellow). L'horizon est effervescent à l'HCl. Présence des calcaires sous forme de distribution diffuse en bas de l'horizon, Limite régulière, transition distincte.

ORA 2 : > 70 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, dure, de couleur ; 5 YR 5/8 (yellowish red). L'horizon présente une faible effervescence à l'HCl.

Photo 5 : Profil ORA

IV.3.1.2. Données analytiques

Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe ORQ sont présentés dans les tableaux 10 et 11.

Tableau 10 : Résultats des analyses granulométriques du profil ORA

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie en %					
			Sable fin		Sable grossier		
		Fraction <45µm	45 -100µm	100-200µm	200-500µm	500-1000µm	1000-2000µm
ORA1	0-70	15,5	2,28	11,44	66,64	2,75	0,85
ORA 2	>70	7,85	5,37	17,36	66,97	1,62	0,83

Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques du profil ORA

Ech.	Prof. (cm)	pH	CE (dS/m à 25°C)	Calcaire totale %	Gypse %	MO %
ORA1	0-70	7,05	20,30	1.09	24,24	1,14
ORA 2	>70	7,52	2,63	1.01	35,75	1,98

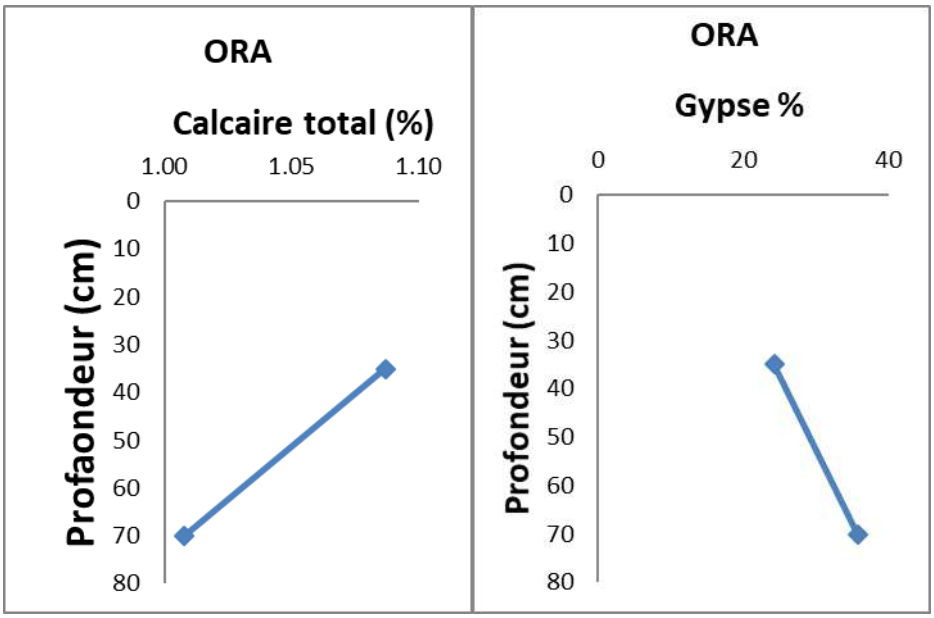

Figure 20: **profils calcaire et gypseux du profil ORA.**

IV.3.1.3. Interprétation

Ce profil est caractérisé par une forme de distribution diffuse du calcaire. L'analyse granulométrique de ce profil (Tableau 10) montre que la fraction dominante est le sable grossier.

A travers les résultats obtenus, on remarque que, le pH varie entre 7,05 et 7,52. Selon le tableau 1 (Annexe I), le pH est donc neutre à légèrement alcalin.

Alors que les résultats de la CE de ce profil varient de 2,63 dS/m au niveau de l'horizon ORA 2 et 20,30 au niveau de l'horizon ORA 1, où le sol est extrêmement salé dS/m Selon le tableau 2 (annexe I).

En ce qui concerne le taux de calcaire total dans ce profil, il varie entre 1.01 et 1.09% signifiant que ce sol est peu calcaire, selon le tableau 3 (annexe I).

Les résultats obtenus après dosage du gypse, montrent une teneur variable entre 24.24 et 35.75 % où le sol est extrêmement gypseux, selon le tableau 4 (annexe I).

Pour la matière organique, le profil étudié à des valeurs variant entre et 1,14 et 1,98 %. Selon le tableau 5 (annexe I) c'est un sol faible en matière organique.

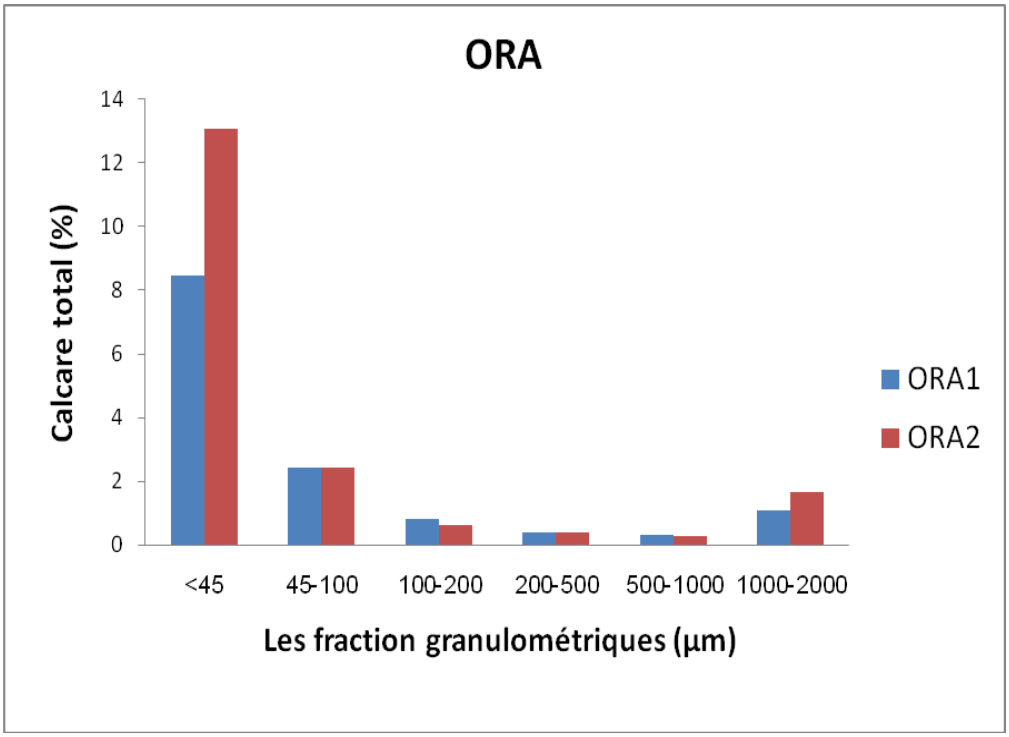

Figure 21: **Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil ORA**

D'après les analyses, et selon le tableau 1 (annexe III), le taux de calcaire est plus élevé dans la fraction < 45µm avec 8,46% dans l'horizon ORA 1 et 13,08% dans l'horizon ORA 2. Pour les autres fractions, nous avons observés une faible teneur en calcaire total.

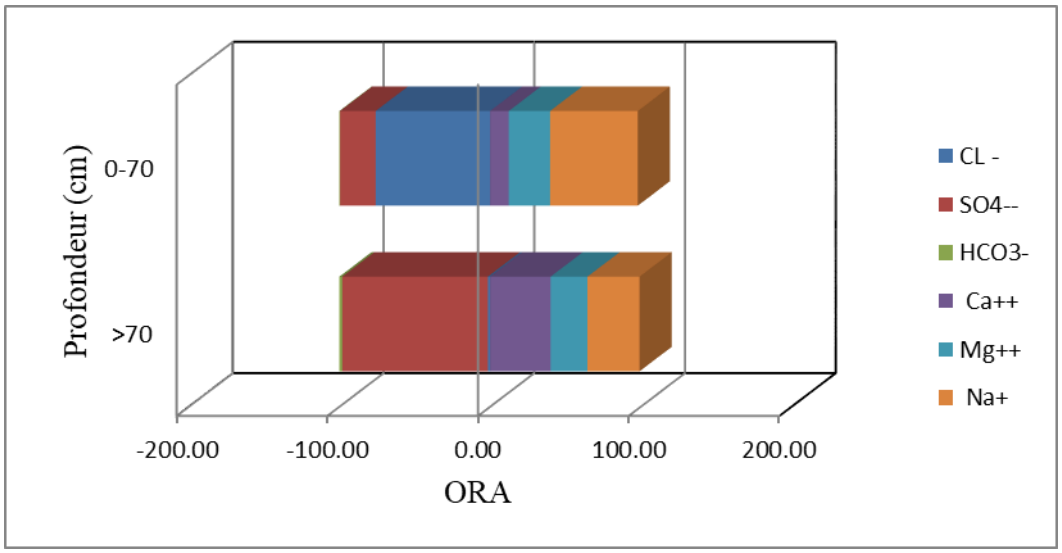

Figure 22: **Le bilan ionique du profil ORA**

Pour le bilan ionique:

L'anion le plus dominant dans la solution du sol est le Cl^- présent dans l'horizon ORA1 et au niveau de l'horizon ORA2 c'est SO_4^{--}. Le cation le plus dominant est le Na^+ dans tous les horizons (Figure 22).

