

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS**

Département des Sciences Agronomique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'Obtention Du Diplôme D'Ingénieur d'Etat

Spécialité : Agronomie Saharienne

Option : Mise en valeur des sols Sahariens

THEME

*Etude de quelques formes d'accumulation
du calcaire dans les sols de la région de
Ouargla*

Présenté et soutenu publiquement par :

M^{lle} Hadja GADJA.

Le 12/07/2010.

Devant le jury :

Président :	HAMDI-AÏSSA B.	MC « A »
Promoteur :	YOUCEF F.	M A « A »
Examineur :	IDDER A.	M A « A »
Examineur :	DJILI B.	M A « A »

Année Universitaire : 2009/ 2010

Pour une véritable prise en charge du facteur environnement
comme composante de développement durable
(cas du pays de Ouargla)

Résumé :

Mots clefs :

."#\$ % !

: & ' (' '

)

For a real teaks in charge of the environment factor ase a
component of the sustainable development.
(situation of Ouargla’s area)

Summary :

Key words:



Dédicaces

Quoi de plus beau que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres qu'on aime.

Arrivé au terme de mes études j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

L'être le plus cher de ma vie ; ma mère.

Mon très cher père.


Mes frères, Mohamed Laid, Mabrok, Omar, Mohamed Othman, Mohamed Lamin et enfin Mohamed Larbi.

Mes sœurs, Fatima Zouhra et Safai.

Toute ma famille Gadja

Tous mes amis

GADJA HADJA



REMERCIEMENTS

Avant de présenter les résultats de ce modeste travail, qu'il me soit permis de remercier tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

Mes remerciements vont d'abord à mon encadreur M^{me} YOUCEF Fouzia, du département d'Agronomie. Pour l'encadrement qu'il a assuré, l'encouragement qu'ils me prodiguent et pour les conseils judicieux,

Les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire. Mes remerciements à Mr HAMDI-AISSA Belhadj pour avoir accepté de présider ce jury. Je remercie aussi Mr IDDER AbdElhak et Mr DJILI Brahim d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Je remercie les enseignants de notre département d'agronomie.

Je remercie toute l'équipe du laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques notamment M^{elle} Habiba responsable de laboratoire et aussi M^{elle} Masrouk Houria, du laboratoire de pédologie du département des sciences agronomiques, Mr, El-aych et au laboratoire de travaux publics du Sud (LTPS), Mr HAFSI, Mr Abase et M^{elle} Nabila.

Je n'oublier pas tout la promotion de 5^{eme} années agronomie Saharienne et protection surtout Ahmed F, Yacine L, Yamina T, Aroussia K, wassila H, Hafida B, Farida G...etc.

Je remercie mes amis, Hadda A, Mabarka A, Asma G, Imad B, Salah N, Younace H, Nadjet G, Aicha B et surtout Messaoud G, Rabia K et Aicha B.K,

Mes remerciements s'adresse aussi a toute ma famille GADJA, LIMAN et CHOVAIB, YACINE surtout Souad et aussi la famille TAIBI.

Liste des tableaux

Pages

Tableau 01	Classement des principaux sols sur substrat calcaire dans le RP	08
Tableau 02	La relation de RP avec la WRB (Baize et <i>al</i> , 2008)	09
Tableau 03	Données climatiques de la région de Ouargla (1999-2009)	28
Tableau 04	Les résultats des analyses granulométriques du profil HBC	37
Tableau 05	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil HBC	41
Tableau 06	Les résultats des analyses granulométriques du profil HIC	45
Tableau 07	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil HIC	49
Tableau 08	Les résultats des analyses granulométriques du profil SKC	54
Tableau 09	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil SKC	54
Tableau 10	Les résultats des analyses granulométriques du profil SAC	59
Tableau 11	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil SAC	60
Tableau 12	Les résultats des analyses granulométriques du profil GOC	65
Tableau 13	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil GOC	65
Tableau 14	Les résultats des analyses granulométriques du profil SL	68
Tableau 15	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil SL	69
Tableau 16	Les résultats des analyses granulométriques du profil KG	74
Tableau 17	Les résultats des analyses physico-chimiques du profil KG	75

Liste des figures

Pages

Figure 01	Localisation géographique de la région d'étude	22
Figure 02	Le deux système aquifère du Sahara le Complexe terminal et Continental intercalaire	24
Figure 03	Carte des pédopaysages de la région du Ouargla	28
Figure 04	Diagramme Ombrothermique de la station de Ouargla (période 1999-2009)	32
Figure 05	Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla	33
Figure 06	Profils gypseux calcaire de la coupe HBC	43
Figure 07	Le pH et CE (ds /m) du profil HBC	44
Figure 08	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil HBC	45
Figure 09	Les cations et les anions du profil HBC	46
Figure 10	Profils gypseux et calcaire de la coupe HIC	49
Figure 11	Le pH et CE (ds /m) du profil HIC	50
Figure 12	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil HIC	51
Figure 13	Les cations et les anions du profil HIC	52
Figure 14	Profils gypseux calcaire de la coupe SKC	55
Figure 15	Le pH et CE (ds /m) du profil SKC	56
Figure 16	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil SKC	57
Figure 17	Les cations et les anions du profil SKC	57
Figure 18	Profils gypseux calcaire de la coupe SAC	60
Figure 19	Le pH et CE (ds /m) du profil SAC	61
Figure 20	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil SAC	62
Figure 21	Les cations et les anions du profil SAC	62
Figure 22	Profils gypseux calcaire de la coupe GOC	
Figure 23	Le pH et CE (ds /m) du profil GOC	65
Figure 24	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil GOC	66
Figure 25	Les cations et les anions du profil GOC	66

Figure 26	Profils gypseux calcaire de la coupe SL	69
Figure 27	Le pH et CE (ds /m) du profil SL	70
Figure 28	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil SL	71
Figure 29	Les cations et les anions du profil SL	72
Figure 30	Profil gypseux calcaire de la coupe KG	75
Figure 31	Le pH et CE (ds /m) du profil KG	76
Figure 32	Teneur de calcaire total dans les différentes fractions granulométriques du profil KG	77
Figure 33	Les cations et les anions du profil KG	78
Figure 34	Relation entre calcaire total et gypse dans tous les profils	
Figure 35	Relation entre le calcaire total et terre fin dans les tous les profils	

Liste des abréviations

A	Argile
A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CE	Conductivité électrique (dS/m)
CI	Continente intercalaire
CT	Complexe terminal
Ech.	Echantillon
F.A.O	Food and Agriculture Organization of the united nations
GOC	Ghardaïa Ouargla
HBC/HIC	Hassi Ben Abdallah
L	Limon
MO	Matière organique
Sf	Sable fin
Sg	Sable grossier
SKC/SAC	Sidi Khouiled
SL/KG	El-Khafdji
Sup.	Supérieur
RP	Référentiel pédologique
pH	Potentiel Hydrogène
Prof.	Profondeur
WRB	World Référence Base for soil Ressources

Tableau de Matière

<i>Introduction</i>	1
<i>Partie I : Synthèses bibliographiques</i>	4
<i>Chapitre I : Généralités sur les sols calcaires et les accumulations calcaires dans le sol</i>	5
I.1. Définition du sol calcaire	5
I.1.1. Définition du calcaire	5
I.1.2. Sol calcaire	5
I.2. L'origine du calcaire dans le sol	5
I.3. Les propriétés des sols calcaires	6
I.4. Typologie et classification des sols calcaires	7
I.4.1. Les grands types de sols sur un substrat calcaire	7
I.4.2. Classifications des sols calcaires	8
I.5. L'effet du calcaire sur les caractéristiques du sol et des végétaux	10
I.6. Phénomènes d'accumulations	
I.6.1. Le phénomène de précipitation	10
I.6. Formes d'accumulations du calcaire	11
I.6.1. Distribution diffuses	11
I.6.2. Concentration discontinues	11
I.6.2.1. Pseudo-mycéliums	12
I.6.2.2. Les amas friables	12
I.6.2.3. les nodules calcaires	12
I.6.3. Concentration continues	13
I.6.3.1. Encroûtement non feuilletés	13
I.6.3.1.1. Encroûtement massif	13
I.6.3.1.2. Encroûtement nodulaire	13
I.6.3.2. Encroûtement feuilletés	13
I.6.3.2.1. Les croûtes	13
I.6.3.2.2. Les dalles compactes	14
<i>Chapitre II : Les sols calcaires en Algérie</i>	15
II.1. Les sols Algérie	16

II.1.1. Les sols des régions telliennes humide	16
II.1.2. Les sols des régions semi-arides	17
II.1.3. les sols des régions Sahariennes	17
II.2. Distribution des sols calcaires en Algérie	17
II.2.1. Répartition de quelques formes d'accumulations calcaire en Algérie	18

Partie II : Matériel et Méthodes

<i>Chapitre III : Présentation de la région d'étude</i>	19
III.1. Situation géographique	20
III.2. Hydrogéologie	20
III.2.1. Continental Intercalaire (CI)	20
III.2.2. Complexe Terminal (CT)	20
III.3. Géologie	22
III.4. Hydrologie superficielle	23
III.5. Relief	23
III.5.1. Le plateau	23
III.5.2. Les Glacis	24
III.6. Sols	24
III.7. Climat	25
	31

Chapitre IV : Méthodologie de Travail

IV.1. Critères de choix des stations d'études	32
IV.2. Présentation des sites d'études	32
IV.2.1. Hassi Ben Abdallah : profils HBC et HIC	32
IV.2.2. Plateau de Sidi Khouiled : profils SKC et SAC	32
IV. La route de Ghardaïa Ouargla : profil GOC	32
IV.2.4. La cuvette de Ouargla : profils SL et KG	32
IV.3. Description des méthodes utilisées	32

IV.3.1. Sur terrain	32
IV.3.2. Au laboratoire	33
<i>Troisième partie : Résultat et discussion</i>	
<i>Chapitre V : Résultats</i>	36
V.1. Site n° 01 : Hassi Ben Abdallah : HBC	36
V.1.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil HBC	36
V.1.2. Interprétation	38
V.2. Site n° 02 : Hassi Ben Abdallah : HIC	40
V.2.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil HIC	40
V.2.2. Interprétation	42
V.3. Site n° 03 : Sidi Khouiled : SKC	44
V.3.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil SKC	44
V.3.2. Interprétation	47
V.4. Site n° 04 : Sidi Khouiled : SAC	48
V.4.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil SAC	48
V.4.2. Interprétation	50
V.5. Site n° 05 : Route de Ghardaïa a Ouargla : GOC	52
V.5.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil GOC	52
V.5.2. Interprétation	54
V.6. Site n° 06 : Khafdji : SL	56
V.6.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil SL	56
V.6.2. Interprétation	59
V.7. Site n° 05 : Khafdji : KG	61
V.7.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil KG	61
V.7.2. Interprétation	64
<i>Chapitre VI : Discussion</i>	67
VI.1. Les analyses physiques, physico-chimiques et chimiques	
	69
V.2. L'origine des accumulations calcaires dans le sol	
<i>Conclusion</i>	
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexes</i>	

Introduction

Les carbonates principalement le CaCO_3 , apparaissent dans les sols désertiques par des formes variées comme les filaments, les efflorescences, les revêtements, les nodules, ou comme des impregnations 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).

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).

Au Sahara tout 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-humide et semi-aride qui sont enregistrées dans ces accumulations (Fedoroff et Courty, 1989).

Beaucoup d'autres attribuent aux carapaces (dalles, croûtes, encroûtement) une origine essentiellement géologique (dépôts de sources, dépôts lacustres, ruissellement superficiel en nappe, apports éoliens). Par contre, d'autres les expliquent plutôt par des phénomènes pédologiques : formation dans les sols par lessivage vertical, apports obliques et remontée capillaire du calcaire, ou formation au-dessus d'une nappe phréatique (Ruellan, 1984).

L'objectif de notre travail, est d'une part la contribution à la connaissance des sols de la région, et d'autres part la caractérisation de quelques formes d'accumulation du calcaire dans le sol à fin de mieux comprendre leur origine.

Pour atteindre cet objectif, les étapes ci-dessous ont été suivies :

- ❖ Première partie : synthèse bibliographique sur les sols calcaires et les accumulations calcaires dans le sol ;
- ❖ Deuxième partie : Présentation de la région d'étude et des méthodes de travail sur terrain et au laboratoire ;
- ❖ Troisième partie : Présentation des résultats obtenus, discussion et enfin conclusion.

Chapitre I : Généralités

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

I.1. Définition des sols calcaires

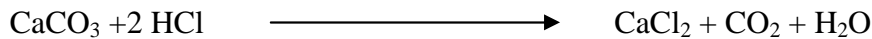
I.1.1. définition du calcaire

Le constituant essentiel du 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 CaCO₃, 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 ; 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 CO₂ visible dans le liquide et d'autant plus violent qu'il y a beaucoup de calcaire. la réaction est la suivante :



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 continue 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. L'origine du calcaire dans le sol

Les raisons qui font exclure un apport en solution du carbonate de calcium comme mécanique explicatif de la formation des croûtes est à vérifier. En milieu semi-aride et subaride, les transferts de matière ont lieu de façon dominante à l'état solide : galets, sables, et suspensions, que ce soit dans l'eau ou dans l'air. C'est par des apports éoliens que l'on peut expliquer des accumulations calcaires importantes dans des régions où les roches carbonatées sont absentes ou en très faible proportion ; des poussières ont pu y être déposées par le vent et la végétation (essentiellement microflore) (Vogt, 1984).

Les suspensions dans l'eau (boues) ont une origine plus local : les calcaires, calcaires marneux, marnes, peuvent en fournir, et la décantation peut être à l'origine de la mise en place des croûtes (Vogt, 1984).

D'une manière générale, les matériaux originaux calcaires, laissent dans le sol des fragments de roches calcaires (carbonatées, calcaires et dolomitiques) ou simplement riches en calcium (les basaltes par exemple) de dimensions diverses et en quantité variable 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 un héritage direct de la roche mère sous-jacente. Cependant, le calcaire est soluble, et dans de nombreuses situations, il y a un enchaînement de phénomènes de dissolution et de précipitation du carbonate et de calcium, dans un premier stade, le calcaire est dissous : c'est la décarbonation qui libère dans le milieu des ions calcium, ces ions sont déplacés par l'eau percolant ou par diffusion sur des distances variables, tant au sein d'un horizon ou divers horizons du profil. Le transfert du calcium s'arrête avec la reprécipitation du calcium, dans ce cas il y a un calcaire de reformation dont l'accumulation peut présenter une intensité et des formes très diversifiées (pseudo-mycelium, nodules, encroûtement, croûte compactes) (Bonneau et Souchier, 1979).

Il arrive 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. Les propriétés des sols calcaires

Selon Legros (2007), les sols calcaires et les sols saturés en calcium ont en commun :

- ✚ Un pH relativement élevée ; il est voisin de la neutralité dans les sols saturés et 7,5 à 8,5 dans les sols calcaire ;
- ✚ Une belle structure fragmentaire et anguleuse en particulier si le sol est riche en argile ; au contraire, les sols acidifiés ont souvent une structure continue ou massive ;
- ✚ Une bonne stabilité de cette structure mesurée par des tests adéquats ;
- ✚ Une teneur notable en composés organiques stables, teneur en matière organique des sols est proportionnelle à leur teneur en calcium échangeable; le rôle stabilisateur du calcium est ainsi mis en évidence ;

Les limites entre les horizons sont progressives dans la mesure où il s'agit de sols jeunes et peu évolués.

I.5. Typologie et Classification des sols calcaires

I.5.1. Les grands types de sols sur un substrat carbonaté

Nous nous référons principalement à la vieille classification française CPCS, car RP (référentiel pédologique) et WRB (World Référence Base for soil Ressources) utilisent les mêmes termes pour des sols différents ce qui peut amener à beaucoup de confusions (Legros, 2007).

a. les Rendzines

Les rendzines de la classification françaises (CPCS) sont des sols de type A/R caractérisés par un horizon A brun, caillouteux, peu épais, reposant sur une roche calcaire souvent dur. Le matériel de ce A est à la fois calcaire, argileux, et bien pourvu en matière organique. Il est caractérisé par une belle structure, grumeleuse ou polyédrique. Le pH est généralement compris entre 8,0 et 8,5. Il y a plusieurs types dont les principaux : Rendzines blanches sur craie, Rendzines rouges et les pseudo-rendzines sableuse différenciée sur dolomie. Pour le RP les rendzines sont des *Rendosols*, le WRB les range dans les sols superficiels calcaires (Calcaire leptosols) (Legros, 2007).

b. les sols bruns calcaires

Se sont les *Calcosols* du RP et les Calcaric Cambisols du WRB. Les sols bruns calcaires sont abondants dans les alluvions des rivières coulant dans des roches carbonatées profondes, ils sont productifs (Legros, 2007).

Par ailleurs, dans les régions sèches, certains sols bruns calcaires peuvent comprendre des horizons B ou C avec des taches, concrétions ou même croûte CaCO_3 . Alors, les horizons sont principalement différenciés par la forme et l'abondance des carbonates qu'ils contiennent. Pour le Référentiel pédologique (RP) ce sont des *calcarisols*. Mais pour le WRB se sont des *Calcisols* caractérisés par un horizon *Calcic* (Legros, 2007).

c. les sols bruns calciques

Se sont les *Calcisols* du RP et les Eutric Cambisol du WRB. Certains d'entre eux, se différencient à partir de limons éoliens décarbonatés. Ils sont profonds, gras, proches de la neutralité et bien structurés. Ils comptent parmi les meilleurs sols connus (Legros, 2007).

d. les sols lithocalciques

En climat humide, la plupart des sols reposant sur une dalle calcaire à faible profondeur sont de type A/R et riches en humus. Parfois acidifiés en surface (pH en dessous de 4,5), ils sont saturés à leur base avec un pH proche de la neutralité (Legros, 2007).

I.5.2. Classification des sols calcaires

I.5.2.1. Référentiel pédologique RP

Pour le RP, le mécanisme de classification est clair et simple, (tableau 01).

Tableau 01 : Classement des principaux sols sur substrat calcaire dans le RP.

	Sur dalle, type A/R	Profond, type A(B) C
carbonaté	<i>Rendosols</i>	<i>Calcosols</i>
décarbonaté	<i>Rendisols</i>	<i>Calcisols</i>

A) Horizon de référence (AFES, 2008)

Aca (A calcaire)	Km (horizon pétrocalcaire)
Ado (A dolomitique)	Sca (S calcaire)
Aci (A calcique)	Sdo (S dolomitique)
Amg (A magnésique)	Sci (S calcique)
K et Kc (horizons calcaires)	Smg (S magnésique)

B) Référence

1- RENDOSOLS

La séquence d'horizons de référence est : Aca ou LAca/Cca (Baize et al, 2008).

2. CALCOSOLS

Présence obligatoire d'un horizon Sca. Les séquences d'horizons de référence sont : Aca ou LAci/Sca/Cca. Dans le cas particulier des CALCOSOLS décarbonatés en surface : Aci ou LAci/Sca/Cca ou Aci ou LAci/Sci/Sca/Cca (AFES, 2008).

3. DOLOMITOSOLS

La séquence d'horizons de référence est : Ado/Sdo/C. Horizons carbonatés dans lesquels $MgCO_3$ est de même ordre de grandeur que $CaCO_3$ ou est dominant (rapport molaire $CaCO_3/MgCO_3 < 1,5$). Pas d'effervescence à froid, ou très faible. La roche sous-jacente contient de la dolomite (AFES, 2008).

