

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم العلوم الزراعية
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Protection des végétaux et environnement

THEME

Analyse de l'évolution du calcaire et de la composition granulométrique dans les sols de quelques périmètres agricoles dans la wilaya de Laghouat.

Présenté par : Lahcen ATTIA

Président : Mohamed Kouidri (MCA)

Encadreur : Zohra HOUYOU (MCB)

Examineur : Alaa Eddine ADAMOUC (MCA)

2015/2016

Attia, Lahcene

Analyse de l'évolution du calcaire et de la composition granulométrique dans les sols de quelques périmètres agricoles dans la wilaya de Laghouat

Résumé :

Ce travail vise à déterminer l'aptitude à la mise en culture de quelques sols dans la wilaya de Laghouat à travers deux de leurs paramètres, teneur en calcaire et leur composition granulométrique. Pour cela, cinquante six profils répartis entre quatre unités géomorphologiques : Glacis, Versant, Surface plane et Dépression ont été étudiés.

Les résultats ont montré que la profondeur des sols n'est pas influencée par le type d'unité géomorphologique sur laquelle le sol se trouve, aussi elle est variable entre un minimum de 3cm et un maximum de 117 cm, plus de 51% des sols sont superficiels constitués d'un seul horizon, 35 % des profils sont formés de deux horizons et le reste des sols sont formés de trois horizons.

La teneur maximale en carbonates de calcium a dépassée les 45% et a été mesurée pour un horizon profond H3 d'un sol sur une surface plane. La teneur minimale en carbonate de calcium est d'environ 2% a été observée sur les horizons superficiels de sol de versant et de surface plane.

La composition granulométrique des horizons des sols réalisée selon l'échelle Atterberg était aussi variable, la teneur maximale en Argiles est limons est 70% observée dans l'horizon H2 d'une surface plane, le maximum de sables fins ont été mesuré dans l'horizon H1 d'un sol sur un Glacis et le maximum de sables grossiers a atteint 70% dans l'horizon superficiel d'un sol sur une surface plane.

A travers nos résultats nous pouvons avancer qu'il est possible de pratiquer de l'arboriculture fruitière et on éviterait plutôt les cultures maraichères.

Mots clé : Unité géomorphologique, profil, horizon, CaCO₃, granulométrie.

عطية لحسن
تحليل عملية تطور الكلس و التركيب الجسيمي للتربة في بعض المناطق الزراعية لولاية الاغواط

يهدف هذا العمل إلى تحديد مدى صلاحية بعض أنواع التربة للزراعة في ولاية الأغواط من خلال متابعة معاملين متغيرين كمية الكلس المتواجدة في التربة و كذلك حجم الجسيمات المكونة لها . لهذا، قمنا بانجاز ستة وخمسين مقطع حفري مقسمة بين أربع وحدات لجيومورفولوجية: تمت دراسة سفح، المنحدر، سطح مستو، منخفض .
وأظهرت النتائج أن عمق التربة لا يتأثر بنوع معين من الوحدة الجيومورفولوجية ، كما انها تختلف من حد أدنى يبلغ 3 سم والي حد أقصى يبلغ 117 سم، كما أظهرت النتائج ان أكثر من 51% من التربة المدروسة هي عبارة عن تربة سطحية تتكون من أفق واحد، وتشكل 35% من التربة من افقين والبقية مكونة من ثلاث افق.
تم تحديد اكبر نسبة من كاربونات الكالسيوم التي تجاوزت 45% علي مستوي سطح مستوي في الافق الثالث و في المقابل تم تحديد اقل نسبة من كاربونات الكالسيوم علي مستوي منحدر بنسبة بلغت 2%
تم تحديد التكوين الجسيمي لأفاق التربة عن طريق مقياس اتربرغ و النسبة الاعلي من الطمي و الرمال الناعمة بلغت 70 % و تم قياسها علي مستوي الافق الثاني من سطح مستو و اعلي نسبة من الرمال الناعمة تمت ملاحظتها علي مستوي الافق السطحي للسفح. و 70 % من الرمال الخشنة تم تحديدها علي سطح مستوي الافق السطحي
علي الأرض على سطح مستو. وقد لوحظ الحد الأدنى H3 تجاوز الحد الأقصى محتوى كاربونات الكالسيوم 45% و تم قياس عن أفق أعرق للمحتوى كاربونات الكالسيوم من حوالي 2% في الطبقات السطحية من منحدر الأرض و سطح مستو.
من خلال النتائج المحصلة يمكننا الإشارة انه الأفضل ممارسة زراعة الاشجار المثمرة بدل من زراعة الخضر
كلمات مفتاحية : وحدة جيومورفولوجية، سطح مستوي، سفح، منخفض

Attia,Lahcene

Analysis of the evolution of limestone and size distribution in soils of some agricultural areas in the county of Laghouat

Abstract:

This work aims to determine suitability for the cultivation of some soils in the wilaya of Laghouat through two of their parameters, lime content and particle size composition. For this, fifty-six profiles divided among four geomorphic units: Glacis, Slope, flat surface and depression were studied.