Donc le faciès chimique est chloruré sodique pour ORA 1 et sulfaté sodique pour ORA 2.

IV.3.2. Caractérisation morphologique et analytique du la profil ORB

IV.3.2.1. Description morphologique

Localisation : à droite de la route menant d'Ouargla à Ghardaïa

Coordonnée géographique :

Latitude : 31°53'45'' N

Longitude : 5°9'1'' E

Altitude : 250 m

Topographie : plane.

État de surface: reg graveleux

Végétation: pas d'végétation

Temps : ensoleillé

Date: 09/02/2019

ORB 1 : 0 -36 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, friable, de couleur ; 7.5 YR 8/2 (pinkish white). L'horizon est effervescent à l'HCl. Limite régulière, transition nette.

ORB 2 : 36 - 59 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, à structure particulaire, sec, peu dur, de couleur ; 7.5 YR 8/3 (Pink). L'horizon présente une forte effervescence à l'HCl. Limite régulière, transition nette.

ORB 3 : >59 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, de structure particulaire, sec, dur, de couleur; 7.5 YR 8/2 (pinkish white). L'horizon présente une très forte effervescence à l'HCl. Existence de dalle calcaire très effervescente à l'HCl de couleur blanchâtre.

Photo 6 : Profil ORB

IV.3.2.2. Données analytiques

Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de profil ORB sont présentés dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12 : Résultats des analyses granulométriques du profil ORB

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie (diamètre en µm)					
			Sable fin		Sable grossier		
		Fraction <45µm	45 -100µm	100-200µm	200-500µm	500-1000µm	1000-2000µm
ORB1	**0 -36**	38,18	11,25	9,97	26,09	8,8	5,71
ORB 2	**36 - 59**	37,09	10,27	13,02	23,92	8,6	7,1
ORB 3	**>59**	27,7	15,8	9,69	29,54	10,33	6,94

Tableau 13: Résultats des analyses physico-chimiques de profil ORB

Ech.	Prof. (cm)	pH	CE (dS/m à 25°C)	Calcaire totale %	Gypse %	MO %
ORB 1	**0 -36**	7,46	2,61	6,76	19,32	0,19
ORB 2	**36 - 59**	7,64	2,62	6,42	6,63	0,26
ORB 3	**>59**	7,42	2,84	13,35	7,10	0,37

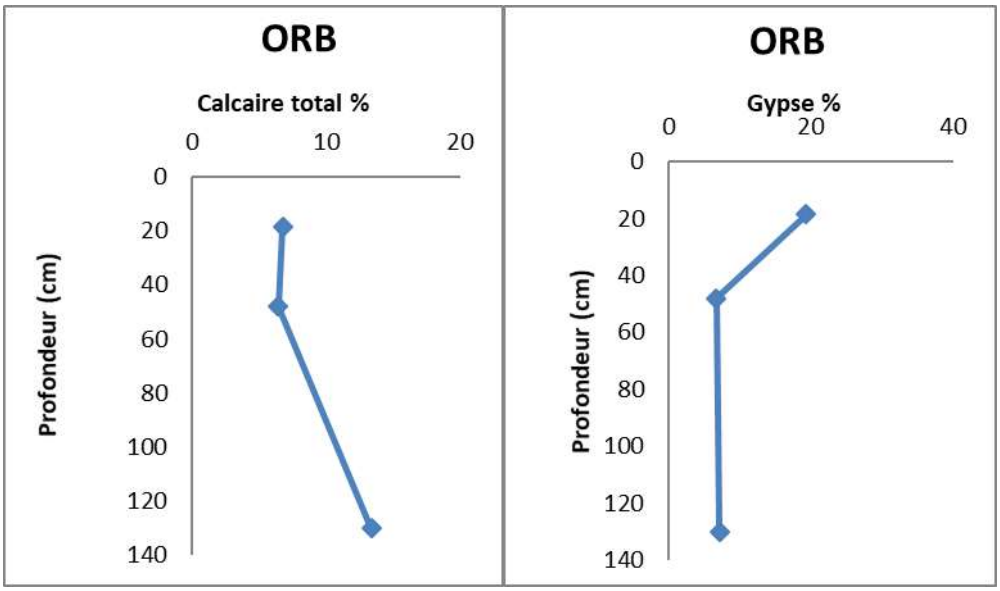

Figure 23: profils calcaire et gypseux du profil ORB

IV.3.2.3. Interprétation

Les résultats d'analyses granulométriques (tableau 12) et de description morphologique montrent que la texture est sablo-limoneuse avec la dominance de la fraction sable grossier.

A partir du tableau de l'échelle d'interprétation de pH (Tableau 1, annexe I), les horizons de ce profil sont légèrement alcalins avec des valeurs variant entre 7,42 et 7,54%.

D'après le tableau de l'échelle de la CE, et les résultats du tableau 13, les valeurs de la conductivité électrique de ce profil montrent que le sol est très salé.

Concernant le taux de calcaire, les résultats d'analyses obtenues de ce profil montrent que les valeurs varient entre 6,42 et 13,35 %, ce sont donc, des sols modérément calcaires (Tableau 3, annexe I),

Les résultats obtenus pour le taux de gypse permettent de classer les horizons ORB 2 et ORB 3 comme légèrement gypseux avec 6,63 et 7,10% et l'horizon ORB 1 comme extrêmement gypseux avec 19,32 % (Tableau 4, annexe I).

A partir du taux de la matière organique de ce profil, les valeurs sont très faible pour tous les horizons qui varient entre 0,19 et 0,37 %, selon le (tableau 5, annexe I).

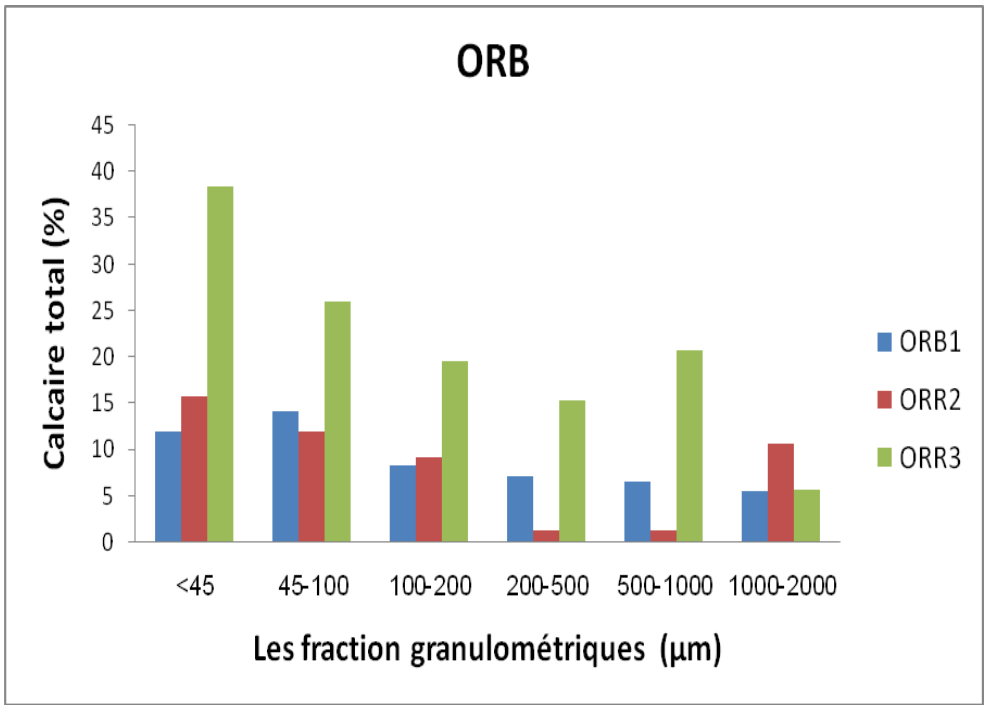

Figure 24: Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil ORB

D'après les analyses, et selon le tableau 1 (annexe I), le taux de calcaire est plus élevé dans la fraction < 45µm avec un taux de 15,77 % dans l'horizon ORB 2 et de 38,46 % dans l'horizon ORB 3. Pour la fraction 45-100 µm, elle est plus dominante dans l'horizon ORB 1, avec une teneur de 14,3%. Pour les autres fractions, nous avons observés que la teneur de calcaire total est variable.

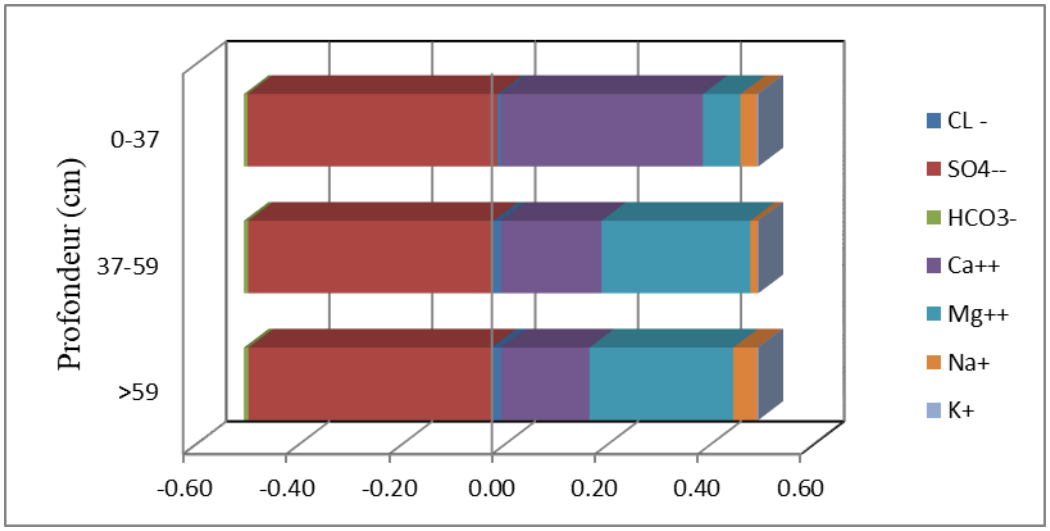

Figure 25: Le bilan ionique du profil OKC.