4. RENDISOLS

La séquence d'horizons de référence est : Aci ou LAci/Cca. L'horizon Aci ou LAci fait moins de 35 cm d'épaisseur, si non rattachement imparfait : RENDISOL pachique (AFES, 2008)

5. CALCISOLS

La séquence d'horizons de référence est : Aci ou LAci/Sci/Cca. Le solum est saturé par Ca et/ou Mg (S/CEC > 80 %), mais Ca est largement dominant (rapport Ca/Mg > 5 pour les CALCISOLS hapliques, > pour les CALCISOLS calcimagnésiques) (AFES, 2008)

6. MAGNESISOLS

La séquence d'horizons de référence est : Amg/Smg/C. Les horizons saturés dans lesquels le rapport Ca^{+2}/Mg^{+2} sur le complexe adsorbant est < 2. Pas d'effervescence à froid, ni à chaud (AFES, 2008)

7. CALCARISOLS

Solum dans lesquels un horizon Kc ou Km débute à moins de 35 cm de profondeur, avec une épaisseur de plus de 10 cm . Au dessus de l'horizon Kc et Km, on observe en général un horizon Aca, plus rarement un Aci. Entre A et Kc ou Km, il peut exister un mince horizon Sca ou Sci (AFES, 2008)

I.5.2.2. La WRB

Tableau 02 : La relation de RP avec la WRB (AFES, 2008)

RP 2008	WRB 2006
Horizons K et KC	<i>Calcic horizon</i>
Horizon Km	<i>petrocalcic horizon</i>
RENDOSOLS	Rendzic Leptosols ou Epileptic Cambisols (Calcari)
RENDOISOLS	Rendzic Leptosols ou Epileptic Cambisols (Hypereutric)
CALCOSOLS	Cambisols (Calcari)
CALCISOLS	Cambisols (Hypereutric)
DOLOMITOSOLS	Dambisols (Dolomitic)
MAGNESISOLS	Cambisols (Hypereutric, Magnésic)
CALCARISOLS	Epipetric Calcisols
Toute référence calcaire ou pétrocalcaire	Calcisols

Pour la WRB, les Calcisols sont des sols dans lesquels la pédogenèse a accumulée des carbonates en traces visibles (horizon *Calcic*). Si le sol est simplement calcaire dans la masse (on dit alors *Calcaric*) et sans évolution notable, il se trouve dans les sols peu évolués (*Calcaric leptosols*) ou Faiblement évolués (*Calcaric Cambisols*) (Legros, 2007).

I.5.2.3. Soil taxonomy

Un horizon comprenant des éléments calcaires illuviaux liés à la pédogenèse est qualifié de *Calcic* horizon. Un horizon induré par le calcaire est *Petrocalcique* et induré par le gypse est *Petrogypsic*. Des horizons enrichis en calcaire s'observent en particulier dans les *Aridisols* (*Calc-ids*) (Legros, 2007).

I.6. L'effet du calcaire sur les caractéristiques du sol et des végétaux

Le calcaire fournit le calcium qui provoque la floculation des colloïdes minéraux et organiques du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural, et permet au sol de créer les réserves, en éléments nutritifs (Eliard, 1979).

On sait 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).

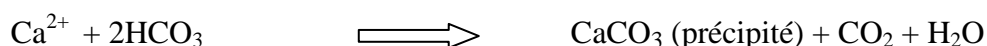
Mais quand le calcaire se trouve dans le sol en quantité trop forte, les conséquences pour les plantes peuvent être fondamentales, ce qui explique que l'on distingue classiquement des plantes, cultivées ou spontanées, résistant, au calcaire « *calcaro-tolérantes* » et des plantes souffrantes « *plantes calcifuges* ». Ces effets néfastes pour la plante peuvent être compensés par d'autres facteurs pédologiques : texture argileuse, bilan hydrique, etc....(Baize et Jabiol, 1995).

En outre, le calcaire fin bloque certains éléments indispensables aux plantes comme Fe, B, Cu, Mn et Zn, en solubilisant de la calcite au niveau des racines dont le fonctionnement se trouve perturbé ; obstacle à la minéralisation de la matière organique par effet d'enrobage (Morel, 1996).

I.7. Phénomènes d'accumulation

I.7.1. Le phénomène de précipitation

D'après Legros (2007), on a :



La relation se déplace de la gauche vers le droit si :

- la teneur en ions Ca^{2+} augmente (arrivée dans l'horizon B non calcifié de la solution carbonatée) ;
- La pression partielle de CO_2 diminue (ex : réduction de l'activité biologique) ;
- La concentration en ions Ca^{2+} augmente par disparition de l'eau : déplacement de la solution carbonatée vers un milieu sec.

I.7.2. Formes d'accumulation du calcaire

Ils s'observent (sous les climats humides) dans les horizons profonds des sols calcaires en cours de décarbonation ou dans des sols totalement décarbonatés dans leurs horizons supérieurs et présentant des accumulations calcaires en profondeur (Baize et Jabiol, 1995).

Le plus souvent, la calcite secondaire (c'est-à-dire de précipitation) présente une couleur « blanc de neige » qui permet de bien la voir, même à l'oeil nu, avec une forte loupe à main ou, mieux, une bonne loupe binoculaire, on peut apercevoir les cristaux de calcite et étudier leur formes (aiguilles, baguettes rhomboédres, etc.) directement sur agrégats. Naturellement toutes les techniques microscopiques, sont très efficaces pour observer les cristaux de calcite d'où la possibilité d'en discuter l'origine (Baize et Jabiol, 1995).

La précipitation revêt toutes sortes de formes. Nous allons examiner les principales formes d'accumulation calcaire (Legros, 2007) :

I.7.2.1. Distribution diffuse

Répartition de manière apparemment homogène dans tout ou partie de l'horizon (pas de consolidation, même à l'état sec). C'est un premier stade peu accentué de l'accumulation en profondeur dans un sol. C'est une accumulation sans individualisation, le calcaire reste en éléments fins mais s'accumulant surtout dans la fraction 2-20 microns (Baize et Jabiol, 1995).

Cependant, des pseudo-mycéliums peuvent apparaître, soulignant la porosité du sol (trace des racines en particulier) (Ruellan, 1984).

I.7.2.2. Concentration discontinue

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

A. Pseudo-myceliuime

Accumulation filiforme et anastomosée, en position de revêtement soit à la surface des agrégats soit sur les parois des vides (Baize et Jabiol, 1995).

Le pseudomycellium, souligne la porosité des horizons, et en particulier les pores d'origine racinaire (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).

Présents dans les dépôts quaternaires et dans les sols, se sont des concentrations de calcaire disposées 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

Petits volumes indépendants indurés (poupées jeuneclain, dans le loess, dans les horizons des chernozems) (Baize et Jabiol, 1995).

Les nodules, qui peuvent être définis comme étant des amas durs : à l'état sec, on ne peut pas les écrasés avec les doigts. Par convention, on appelle « granules » les petits nodules, d'un volume inférieur à 1 cm³. Le volume des nodules dépasse rarement quelques centimètres cubes (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 il tend 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. A signaler 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.7.2.3. Concentration continue

A partir du moment où dans un horizon, la concentration du calcaire, qu'elle soit diffuse, en amas ou en nodules, doivent 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 concentration de l'horizon peut être très accentuée (Ruellan, 1977). Il y a deux types d'encroûtement :

I.7.2.3.1. Encroûtement non feuilleté : il y a deux types :

A. Encroûtement massif

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).

C. 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).

I.7.2.3.2. Encroûtement feuilleté

A. Les croûtes

Accumulation généralisée à 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).

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 subhorizontales 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. Les dalles compactes

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, généralement très continu, à structure massive, pouvant atteindre 10 à 20 cm d'épaisseur. En profondeur la dalle compacte passe progressivement à la croûte (Ruellan, 1984).

Chapitre II : les sols calcaires en Algérie

The title is rendered in a bold, sans-serif font. The letters are dark grey and have a slight 3D effect, with a shadow cast downwards and to the left. The shadow is composed of many thin, parallel lines, giving it a textured appearance. The text is centered horizontally on the page.

II.1. les sols d'Algérie

II.1.1. les sols des régions telliennes humides

Les sols de ces régions humides peuvent se définir par leur mode de formation original : entraînement de substances en profondeur sous l'action des eaux d'infiltration. Mais cette migration est conditionnée par leur nature de la roche mère (Durand, 1954).

a) **Le groupe calcaire** comporte tous les sols formés à partir de la roche mère calcaire. Il y a deux types de sols :

- **les sols calcaires** ne présentant qu'un seul horizon différencié riche en calcaire, qui dans cet horizon, peut avoir une distribution quelconque. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Leur végétation est variable, elle peut être herbacée ou forestière suivant les régions (Durand, 1954).
- **Les sols décalcifiés** sont également formés sur roches calcaires et ont une teneur en calcaire variable avec la profondeur. Mais à la différence des précédents, les horizons superficiels en conditionnent moins que les horizons sous-jacents, le calcaire s'accumulant au sommet des roches mères sous forme de nodules et à l'état diffus. Ces sols décalcifiés sont très répandus en Algérie où ils couvrent de grandes surfaces (Durand, 1954).

b) **Groupe non-calcaire** qui comporte les sols formés sur roche mère non calcaire. On distingue deux types principaux :

- ✚ **Les sols insaturés** résultent de la décomposition superficielle de roches non calcaires donnant des éléments grossiers riches en bases ou encore des éléments argileux imperméables.
- ✚ **Les sols podzoliques** se forment dans des conditions d'humidité telles que les sels sont dissous et entraînés en profondeur de même que les colloïdes organiques et minéraux (argile, silice colloïdale). Ce type de sols se forme dans les régions où la pluviométrie est supérieure à 500 mm, les sols podzoliques en Algérie sont formés à partir de la roche mère non calcaire. Ces sols, très acides, se rencontrent dans les régions Nord de l'Algérie.

c) **Groupe des terres rouges méditerranéennes** : il s'agit des sols fortement rubéfiés qui se rencontrent fréquemment en Algérie. Leur aspect est variable suivant les régions, et on peut trouver ces sols en profils normaux sur des terrasses alluviales ou mélangés intimement à des

affleurements de roches mères. Ils sont très probablement fossiles, la rubéfaction résultant de la formation de composés ferrifères rouges à partir des silicates (Durand, 1954).

II.1.2. Les sols des régions semi-arides

Selon Durand, (1954), les régions semi-arides qui sont situées entre l'équilibre vent-pluie, donc les conditions qui rentrent dans la formation des sols. Il y a deux types :

- *Les sols calciques* ne présentent qu'un seul horizon différencié peu épais. Ils sont plus ou moins riches en calcaire, leur complexe adsorbant est saturé par l'ion Ca^{++} et leur pH est toujours compris entre 7 et 8. dans ces sols, le calcaire est surtout présent dans la fraction sableuse et n'intervient que peu dans leur dynamique.
- *Les sols en équilibre* : sols ayant les mêmes caractères que les sols calciques mais formés sur la roche mère non calcifère. Leur complexe adsorbant est encore saturé en ion Ca^{++} , les mouvements de substances y sont inexistantes et ils ne présentent qu'un seul horizon différencié. Ces sols sont rares en Algérie car les roches calcaires ou gypseuses couvrent environ 90% de la surface des zones semi-arides.

II.1.3. Les sols des régions sahariennes

La formation des sols dans ces régions est entièrement dominée par les conditions climatiques, où le vent joue un rôle prépondérant. D'où formation de deux grands types de sols éoliens :

- *Sols éoliens d'ablation* sans « terre fine » et dont le caractère essentiel, l'absence de terre fine, ne dépend pas de la roche mère.
- *Sols éoliens d'accumulation* formés par les particules entraînées par le vent qui s'accumulent dans les zones abritées formant des dépôts de sable plus ou moins développés : nebka, dunes, jusqu'aux grands Ergs. Ces accumulations de sable peuvent grimper le long des versants des montagnes et former des placages sableux plus ou moins importants.

II.2. Distribution des sols calcaires en Algérie

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

Selon F.A.O. (2005), les types de sol calcaire en Algérie sont :

- ❖ Sols bruns calcaires dans les bioclimats humides et sub-humides (calcicoles).
- ❖ Sols à accumulations calcaires en profondeur (chatins et bruns iso humiques) dans les bioclimats semi-arides et arides (calcisols).

Selon Djili (2000), le profil calcaire en Algérie est en fonction de la pluviométrie :

- Les Zones arides ($P < 300$ mm) : l'accumulation de calcaire semble être homogène dans tout le profil, mais avec un pourcentage de calcaire légèrement plus élevé dans les horizons de Sub- surface ;
- Les Zones semi- arides ($350 < P < 450$ mm), le profil devient de plus en plus calcaire en profondeur ;
- Les Zones humides et Sub- humides ($P > 600$ mm), le profil est relativement moins calcaire que ceux des autres zones climatiques, le calcaire est reparti d'une façon homogène dans les horizons de surface et de Sub-Surface.

II.2.1. Répartition de quelques formes d'accumulations calcaires en Algérie

II.2.1.1. Calcaires pulvérulents

Ces calcaires couvrent de grands étendus dans la partie occidentale des hautes plaines ; ils reposent en général sur un calcaire lacustre et aux environs du centre des dépressions sont remplacées par du gypse pulvérulent (Durand, 1959).

II.2.1.2. Croûtes zonaires

La croûte zonaire peut se rencontrée partout où l'eau chargée de calcaire a pu ruisseler en nappe. Elle est fréquente au Sahara, où elle forme de nombreux placages sur des calcaires ou des poudingues d'origines variées (Durand, 1959).

II.2.2.2. Encroûtements calcaires

Ce type d'encroûtement est relativement rare ; il se trouve sur le littoral Nord d'Algérie où il constitue des grés de l'Est (Durand, 1959).

Chapitre III : Présentation de la région d'étude

Chapitre III : Présentation de la région d'étude

III.1. Situation géographique

La wilaya de Ouargla est située au Nord-Est du Sahara septentrional. Elle s'étend sur une superficie de 163,233 km² (Khadraoui, 2005).

Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Djelfa et L'El'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 coordonnées géographiques de la région de Ouargla sont :

- ❖ Altitude : 157 m ;
- ❖ Latitude : 31° 57' ;
- ❖ Longitude : 5° 19'.

III.2. Hydrogéologie

Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent deux grands ensembles de formations aquifères séparés par d'épaisses séries d'évaporites ou d'argile : de la base du crétacé supérieur, l'ensemble inférieur appelée le Continental Intercalaire (C.I.) ou « Albien », et l'ensemble supérieur appelée le Complexe Terminal (C.T.). Une troisième formation d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes est la nappe phréatique d'âge quaternaire (ANRH, 2008).

III.2.1. Continental intercalaire (CI)

C'est un réservoir important constitué essentiellement par des grés et d'argiles d'âge Albien et Barrémien. La profondeur de cet aquifère varie entre 800 et 1700 m, avec un débit de 120 l/s. cette nappe se caractérise par des eaux chaudes avec un résidu sec oscillant entre 1,6 et 1,9 g/l (ANRH, 2008).

III.2.2. Complexe Terminal (CT)

Il existe en effet deux formations aquifères distinctes dans ses Complexes Terminal, la première est contenue dans les sables du Mio-pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur (ANRH, 2008).

III.2.2.1. 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).

III.2.2.2. 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).

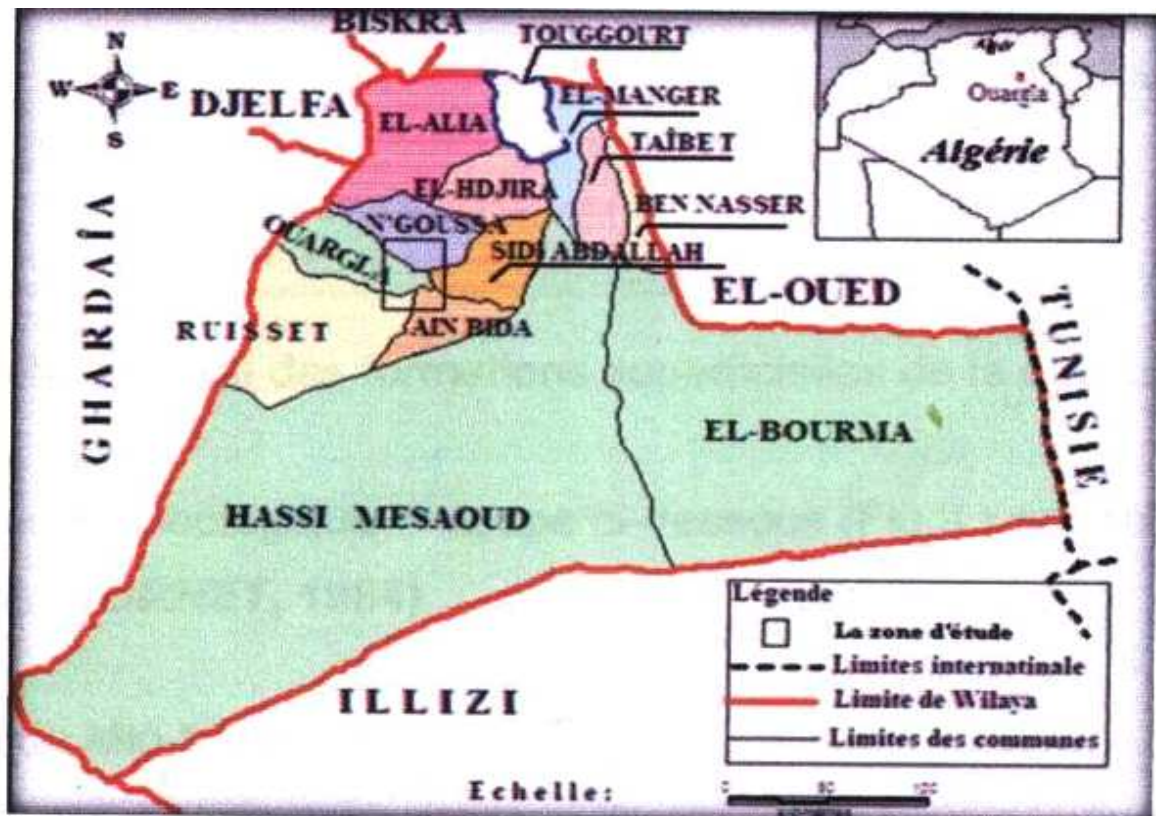


Figure 01 : Localisation géographique de la région d'étude

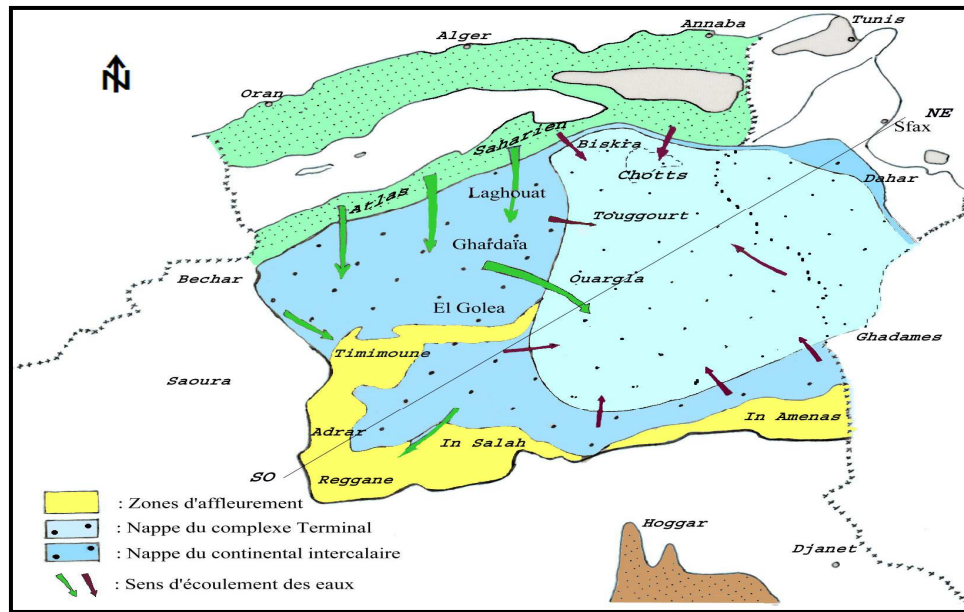


Figure 02 : Les deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le CT et le CI (ANRH, 2008).

III.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).

III.4. Hydrologie superficielle

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

III.4.1. Oued Mya

Il draine le versant Nord-Est du plateau de Tadmaït (Dubief, 1953). Le bassin de L'Oued Mya est en forme d'une vaste gouttière élevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-Est, il s'étend sur 19 800 km², Oued Mya est considéré comme un cours d'eau fossile (Hamdi-Aïssa, 2001). Au Nord de Ouargla la vallée n'est plus discernable. Si l'on admet cependant que l'Oued Mya quaternaire se jetait dans le chott Melhrir actuel, sa longueur devait atteindre 900 km (Dubief, 1953).

III.4.2. Oued N'sa

Il présente une superficie de 7.800 km² 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 Sebkhâ Safioune à la cote 110 m au nord de Ouargla (Khadraoui, 2005).

III.4.3. Oued M'Zab

La superficie du bassin du M'Zab est de 5.000 km² 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 km² (Dubief, 1953). Il coule sensiblement, d'Ouest en Est sur 225 km environ et il se termine à la Sebkhâ 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-Aïssa, 2001).

III.5. Relief

III.5.1. Le plateau

A 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 Ganntra ». Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Il est interrompu par une vaste dépression ovale de la Sebkhâ 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-Aïssa, 2001).