The results showed that soil depth is variable from a minimum of 3 cm and a maximum of 117 cm, over 51% of soils are shallow consist of a single horizon, 35% of the profiles are formed from two horizons and the rest soil is formed from three horizons.

The maximum calcium carbonate content had exceeded 45% measured for a deeper horizon H3 of a soil on a flat surface. The minimum of CaCO₃ content was about 2% observed on the surface layers of a soil on a slope and on a flat surface.

The particle size distribution of soil horizons performed according to Atterberg scale was also variable, the maximum content of clay-silt was 70% measured in H2 horizon of a flat surface. The maximum of fine sands content measured in the H1 horizon of a soil on Glacis and the maximum content of coarse sands has reached 70% in the surface horizon of a soil on a flat surface.

Through our results, we can argue that it is possible to practice the fruit growing and we would rather avoid the vegetable crops.

Keywords : geomorphologic unit, profile, horizon, CaCO₃, particle size

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail à :

Ma mère

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi.
Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours.
Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.*

Mon père Omar mes frères Walid, Hamada et ma sœur Meriem

*Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous.
Vos prières, vos encouragements et votre soutien m'ont toujours été d'un grand secours, un sentiment de profonde gratitude.*

Ryma

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,
Le respect, la reconnaissance...
Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les moments de stress, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.*

Dédicace spéciale

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquents soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance.

*Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité,
et de la confiance en soi face aux difficultés*

Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite.

*Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement
sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.*

*Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain
et je ferai toujours de mon mieux pour vous remercier
que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur,
quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.*

A DR: ZOHRA HOUYOU

Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement Mm Z, Houyou Docteur à l'université Amar tledji, pour m'avoir proposé ce sujet de recherche, pour m'avoir encadré, pour m'avoir guidé et encouragé dans ce Travail de recherche, pour toutes les connaissances scientifiques et les conseils qu'il m'a apporté, pour la patience et l'amabilité dont il a fait preuve tout au long de ces années.

*Nous voudrions être dignes de la présence et le soutien que vous nous avez accordés Monsieur **Bachir Taouti** l'enseignant à l'université Amar thledji et vous prions, cher ami, de trouver ici le témoignage de notre sincère reconnaissance et profonde gratitude*

Mes messieurs :

DR : M, KOUIDRI LE PRESIDENT DE JURY,

DR : A, ADAMOU L'EXAMINATEUR DU MEMOIRE

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de présider et d'examiner de notre jury du mémoire

Vos qualités scientifiques, pédagogiques et surtout humaines

Seront pour nous un exemple à suivre dans notre cursus

Veillez croire à l'expression de notre grande admiration et notre

Profond respect.

Sommaire

LA PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 :

Introduction générale.....	1
1. Le calcaire	3
1. 1. Définition du calcaire	3
1. 2. Sol calcaire	3
1. 3. Origine du calcaire dans le sol	3
1. 4. Les propriétés des sols calcaires :	4
1. 4. 1. La valeur de pH.....	4
1. 4. 2. Le taux d'argile:	5
1. 4. 3. Les matières organiques :	5
1. 4. 4. La capacité d'échange cationique (CEC) :	5
1. 5. Le phénomène de la précipitation..	6
1. 6. Les Formes du calcaire dans le sol	6
1. 6. 1. Distributions diffuses :	6
1. 6. 2. Concentrations discontinues :	7
1. 6. 2. 1. Pseudo-mycélium :	7
1. 6. 2. 2. Les amas friables :	7
1. 6. 2. 3. Les nodules :	7
1. 6. 3. Les concentrations continues :	8
1. 6. 3. 1. Encroûtement non feuilleté :	8
1. 6. 3. 1. 1. Encroûtement massif :	8
1. 6. 3. 1. 2. Encroûtement nodulaire :	8
1. 6. 3. 2. Encroûtement feuilleté :	8
1. 6. 3. 2. 1. Les croûtes :	8
1. 6. 3. 2. 2. Les dalles compactes :	8
1. 7. Les sols calcaires en Algérie :	9
2. Les constituants granulométriques des sols :	9
2. 1. Les composants granulométriques du sol.....	10
2. 1. 1. Les éléments grossiers.....	10