Pour le bilan ionique :

L'anion le plus dominant dans la solution du sol est le $SO4^{--}$ présent dans tous les horizons, tandis que le cation le plus dominant est le Ca^{++} dans l'horizon ORB 1 et le Mg^{++} présent au niveau de l'horizon ORB 2 et ORB3 (Figure 25).

Donc, le faciès chimique est sulfaté calcique pour ORB 1 et sulfaté magnésique pour ORB 2 et ORB 3.

Chapitre V

Discussion

Chapitre V: Discussion

V.1. Les analyses physiques, physico-chimiques et chimiques

A. Les deux profils de Sidi Khouiled : SKA et SKB

La texture des deux profils est sableuse à sablo-limoneuse, la teneur en matière organique est faible dans le profil SKA alors que pour le profil SKB, elle est très faible. Pour le gypse les résultats montrent que les deux profils sont légèrement gypseux et modérément à extrêmement gypseux pour l'horizon SKB. Le pH est légèrement à moyennement alcalin, c'est un sol très salé à extrêmement salé. Le faciès chimique est entre sulfaté sodique, sulfaté calcique, et chloruré sodique pour SKA et entre sulfaté sodique et chloruré sodique pour SKB. La teneur relativement élevée du calcaire total, provient des formes d'accumulations calcaires qui existent dans les deux profils à savoir les nodules (dans les deux profils), manchons calcaires et encroutement calcaire dans le profil SKA, et du calcaire sous forme diffuse dans le profil SKB.

B. Les deux profils de Hassi Ben Abdallah : HSA et HSB

D'après les résultats obtenus, les deux coupes présentent une texture sableuse à sablo-limoneuse, avec une faible à très faible teneur en matière organique. Pour le gypse les résultats montrent que ces profils sont légèrement à extrêmement gypseux. Le pH est neutre sauf pour l'horizon HSA5 qui est légèrement alcalin. Ils sont peu salés à très salés. Le faciès chimique est entre sulfaté magnésique et sulfaté calcique pour HSA et entre sulfaté calcique, sulfaté magnésique et bicarbonaté sodique pour HSB. Les formes d'accumulation du calcaire qui existent dans les deux profils sont la cause des taux de calcaire élevés ; cailloux de nature calcaire et gravier cimenté par du calcaire.

C. Les deux profils ORA et ORB

Les deux profils présentent une texture sableuse à sablo-limoneuse, une faible teneur en matière organique dans le profil ORA et faible à très faible dans le deuxième profil. Pour le gypse, les résultats montrent que les deux profils sont légèrement à extrêmement gypseux, avec un pH neutre à légèrement alcalin. Le sol est très salé à extrêmement salé. Le faciès chimique est entre chloruré sodique et sulfaté sodique pour ORA et entre sulfaté calcique et

sulfaté magnésique pour ORB. Le taux de calcaire dans les deux profils est dû à l'existence d'encroutement et de croûtes calcaires.

V.2. Distribution du calcaire total dans les différentes fractions du sol

A partir des résultats obtenus, nous avons remarqués que la teneur du calcaire total se trouve dans les fractions granulométriques inférieur à 45µm pour la plupart des horizons.

Selon Baize (2000), il existe des sols où les sables calcaires dominent et d'autres où le calcaire se situe principalement dans les fractions limoneuses les plus fines, ce qui est peut-être le cas des sols étudiés. Ceci est confirmé par les résultats de Khikhi et Hamdi-Aïssa (2018), qui ont eux aussi trouvés que le calcaire dominent dans la fraction limon et argile (<50 µm).

V.3. Origine des différentes formes du calcaire

V.3.1. Les nodules calcaires

La formation des nodules est souvent liée à un fonctionnement pédogénétique (décarbonatation, hydromorphie de type rédoxique …), mais certains nodules sont parfois seulement des résidus de très vieilles pédogénèses à une échelle de temps géologique et sont alors plus à interpréter comme des éléments grossiers hérités d'une histoire complexe que comme des signes d'un fonctionnement actuel (Baize et Jabiol, 2011).

Les nodules calcaires ont été observés au niveau des horizons suivants SKA1 et 2, SKB2 et 3 et HSB1.

Selon Dutil (1971), ces formes sont héritées de périodes plus humides. Rognon et *al.*, (1987), attribuent l'origine des nodules calcaires à l'évaporation des eaux météoriques après percolation du sol.

Ces formes nodulaires ont été expliquées par Hamdi-Aïssa (2001), comme étant le résultat de l'alternance de phases d'érosion éolienne et hydrique qui provoque l'enfouissement de ces nodules dans le matériau sableux. Youcef (2006), attribue aussi ces formes à une succession entre des conditions humides et arides.

V.3.2. Forme diffuse

Cette forme d'accumulation existe dans les deux profils SKB1 et ORA1 et 2 dans lesquels nous avons remarqué une forte effervescence à l'HCl.

Selon Dutil (1971), les quantités de précipitations actuelles sont encore relativement faibles pour expliquer le phénomène de l'accumulation diffuse du calcaire.

L'accumulation du calcaire commence toujours par une accumulation diffuse et par des pseudo-mycéliums (Ruellan, 1984).

Donc nous pouvons attribués le calcaire dans ce cas tout d'abord à une origine éolienne, puis il y avait de fortes précipitations qui ont permis son enfouissement dans le sol.

V.3.3 L'encroûtement calcaire

D'après Ben Dhia (1985), la formation des encroutements calcaires provient de la solubilition des massifs calcaires et de leur transport par les eaux de pluie, la solubilité augmente quand la température diminue et l'eau chargée de gaz carbonique pour produit l'H_2CO_3.

L'encroûtement calcaire a été observé au niveau de SKA4, SKB4 et OKC2.

Certains auteurs expliquent cette forme d'accumulation par une origine lacustre. Ce qui rappel le travail de Youcef (2006), qui a admet que l'encroutement observé dans l'un des sites étudiés dans la région de Ouargla peut être expliqué par une origine lacustre et il s'est déposé après la diminution du niveau de la nappe. Cependant, dans notre cas il s'agit probablement d'une accumulation qui s'est produite après une période humide permettant la solubilisation du calcaire puis sa précipitation et son accumulation en profondeur quand le climat devient aride, donc pas d'assez d'humidité pour évacuer le calcaire hors du profil. Ceci est confirmé par Djili et *al*. (1999), qui admettent que le calcaire dans les régions arides est hérité de période humide.

V.3.4. Les croutes calcaires

Cette forme d'accumulation calcaire existe dans le profil ORB, son origine remonte à une période plus humide que l'actuelle ceci est démontré par Durand (1959) qui dit, que la croute zonaire est formée par la sédimentation au cours du ruissellement en nappe des eaux chargées de carbonate de chaux, et une température extérieur suffisante pour favoriser l'altération du sol. La formation de croute calcaire zonaire correspond à un changement climatique.

V.4. Synthèse sur les accumulations du calcaire au niveau des sols des régions arides

Dans cette partie, nous avons essayé de prendre des exemples de travaux (Tableau 1 Annexe V) qui ont eu comme objectif l'étude des accumulations calcaires dans des régions sahariennes. Cette partie vise à faire une synthèse des différentes accumulations calcaires au niveau des sols des régions sahariennes. Pour se faire, nos résultats ont été combinés aux résultats des autres auteurs. Les profils pris en considération sont au nombre de 25 (Nos 6 profils+19 profils des autres auteurs).

V.4.1. Distribution du taux de calcaire dans les différents horizons

La figure 26 montre la moyenne des taux de calcaire pour les horizons de surface (H1), de sub-surface (H2) et de profondeur (le reste des horizons) (Hp) pour les différents profils de sol.

Nous observons à partir de la figure 26 que la moyenne du taux de calcaire pour les horizons pris en considération présente un taux plus élevée dans les horizons de profondeur par rapport aux horizons de surface et de sub-surface.