III.5.2. Les glacis

D'après Hamdi-Aïssa (2001) le versant de la cuvette, présente quatre niveaux étages de glacis :

- ❖ Le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes ;
- ❖ Le second glacis, beaucoup plus visible, est à une altitude de 180 m environ ;
- ❖ Le troisième niveau, à 160 m d'altitude caractérisé, par l'affleurement du substrat gréseux de Mio-pliocène, recouvert de sable et de graviers gréseux plus ou moins encroûté de gypse ;
- ❖ Le quatrième et le dernier se développe à 140 m d'altitude environ, et donne naissance à des formations de relief originales.

III.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 implantés les principaux oasis de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001). L'originalité de la Sebkha de Ouargla, qui est actuellement active est soulignée par la comparaison avec les Sebkhas méridionales (Hamdi-Aïssa, 2001).

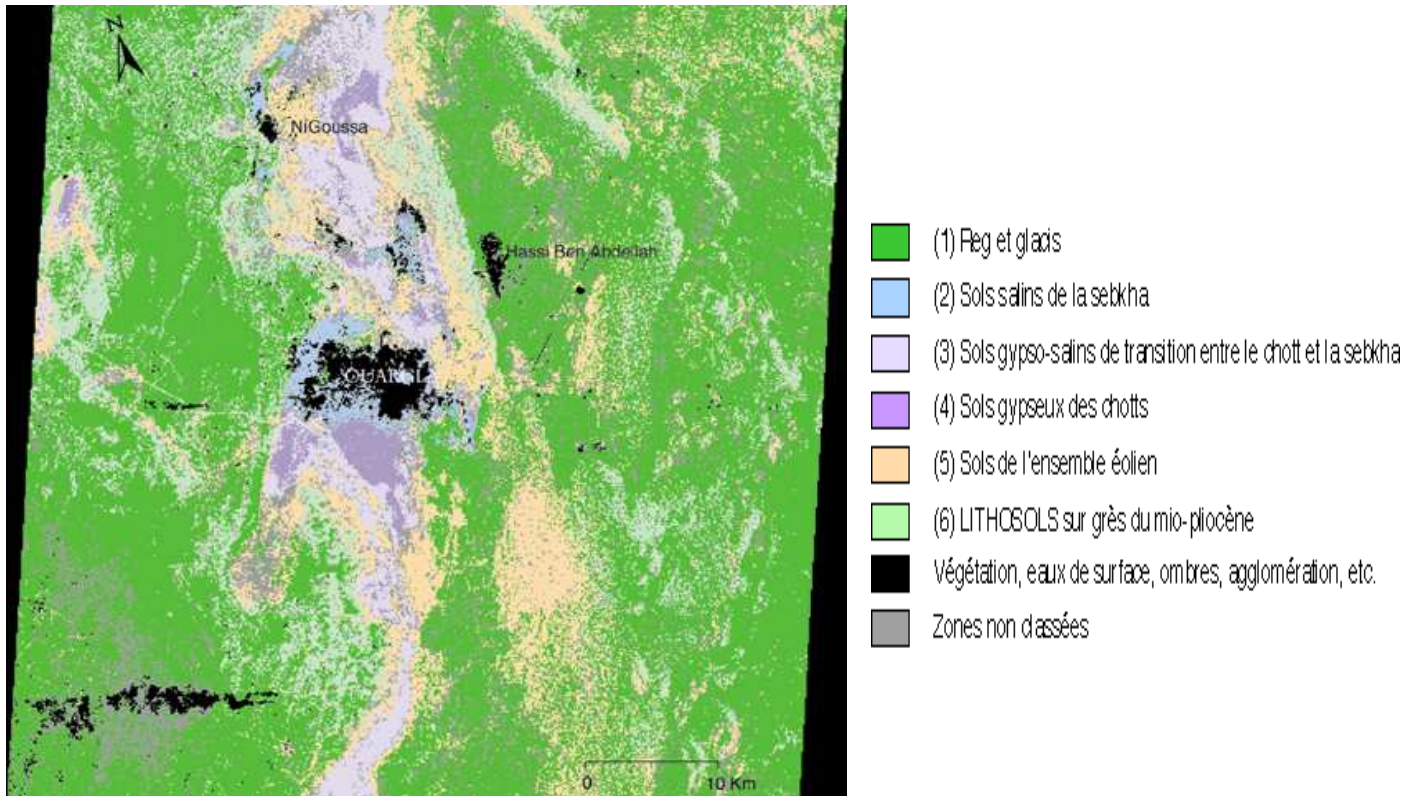
III.6. Sols

A travers l'étude réalisée par Hamdi-Aïssa (2001), par les travaux de télédétection et d'étude sur terrain, les sols de la région de Ouargla sont caractérisés par 05 pédopaysages :

- ❖ Un plateau à 180-200 m d'altitude, caractérisé par une croûte petrocalcique surmontant une croûte pétrogypsique. Ce pédopaysage est actuellement non fonctionnel ;
- ❖ Les glacis et le versant Ouest de la cuvette (180 m à 150 m d'altitude), est une grande partie recouverte de matériaux alluvio-éoliens sans développement pédologique notable (REGOSOLS sableux et /ou graveleux);
- ❖ Les bordures des glacis 180 m, à 160 m et à 140 m, bien visibles, en partie érodées, se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-pliocène (LITHOSOLS) ;
- ❖ Le quatrième pédopaysage caractérise le Chott situé entre 140 m à 135 m d'altitude constituant le pédopaysage gypseux. Se divise en deux sous-systèmes

l'un à croûte gypseuse de surface et l'autre gypso-salin, à croûte gypseuses de sub-surface et croûte salines de surface ;

- ❖ Le centre de la cuvette entre 135 m à 130 m d'altitude correspond au pédopaysage salin à croûtes saline de surface.



III.7. Climat

Le tableau 03, englobe les données climatiques de la région de Ouargla depuis 1999 jusqu'à 2009.

III.7.1. Données bruts

a) Précipitation :

Dans la région de Ouargla, nous avons observé une faiblesse et une irrégularité des précipitations de 1999-2009, la moyenne pendant cette période est de 41,32 mm/an. La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien (Ould Baba-Sy, 2005).

Cette insuffisance de pluies est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (ANRH, 2008).

b)Température :

Dans la région de Ouargla la température moyenne annuelle est de 23,49°C, avec un maximum en juillet de 35,05 °C, et un minimum en janvier de 11,65 °C. Selon le tableau 03, il existe de grands écarts de température entre l'hiver et l'été.

c)Vent

Selon le tableau 03, nous avons remarqués que le vent est fréquent toute l'année, les vitesses les plus élevées sont enregistrées du mois d'avril jusqu'au mois de juillet avec un maximum enregistré pendant le mois de Mai avec 4,65 m/s. la direction dominante des vents selon Dubief (1953), est le Nord-Ouest.

d)Evaporation

En zones arides, l'évaporation et l'évapotranspiration sont les mécanismes majeurs de pertes en eau (ULLMAN, 1985).

L'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air. Ces conditions sont pratiquement toujours remplies au Sahara et de ce fait l'évaporation atteint une ampleur considérable (Ozend, 1991).

A partir du tableau 03, l'évaporation est très importante dans la région de Ouargla, avec un cumul annuelle de 3393,44 mm. Le maximum est enregistré dans la période de juillet et Août et un minimum enregistré en décembre avec une valeur de 95.80 mm.

e) Humidité de l'air

L'humidité de l'air est faible, dans les régions sahariennes cependant le Sahara septentrional est plus favorisé avec 20 % à 30 % en été et 50 % à 60 % en hiver (Ould Baba-Sy, 2005).

La moyenne annuelle est de 42,02 %, elle varie en fonction de la saison ; plus faible pendant l'été, surtout le mois de juillet avec une valeur égale à 25,18 %, sous l'action de la forte évaporation et des vents chauds. Mais dans l'hiver, l'humidité augmente jusqu'à 61,00 % pendant le mois de décembre.

f) Insolation

Le Sahara détient le record mondial de l'ensoleillement (Ould Baba Sy, 2005), à cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (ANRH, 2008).

Selon le tableau 03, la moyenne de la durée d'insolation dans la région de Ouargla est de 268,19 h, avec un maximum en juillet.

Tableau 03 : Les données climatiques de la région de Ouargla (1999-2009)

	Température (°C)			Humidité (%)	Vents (m/s)	Evaporation (mm)	Insolation (heure)	Précipitation (mm)
	TX (°C)	TN (°C)	TM (°C)					
<i>Janvier</i>	18,28	4,88	11,65	60,18	2,91	108,36	227,18	9,18
<i>Février</i>	20,65	6,66	13,56	52,09	3,36	148,36	246,00	0,78
<i>Mars</i>	25,75	10,66	18,31	42,36	3,99	231,55	266,91	4,55
<i>Avril</i>	30,05	15,00	22,69	35,36	4,56	309,27	284,18	1,17
<i>Mai</i>	34,87	20,11	27,67	32,55	4,65	363,55	279,73	1
<i>Juin</i>	39,00	24,99	32,75	26,73	4,53	452,09	300,45	0,28
<i>Juillet</i>	43,61	28,16	35,05	25,18	4,18	504,00	327,36	0,64
<i>Août</i>	43,33	27,58	34,25	27,36	3,86	482,00	322,00	1,64
<i>Septembre</i>	37,36	23,50	30,52	38,09	3,72	323,91	260,64	3,38
<i>Octobre</i>	32,23	18,05	26,09	45,64	3,41	252,82	259,64	8,68
<i>Novembre</i>	23,75	10,21	16,94	57,73	2,72	139,82	245,18	7,85
<i>Décembre</i>	19,07	6,15	12,45	61,00	2,65	95,80	199,00	2,14
<i>Moyennes</i>	30,66	16,33	23,49	42,02	3,71	3393,44 *	268,19	41,32 *

* : cumul annuel

(ONM, 2009)

III.6.2. Synthèse climatique

III.6.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de la région de Ouargla (Figure, 04) est caractérisé par une période sèche de 12 mois.

III.6.2.2. Classification bioclimatique

Emberger a cherché à améliorer cette notion en montrant que l'aridité dépend aussi de l'amplitude thermique annuelle, c'est-à-dire de l'écart entre la température maximale du mois le plus chaud et la température minimale du mois le plus froid ; il a proposé d'exprimer

l'aridité par la formule suivante, appliquée aux pays méditerranéens et au Sahara septentrional (OZENDA, 1991).

$$Q_2 = \frac{1000 p}{\frac{M + m}{2} M - m}$$

La valeur $(M + m)/2$ du fait de son expression en degré Kelvin varie peu : Stewart l'assimile à une constante $K= 3,43$ d'où le quotient :

$$Q_3 = 3,43 \frac{p}{M - m}$$

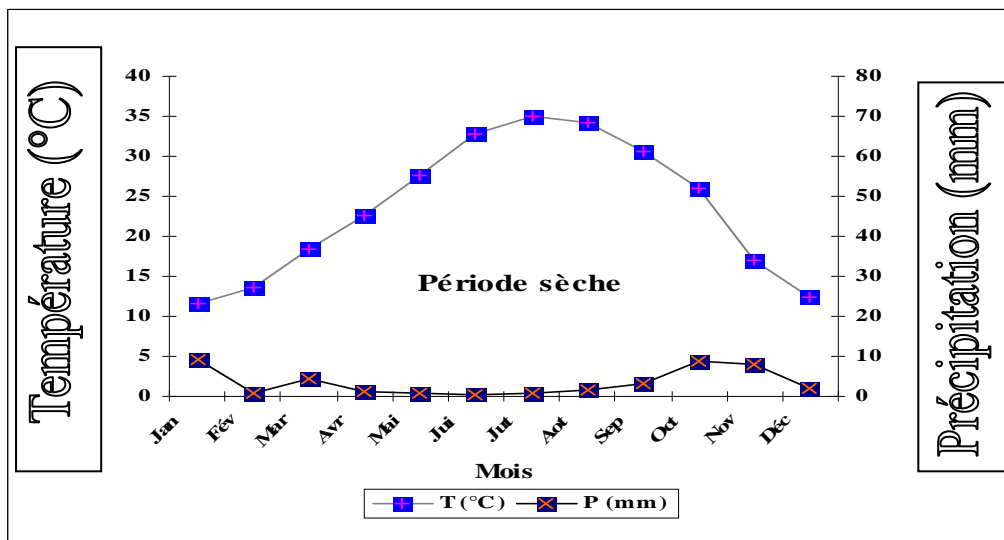


Figure 04 : Diagramme ombrothermique de la station de Ouargla (Période 1999-2009).

De ce fait Q_3 pour la station de Ouargla est égal à 3,66 donc la station est située dans l'étage saharien à hiver doux. (Figure 05).

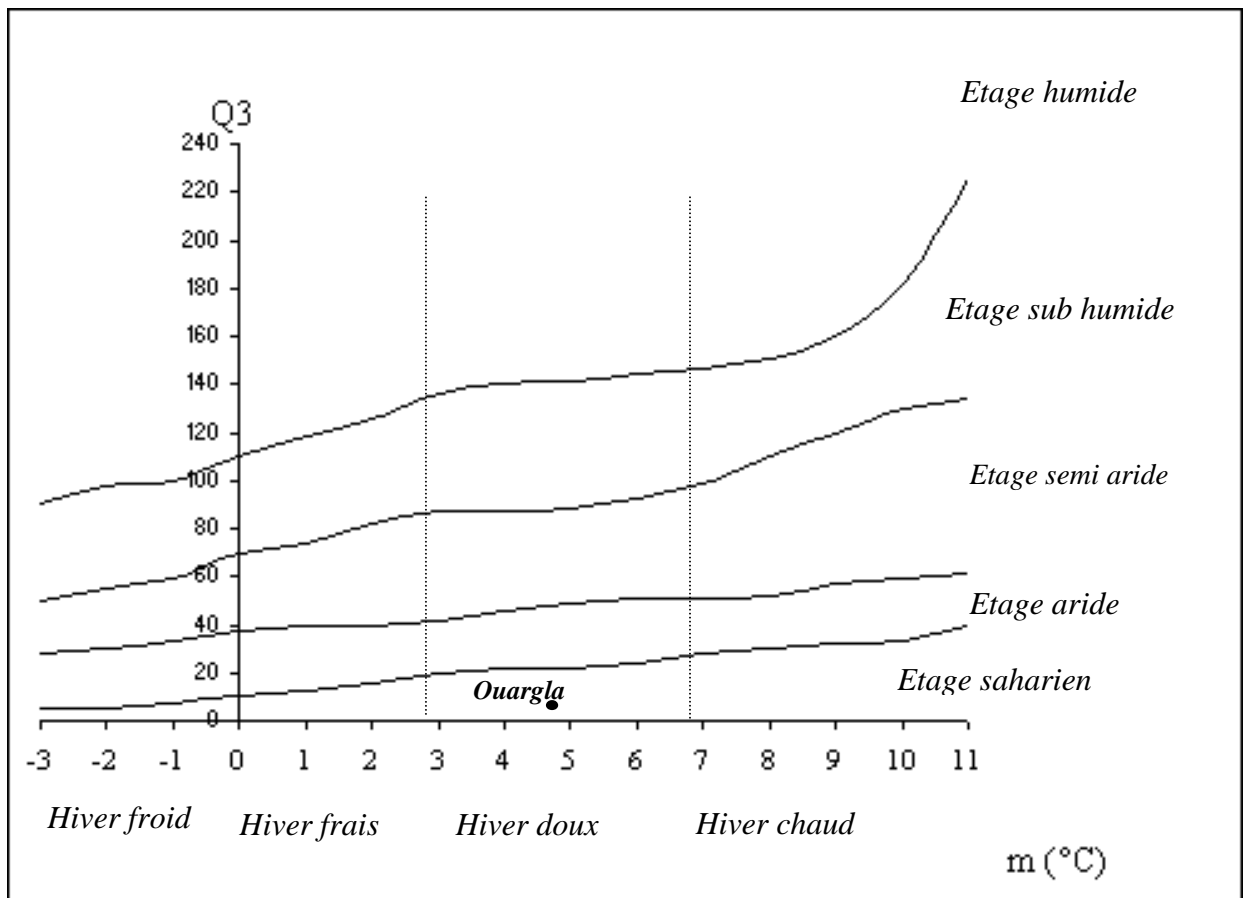


Figure 05 : Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla

Chapitre IV : méthodologie de travail

Chapitre IV : Méthodologie de travail

VI. Critères de choix des stations d'études

Le choix des sites d'étude a été effectué tout d'abord après consultation des travaux ayant traités les sols de la région (Ex : Dutil, 1971 ; Hamdi-Aïssa, 2001). Cette étude préalable nous a permis de connaître la répartition des différents types de sols dans la région, elle a été poursuivie par des prospections sur terrain et des sondages à la tarière en vue de bien choisir l'emplacement des profils.

Le critère de choix de ces derniers a été basé surtout sur l'existence du calcaire (reconnus par des testes à l'HCl) et leurs présence sur des terrains naturels non fonctionnels pour nous aider à étudier l'origine de ces formes.

IV. 2. Présentation des sites d'étude

IV.2.1. Hassi Ben Abdallah : Profils HBC et HIC

Dans cette station nous avons réalisés deux profils : HBC et HIC. Le premier à coté de la route qui mène de Sidi Khouiled à Hassi Ben Abdallah (photo 01). Le deuxième située a coté de l'ITDAS (photo 02) sur un terrain nu non exploité.

IV.2.2. Plateau de sidi Khouilede : Profils SKC et SAC

A Sidi Khouiled, nous avons réalisé deux profils : SKC et SAC, située à coté de la route qui mène se Sidi Khouiled vers l'aéroport de Ain Beida (photo 03).

IV.2.3. La route de Ghardaïa-Ouargla : Profil GOC

Ce profil est situé a droite de la route de Ghardaïa (photo 04). Le sol est très calcaire (forte effervescence à l'HCl) et on a constaté la difficulté du creusement.

IV.2.4. La cuvette de Ouargla : Profils KG et SL

Ces deux profils (KG et SL) sont situés à droite de la route El-Goléa- Ouargla proche de la nouvelle faculté des sciences.

IV.3. Description des méthodes utilisées

IV.3.1. Sur terrain

IV.3.1.1. Description morphologique

Basée sur les critères suivants déterminés par Baize et Jabiol (1995) et Soltner (2005) :

- Caractérisation de l'environnement de la station : localisation de la station, végétation, relief, topographie, le temps et l'état de surface ;

- Description morphologique des profils basée sur : épaisseur de l'horizon, couleur (à l'état sec) (Munselle Soil Color Charts), texture, structure, consistance, état de l'humidité, porosité, présence de matière organique, présence de calcaire avec l'utilisation de l'HCl, taches, éléments grossier et limites entre les horizons.

IV.3.3.1. L'échantillonnage du sol :

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

IV.3.2. Au laboratoire

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

IV.3.2.1. Analyses physiques, physico-chimiques et chimiques

Les analyses physiques, physico-chimiques et chimiques ont été réalisées au laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, au laboratoire de pédologie du département des sciences agronomiques et au laboratoire de travaux publics du Sud (LTPS).

IV.3.2.1.1. Mesures physiques

a) Granulométrie

Nous avons utilisé la méthode de granulométrie par tamisage humide, à travers une série de tamis à différents diamètres (1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm, 0,1 mm, 0,05 mm).

Pour certains horizons, nous avons effectué la granulométrie selon la méthode international à la pipette de robinson, dont le principe est basé sur la destruction de la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée, dispersion des particules par un dispersant énergétique tel que l'héxmétaphosphate de sodium et par un agitateur mécanique. Et puis nous avons effectué des prélèvements à l'aide de la pipette de robinson, dans des flacons à sédimentation, à des profondeurs et des moments déterminé (application de la loi de STOKES) (Aubert, 1978 ; Mathieu et Pieltain, 1998).

IV.3.2.1.2. Mesure chimique et physico-chimique

a) pH

Selon (AFNOR, 1999 ; Soltner, 2005), la mesure du pH s'effectue au pH mètre sur une suspension de terre fine, le rapport terre/liquide étant en général de 1 / 5.

b) Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité électrique permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous. Mesuré au Conductimètre à partir de l'extrait de sol dont le rapport (terre/eau) est de 1/5 (Aubert, 1978).

c) Calcaire total

Le dosage du calcaire total est réalisé par la méthode du calcimètre de Bernard (Soltner, 2005).