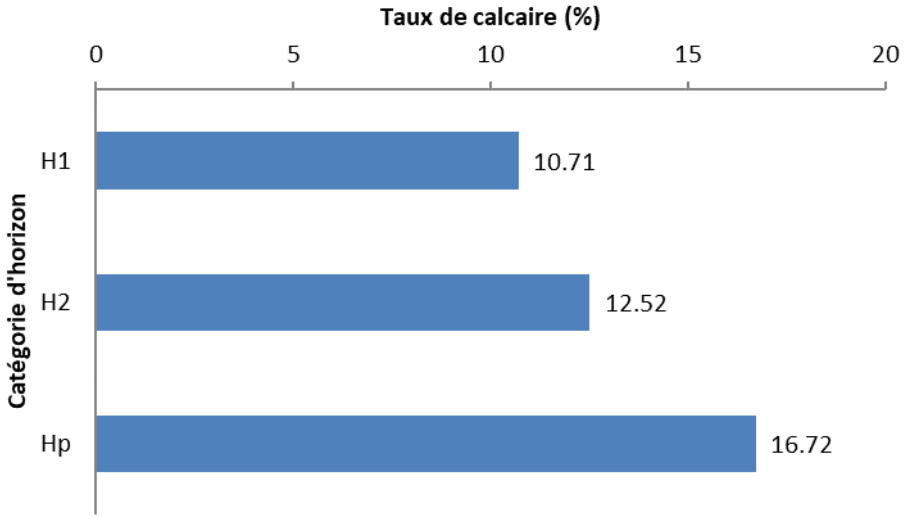

Figure 26: Moyenne des taux de calcaire dans les horizons de surface, de sub-surface et de profondeur.

V.4.2. Moyenne du taux de calcaire dans les horizons contenant les différentes formes d'accumulation

La figure 27, montre la moyenne du taux de calcaire dans les horizons contenant les différentes formes d'accumulation**.**

Nous observons que la moyenne des taux de calcaire la plus élevée existe au niveau des horizons représentés par des croûtes calcaires, ensuite nous trouvons les encroutements, puis les amas calcaires, et enfin les nodules et la distribution diffuse.

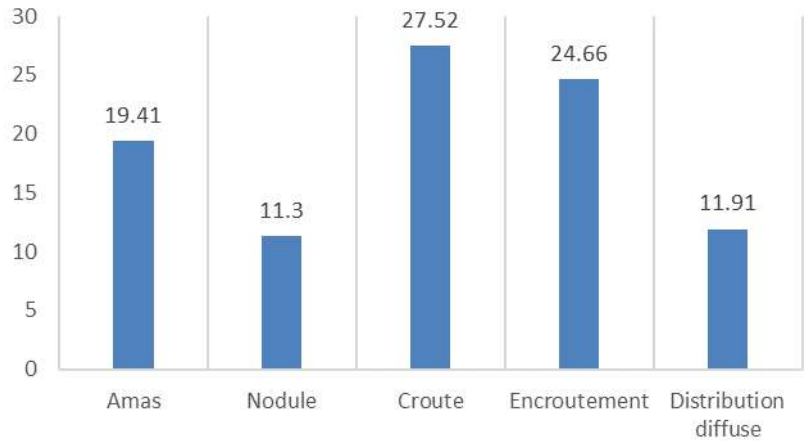

Figure 27 : Taux du calcaire dans les horizons contenant les différentes formes d'accumulation.

V.4.3. La fréquence des différentes formes dans tous les profils

La figure 28, montre la fréquence des différentes formes dans tous les profils. Nous pouvons constater à partir cette figure que les nodules représente la forme la plus fréquente dans les sols étudiés, par rapport aux autres formes d'accumulation.

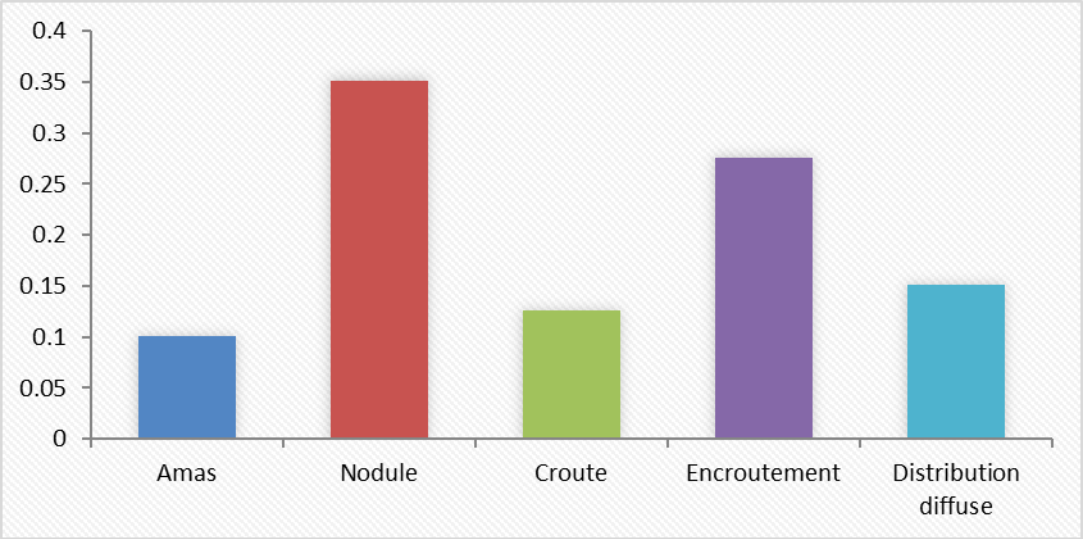

Figure 28: La fréquence des différentes formes dans tous les profils.

V.4.4. Les Formes d'accumulation en fonction des horizons

A. Horizons de surface

D'après la figure 29, on observe que la forme la plus répondues dans les horizons de surface est les nodules par rapport aux autres formes d'accumulation. Suivies par les amas et les croutes.

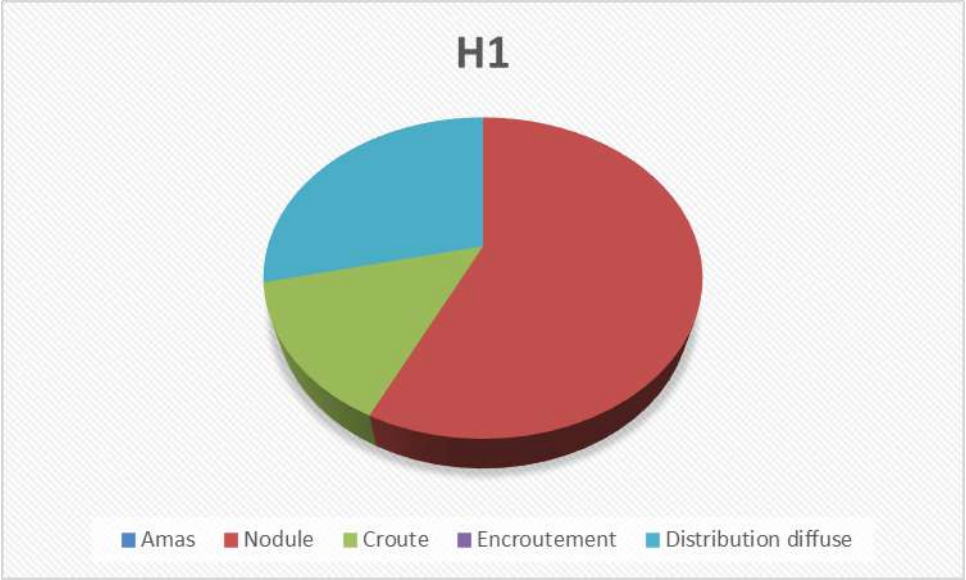

Figure 29: Fréquence des formes d'accumulation au niveau des horizons de surface.

B. Horizons de sub-surface

Dans ces horizons (figure30), la forme la plus présente c'est les nodules ensuite les encroutements (qui sont absentes totalement des horizons de surface) et enfin les autres formes.

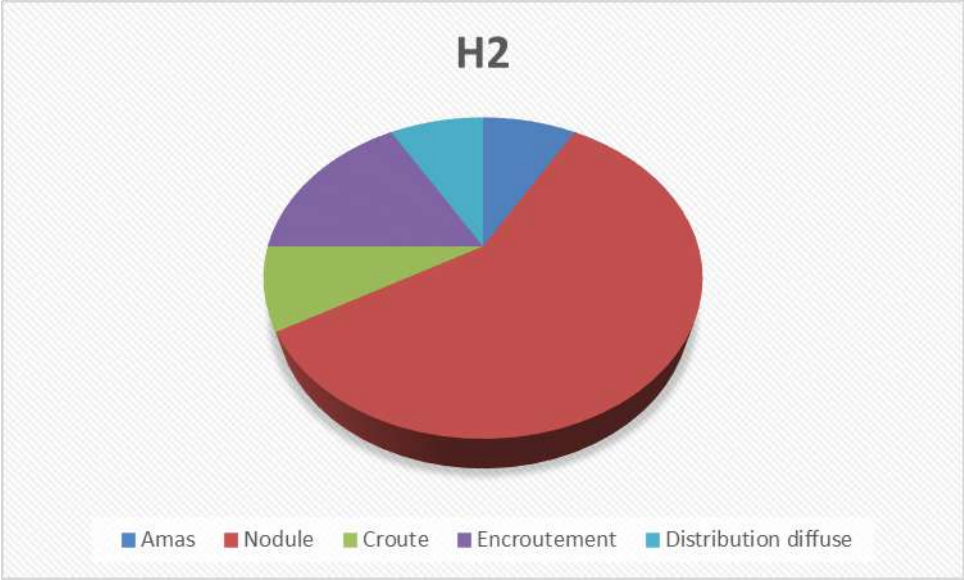

Figure 30: Fréquence des formes d'accumulation au niveau des horizons de sub-surface.

C. Horizons de profondeur

D'après la figure 31, c'est les encroutements qui sont plus fréquents au niveau des horizons de profondeur, ensuite on trouve les amas et enfin les croutes et la distribution diffuse.

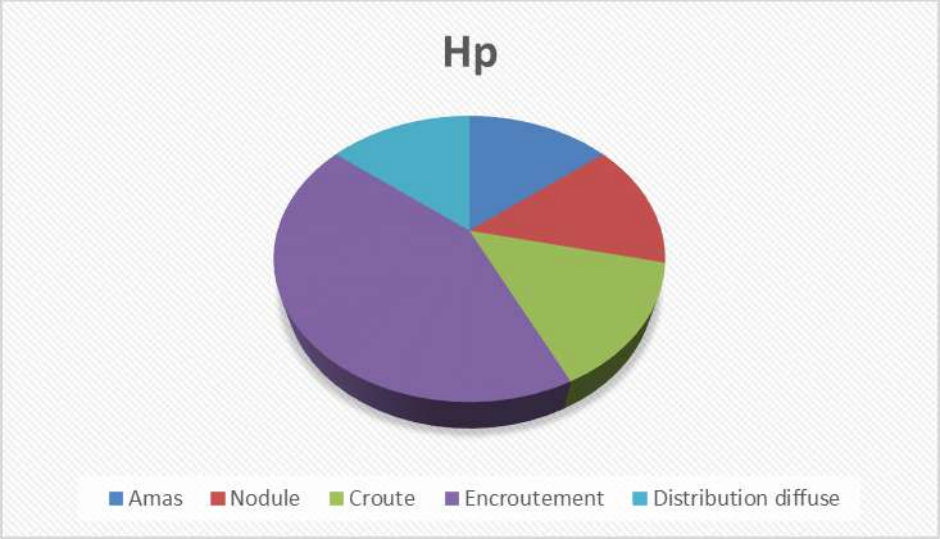

Figure 31: Fréquence des formes d'accumulation au niveau des horizons de profondeur

Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre travail était d'une part la contribution à la connaissance des sols de la région, et d'autres parts la caractérisation de quelques formes d'accumulation du calcaire dans le sol en vue de mieux comprendre les conditions de leur formation.

A travers les résultats des analyses physiques, physico-chimiques et chimiques dans les profils étudiés, nous avons conclus que :

- La texture des sols étudiés est entre sableuse à sablo-limoneuse dans les profils SKA, HSA, HSB, ORA, et sablo-limoneuse dans les profils SKB, ORB ;
- La plupart des profils sont légèrement à moyennement alcalins (pH entre : 7,07 et 8,14) ;
- Les profils SKA, SKB, ORA, ORB et HSA sont très salé à extrêmement salé, par contre le profil HSB est peu salé ;
- D'une manière générale, les faciès géochimiques sont entre, sulfaté-sodique, sulfaté-magnésique et chloruré-sodique ;
- La matière organique est très faible à faible pour tous les profils ;
- En général les profils étudiés sont classés comme légèrement à modérément gypseux, sauf pour SKB 1 qui est extrêmement gypseux ;
- Le calcaire total dans la plupart des profils est modérément élevé. L'étude de sa distribution dans les différentes fractions granulométriques indiquent qu'il est plus abondants dans la fraction <45µm (Argile+limon).

L'étude de nos profils combinée à d'autres travaux réalisés dans des régions sahariennes a montré que le calcaire est concentré surtout dans les horizons de profondeur. Les formes qui ont un taux plus élevé en calcaire total sont les croutes, tandis que c'est les nodules qui sont les plus fréquentes dans les sols de ces régions. Cette dernière forme représente la forme la plus fréquente dans les horizons de surface et de sub-surface, quant aux horizons de profondeur, on trouve que c'est les encroutements qui sont plus répandus.

L'étude morphologique nous a permis de révéler les formes d'accumulations de calcaire suivantes : les nodules calcaires, les distributions diffuses, l'encroûtement et la croûte.

L'origine du calcaire est soit une origine éolienne, ou de nappe riche en carbonate de calcium. Ces formes d'accumulation dans le Sahara indiquent une alternance entre des périodes humides et des périodes sèches.

Enfin notre travail qui est une contribution à l'étude des sols de la région et des différentes formes d'accumulation de calcaire, doit être complété par d'autres travaux pour mieux caractériser ces formes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A N R H. 2019. Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau. Ed. ANRH. Direction régional sud-Ouargla, pp 110.

A N R H. 2008. Note de synthèse piézometrique et hydrochimique relative à la remontée des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla.Ed. ANRH. Direction régional sud-Ouargla, pp 1-7.

Aubert G., Girard M C., 1978. Vocabulaire bilingue de l'environnement pédologique tropical, A.C.C.T, 81p.

Aubert, G. 1978. Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191p.

Aumassip, G, Dagorne, A, Estorges P, Lefevre-Witier, P, Mahrour, F, Nesson, C, Rouvillois- Brigol, M. &Trecolle G, 1972-Aperçus sur l'évolution du paysage quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla, Libyca. T XX,pp. 205-257

Baize D et Girard B., 1995 : Guide pour la description des sols. INRA. Paris, 375p.

Baize, D. & Jabiol, B. 1995. Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388p.

Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie .2éme édition. INRA, France. 257p.

Baize, D. & Jabiol, B. 2011. Guide pour la description des sols. Ed. Quæ, Versailles, 429 p.

Barzanji, A.F. 1973. Gypsiferours soils of Iraq.phd. Thesis.univ.Gent, 199 p.

Ben Dhia, M.H., 1983. Les tufs et encroutement calcaires en Tunisie et dans le monde. Bul., liaison laboratoire central des ponts et chaussées, pp. 1-10.

Blancaneaux, p Houmane. B et Gallali. T., 1987. Les différents faciès d'accumulation calcaire dans la région orientale de la péninsule du Cap-Bon (Tunisie septentrionale). Série O.R.S.T.O.M. Laboratoire de Pédologie. Vol XXIII n°4, pp 253-273.

Bonneau M .et Souchier B., 1979 : Constituants et propriétés du sol. Tome2, Paris. 455p.

Cheradid, S., 2013. Étude de quelques accumulations de gypse et de calcaire dans les sols du Sahara septentrional. Cas de Djamaa. Mém. D'ing. Université de Ouargla. 74p.

Coutinet., 1965. Agronomie tropicale I R A T C V paris pp 1242-1253

Cornet, A. 1961. Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger, 108p.

C.P.C.S., 1967. Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A, Paris. Grignon, 87 p.

Dajoz R.., 1971. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p

DeoShorta, J.C., 1979. Les encroûtements calcaires et les encroûtements gypseux en géotechnique routière. Bet. Labo, mécanique des sols, 105p.

Djili, K. & Daoud, Y. 1999. Distribution latérale et vertical de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu de la semainière nationale sur la salinisation des terres agricoles. C.R.S.T.R.A. Chélif le 1 et 2 Juin, n° 99, pp : 25-44.

Djili, B.2018. Contribution à l'étude des sols alluviaux des bassins du M'zab : Approche morpho-analytique, organisation spatiale et intérêt environnemental.

Djili, K. 2000. Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doc. INA,Alger, 243p.

Dubief, J.1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifique, Alger, pp : 26-103.

Dutil, P, 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara, Thèse doc, Université, Strasbourg. 346 p

Durand, J.H. 1959. Les sols rouges et les croûtes en Algérie. SES. Alger, 188 p.

Eliard, J.L. 1979. Manuel d'agriculture générale. Ed.J.B. Baillere. Paris, 344p.

Baize, D. & Jabiol, B. 1995. Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388p.

FAO. 1973. Food and agriculture organization. Drainage of salty soils. FAO Rome, 87p.

FAO. 2005. Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, 61 p.

Fedoroff, N. & Courty, M.A. 1989. Indicateurs pédologiques d'aridification : exemple du Sahara.Bul. Soc. Géol.Fr., 5, 43-53.

Fedoroff, N. & Courty, M.A. 1994. Organisation du sol aux échelles microscopiques. In : Pédologie : 2) Constituants et propriétés des sols (Ed. Duchaufour, P. & Souchier, B.), pp. 349-375. Masson, Paris.

Hamdi-Aissa, B. 2001.le fonctionnement actuel et passe des sols du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Approche micrmorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. PhD dissertation, Institut National Agronomique, Paris Grignon, 307 p.

Halitm, A. 1988. Les sols des régions arides d'Algérie. Ed, OUP, 361p.

Khadraoui, A. 2005. Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement. I.S.B.N.Alger,

Khikhi O. et Hamdi Aissa, B.2018. Contrubtion a l'etude de la distrubtion du gypse et du calcaire selon la granulométrie. cas de la région de Ouargla. Pp 5.

Lelievre R.F., 1969. Assainissement de la cuvette de Ouargla. Ministère des Travaux Publique et de la construction, rapports Géohydraulique n°2, 18p et n°3,

84p.

Legros, J.P.2007. Les grands sols du monde. Presses polytehniques et universitaires romandes. Espagne. 574 p.

Loz J et Mathieu C., 1990. Dictionnaire de science du sol. 2 eme édition.

Mathieu, C & Lozet, J.2002. Dictionnaire de sol.4eme Ed. Lavoisier, Paris, 575.

Lavoisier, 266 p.

Mathieu C et Pieltain F., 2003 : Analyse chimique des sols. Ed. Tec et doc. Lavoisier, Paris, 292 p.