- 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 (voix sec):

- STG sable très grossier (de 1-2 mm) ;
- SG sable grossier (de 500 μm -1 mm) ;
- 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).

d) Calcaire actif

Le dosage du calcaire actif s'effectue par la méthode Drouineau-Galet. On utilise la propriété que possèdent les oxalates d'ammonium de se combiner à certains éléments pour former des « complexes stables ». L'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique (Soltner, 2005).

e) Gypse

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

f) Matière organique

Le carbone organique est oxydé par du 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, 1978).

g) Bilan ionique

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

1.1. 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).

2. Le dosage des anions : à partir l'extrait aqueux (1/5)

2.1. Chlorures (Cl^-)

Le dosage de Chlorures s'effectue selon la méthode de Mohr, les chlorures étant tous solubles, sont extraits par l'eau chaude. Les ions Cl^- sont dosés, ils précipitent sous forme de $AgCl$ en présence de $AgNO_3$.

Pour rendre visible la fin de la précipitation, on ajoute à la solution d'extraction du chromate de potassium. Ce dernier se transforme en chromate d'argent rouge dès que tous les ions Cl^- ont été précipités (Aubert, 1978).

2.2. Carbonate et Bicarbonate (CO_3^{--} et HCO_3^-)

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.

2.3. Sulfates (SO_4^{--})

Il est nécessaire d'utiliser de l'eau acidulée pour extraire totalement les sulfates. On consiste à précipiter SO_4^{--} sous forme de sulfate de baryum, en présence de chlorure de baryum ($BaCl_2$) (Aubert, 1978).

Chapitre V : Résultats

V.1. Site N° 01 : Hassi Ben Abdallah

V.1.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil HBC

V.1.1.1. Description morphologique

Localisation : à gauche de la route qui mène de sidi Khouiled à Hassi Ben Abdallah.

Topographie: plane.

Etat de surface: reg graveleux.

Végétation: *Zygophyllum album*

Temps : ensoleillé.

Date: 13/03/2010.

HBC 1 : 35 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur orange (7,5 YR 7/6), sec, friable, à structure particulaire. Existence de graviers de 0,1 à 0,5 cm de diamètre, forte effervescente à l'HCl. Existence de nodules calcaires de couleur blanchâtre très effervescents à l'HCl, de diamètre de 0,2 à 2 cm, très abondantes. Limite diffuse ;

HBC 2 : 52 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur orange jaunâtre terne (10 YR 7/4), humide, friable, à structure particulaire, l'horizon présente une forte effervescence à l'HCl, existence de quatre lits sableux continues sur tout l'horizon de 1 cm d'épaisseur, qui contiens peu de graviers. Présence des nodules calcaires moins abondants que le premier horizon, de 0,2 à 2 cm, très effervescents à l'HCl. Limite diffuse ;

HBC 3 : > 22 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (10 YR 8/4), humide, friable, de structure particulaire, faible effervescence à l'HCl, existence de taches noirâtre vers la limite supérieur de l'horizon, très effervescente à l'HCl. Existence d'amas calcaires friables très effervescents à l'HCl, de 10 cm de diamètre.

V.1.1.2. Données analytiques

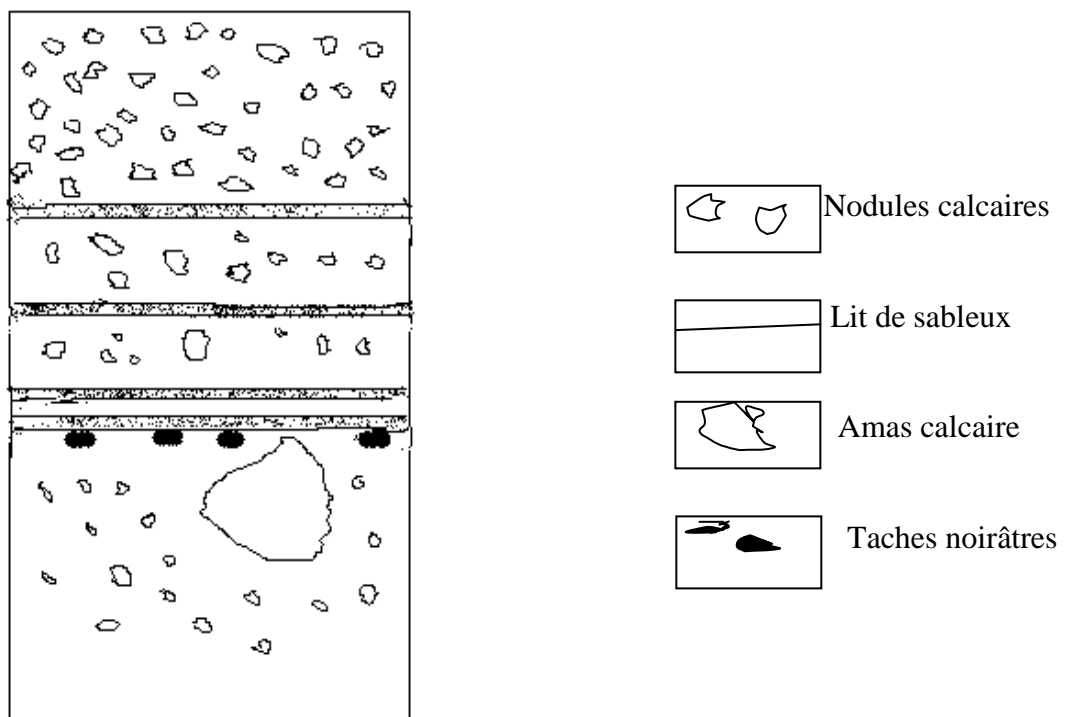
Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe HBC sont présentés dans les tableaux (04 et 05) :

Tableau 04 : Résultats des analyses granulométriques de profil HBC

Ech.	Prof.	Granulométrie (diamètre en μm)					
		Fraction <50 μm	Sable fin		Sable grossier		
			50-100 μm	100-200 μm	200-500 μm	500-1000 μm	1000-2000 μm
HBC 1	0-35 cm	9,28	3,64	17,89	36,71	21,03	11,45
HBC 2	35-87 cm	8	2,6	10,55	30,84	29,5	18,58
HBC 3	> 87 cm	25,93	13,76	19,03	29,61	7,36	4,31

Tableau 05 : Résultats des analyses physico-chimiques de profil HBC

Ech.	Prof.	pH	CE (dS/m à 25 °C)	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
HBC 1	0-35 cm	7,84	0,58	13	0,68	3,08	0,90
HBC 2	35-87 cm	7,95	0,71	2,8	0,58	4,77	1,22
HBC 3	> 87cm	7,83	0,69	23	0,68	2,25	1,32



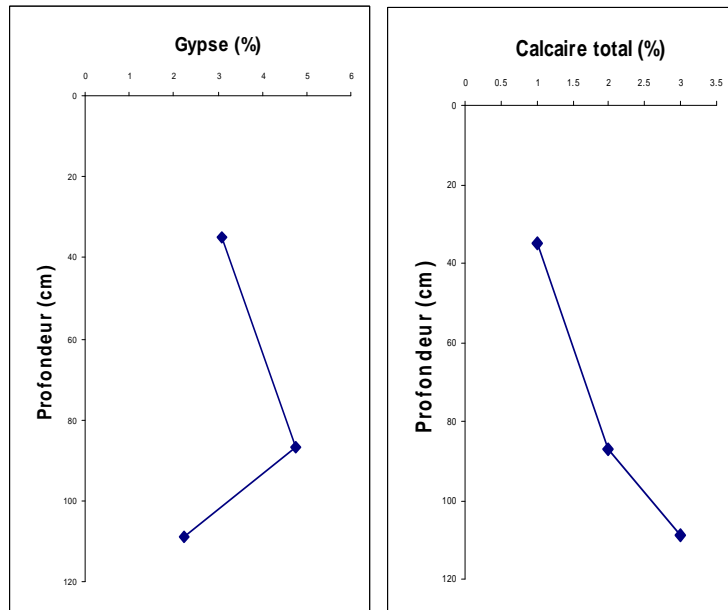


Figure 06 : profils calcaire et gypseux du profil HBC.

V.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 les amas qui sont aussi très effervescentes à l'HCl.

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

Ce profil est caractérisé par un pH variant entre 7,83 et 7,97, selon le tableau 04 (annexe I) le pH est légèrement à moyennement alcalin.

A la lumière des résultats de la conductivité électrique, nous avons observés qu'elle varie : entre 0,58 et 0,71 dS/m. selon le tableau 01 (annexe I) c'est un sol non salé à peu salé.

Le profil étudié présente une teneur variable en calcaire total puisque le taux varie entre 2,8 et 23 %. Donc selon le tableau 03 (annexe I) ; le premier et le dernier horizon sont modérément calcaire avec : 13 % et 23 %, mais le deuxième horizon est peu calcaire avec un taux de 2,8 % (tableau 05 et figure 06).

Dans ce profil la teneur en calcaire actif est faible, elle varie entre 0,58 % et 0,68 %. Le rapport calcaire actif/calcaire total dans tout le profil ne dépasse pas 0,21 %.

A partir des résultats obtenus après dosage du gypse, la teneur varie entre 2,25 et 4,77 %. Selon le tableau 02 (annexe I), le sol étudié est légèrement gypseux (tableau 05 et figure 06).

Le sol étudié à un taux variable en matière organique entre 0,90 et 1,32, selon le tableau 05 (annexe I) le sol est très faible à faible en matière organique.

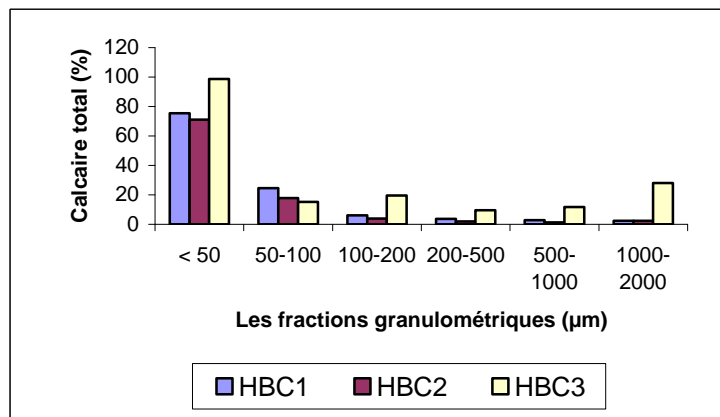


Figure 07 : Distribution du calcaire total dans les différentes fractions granulométriques profil HBC.

D’après les analyses, et selon le tableau 03 (annexe I), le taux de calcaire est très élevé dans la fraction < 50 µm avec un taux de 75,35 % dans l’horizon HBC1, de 71,13 dans l’horizon HBC2 et de 98,59 % dans l’horizon HBC3. Pour les autres fractions, nous avons observés une faible teneur de calcaire total (Figure 07).

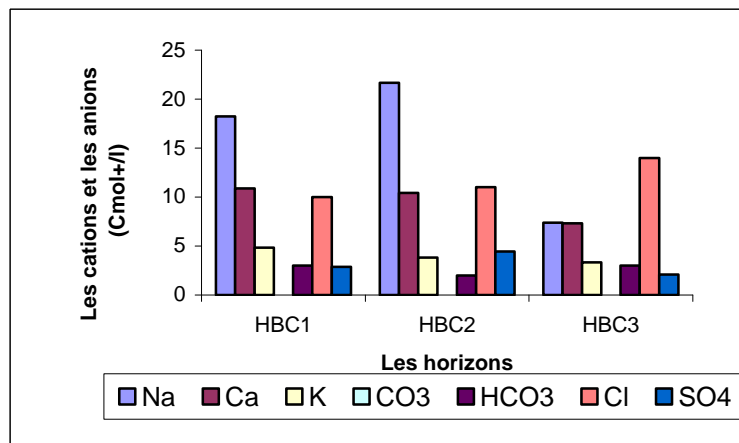


Figure 08 : le bilan ionique du profil HBC.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation le plus dominant dans la solution du sol est le Na⁺, présent dans tous les horizons étudiés, selon l’annexe II, ses concentrations varient de 7,37 à 21,68 Cmol⁺/l ;

- Concentration en anions :

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans tous les horizons, selon l'annexe II, Sa concentration varie de 10 à 14 Cmol⁺/l.

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré sodique (Figure 08).

V.2. Site N° 02 : Hassi Ben Abdallah

V.2.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe HIC

V.2.1.1. Description morphologique

Localisation : à coté de l'ITDAS

Topographie: plane

Etat de surface: Reg graveleux

Végétation: *Zygothymum album*

Temps : ensoleillé

Date : 06/04/2010

HIC 1 : 23 cm

Horizon a texture sableuse, de couleur orange (7,5 YR 7/6), sec, friable, à structure particulaire, très effervescent à l'HCl, existence de graviers de diamètre de 1 à 5 mm. Présence de quelques nodules calcaires moins abondants de diamètre 2 mm à 1 cm, très effervescents à l'HCl. Limite diffuse ;

HIC 2 : 37 cm

Texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (10 YR 8/4), sec, friable, à structure particulaire, horizon très effervescent à l'HCl, existence de graviers très abondants de 1 à 20 mm de diamètre. Existence de nodules calcaires, abondants, très effervescents à l'HCl de diamètre de 2 à 20 mm, durs. Existence de barbes calcaires (accumulation de calcaire vers la partie inférieure du gravier) effervescente à l'HCl. Limite diffuse ;

HIC 3 : > 24 cm

Cet horizon présente une texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (10 YR 8/4), friable, humide, de structure particulaire, l'horizon est effervescent à l'HCl, existence de graviers très abondants de 0,1 à 0,5 mm de diamètre. Existence d'encroûtement nodulaire très effervescent à l'HCl.

V.2.1.2. Données analytiques

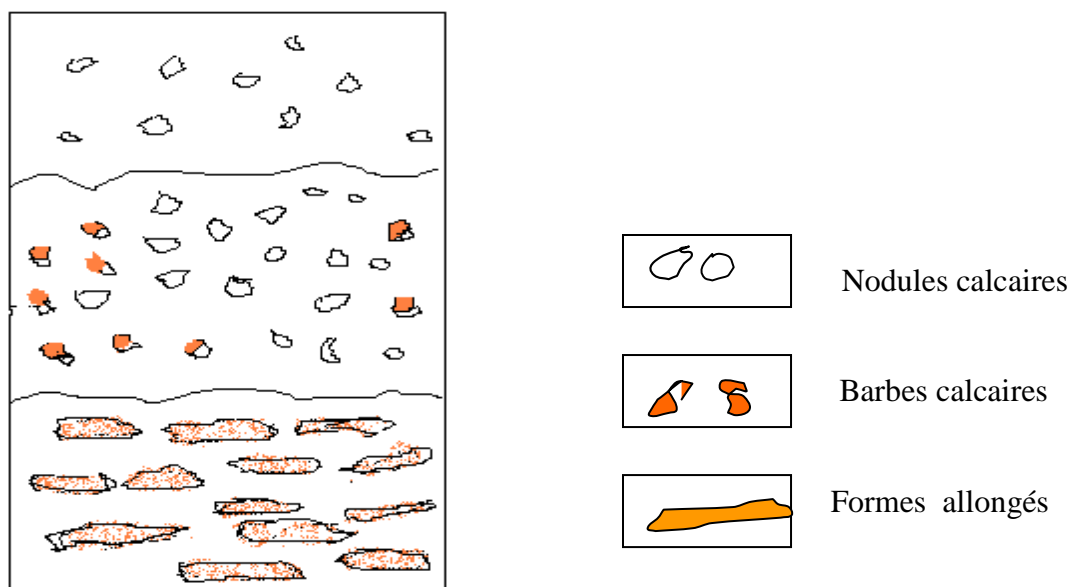
Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe HIC sont présentés dans les tableaux (06 et 07).

Tableau 06 : les analyses granulométriques de profil HIC

Ech.	Prof (cm).	Granulométrie (diamètre en μm)					
		Fraction <50 μm	Sable fin			Sable grossier	
			50-100 μm	100-200 μm	200-500 μm	500-1000 μm	1000-2000 μm
HIC 1	0-40	6,83	9,25	21,73	31,17	22,47	8,55
HIC 2	40-48	11,02	9,13	15,27	25,58	23,78	15,22
HIC 3	> 48	13,98	6,25	11,83	24,11	23,85	19,98

Tableau 07 : Les résultats des analyses physico-chimiques de profil HIC

Ech.	Prof (cm).	pH	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
HIC 1	0-40	7,95	0,02	5,14	0,43	2,95	0,85
HIC 2	40-48	8,12	0,15	14,07	0,08	1,42	1,06
HIC 3	> 48	7.96	0,46	15,21	0,5	2,89	1,64



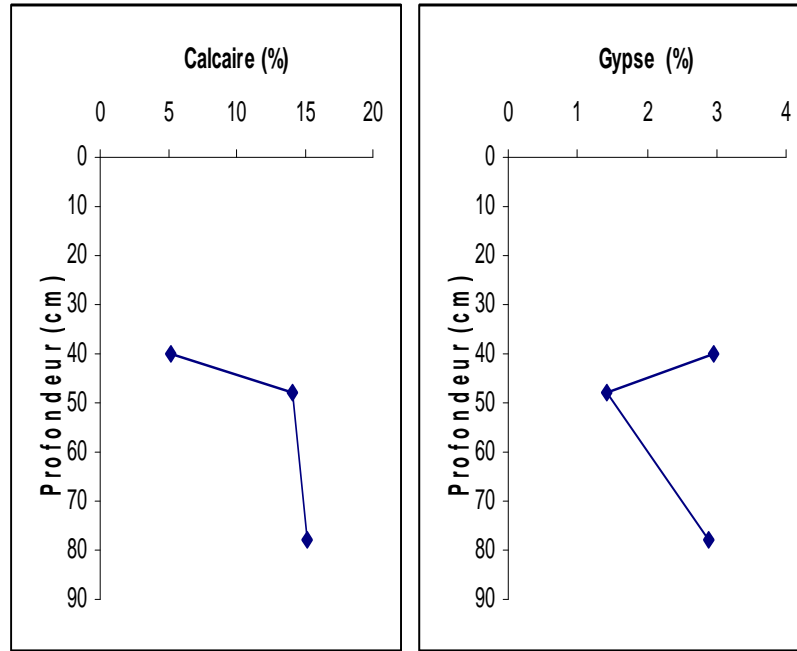


Figure 09 : profils calcaire et gypseux de la coupe HIC.

V.2.1.3. Interprétation

Dans ce profil, le calcaire se trouve sous trois formes à savoir : les nodules calcaires, qui sont présents dans le premier horizon, et très abondants dans le deuxième dans ce dernier on trouve aussi des barbes calcaires, pour le troisième horizon, une autre forme de calcaire existe c'est les encroûtements nodulaires. 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, surtout le sable grossier.

En ce qui concerne le pH du sol, il varie entre (7,95 à 8,12). Selon le tableau 04 (annexe I), le profil est moyennement alcalin.

A travers les résultats obtenus, on remarque que la CE de ce profil varie de : 0,02 à 0,46 dS/m, selon le tableau 01 (annexe I), le sol est non salé.

En ce qui concerne le taux de calcaire total dans le profil, il varie entre 5,14 et 15,21 %, selon le tableau 03 (annexe I), le sol étudié est modérément calcaire (tableau 07 et figure 09).

Ce profil est caractérisé par une teneur en calcaire actif qui varie entre 0,08 et 0,5. Le rapport calcaire actif / calcaire total varie de 0,01 et 0,08 %.

Les résultats obtenus pour le gypse montrent une teneur variable de gypse dans le profil (1,42 à 2,95 %), selon le tableau 02 (annexe I) le sol est légèrement gypseux (tableau 09 et figure 10).

Pour la matière organique, le profil étudié présente une faible teneur (0,85 à 1,64 %), selon le tableau 05 (annexe I) c'est un sol très faible à faible en matière organique.

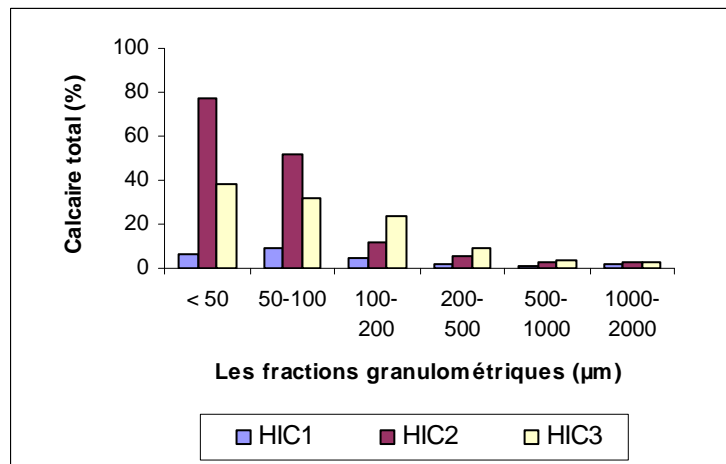


Figure 10 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil HIC.