Mathieu C. et Peitain F., 2009. *Analyse chimique des sols* : méthodes choisies .2ème édition. Edition Tec et Lavoisier. 317p

Morand. D.T., 2001. Soil landscape of the woodburn 1:100000 sheet. Department of land and water conservation, Sydney. pp 271-273

Naili. Fatima, 2017. Étude paléopédologique de quelques sols de la région de Touggourt (Sahara septentrional algérien)

ONM 2019. Données climatique de la région de Ouargla

Ozenda p., 1977. Flore du Sahara. 2 eme edition. CNRS. Paris, 622p.

Pelloux , P. Dabin, B. Fillmann, G & Gomez, P. 1971. Méthodes de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols. Service de sol, laboratoire de chimie.O.R.S.T.O.M.Paris, 117p.

Rognon, P& Miskovsky, J.C. 1987. Changements climatiques et pléoenvironnements. In : Géologie de la préhistoire : méthodes, techniques et applications. (Ed. Miskovsky, J.C.), pp. 89-99. Maison de la géologie, Paris.

Rouvilois-Brigol M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara algérien) variation et organisation. Pub. Univ. Sorbonne, Paris, 361p.

Ruellan A., 1967. individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts Quaternaires du Maroc Cah.O.R.S.T.O.M, sér pedol, Vol, n° 4, pp : 421-462

Ruellan, A. 1971. Les sols à profil calcaire différencient des plaines de basse-Moulouya (Maroc oriental), contribution à la connaissance des sols méditerranéens. Mémoire, ORSTOM, 54, 302p.

Ruellan A., 1976 : Morphologie et répartition des sols calcaires dans les régions

Ruellan, A. 1977. Morphologie et répartition des sols calcaires dans les régions méditerranéennes et désertiques. O.R.S.T.O.M, n° : 8617, Maroc, pp : 272-300.

Ruellan, A. 1984. Les horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire dans les sols du Maroc. Sér. ORSTOM. n° 16035, pp502-510.

Stewart P., 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Bull. soc. Hist. Nat. Agro. : 24 -25.

Soltner D, 2003. Les bases de la production végétale, Tome I, le sol, 17éme Ed. C.S.T.A. Angers. 468p.

Soltner, D. 2005. Les bases de production végétale. 24eEdition. Tome I, paris, 472 p.

Singer, A. 1995. The mineral composition of hot and cold desert soils. In; Arid ecosystems. Ed. Bume, H.P. & Berkowicz, S.M., Advences in geoecology, 28pp. 13-28. CATENA VERLAG, Cremlengen.

Vatan A., 1967 : Manuel de sédimentologie. Ed. tech. Paris, 327 p.

Vieillefon J., 1978. Note sur la description des horizons du profil pédologiquepage 2-4.

Vogt, t. 1984. Problèmes de genèse des croûtes calcaires quaternaires, Questions on the genesis of quaternary calcretes. Laboratoire de géographie physique en milieu tempère, université Louis-Pasteur, Strasbourg, pp : 210-220.

Youcef, F. 2006. Indicateurs paléo-écologiques dans les sols des basins endoréïques (Sebkha et Daya) du Sahara septentrional. Exemple des Sebkhas de Ouargla et Mellala et de Dayas d'El-Amied. Mém., Mag, univ Ouargla, 84.

Youcef., F .2016. Contribution à la reconstitution du paléoenvironnement au Sahara septentrional dans les sols des bassins endoréiques, ca de la région e Ouargla.

Annexes

Annexes

Annexe I : Echelle d'interprétation

Tableau 01 : Echelle d'interprétation de pH extrait 1/5 (Aubert, 1978)

Valeur du pH	Classe
<4.5	Extrêmement acide
4.5-5.0	Très fortement acide
5.1-5.5	Fortement acide
5.6-6.0	Moyennement acide
6.1-6.5	Légèrement acide
6.6-7.3	Neutre
7.4-7.8	Légèrement alcalin
7.9-8.4	Moyennement alcalin
8.5-9.0	Fortement alcalin
>9	Très fortement alcalin

Tableau 02 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978)

CE (dS/m) à 25°C	Degré de salinité
≤0.6	Sol non salé
0.6<CE<1.2	Sol peu salé
1.2<CE<2.4	Sol salé
2.4<CE<6	Sol très salé
CE≥6	Sol extrêmement salé

Tableau 03 : Echelle de calcaire totale (Baize, 2000)

$CaCo_3$	Horizon
≤1	Horizon non calcaire
1< $CaCo_3$ <5	Horizon peu calcaire
5<CaCo3<25	Horizon modérément calcaire
25<CaCo3<50	Horizon fortement calcaire
50<CaCo3<80	Horizon très calcaire
≥80	Horizon excessivement calcaire

Tableau 04 : Classe des sols gypseux (Barzanji, 1973)

Gypse %	Nom de classe
≤0.3	Non gypseux
0.3 – 10	légèrement gypseux
10-15	Modèrent gypseux
15-25	Extrêmement gypseux

Tableau 05 : L'échelle de MO % (Morand, 2001)

MO%	Nom de classe
0.5 à 1%	Très faible en MO
1 à 2%	Faible en MO
2 à 3%	Moyenne (ou modérée) en MO
3 à 5%	Elevée en MO
>à 5%	Très élevée en MO

Annexe II: Bilan ionique (unité de mesure meq/l)

Tableau 01 : Les résultats des analyses chimiques du profil SKA

Ech	prof (Cm)	Cl^-	$SO4^{--}$	$CO3^{--}$	HCO3-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
SKA1	0-17	30.98	67.96	00.00	1.06	24.55	23.20	50.60	1.65
SKA2	17-33	43.96	54.89	00.00	1.15	24.03	34.52	38.36	3.09
SKA3	33-75	37.84	60.80	00.00	1.36	35.48	30.12	32.34	2.07
SKA4	>75	66.82	31.05	00.00	2.13	9.06	26.29	61.41	3.25

Tableau 02 : Les résultats des analyses chimiques du profil SKB

Ech	prof (Cm)	Cl^-	$SO4^{--}$	$CO3^{--}$	HCO3-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
SKB1	0-31	38.06	60.21	00.00	1.73	15.58	27.53	46.73	10.17
SKB2	31-59	46.57	52.41	00.00	1.01	24.13	18.03	54.59	3.25
SKB3	59-79	62.43	35.80	00.00	1.78	9.12	28.21	59.29	3.38
SKB4	>79	70.12	29.10	00.00	0.79	19.80	10.10	66.70	3.40

Tableau 03 : Les résultats des analyses chimiques du profil HSA

Ech	prof (Cm)	Cl^-	$SO4^{--}$	$CO3^{--}$	HCO3-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
HSA1	0-50	1.86	94.09	00.00	4.05	43.14	52.22	3.79	0.86
HSA2	50-80	3.38	96.25	00.00	0.37	44.54	49.27	5.53	0.66
HSA3	80-135	3.61	94.25	00.00	2.14	47.41	44.78	7.18	0.63
HSA4	>135	5.56	91.75	00.00	2.69	75.89	6.91	16.55	0.65

Tableau 04 : Les résultats des analyses chimiques du profil HSB

Ech	prof (Cm)	Cl^-	$SO4^{--}$	$CO3^{--}$	HCO3-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
HSB1	0-30	4.57	81.42	00.00	14.01	53.33	31.95	12.40	2.32

HSB2	30-80	5.11	91.42	00.00	3.47	30.02	61.72	6.73	1.53
HSB3	80-120	17.51	63.92	00.00	18.57	20.89	30.29	43.00	5.82
HSB4	120-160	10.90	74.12	00.00	14.98	11.90	64.92	21.18	2.00
HSB5	>160	20.65	36.27	00.00	43.07	13.38	36.71	46.24	3.66

Tableau 05 : Les résultats des analyses chimiques du profil OKA

Ech	prf (Cm)	Cl^-	$SO4^{--}$	$CO3^{--}$	HCO3-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
OKA1	0-70	75.90	23.62	00.00	0.48	12.39	27.40	58.25	1.95
OKA2	>70	1.43	96.62	00.00	1.95	40.18	24.46	34.60	0.77

Tableau 06 : Les résultats des analyses chimiques du profil OKC

Ech	prof (Cm)	Cl^-	$SO4^{--}$	$CO3^{--}$	HCO3-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
ORB1	0-37	1.35	97.22	00.00	1.44	78.40	14.59	6.41	0.59
ORB2	37-59	3.14	95.18	00.00	1.69	38.98	57.82	2.96	0.23
ORB3	>130	3.87	94.30	00.00	1.83	34.27	55.90	9.39	0.45

Annexe III :

Tableau 1 : Distribution du calcaire total (%) dans les différentes fractions granulométriques (diamètre en µm)

		les différentes fractions					
horizon	profounder	<45	45-100	100-200	200-500	500-100	1000- 2000
SKH 1	0-17	52.37	25.49	8.32	7.98	7.98	8.72
SKH 2	17-33	54.1	12.14	6.94	6.07	5.38	9.79
SKH 3	33-75	58.7	20.65	7.83	5	6.3	6.38
SKH 4	>75	58.26	8.91	3.26	2.39	2.83	8.51
SKB 1	0-31	26.05	6.51	3.16	2.57	2.37	9.79
SKB 2	31-59	5.33	1.18	0.99	0.99	1.78	8.09
SKB 3	59-79	14.21	1.78	1.97	0.99	1.97	3.28