Les résultats du dosage du calcaire total dans les différentes fractions du sol, montrent une dominance dans la fraction inférieure à 50 µm dans les horizons HIC2 et HIC3, avec un taux égal à 76,9 % et 37,82%, et pour l'horizon HIC1, le calcaire total est plus dominant dans la fraction 50-100 µm avec un taux de 9,23 %. Pour les autres fractions le taux de calcaire est variable (Figure10).

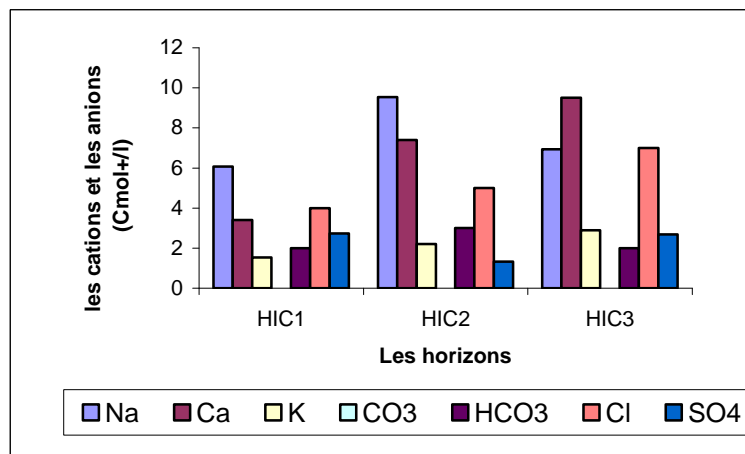


Figure 11 : Bilan ionique du profil HIC.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation le plus dominant dans la solution du sol, est le Na^+ , présent dans les deux horizons HIC1 et HIC2, sa concentration varie de 6,07 à 9,54 Cmol^+/l , pour l'horizon HIC3, le cation dominant est Ca^{++} , avec une concentration égale à 9,5 Cmol^+/l ;

- Concentration en anions :

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans tous les horizons, selon l'annexe II, sa concentration varie de 4 à 7 Cmol^+/l .

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré sodique pour le HIC1 et HIC2, et chloruré calcique pour l'horizon HIC3 (Figure 11).

V.3. Site N° 03: Sidi Khouiled

V.3.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe SKC

V.3.1.1. Description morphologique

Localisation : à droite de la route qui mène de sidi Khouiled à l'aéroport.

Topographie: plane

Etat de surface: reg graveleux

Végétation: pas de végétation

Temps : ensoleillé

Date: 13/03/2010

SKC 1 : 40 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (10 YR 7/4), sec, friable, existence de graviers émoussés de 1 à 5 mm, structure particulaire, cet horizon présente une forte effervescence à l'HCl, avec l'existence de taches de couleur brune foncé. Présence de calcaire sous forme diffuse très abondant, qui cimente du gravier. Limite diffuse ;

SKC 2 : 35 cm

L'horizon à une texture sableuse, de couleur orange jaunâtre terne (10 YR 7/4), humide, friable, structure particulaire, très forte effervescence à l'HCl, existence de graviers émoussés de 1 à 5 mm, et de petits nodules calcaires de 2 à 5 mm de diamètre, très abondants. Limite diffuse ;

SKC 3 : 26 cm

Texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (7,5 YR 7/4) à l'état sec, de structure particulaire, friable, faible effervescence à l'HCl, moyennement humide. Présence d'amas calcaires durs de couleur blanchâtre très effervescents à l'HCl ; très abondants.

V.3.1.2. Données analytiques

Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe SKC sont présentés dans les tableaux (08 et 09).

Tableau 08 : Les analyses granulométriques de la coupe SKC

Ech.	Prof (cm).	Granulométrie (diamètre en µm)					
		Fraction <50 µm	Sable fin			Sable grossier	
			50-100 µm	100-200 µm	200-500µm	500-1000 µm	1000-2000 µm
SKC 1	0-40	6,51	1,96	8,36	28,21	27,29	27,67
SKC2	40-75	12,97	14,97	23,15	26,9	9,23	12,78
SKC3	> 75	21,77	5	15,3	33,09	11,62	13,22

Tableau 09 : Les résultats des analyses physico-chimiques de profil SKC

Ech.	Prof (cm).	pH	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
SKC 1	0-40	7,66	0,97	6,5	0,25	4,14	1,48
SKC2	40-75	7,83	0,67	3,4	0,75	3,67	0,53
SKC3	> 75	7,62	1,09	27	0,83	11,83	1,16

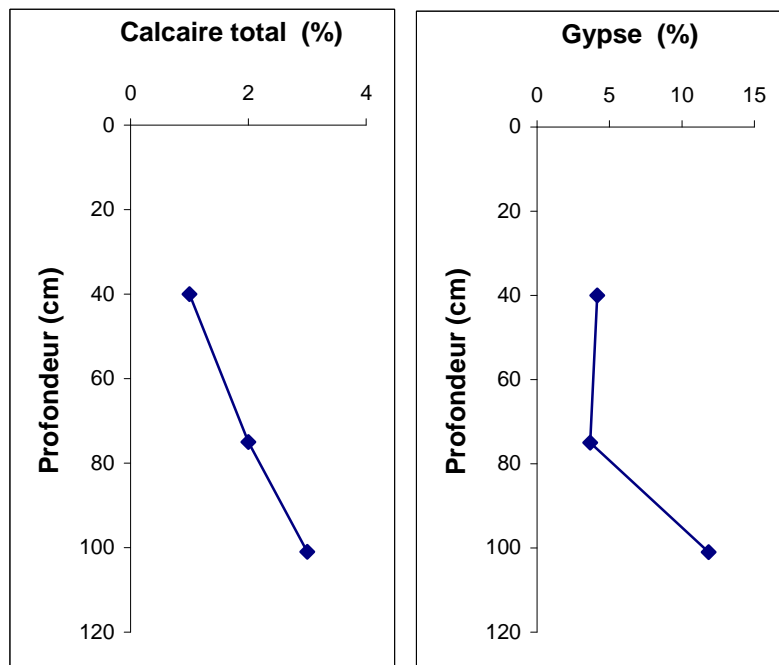
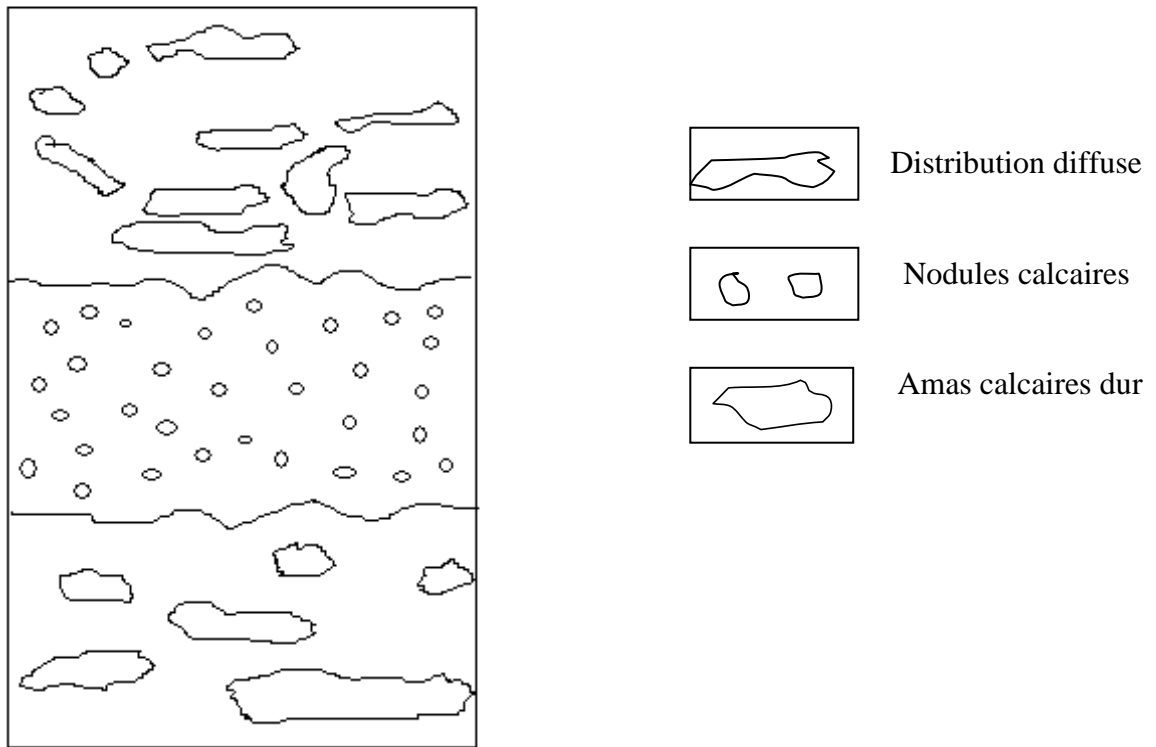


Figure 12 : profils calcaire et gypseux de la coupe SKC.

V.3.1.3. Interprétation

Ce profil est caractérisé, par trois formes d'accumulation : les nodules dans le deuxième horizon, les amas dans le troisième, et la forme diffuse dans le premier horizon. Le profil est très effervescent à l'HCl.

D'une manière générale, les analyses granulométriques, montrent qu'il y a une dominance des fractions sableuses, surtout le sable grossier.

Le pH du sol étudié varie entre 7,62 et 7,83, donc c'est un sol légèrement alcalin. En ce qui concerne la CE, elle varie de 0,67 à 1,09 dS/m, donc c'est un sol peu salé.

Pour les résultats du taux de calcaire total, les deux premiers horizons ont un taux faible de calcaire l'un de 6,5 et l'autre de 3,4, selon le tableau 03 (annexe I), ils sont considéré comme modérément calcaire. Pour le troisième horizon qui contient des amas calcaires très dur, le taux de calcaire est très élevé de 27 %, c'est un horizon fortement calcaire (tableau 09 et figure12).

Les résultats obtenus pour le dosage de calcaire actif montrent que les teneurs varient de 0,25 à 0,83 %. Le rapport calcaire actif / calcaire total dans le profil étudié varie de 0,03 et 0,22 %.

Pour le gypse, il varie entre : 3,67 et 11,83 %, selon le tableau 02 (annexe I), le profil est légèrement à modérément gypseux (tableau 09 et figure12).

Dans ce profil le taux de matière organique varie entre : 0,53 et 1,48 %, selon le tableau 05 (annexe I), le profil est très faible à faible en matière organique.

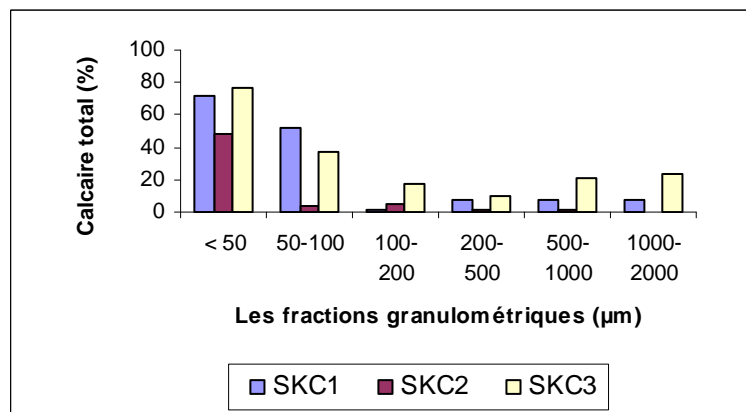


Figure 13 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SKC.

Les résultats obtenus par le dosage du calcaire total dans les fractions granulométriques, montrent qu'il est plus important dans la fraction < 50 μm, il varie dans les horizons SKC1, SKC2 et SKC3 de 71,83, 47,89 et 76,76 % (Figure 13).

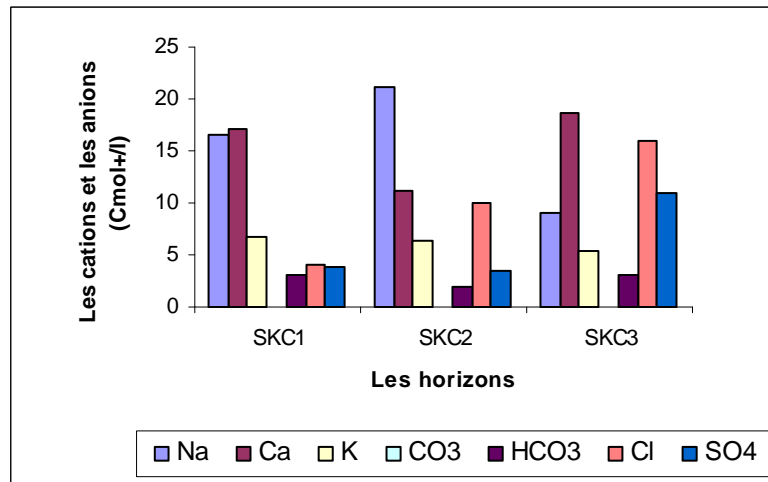


Figure14 : Bilan ionique du profil SKC.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation plus dominant dans la solution du sol, est le Ca^{++} , présent dans les deux horizons SKC1 et SKC3, selon l'annexe II, sa concentration varie de 17,18 à 18,63 $Cmol^{+}/l$, pour l'horizon SKC2, le cation dominant est Na^{+} , avec une concentration égale 21,25 $Cmol^{+}/l$

- Concentration en anions :

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans tous les horizons, selon l'annexe II, sa concentration varie de 4 à 16 $Cmol^{+}/l$.

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré calcique pour SKC1 et SKC3, et chloruré Sodique pour l'horizon SKC2 (Figure14).

V.1. Site N° 04: Sidi Khouiled

V.4.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe SAC

V.4.1.1. Description morphologique

Localisation : à droite de la route qui mène de sidi Khouiled à l'aéroport.

Topographie: plane

Etat de surface: reg graveleux

Végétation: pas de végétation

Temps : ensoleillé

Date:21/03/2010

SAC 1 : 0-11 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (10 YR 8/3), sec, friable, structure particulaire, très effervescent à l'HCl. Présence d'une croûte calcaire, très effervescente à l'HCl de couleur blanchâtre. Limite diffuse ;

SAC 2 : > 11 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur orange (7,5 YR 7/6), sec, friable, de structure particulaire, existence des taches de couleur verdâtre très abondantes, existence des éléments grossiers très effervescents à l'HCl, l'horizon est non effervescent à l'HCl.

V.4.1.2. Données analytiques

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

Tableau 10 : Les analyses granulométriques de la coupe SAC

Ech.	Prof (cm).	Granulométrie diamètre en μm					
		Fraction <50 μm	Sable fin		Sable grossier		
			50-100 μm	100-200 μm	200-500 μm	500-1000 μm	1000-2000 μm
SAC 1	0-11	6,29	10,59	29,9	48,74	3,33	1,15
SAC 2	>11	21,01	10,64	26,79	30,64	6,64	4,28

Tableau 11 : Les résultats des analyses physico-chimiques de profil SAC

Ech.	Prof (cm).	pH	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
SAC 1	0-11	7,76	1,45	36	0,75	4,70	1,06
SAC 2	>11	7.71	1,56	0,5	1	2,95	1,48

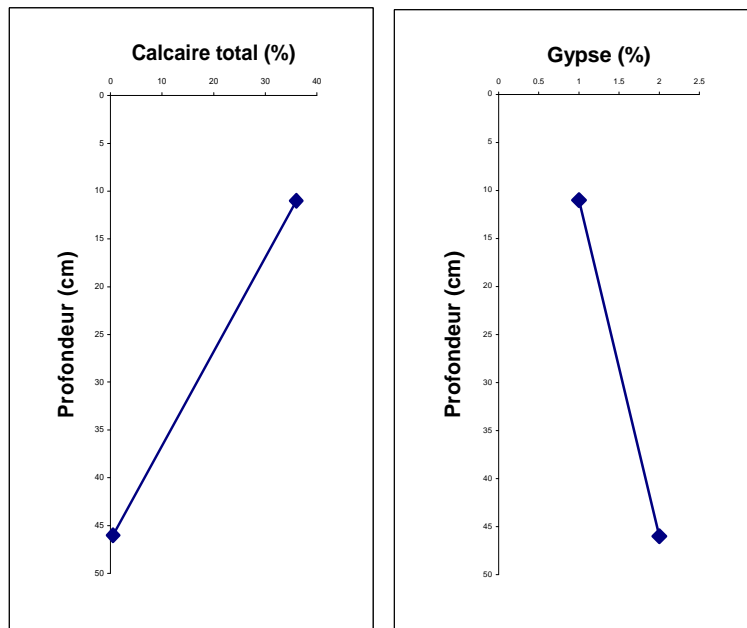
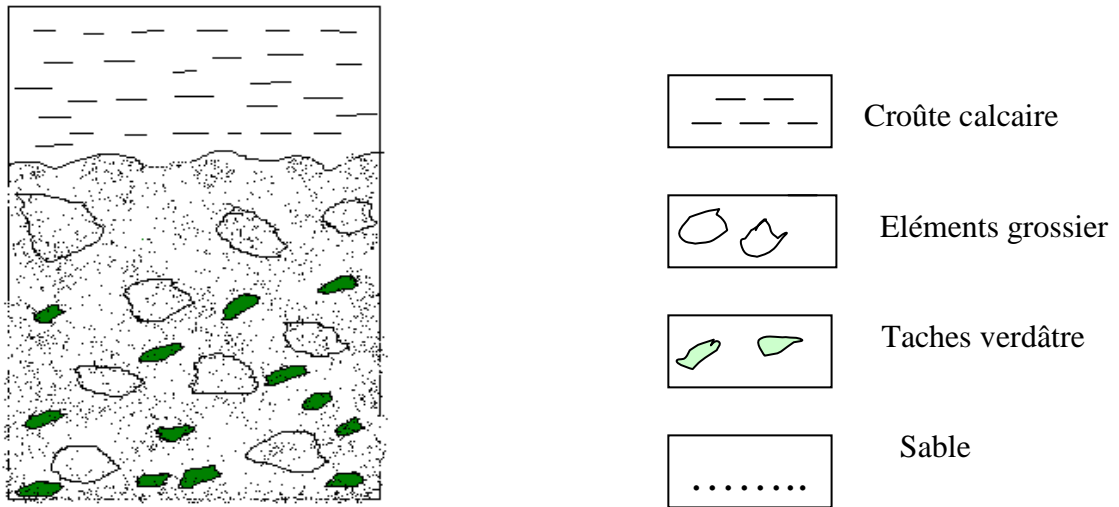


Figure 15 : profils calcaire et gypseux de la coupe SAC.

V.4.1.3. Interprétation

Ce profil est caractérisé par une seule forme qui existe dans le premier horizon, c'est la croûte calcaire, très effervescente à l'HCl. Pour le deuxième horizon, pas de forme de calcaire avec une faible effervescence localisée à l'HCl.

Pour la granulométrie, on observe que le profil se caractérise par une texture sableuse, avec une dominance de sable grossier.

Le profil étudié a un pH qui varie entre 7,71 et 7,76 %, selon le tableau 05 (annexe I), le profil est légèrement alcalin. Pour la CE, elle est de 1,45 à 1,56 dS/m, selon le tableau 01 (annexe I), c'est sol salé.

A travers les résultats, on observe que le taux de calcaire total dans le profil varie entre 0,5 à 36 %, selon le tableau 03 (annexe I), le premier horizon est non calcaire, pour le deuxième horizon, c'est un horizon fortement calcaire (tableau 11 et figure 15).

Pour le calcaire actif la teneur varie de 0,75 à 1 %. Le rapport calcaire actif/calcaire total est de 0,02 et 2 %.

Le taux de gypse varie entre 2,95 et 4,70 %, donc selon le tableau 02 (annexe I), le profil étudié est classé comme un sol légèrement gypseux (tableau 11 et figure 18).

Dans ce profil le taux de matière organique est variable de 1,06 à 1,48 %, selon le tableau 05 (annexe I), c'est un profil faible en matière organique.

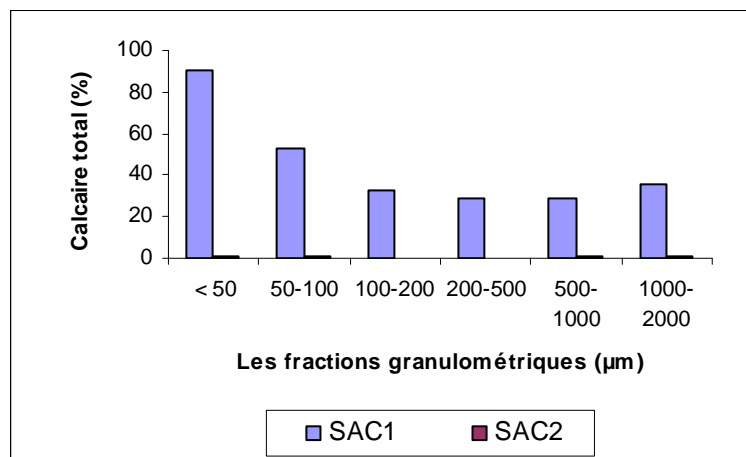


Figure 16: Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SAC.

Pour les résultats du dosage du calcaire total dans les différentes fractions du sol, nous avons observées une teneur élevée dans la fraction < 50 µm, de 90,14 %. Mais pour le deuxième horizon la teneur en calcaire total est faible dans toutes les fractions granulométriques est ne dépasser pas 1,44 % (Figure 16).

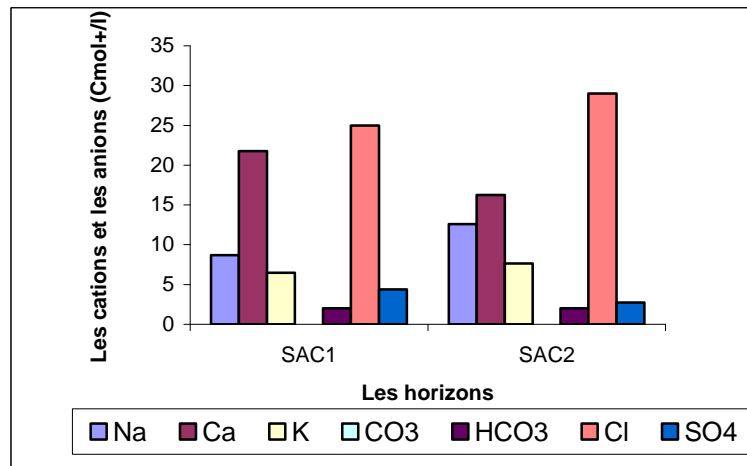


Figure 17 : Bilan ionique du profil SAC.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation le plus dominant dans la solution du sol, est le Ca^{++} , présent dans les deux horizons SAC1 et SAC2, selon l'annexe II, sa concentration varie de 16,24 à 21.75 Cmol^{+/l} ;

- Concentration en anions :

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans tous les horizons, selon l'annexe II, sa concentration varie de 25 à 29 Cmol^{+/l}.

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré calcique pour les deux horizons (Figure 17).

V.5. Site N° 05 : La route de Ghardaïa vers Ouargla

V.5.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe GOC

V.5.1.1. Description morphologique

Localisation : à droite de la route qui mène de Ouargla à Ghardaïa.

Topographie: plane

Etat de surface: reg

Végétation: *Oudneya africana*

Temps : ensoleillé

Date:30/03/2010

GOC 1 : 44 cm

Texture sableuse, de couleur orange jaunâtre claire (7,5 YR 8/4), friable, sec, structure particulaire. Existence de distribution diffuse très effervescente à l'HCl. Horizon très effervescent à l'HCl. La limite diffuse ;

GOC 2 : 44 cm

Horizon à texture sableuse, de couleur gris claire (10 YR 8/2), sec, friable, structure particulaire, horizon très effervescent à l'HCl. Existence de dalle calcaire très effervescente à l'HCl de couleur blanchâtre.

V.5.1.2. les données analytiques

Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe GOC sont présentés dans les tableaux (12 et 13).

Tableau 12 : Les analyses granulométriques de la coupe GOC

Ech.	Prof (cm).	Granulométrie (diamètre en µm)					
		Fraction <50 µm	Sable fin		Sable grossier		
			50-100 µm	100-200 µm	200-500µm	500-1000 µm	1000-2000 µm
GOC 1	0-44	11,83	7,92	48,08	21,9	7,3	2,97
GOC 2	> 44	40,8	8,81	12,71	16,37	10,27	11,04

Tableau 17 : Les résultats des analyses physico-chimiques de profil GOC

Ech.	Prof. (cm)	pH	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
GOC 1	0-44	7,95	0,71	28,93	1,43	2,41	1,32
GOC 2	> 44	7,83	0,69	23,57	1,5	17,06	0,85

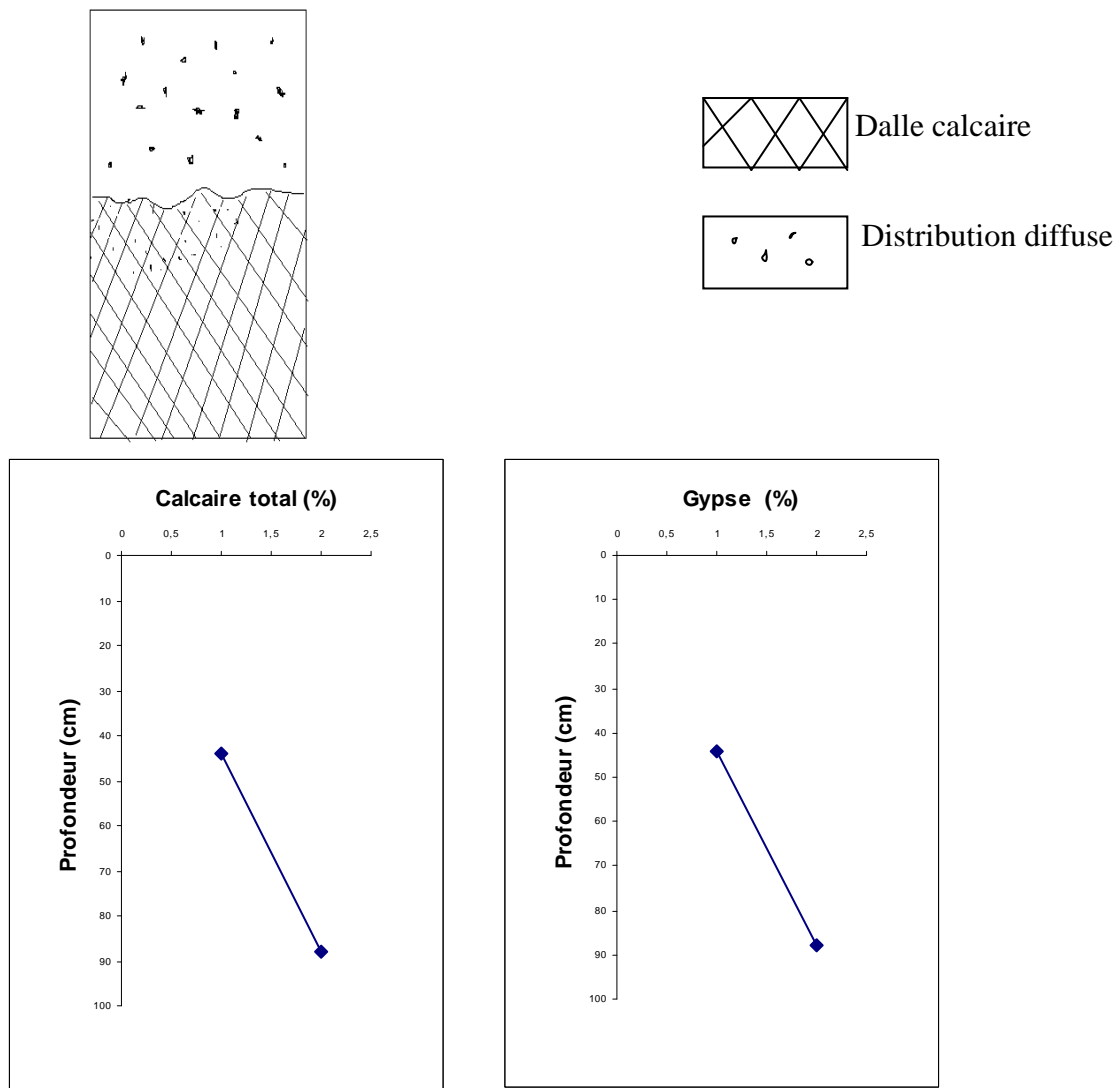


Figure 18 : le profil calcaire total et gypseuse du profil GOC

V.4.1.3. Interprétation

Ce profil est caractérisé par une forme de dalle calcaire très effervescente à l'HCl.

Pour la granulométrie, on observe que le profil est caractérisé par une texture sableuse, avec une dominance du sable grossier.

Le profil étudié a un pH qui varie entre 7,83 et 7,95 , selon le tableau 05 (annexe I), le profil est légèrement à moyennement alcalin. La CE de ce profil, est de 0,69 à 0,71 dS/m, selon le tableau 01 (annexe I), c'est un sol peu salé.

A travers les résultats, on observe que le taux de calcaire dans le profil varie entre 23,57 et 28,93 %, selon le tableau 03 (annexe I), le profil étudié est modérément à fortement calcaire (tableau 17 et figure 18).

Ce profil est caractérisé par une teneur en calcaire actif qui varie entre 1,43 et 1,5. Le rapport calcaire actif / calcaire total varie de 0,05 et 0,06 %.

Le taux de gypse varie entre 2,41 et 17,06 %, donc selon le tableau 02 (annexe I), le profil étudié est classé comme un sol légèrement à modérément gypseux (tableau 11 et figure 18).

Dans ce profil le taux de matière organique est variable de 0,85 à 1,32 %, selon le tableau 05 (annexe I), c'est un profil très faible à faible en matière organique.

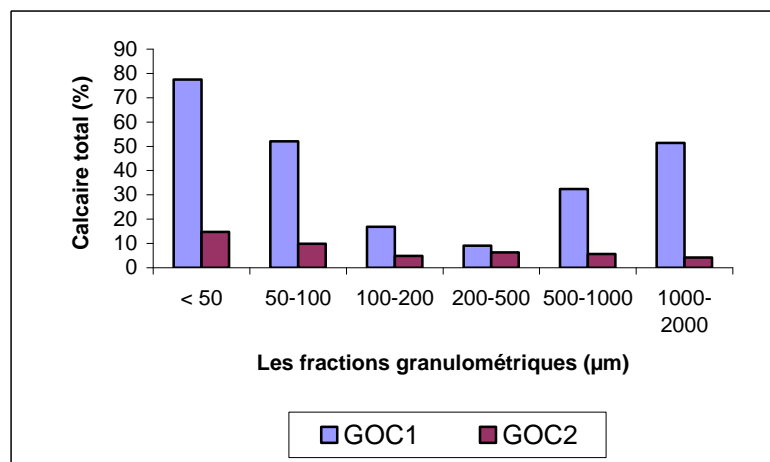


Figure 19: Distribution de calcaire total dans les fractions granulométriques du profil GOC.

Pour les résultats des analyses de calcaire total dans les différentes fractions du sol, nous avons observés une teneur élevée dans la fraction < 50 µm, de 77,46 à 14,79 % dans les deux horizons, selon l'annexe III (Figure 19).

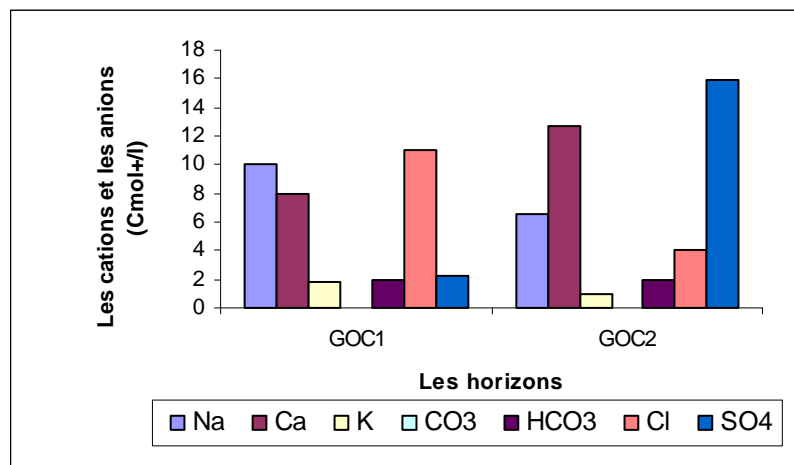


Figure 20 : Bilan ionique du profil GOC.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation le plus dominant dans la solution du sol, est le Na^+ , présent dans le premier horizon avec une concentration égale à $9,98 \text{ Cmol}^+/\text{l}$ et Ca^{++} dans le deuxième horizon, selon l'annexe II, sa concentration est de $12,76 \text{ Cmol}^+/\text{l}$;

- Concentration en anions :

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans le premier horizon et sulfate dans le deuxième horizon, selon l'annexe II, sa concentration est de $11 \text{ Cmol}^+/\text{l}$ pour GOC1 et $15,88 \text{ Cmol}^+/\text{l}$ pour le GOC2.

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré sodique pour le premier et sulfaté calcique pour le deuxième horizon (Figure 20).

V.6. Site N° 06 : Cité Ennacer

V.6.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe SL

V.6.1.1. Description morphologique

Temps: ensoleillé

Localisation : à droite de la route El-Goléa-Ouargla, proche de la nouvelle faculté des sciences.

Topographie: plane

Végétation: *Zygophyllum album*

Date: 18/02/2010

SL1 : 0-61 cm

Texture sableuse, de couleur orange (7,5 YR 7/6), sec, friable, structure particulaire, présence de manchons de gypse de 0,2 à 0,5 cm d'épaisseur. Cette coupe présente une faible effervescence à l'HCl. On remarque la présence de quelques pores de 2 mm de diamètre vers la limite inférieure de l'horizon. Limite nette ;

SL2 : 61-73 cm

Horizon humide, à texture sablo-limoneuse et à structure particulaire, de couleur gris claire (2,5 YR 8/1), friable et présentant une très forte effervescence à l'HCl. Existence de taches de couleur rougeâtre, présence d'une mince couche verdâtre, continu sur tout l'horizon, de 2 cm d'épaisseur. Cet horizon représente un encroutement calcaire. Limite diffuse ;

SL3 : 73-80 cm

Horizon de couleur gris claire (10 YR 8/6), à texture sablo-limoneuse et à structure particulaire, humide, friable, l'effervescence à l'HCl est très forte. Présence d'une mince couche de couleur verdâtre de 1 cm d'épaisseur. Là aussi, il s'agit d'un encroûtement calcaire. Limite inférieure est diffuse ;

SL4 :80- 89,5 cm

Cet horizon est un encroûtement calcaire plus dur que le précédent à texture limoneuse et à structure particulaire, de couleur gris claire (7,5 YR 8/1), humide, présence de quelques taches blanches et noir, forte effervescence à l'HCl, existence de deux minces couches continues de couleur verdâtre de 1,5 et 2 cm d'épaisseur. Limite distincte ;

SL5 : 89.5-119.5cm

Horizon à texture sableuse et à structure particulaire, de couleur gris claire (2,5 YR 8/2), humide, friable. Pas d'effervescence à l'HCl. Existence de taches orange, la limite diffuse ;

SL6 : supérieure à 119,5 cm

Horizon de couleur orange terne (5 YR 7/4), sableux, humide, semi friable, à structure particulaire. Pas d'effervescence à l'HCl. Présence de quelques taches blanchâtre.

V.6.1.2. Données analytiques

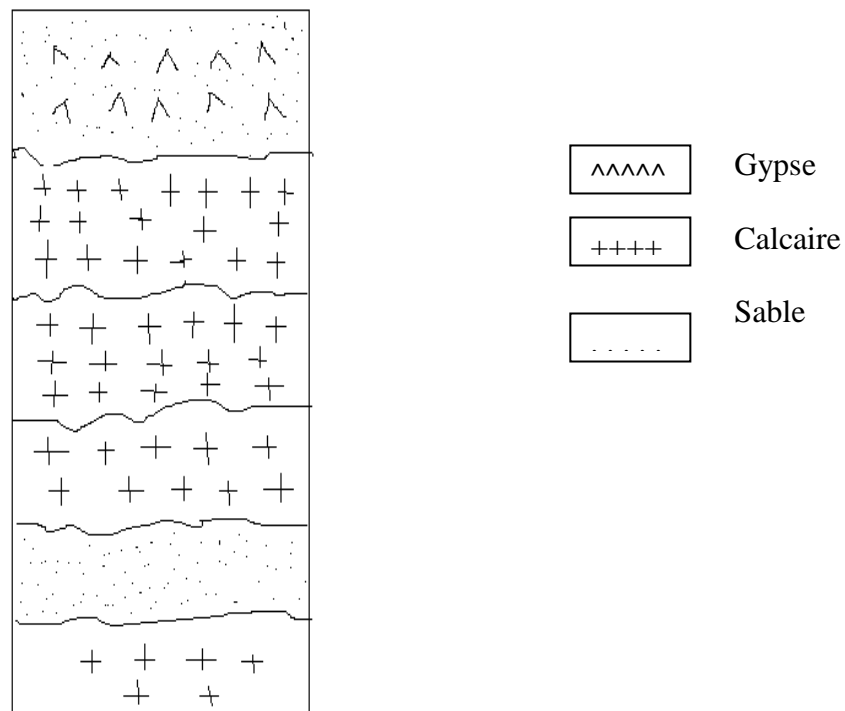
Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe SL sont présentés dans les tableaux (14 et 15).

Tableau 14: Les analyses granulométriques de la coupe SL

Ech	Prof	Granulométrie				
		A %	Lf%	Lg%	Sf %	Sg%
SL 1	0-61	2,92			56,77	40,31
SL 2	61-73	3,78	62,5	15	1,64	12,45
SL 3	73-80	13,78	35	12,5	1,63	13,9
SL 4	80-89,5	28,78	32,5	10	0,87	12,55
SL 5	89.5-119.5	20,86			67,98	11,16
SL 6	> 119.5	20			65,12	14,88

Tableau 15 : Les résultats des analyses physico-chimiques de profil SL

Ech.	Prof (cm).	pH	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
SL 1	0-61	7,96	0,27	4,47	1,33	9,99	1,48
SL 2	61-73	7,45	2,10	60,96	1,5	12,99	1,43
SL 3	73-80	7,35	2,46	50,59	1,43	10,56	1,48
SL 4	80-89,5	7,34	2,73	40,70	1,68	12,42	1,48
SL 5	89,5-119,53	7,61	0,73	2,9	1,33	1,16	1,27
SL 6	> 119,53	6,72	0,57	17,08	1,5	1,93	1,06



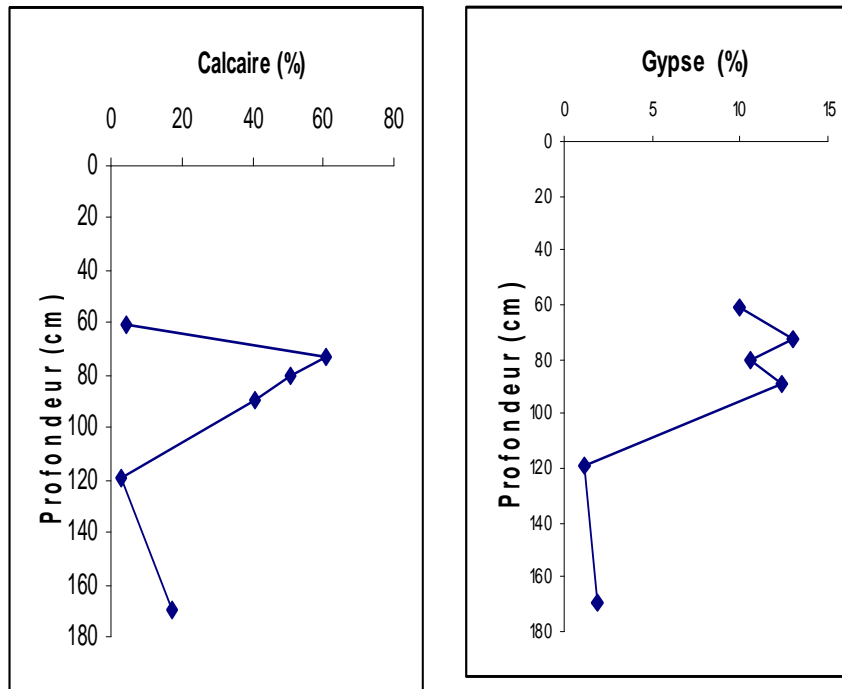


Figure 21 : profils calcaire et gypseux de la coupe SL.