SKB 4	>79	30	4.74	6.32	4.34	4.54	3.49
HSA 1	0-50	27.63	17.17	11.25	9.28	8.49	7.02
HSA 2	50-80	22.11	3.36	2.37	2.57	1.78	2.94
HSA 3	80-135	4.34	0.8	0.69	0.69	0.8	0.17
HSA 4	>35	0.25	0.25	0.21	0.17	0.25	0.17
HSB 1	0-30	35.47	13.59	7.62	7.79	3.48	6.71
HSB 2	30-80	23.54	16.41	10.11	8.62	7.79	3.75
HSB 3	80-120	94.48	22.21	22.21	0.99	1.66	1.11
HSB 4	120-160	28.84	19.39	10.44	1.82	1.49	1.62
HSB 5	>160	25.59	25.17	5.41	2.73	1.8	1.86
ORA 1	0-70	8.46	2.42	0.81	0.38	0.31	1.07
ORA 2	>70	13.08	2.42	0.62	0.38	0.27	1.65
ORB 1	0-37	11.92	14.23	8.27	7.12	6.54	5.53
ORB 2	37-59	15.77	11.92	9.23	1.35	1.35	10.66
ORB 3	>59	38.46	25.96	19.62	15.38	20.77	5.77

Annexe IV :

Tableau : Taux de calcaire et type d'accumulations calcaires au niveau de quelques profils de sols des régions sahariennes

Auteur	Région	Profil	Localisation Geographique	Prof. (cm)	$CaCO_3$ %	Forme D'accumulation
Dutil,1971	Ghardaia (Plateau du m'zab)	s.939	Long: 1°94' Lat: 36°3'25'' A: 425 m	25	9	Cailloux isolée de croûte calcaire remaniée
				50	8.9	Cailloux de croûtecalcaire
				110	31.8	Encroûtement calcaro-gypseux
	Ghardaia (Tadmait)	SA.58	Long: 2°34'30'' Lat: 29°20'27'' Alt: 585m	2	11.8	Couche laméllaire continue
				10	13.6	
				35	27.2	Cailloux calcaires devenant très nombreux avant passage à la roche calcaire
	Ouargla (Rouissat)	S.A.25 4		7	4.2	
				50	1.2	
				100	21.3	Encroûtement calcairediscontinu
				150	38	Nodule d'Encroûtement calcaire
Hamdi-Aissa (2001)	Ouargla Le plateau (Hamada Pliocène)	RG		5	4.31	gravier de grèscalcaire
				35	43.53	croûtecalcairetrèsdure
				60	35.34	encroûtementcalcairenodulaire
				110	4.05	/
Youcef (2016)	Ouargla (Sidi khouiled)	CSA	Long: 31°57'56.33"N Lat: 5°25'6.73"E	40	6.5	Forme diffuse
				75	3.4	Nodule calcaire

				101	27	Amascalcaire
	Ouargla (Hassi Ben Abdellah)	CHB	Long:32° 0'26.41"N Lat: 5°27'53.96"E	40	5.14	nodules calcaires.
				48	14.07	nodules calcaires
				>48	15.21	encroûtementnodulaire
	Ouargla (Sidi khouiled)	CHA	Long: 32° 0'4.21"N Lat:5°27'1.52"E	35	13	nodules calcaires
				87	2.8	nodules calcaires
				>87	23	Amascalcaire
	Ouargla (Sidi khouiled)	CSB	Long: 31°57'54.56"N Lat: 5°24'59.18"E	11	36	Croûte calcaire
				> 11	0,5	/
	à droite de la route El-Goléa-Ouargla	CSL	Long: 31°56'29.80"N Lat: 5°16'7.93"E	0-61	4,47	/
				61-73	60,96	encroûtement calcaire
				73-80	50,59	encroûtement calcaire
				80-89,5	40,70	/
				89.5-119.5	2,9	/
				> 119.5	17,08	/
	à droite de la route qui mène de Ouargla à Ghardaïa	CRG	Long:31°54'25.40"N Lat: 5° 7'3.11"E	0-44	28,93	/
				> 44	23,57	Croûte calcaire
	Ouargla (Hassi Ben Abdellah)	CHC	Long: 32° 1'49.61"N Lat: 5°28'44.91"E	0-22	7,5	/
				22-77	18	nodules calcaires
Naili, 2017	Touggourt (le nord-ouest de Blidet Amor)	BL2	Long: 32°58'45,37'' N Lat: 5°59'10,06'' E	0 – 12	36.10	diffuse
				12 – 20	1.06	/
				20 – 27	25.22	Encroutement

			Alt. : 86 m	>27	22.83	diffuse

Auteur	Rrégion	Profil	Cordonnés géographique	Profond (Cm)	$Caco_3$ %	Forme d'accumulation de calcaire
CHERADID Soumia 2013	Djamaa ; Ain Choucha	HAC	LA:33°21'25.1"N LO:005°58'37.5"E AL:55m	14	11.04	Quelque nodule de taille moyenne
				47	14.12	
				119	21.16	Croute calcaire
	Djamaa ; daya de M'Rara	HRR	LA:33°28'44.21"N LO:005°41'29.94" E AL:110m	10	20.01	Forme grossière graveleuse de nature calcaire
				60	15.23	Amas et nodule calcaire
				>60	13.80	Encroutement calcaire
		HRA	LA:33°29'47.12"N LO:005°3'39.61"E AL:132m	36	9.70	Forme grossier sédimentaire de nature calcaire, nodule calcaire
				48	5.52	
				62	12.42	Nodules et amas calcaire
				98	5.98	
DJILI Brahim 2018	Bassin de Zegrir; région de Bellil (Hassi R'Mel, Wilaya de Laghouat)	ZGS1	LO:33°26'52"N LA:3°2'56"E AL:844 m	12/15	8.12	
				70	12.19	Taches blanche (précipitation de la calcite)
				>70	31.23	cailloux, graviers et pierres, de nature dolomitique, calcaire ou siliceuse
	commune de Hassi Dellaa (wilaya de Laghouat)	ZGS 2-1	LO:33°21'54"N LA:3°31'1"E AL:764 m	15	8.88	
				60	11.51	taches blanches (précipitation de la calcite)
				>60	32.88	cailloux, graviers et pierres, de nature dolomitique, calcaire ou siliceuse)

	commune de Hassi Dellaa (wilaya de Laghouat)	ZGS 2-2	LO:33°21'54"N LA:3°31'1"E AL:764 m	10	11.3O	
				70	17.81	taches blanches (précipitation de la calcite)
				120	13.97	Taches blanches et pseudo-mycélium (précipitation de la calcite)
				140	8.49	
	Daya d'El-Amied,Guerrara (wilaya de Ghardaïa)	ZGS 6-2 (AZ-18)	LA:32°46'24"N LO: 4°32'15"E AL: 294 m	38	2.05	
				100	8.25	Calcaire en psodomycelium
				125	1.90	

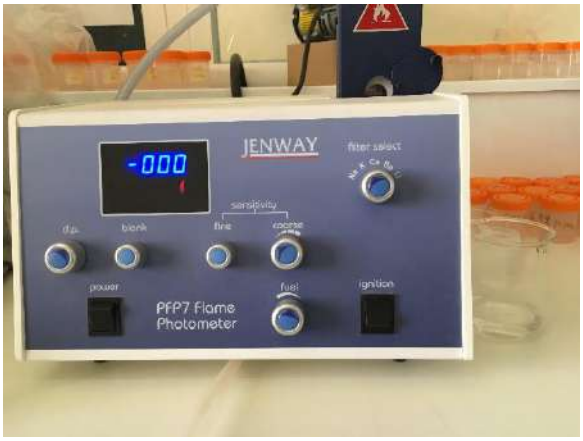

Photo : Spectrophotomètre a flame

Photo : charte Munsell

Photo : Dosage de la matière organique

Photo : Analyse granulométrique par voie humide

Photo : Dosage du calcaire totale

Photo : Dosage du gypse

Observation sou la loupe binoculaire :