V.6.1.3. Interprétation

Concernant ce profil on remarque l'existence des encroûtements calcaires dans les horizons suivants: SL2, SL3 et SL4 avec une très forte effervescence à l'HCl. Le reste du profil a une faible effervescence à l'HCl.

Les analyses granulométriques, montrent que dans les horizons SL1, SL5 et SL6 la fraction la plus dominante est la fraction sableuse, surtout le sable fin. Pour les autres horizons SL2, SL3 et SL4 la texture est limono-sableuse.

Le sol étudié a un pH qui varie entre 7,34 et 7,96, selon le tableau 04 (annexe I), le profil est légèrement à moyennement alcalin.

Pour la CE, elle est variable entre : 0,27 et 2,73 dS/m, selon le tableau 01 (annexe I), le sol est divisé en sol non salé pour l'horizon SL1, un sol peu salé pour l'horizon SL5 et SL6, sol salé pour l'horizon SL2 et enfin un sol très salé pour le horizon SL3 et SL4.

Le premier horizon (SL1) présente la valeur la plus faible de la CE avec 0,27 dS/m, pour les horizons SL5 et SL6, elle diffère entre 0,57 et 0,73 dS/m, ainsi que l'horizon SL2 qui présente une CE élevée de valeur 2,10 dS/m, pour le reste des horizons, la CE est très élevée.

Le taux de calcaire varie entre : 2,9 et 60,59 %, selon le tableau 03 (annexe I), les horizons SL1 et SL5 sont des horizons peu calcaire, l'horizon SL6 est un horizon modérément calcaire, l'horizon SL4 est un horizon fortement calcaire et les horizons SL2 et SL3 sont des horizons très calcaires (tableau 15 et figure 21).

Ce profil est caractérisé par une teneur en calcaire actif qui varie entre 1,33 et 1,66 %. Le rapport calcaire actif / calcaire total varie de 0,02 et 0,46 %.

En ce qui concerne le taux du gypse, il est variable entre : 1,16 et 12,99 % selon le tableau 02 (annexe I), le profil est légèrement à modérément gypseux.

Pour la matière organique, le taux est variable entre 1,06 et 1,48 %, selon le tableau 05 (annexe I), le profil est très faible à faible en matière organique.

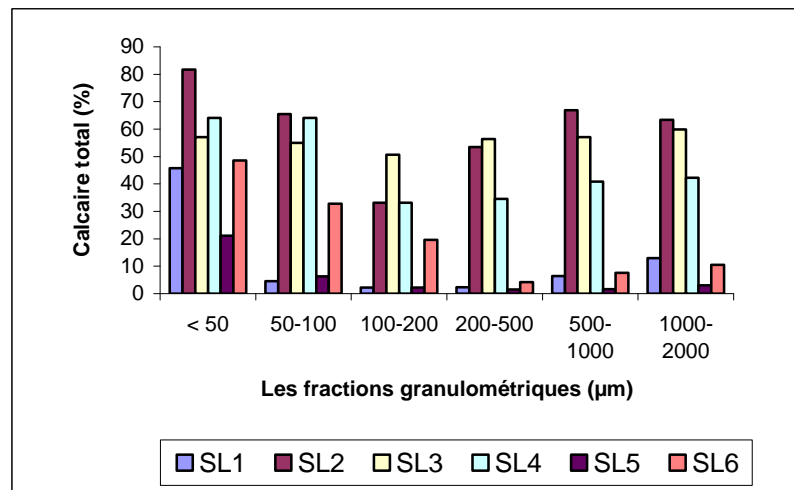


Figure 22 : Distribution du calcaire total dans les fractions granulométriques du profil SL.

Le dosage du calcaire total dans les différentes fractions granulométriques, montrent que la fraction < 50 μm porte une teneur élevée en calcaire, (les horizons : SL1, SL2, SL3, SL4, SL5 et SL6) qui varie entre 21,13% et 81,69%. Pour les autres fractions la teneur la plus élevée varie d'un horizon à un autre (Figure 22).

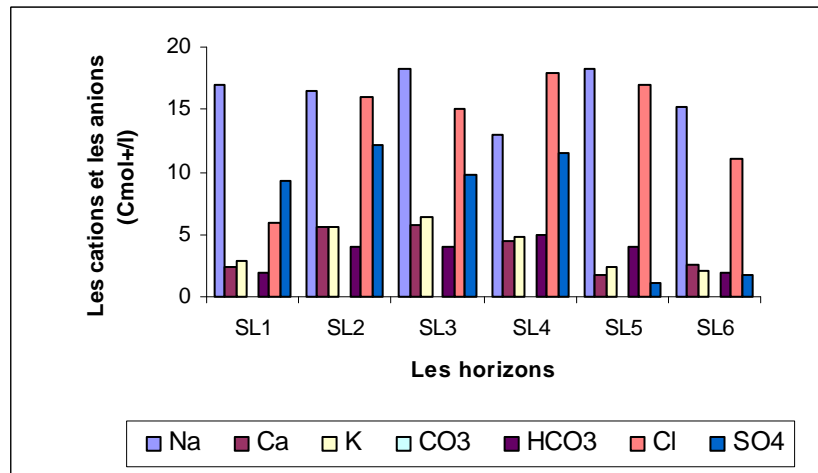


Figure 23 : les cations et les anions du profil SL.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation le plus dominant dans la solution du sol, est le Na^+ , présent dans les tous les horizons, selon l'annexe II, sa concentration varie de 13,01 à 18,22 Cmol^+/l ;

- Concentration en anions :

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans les horizons SL2, SL3, SL4, SL5 et SL6, selon l'annexe II, sa concentration varie de 11 à 18 Cmol^+/l , pour l'horizon SL1 c'est le SO_4^{--} qui est plus dominant.

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré Sodique pour les horizons SL2, SL3, SL4, SL5 et SL6, pour le SL1 est sulfaté sodique (Figure 23).

V.7. Site N° 07 : Cité Ennacer

V.7.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe KG

V.7.1.1. Description morphologique

Temps: ensoleillé

Localisation : à droite de la route El-Goléa-Ouargla proche de la nouvelle faculté des sciences.

Topographie: plane

Végétation: quelques touffes de *Zygophyllum album*

Date:02/03/2010

KG1 : (0-50cm)

Goûte gypseuse très dur de couleur : orange jaunâtre claire, (10 YR 8/3) pas effervescence à l'HCl, la structure est compact, la limite nette ;

KG2 : (50-56,5cm)

Pas d'effervescence à l'HCl, de couleur orange terne (7,5 YR 7/4), très friable, sec, texture limoneuse, structure particulière, existence d'une mince couche de 0.5cm de couleur brunâtre continue, existence des tâches blanchâtres très effervescentes à l'HCl, limite diffuse ;

KG3 : (56,5-69cm)

Faible effervescence à l'HCl, plus humide que KG2, de couleur marron terne (7,5 YR 6/3) friable, la texture est sablo-limoneuse, particulière, existence des tâches blanches très effervescentes à l'HCl d'un diamètre de 0.1-0.2mm, existence des tâches roux, la limite diffuse ;

KG4 : (69-81,5cm)

Sablo-limoneuse, particulière, non effervescente à l'HCl, de couleur orange terne (5 YR 7/4), sec, friable ; existence de quelques tâches blanchâtres très effervescente à l'HCl, de diamètre 0.1-1cm, existence des tâches de couleur roux de 0.1-0.2cm avec un horizon qui a la limite inférieur de 15cm de largeur, la limite diffuse ;

KG5 : (81,5-91,5cm)

Sableuse, friable, non effervescente à l'HCl, orange (7,5 YR 7/6) sec, existence des tâches blanches abondantes très effervescentes à l'HCl, de diamètre de 0.1-0.2cm, existence des fragments gréseux (sable cimenté) plus dure de diamètre de 18cm, existence des tâches roux, limite diffuse ;

KG6 : (91,5-113,5cm)

Sableux, particulière, friable, humide, de couleur orange (7,5 YR 7/6), la transition nette, non effervescente à l'HCl, limite diffuse ;

KG7 : > 113,5cm

Sablo-limoneuse de couleur pale orange (5 YR), existence des tâches blanches très effervescentes à l'HCl (amas calcaire), dure, humide, non effervescentes à l'HCl, existence des tâches verdâtres non effervescentes à l'HCl, abondante.

V.7.1.2. Données analytiques

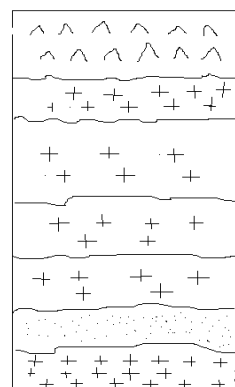
Les résultats des analyses physiques et physico-chimiques de la coupe KG sont présentés dans les tableaux (16 et 17).

Tableau 16 : Les analyses granulométriques de la coupe KG

Ech.	Prof (cm).	Granulométrie diamètre en μm						
			Sable fin			Sable grossier		
		Fraction <50 μm	50-100 μm	100-200 μm	200-500 μm	500-1000 μm	1000-2000 μm	
KG 1	0-50	34,87	9,95	18,07	18,77	9,11	9,7	
KG 2	50-56,5	34,26	18,51	25,96	15,52	3,46	2,29	
KG 3	56.5-69	15,01	13,2	41,53	26,14	3,4	0,72	
KG 4	69-81.5	7,31	7,54	30,17	42,95	7,32	4,71	
KG 5	81.5-91.5	4,85	9,99	28,81	48,41	5,94	2	
KG 6	91.5-113.5	2,38	12,9	51,46	31,53	1,57	0,16	
KG 7	> 113.5	19,44	21,04	33,63	24,14	1,48	0,27	

Tableau 17 : Les résultats des analyses physico-chimiques KG

Ech.	Prof (cm).	pH	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total %	Calcaire actif %	Gypse %	MO %
KG 1	0-50	7,97	0,58	0,30	1,33	77,86	1,72
KG 2	50-56.5	7,40	1,58	20,26	1,5	0,83	2,01
KG 3	56.5-69	8,04	1,04	1,26	1,58	0,46	0,95
KG 4	69-81,5	8,30	0,20	1,26	1,68	0,53	0,79
KG 5	81.5-91,5	8,12	0,17	2,36	1,58	0,92	1,11
KG 6	91.5-113.5	7,93	0,72	1,24	1,58	1,46	0,63
KG 7	> 113.5	7,78	0,68	29,86	1,43	2,04	1,43



^^^^ Gypse

++++ Calcaire

..... Sable

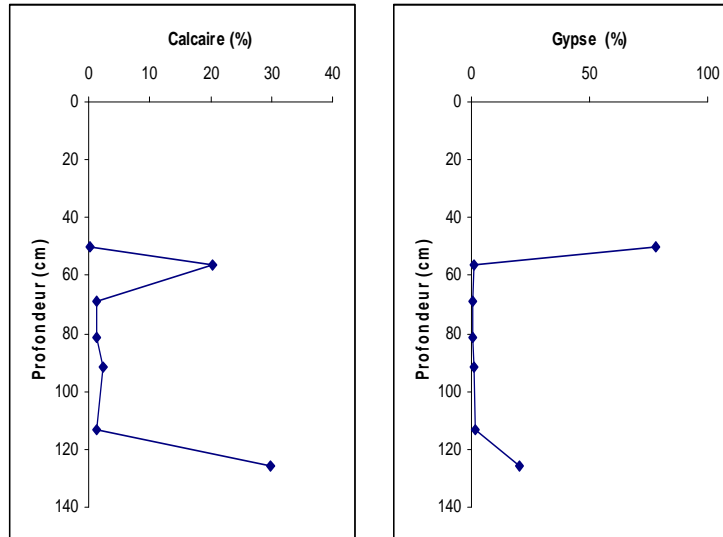


Figure 24: profils calcaire et gypseux de la coupe KG.

V.7.1.3. Interprétation

Pour ce profil, il existe des taches calcaire, très effervescentes à l'HCl, qui sont présentent dans le deuxième, le troisième, le quatrième et le cinquième horizon. Pour les autres horizons pas d'effervescence à l'HCl.

Après les résultats des analyses granulométriques, le profil étudié a une texture sableuse, avec une dominance de sable fin dans tous les horizons.

En ce qui concerne le pH de ce profil, il varie entre 7,40 et 8,30, selon le tableau 04 (annexe I) le profil étudié est légèrement à moyennement alcalin.

La conductivité électrique, elle varie entre 0,17 et 1,58, selon le tableau 01 (annexe I), les horizons KG4 et KG5 sont des horizons non salé, les horizons KG1, KG3, KG6 et KG7 sont des sols peu salé, pour l'horizon KG2 est un sol salé.

Le taux de calcaire dans ce profil varie entre : 0,30 et 29,86 %, selon le tableau 03 (annexe I), l'horizon KG1 est non calcaire, les horizons KG3, KG4, KG5 et KG6 sont des horizons peu calcaires, l'horizon KG2 est un horizon modérément calcaire et pour l'horizon KG7 c'est un horizon fortement calcaire (tableau 17 et figure 24).

Ce profil est caractérisé par une teneur en calcaire actif qui varie entre 1,33 et 1,68 %. Le rapport calcaire actif / calcaire total varie de 0,05 et 4,43 %.

La matière organique, montre des valeurs faibles entre 0,63 et 1,72 %, selon le tableau 05 (annexe I), le sol étudié est très faible à faible en matière organique.

Pour le gypse, on observe une teneur élevée dans l'horizon de surface qui atteint 77,86 %, puis cette teneur diminue avec la profondeur. Selon le tableau 02 (annexe I), l'horizon KG1 est classé comme horizon extrêmement gypseux, et les autres horizons sont classés comme des horizons légèrement gypseux. On remarque que, le taux de gypse diminue avec la profondeur.

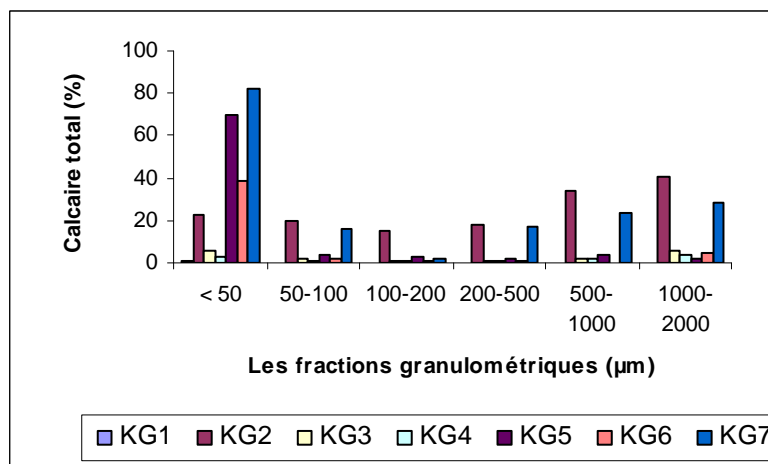


Figure 25 : Distribution de calcaire total dans les fractions granulométriques du profil KG.

Les dosages du calcaire total dans les différentes fractions granulométriques, montrent que la fraction <math>< 50 \mu\text{m}</math> porte une teneur élevée en calcaire dans les horizons KG2, KG3, KG4, KG5, KG6 et KG7 qui varie de 2,41 % à 82,39 %. L'horizon KG1 porte une teneur très faible en calcaire total dans toutes les fractions granulométriques (Figure 25).

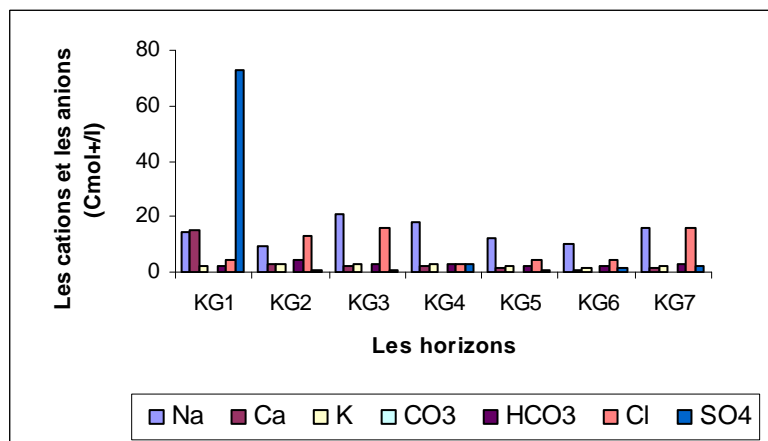


Figure 26 : Bilan ionique du profil KG.

Pour le bilan ionique obtenu, il est comme suit :

- Concentration en cations :

Le cation le plus dominant dans la solution du sol, est le Na^+ , présent dans les horizons KG2, KG3, KG4, KG5, KG6 et KG7, selon l'annexe II, sa concentration varie de 9,11 à 21,25 Cmol^+/l , pour l'horizon KG1 est Ca^{++} , avec une concentration égale 15,23 Cmol^+/l ;

- Concentration en anions

L'anion dominant dans la solution du sol est le chlorure, présent dans les horizons KG2, KG3, KG4, KG5, KG6 et KG7, selon l'annexe II, sa concentration varie de 3 à 16 Cmol^+/l , pour l'horizon KG1 est SO_4^{--} , avec un concentration de 72,46 Cmol^+/l .

Donc le bilan ionique de ce profil est chloruré Sodique pour les horizons KG2, KG3, KG4, KG5, KG6 et KG7, pour le KG1 est sulfaté calcique (Figure 26).

Chapitre VI : Discussion

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

A. Les deux profils de Hassi Ben Abdallah : HBC et HIC

D'après les résultats obtenus, les deux profils présentent une texture sableuse, une faible teneur en matière organique et en gypse, avec un pH légèrement à moyennement alcalin, et sont non salé à peu salé, un faciès géochimique chloruré sodique pour le profil HBC, et entre chloruré sodique et chloruré calcique pour HIC. Une teneur élevée en calcaire total, cette forte teneur provient des formes d'accumulation calcaire qui existe dans les deux profils à savoir les nodules (dans les deux profils), amas dans le profil HBC, les barbes calcaires et l'encroutement nodulaire dans le profil HIC.

B. Les deux profils de Sidi Khouiled : SKC et SAC

La texture des deux profils est sableuse, ils présentent une faible teneur en matière organique et sont légèrement à modérément gypseux, un pH légèrement alcalin, un sol peu salé à salé, leur faciès géochimique est chloruré calcique à chloruré sodique pour le profil SKC et chloruré calcique pour le SAC. Les formes d'accumulation du calcaire qui existent dans les deux profils sont la cause des teneurs élevées en calcaire ; distribution diffuse, petits nodules calcaires et des amas dur dans le profil SCK, et de croûte dans le profil SAC.

C. Le profil de La route de Ouargla-Ghardaïa : GOC

Ce profil est caractérisé par une texture sableuse, une faible teneur en matière organique. Il est légèrement à modérément gypseux, un pH légèrement à moyennement alcalin, c'est un sol peu salé, son faciès géochimique est chloruré sodique et sulfaté calcique. La teneur élevée en calcaire total dans ce profil est due aux formes des accumulations de calcaires qui existent ; les dalles et la forme diffuse.

D. Les deux profils de la cuvette de Ouargla : SL et KG

Les deux profils présentent une texture sableuse à **limono-sableuse**, avec une faible teneur en matière organique. Pour le gypse les résultats montrent que les deux profils sont légèrement à modérément gypseux et extrêmement gypseux pour l'horizon KG1, le pH est légèrement à moyennement alcalin. Le sol est non salé (SL1, KG4 et KG5), peu salé (SL5, SL6, KG1, KG3, KG6 et KG7), salé (SL2 et KG2) et très salé (SL3 et SL4). La teneur élevée en calcaire dans les deux profils est due à l'existence de taches calcaires et aussi à l'encroutement calcaire dans le profil SL.

IV.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 50 μm pour la plupart des horizons.

Selon Baize (2000), il existe des sols où les sables calcaires dominant 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.

IV.3. Relation entre calcaire total et gypse

Cette relation est représentée par la courbe de régression linéaire (Figure 35), qui montre que la corrélation est négative entre ces deux éléments ($r^2 = 0,0012$).

Les résultats obtenus, montrent que l'augmentation du taux de gypse entraîne la diminution de la teneur de calcaire total et au contraire quand la teneur de calcaire total augmente, elle entraîne la diminution de la teneur en gypse. Cette remarque a été observée pour tous les horizons dans les profils réalisés surtout dans les deux profils de KG et SL.

Halitim (1985) a montré à travers ses études dans les zones arides d'Algérie, que le gypse est toujours postérieur à la calcite.

De ce fait, la région de Ouargla, comme il a été indiqué par Hamdi-Aïssa (2001), a connu des fonctionnements différents de celui d'aujourd'hui. A certaines moments, la précipitation des carbonates de calcium a été favorisée et à d'autres celle du gypse et enfin comme aujourd'hui celle des sels solubles.

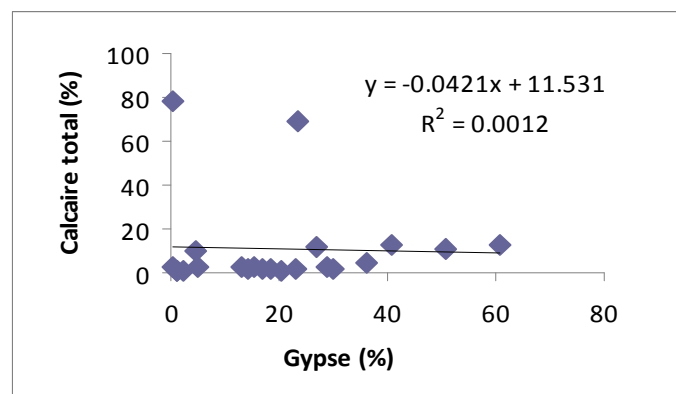


Figure 27 : Relation entre calcaire total et gypse

V.4. L'origine des accumulations calcaires dans le sol

Selon Gile et *al.* (1966), le calcaire dans les régions arides à une origine surtout éolienne.

A partir de l'étude réalisée, dans la région de Ouargla, nous avons pu déterminés les formes des accumulations de calcaire suivantes: les nodules calcaires, les croûtes, les amas, la forme diffuse, l'encroûtement, l'encroûtement nodulaire, les barbes calcaires et enfin la dalle calcaire avec une forte teneur de CaCO_3 .

IV.1.1. Forme nodulaire

Cette forme existe dans les deux profils réalisés dans le site de Hassi ben Abdallah et Sidi Khouiled sur un reg graveleux, nous avons observé que dans les deux horizons : HBC1, SKC2 et HIC2 les nodules sont plus abondants avec un taux de calcaire totale variant de 13 à 14,07 % par rapport aux horizons : HBC2 et HIC1 qui ont des teneurs plus faibles en calcaire totale avec 2,8 et 5,14 %. Nous avons remarqué aussi que ces nodules se trouvent sur la surface du sol, ce qui est du probablement à une action éolienne. Ces nodules existent surtout dans les horizons proches de la surface.

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 et que leur forme nodulaire peut être expliquée par un transport hydrique qui a succédé leur enfouissement dans le sol.

Dans le profil HIC, il y a une autre forme des accumulations de calcaire, c'est les barbes calcaires qui s'accumulent vers la partie inférieure de graviers, ce qui peut expliquer le sens de percolation des eaux (du haut vers le bas).

IV.1.2. Forme diffuse

Cette forme d'accumulation existe dans les deux sites de Sidi Khouiled (SKC et SAC) ainsi que dans le profil GOC, dans lesquels nous avons remarqué une forte effervescence à l'HCl.

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

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

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

IV.1.3. Les amas friables

Cette forme d'accumulation de calcaire existe dans les deux profils de Sidi Khouiled et Hassi Ben Abdallah (SKC3 et HBC3), dans les deux horizons la teneur en calcaire total est de 27 et 23%. Dans ce cas, on peut leur suggérer une formation à partir des formes diffuses de calcaire avec l'intervention des eaux de percolation.

Ruellan (1984), admet que les amas calcaires résultent d'une sorte de pénétration diffuse du calcaire à l'intérieur des agrégats.

IV.1.4. L'encroûtement calcaire

L'encroûtement calcaire existant dans le profil SL (dans les horizons SL2, SL3 et SL4 avec une teneur qui varie de 40,70 à 60,96) est probablement d'origine lacustre. Ce qui rappelle le travail de Youcef (2006) qui a admis que l'encroûtement 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.

IV.1.5. Les croûtes calcaires

Cette forme d'accumulation calcaire existe dans le profil de Sidi Khouiled dans l'horizon SAC1 avec une teneur élevée en calcaire total qui atteint 36 %. Probablement leur origine remonte à une période plus humide que l'actuelle.

IV.1.6. La dalle calcaire

La forme dalle existe dans l'horizon GOC2 avec une forte teneur en calcaire total de 23,57 %. Ruellan (1977), admet que certains encroûtements et dalles calcaires ont comme origine des dépôts lacustres.

Vraisemblablement ces accumulations ont été formées pendant une période avec un climat différent de l'actuel, et qui a connu une évolution vers une hyperaridité. Plusieurs auteurs ont confirmés que la région a connus pendant le quaternaire des changements climatiques entre des périodes humides et d'autres plus arides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFES.Quae. 2008. Référentiel pédologique. Ed. Ouae, ISBN, 404 p.
- AFNOR.1999. Qualité des sols. Ed. AFNOR, Vol. 2, Paris, 408p.
- ANRH. 2008. Note de synthèse piézométrique 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. 1978. Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191p.
- Baize, D. & Jabiol, B. 1995. Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388p.
- Baize, D. 2000. Guide des analyses en pédologie, choix-expression, présentation interprétation. 2^{ème} Ed INRA, Paris, 257p.
- Barzanji, A.F. 1973. Gypsiferous soils of Iraq.phd. Thesis.univ.Gent, 199 p.
- Bonneau, M & Souchier, B.1979.Costituants et propriétés du sol. Tome2, Paris, 455p.
- Coutinet, S. 1965. Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Agron. Trop., 12, pp : 1242-1253.
- Deo Shorta, J.C., 1979. les encroûtements calcaires et les encroûtement 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 semaine 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, K. Daoud, Y & Ayache, N.1999.Analyse de la distribution vertical et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. I.N.R. Département de science des sols, El-Harrach, Alger, pp : 201-214.
- 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.

Durand, J.H.1954. Les sols d'Algérie. Pub, gouvernement général de l'Algérie, pp 750-761.

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

Dutil, P. 1971. Contribution à l'étude des sols et paléosols du Sahara. Thèse doc. d'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346p.

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

F.A.O. 2005. Utilisation des engrais par culture en Algérie. F.A.O. Rome, 61p.

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.

Gile, L.H., Petersen, F.F. & Grossman, R.B. 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. Soil Sci., 101,347-360.

Halitim A., 1985 : Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse doctorat. univ Renne, 384 p .

Halitim A et Robert M., 1987. Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentations. In fedoroff et al (Ed): soil micromorphology. Afes, pp: 179 – 186.

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

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

Hamdi-Aissa, B., Djili, B., Messen, N., Hacini, M., Gaouar, A., & Youcef-Ettoumi, F.2004. Application de l'approche paléopédologique pour la datation relative des événements paléoclimatiques. pp 40-42. In. CRSTRA, EUR-OPA & Université de Ouargla ed. Journée

d'étude sur la datation des enregistrements climatiques en Afrique du nord et des événements hydrologiques et thermiques, Ouargla.

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

Khadraoui, A. 2007. Eau et impact environnemental dans le Sahara Algérien, définition, Evaluation et perspectives de développement. I.S.B.N. Alger, 299p.

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

Mathieu, C & Pieltain F. 2003. Analyses chimique des sols. Ed. Tech et doc. Lavoisier, Paris, 292p.

Mathieu, C & Lozet, J. 2002. Dictionnaire de sol. 4^{ème} Ed. Lavoisier, Paris, 575.

Morel, R. 1996. Les sols cultivés. Lavoisier. 2^{ème} Ed. Paris, 378p.

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

O.N.M. 2009. Données climatiques de la station de Ouargla. Ed. O.N.M. Ouargla, 4p.

Ozenda, P. 1991. Flore et végétation du Sahara. 3^{ème} Ed. C.N.R.S., Paris, 662p.

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.

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 différencié des plaines de basse-Moulauya (Maroc oriental), contribution à la connaissance des sols méditerranéens. Mémoire, ORSTOM, 54, 302p.

- Ruellan, A. 1976. Caractéristiques morphologiques des sols calcaires Ann.Agro.INA, El-Harrach. Vol. IV, n°1, pp : 31-54.
- 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.
- Singer, A. 1995. The mineral composition of hot and cold desert soils. In; Arid ecosystems. Ed. Bume, H.P. & Berkowicz, S.M., Advances in geoecology, 28pp. 13-28. CATENA VERLAG, Cremlingen.
- Soltner, D. 2005. Les bases de production végétale. 24^e Edition. Tome I, paris, 472 p.
- 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.
- Ullman, W.J. 1985. Evaporation rate form a salt pam. Estimate chemical profiles in nerarsurface ground water. J. Hydro, vol. 73, pp: 365-373.
- Youcef, F. 2006. Indicateurs paléo-écologiques dans les sols des bassins 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.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre travail était d'une part la contribution à la connaissance des sols de la région, et d'autre part la caractérisation de quelques formes d'accumulation du calcaire dans le sol à fin de mieux comprendre leur origine.

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

- La texture des sols étudiés est sableuse dans la plupart des profils, sauf pour les profils SL et KG où on remarque que certains horizons présentent une **texture limono-sableuse**.
- La majorité des profils sont légèrement à moyennement alcalins entre (pH entre : 6,72 et 8,30) ;
- Les profils sont dans la plupart des cas peu salé à salé ;
- 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 l'horizon KG1 qui est extrêmement gypseux ;
- **Le faciès géochimique est chloruré sodique pour le plupart des horizons**
- La teneur en calcaire total est élevée dans la plupart des profils, surtout où il existe une forme d'accumulation de calcaire, il atteint 60,96 % au maximum. Ce calcaire existe surtout dans la fraction $<50 \mu\text{m}$.

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

L'existence de ces formes dans le Sahara indique 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 complétée par d'autres travaux pour mieux caractériser ces formes surtout à l'échelle micromorphologique (Microscope électronique à balayage et microscope polarisant) et minéralogique, et d'étudier aussi d'autres sites dans la région.

Annexe

Annexe I : Echelle d'interprétation**Tableau 01** : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978)

CE (dS/m) à 25 °C	Degré de salinite
$\leq 0,6$	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
$CE \geq 6$	Sol extrêmement salé

Tableau 02 : Classe des sols gypseux (Barzanji, 1973)

Gypse %	Nom de classe
$\leq 0,3$	Non gypseux
0,3-10	Légèrement gypseux
10-15	Modérément gypseux
15-25	Extrêmement gypseux

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

CaCO₃	Horizon
≤ 1	Horizon non calcaire
$1 < CaCO_3 < 5$	Horizon peu calcaire
$5 < CaCO_3 < 25$	Horizon modérément calcaire
$25 < CaCO_3 < 50$	Horizon fortement calcaire
$50 < CaCO_3 < 80$	Horizon très calcaire
≥ 80	Horizon excessivement calcaire

Tableau 04 : 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
>9,0	Très fortement alcalin

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 Cmol⁺ /l)

Tableau 01 : Les résultats des analyses chimiques du profil HBC

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO3⁻⁻	HCO3⁻	Cl⁻	SO4⁻⁻
HBC1	0-35	18,22	10,88	4,85	0	3	10	2,86
HBC2	35-87	21,68	10,44	3,83	0	2	11	4,44
HBC3	> 87	7,37	7,32	3,32	0	3	14	2,09

Tableau 02 : Les résultats des analyses chimiques du profil HIC

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO3⁻⁻	HCO3⁻	Cl⁻	SO4⁻⁻
HIC1	0-40	6,07	3,41	1,53	0	2	4	2,74
HIC2	40-48	9,54	7,4	2,21	0	3	5	1,32
HIC3	> 48	6,94	9,5	2,9	0	2	7	2,69

Tableau 03 : Les résultats des analyses chimiques du profil SKC

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO3⁻⁻	HCO3⁻	Cl⁻	SO4⁻⁻
SKC1	0-40	16,48	17,18	6,64	0	3	4	3,86
SKC2	40-75	21,25	11,24	6,3	0	2	10	3,41
SKC3	> 75	9,11	18,63	5,45	0	3	16	11,01

Tableau 04 : Les résultats des analyses chimiques du profil SAC

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO3⁻⁻	HCO3⁻	Cl⁻	SO4⁻⁻
SAC1	0-11	8,67	21,75	6,47	0	2	25	4,37
SAC2	> 11	12,58	16,24	7,66	0	2	29	2,74

Tableau 05 : Les résultats des analyses chimiques du profil GOC

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO₃⁻⁻	HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄⁻⁻
GOC1	0-44	9,98	7,9	1,76	0	2	11	2,25
GOC2	> 44	6,51	12,76	0,94	0	2	4	15,88

Tableau 06 : Les résultats des analyses chimiques du profil SL

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO₃⁻⁻	HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄⁻⁻
SL1	0-61	16,91	2,39	2,9	0	2	6	9,3
SL2	61-73	16,48	5,66	5,62	0	4	16	12,09
SL3	73-80	18,22	5,8	6,39	0	4	15	9,83
SL4	80-89,5	13,01	4,5	4,85	0	5	18	11,56
SL5	89,5-119,53	18,22	1,81	2,38	0	4	17	1,08
SL6	> 119,53	15,18	2,61	2,13	0	2	11	1,8

Tableau 24 : Les résultats des analyses chimiques du profil KG

Ech	Prof (cm)	Na⁺	Ca⁺⁺	K⁺	CO₃⁻⁻	HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄⁻⁻
KG1	0-50	14,75	15,23	2,04	0	2	4	72,46
KG2	50-56,5	9,11	2,76	3,07	0	4	13	0,77
KG3	56,5-69	21,25	1,96	2,81	0	3	16	0,43
KG4	69-81,5	18,22	1,89	2,64	0	3	3	2,71
KG5	81,5-91,5	12,58	1,23	1,96	0	2	4	0,86
KG6	91,5-113,5	10,41	0,65	1,79	0	2	4	1,35
KG7	> 113,5	15,61	1,52	2,38	0	3	16	1,9

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

Ech	Prof (cm)	< 50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
HBC1	0-35	75,35	24,51	6,13	3,59	2,82	2,46
HBC2	35-87	71,13	17,75	3,87	1,97	1,2	2,46
HBC3	> 87	98,59	15,21	19,65	9,51	11,83	28,1
HIC1	0-40	5,92	9,23	5	1,9	1,27	1,41
HIC2	40-48	76,9	51,55	12,04	5,07	2,54	2,96
HIC3	> 48	37,82	32,11	23,45	8,66	3,59	2,75
SKC1	0-40	71,83	51,41	1,83	7,39	7,68	7,96
SKC2	40-75	47,89	3,76	4,65	1,52	0,76	0,38
SKC3	> 75	76,76	37,32	16,69	10,14	20,7	23,87
SAC1	0-11	90,14	52,82	33,17	28,94	29,15	35,7
SAC2	> 11	1,23	1,06	0,42	0,34	0,8	1,44
GOC1	0- 44	77,46	52,11	16,9	9,15	32,39	51,41
GOC2	> 44	14,79	9,86	4,93	6,34	5,63	4,23
SL1	0-61	45,77	4,52	2,2	2,32	6,46	12,96
SL2	61-73	81,69	65,49	33,1	53,52	66,9	63,38
SL3	73-80	57,04	54,93	50,7	56,34	57,04	59,86
SL4	80-89,5	64,08	64,08	33,1	34,51	40,85	42,25
SL5	89,5-119,53	21,13	6,34	2,24	1,56	1,69	3,08
SL6	> 119,53	48,59	32,75	19,65	4,23	7,61	10,56
KG1	0-50	0,55	0,34	0,38	0,46	0,46	0,46
KG2	50-56,5	22,18	20,07	15,42	18,17	34,23	40,85
KG3	56,5-69	5,2	1,65	0,76	0,68	2,03	5,62
KG4	69-81,5	2,41	1,01	0,76	0,55	1,61	4,23
KG5	81,5-91,5	69,72	3,34	2,49	1,65	3,97	2,07
KG6	91,5-113,5	38,73	2,03	0,85	0,55	0,42	4,61
KG7	> 113,5	82,39	16,27	1,9	16,69	23,66	28,1

Résumé

Notre travail vise à mieux connaître les sols de la région de Ouargla et de caractériser quelques formes d'accumulation du calcaire dans le sol à fin de mieux comprendre leur origine.

La caractérisation morpho-analytique des profils étudiés a montré que la plupart ont une texture sableuse, une structure particulière, une forte teneur en calcaire total, ils sont légèrement à moyennement alcalin, peu salé à salé avec un faciès géochimique chloruré sodique dans la plupart des cas, une faible teneur en matière organique, légèrement à modérément gypseux, cette teneur est en corrélation négative avec le taux de calcaire.

Les formes d'accumulations de calcaire observées dans la région sont les suivantes : les nodules calcaires, les amas, les distributions diffuses, l'encroûtement, l'encroûtement nodulaire, la croûte, la dalle calcaire et les barbes calcaires.

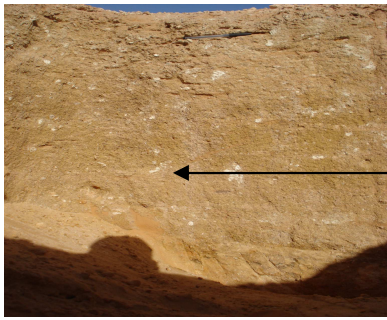
L'existence de ces formes dans le Sahara indique une alternance entre des périodes humides et des périodes sèches.

Mots clés : Sahara septentrional, Ouargla, calcaire, sols calcaires, accumulation de calcaire.

Summary

This study aims to better knowing the soils of the area of Ouargla and to characterize some forms of limestone accumulations in the soil at end to better understand their origin. The morpho-analytical characterization of the studied profiles showed that the majority have a sandy texture, a particular structure, a strong content total limestone, they are slightly to fairly alkaline, salted to little salted with a chlorinated sodic geochemical facies in the majority of the cases, a low content of organic matter, slightly to moderately gypseferous, this content is in negative correlation with the limestone rate. The forms of accumulations of limestone observed in the area are the following ones: the nodules limestones, clusters, diffuse distributions, encrusting, nodular encrusting, the crust, the calcareous plate and the barbs limestones. The existence of these forms in the Sahara indicates an alternation between wet and dry periods.

Key words: septentrional Sahara, Ouargla, limestone, limestones soils, accumulation of limestone.



Nodules
calcaires

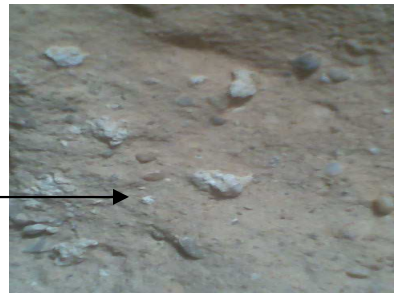
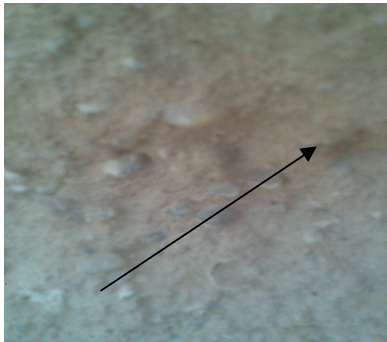


Photo I : Le profil HBC.

Photo II : le profil HIC.



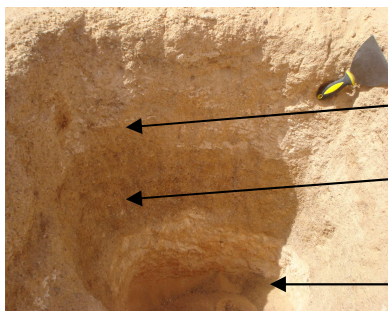
Barbes calcaires

Croûtes calcaires

Photo III : Le profil HIC.



Photo IV : le profil SAC.



Distribution diffuse

Petits nodules
calcaires

Amas calcaire durs

Photo V : Le profil SKC.

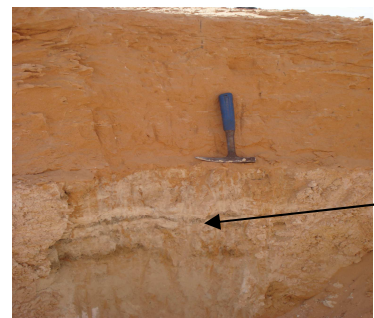


Photo VI: Le profil SL.



Distribution diffuse

Dalle calcaire

Photo VII : Le profil GOC



Photo VIII : Le profil KG

Photo VII : Le profil KG.

Distribution diffuse

Dalle calcaire

Photo VIII : Le profil GOC