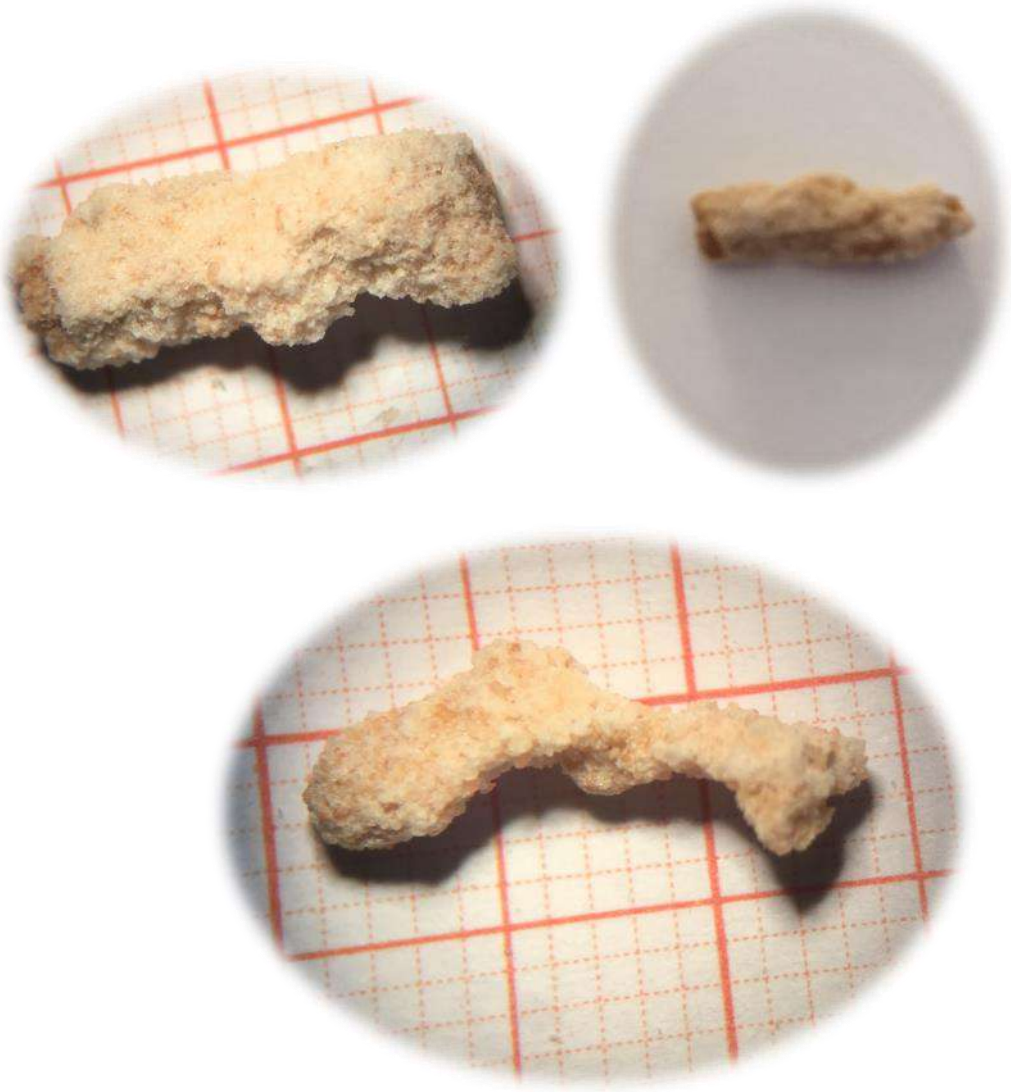

Photo : manchons calcaires Observé au niveau de profil SKA

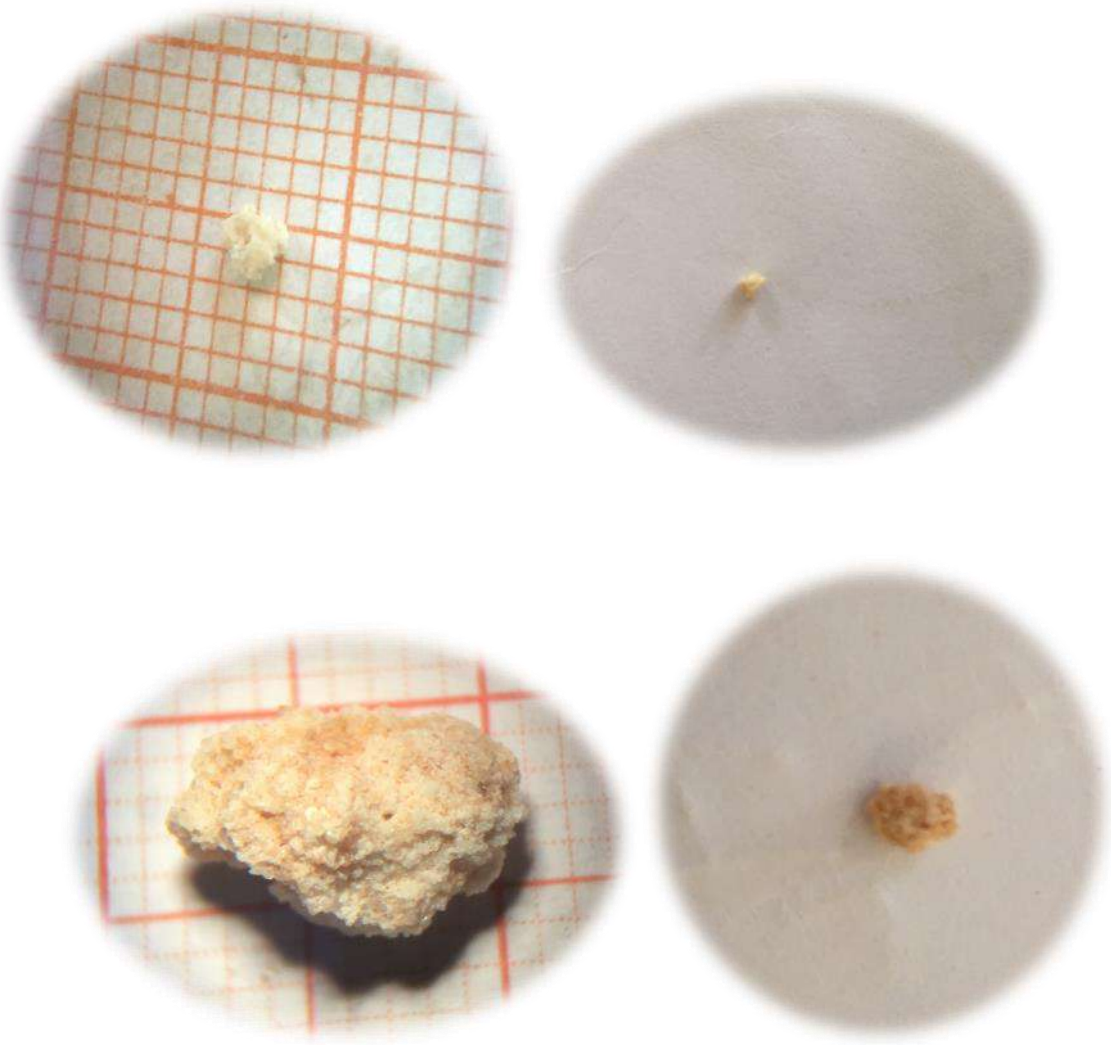

Photo : Nodule calcaire

Résumé

Ce travail a porté suruneétude de quelques formes d'accumulation du calcaire dans le sol afin de mieux comprendre leur origine.

Le choix des sites, la description morphologique et l'échantillonnage ont été effectués suite à une étude préliminaire sur le terrain. Au laboratoire, des analyses physiques, chimiques et physico-chimiques ont été réalisées pour caractériser les profils étudiés.

D'après les résultats obtenus, les profils étudiés ont une texture sableuse, une structure particulaire, une teneur relativement élevée en calcaire totale, ils sont légèrement à moyennement alcalin, très salé à extrêmement salé avec un faciès géochimiques sulfaté sodique à sulfaté calcique dans la plupart des cas, une faible teneur en matière organique et sont légèrement à extrêmement gypseux.

Les formes d'accumulation de calcaire observées dans la région sont les suivantes : les nodules calcaires, les amas, les distributions diffuses, l'encroûtement et la croûte. L'existence de ces formes dans le Sahara indique une alternance entre des périodes humides et des périodes sèches.

Abstract

This work focused on a study of some forms of limestone accumulation in the soil to better understand their origin.

Site selection, morphological description and sampling were done following a preliminary field study. In the laboratory, physical, chemical and physicochemical analyzes were performed to characterize the studied profiles.

According to the obtained results, the studied profiles have a sandy texture, a particulate structure, a relatively high total limestone content, they are slightly to moderately alkaline, very salty to extremely salty with a sulfated sodium to sulfated calcium geochemical facies. Most horizons have low organic matter content and are slightly, to extremely gypsic.

The forms of limestone accumulation observed in the region are as follows: calcareous nodules, clusters, diffuse distributions, encrustation and crust. The existence of these forms in the Sahara indicates an alternation between wet periods and dry periods.

Keywords: Northern Sahara; Ouargla, calcareous soils; limestone accumulation

ملخص

ركز هذا العمل على دراسة بعض أشكال تراكم الجير في التربة لفهم أصلها بشكل أفضل. تم اختيار الموقع والوصف المورفولوجي وأخذ العينات بعد دراسة ميدانية أولية. في المختبر, أجريت التحليلات الفيزيائية والكيميائية والفيزيو-كيميائية لتوصيف المقاطع التي تمت دراستها

وفقًا للنتائج التي تم الحصول عليها، تحتوي المقاطع المدروسة على ملمس رملي، ومحتوى إجمالي من الجير مرتفع نسبيًا، وهي قليلة إلى قلوية معتدلة، ومالحة الى مالحة جدًا مع وجود جزيئات كيميائية جيولوجية كبريت-صوديوم الى كبريت-كالسيوم. معظم الحالات تحتوي على نسبة منخفضة من المادة العضوية وتكون قليلة المحتوى من الجبس.

أشكال التراكمات الجيرية التي لوحظت في المنطقة هي كما يلي : العقيدات الجيرية ، التجمعات، التوزيعات المنتشرة و القشرة. يدل وجود هذه الأشكال في الصحراء على وجود تناوب بين الفترات الرطبة وفترات الجفاف.

الكلمات المفتاحية: الصحراء الشمالية؛ ورقلة ، التربة الجيرية ؛ تراكمات جيرية