2. 1. 1. 1. Les cailloux.....	10
2. 1. 1. 2. Les graviers :	10
2. 1. 2. Les éléments fins :	10
2. 1. 2. 1. Les sables grossiers et fins	10
2. 1. 2. 2. Les limons grossiers et fins.....	11
2. 1. 2. 3. Les Argiles.....	11
3. La wilaya de Laghouat position et situation géographique :	11
3. 1. Présentation de Laghouat	
3. 2. Cadre Géologique de la wilaya de Laghouat	12
3. 3. Cadre géomorphologique de la wilaya de Laghouat :	12
3. 3. 1. Les reliefs :	13
3. 3. 2. Les Hautes surfaces :	13
3. 3. 3. Les dépressions (Dayas) :	13
3. 3. 4. Les formations éoliennes :	13
3. 4. Cadre pédologique dans la wilaya de Laghouat :	15
3. 5. Types de sols identifiés dans la wilaya de Laghouat :	15

LA PARTIE II : MATERIELS ET METHODES.

1. Matériels et méthodes	16
1. 1. Zone d'étude et justification de son choix	16
1. 2. Localisation des points de mesure (profiles) et travail sur le terrain	16
1. 3. Identification des unités géomorphologiques, creusé des fosses pédologiques (Profils) et leur géo référencement	18
1. 4. Observations des horizons du profil et prélèvements de la terre sur le terrain	19
1. 4. 1. Observations des profils et paramètres d'identification des horizons	19
1. 4. 2. Prélèvements de la terre des horizons du profil	19
1. 4. 2. 1. Prélèvements des horizons superficiels	19
1. 4. 2. 2. Prélèvements de la terre des horizons sous jacents	19
1.5. Analyses au Laboratoires	21
1. 5. 1. Dosage du calcaire total	21
1. 5. 1. 1. Principe du dosage	21
1. 5. 1. 2. Préparation de la mesure	21
1. 5. 1. 3. La mesure	22

1. 5. 1. 4. Calcul de la teneur en CaCO ₃ ...	23
1. 6. Analyse granulométrique par tamisage	23
1.6.1. Description de la granulométrie	23
1. 6. 2. Exécution du tamisage au laboratoire	24
1. 6. 3. Calculs des proportions des particules	25
1. 6. 4. Pourcentages des refus simples.....	25
1. 6. 5. Analyses des données de terrain	25
1. 7. Cartographie et Interpolation spatiale	26
1.8. Méthodes d'interpolation géostatistique	26
1. 8. 1. Krigeage	26
1. 8. 2. Krigeage ordinaire	27
1. 8. 3. Etablissement d'un Vario-gramme	27
1. 8. 4. Modélisation du Variogramme	27
1. 9. Analyse spatiale par logiciel géostatistique	28

LA PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1 : Résultats

1. Répartition géomorphologique, profondeurs et stratification des profils	29
2. Analyse des profils en fonction de l'unité géomorphologique	30
2. 1. Analyse de profondeurs des horizons	30
2. 1. 1. Profondeur H1	30
2. 1. 2. Profondeur H2	31
2. 1. 3. Profondeur H3.....	32
2. 2. Composition granulométrique des horizons	33
2. 2. 1. Composition granulométrique de l'horizon 1 (H1)	33
2. 2. 1.1. Teneur en Argiles et Limons (AL)	33
2. 2. 1.2. Teneur en Sables Grossiers (SG)	34
2. 2. 1. 3. Teneur en Sables Fins (SF)	36
2. 2. 2. Composition granulométrique de l'horizon 2 (H2)	37
2. 2. 2. 1. Teneur en Argiles et Limons (AL)	37
2. 2. 2. 2. Teneur en Sables Grossiers (SG)	38
2. 2. 2. 3. Teneur en Sables Fins (SF)	39

2. 2. 3. Composition granulométrique de l'horizon 3 (H3).....	40
2. 2. 3.1. Teneur en Argiles et Limons (AL)	40
2. 2. 3. 2. Teneur en Sables Grossiers (SG)	41
2. 2. 3. 3. Teneur en Sables Fins (SF).....	42
2. 3. Teneur en carbonates de calcium (CaCO ₃) dans les 3 horizons	43
2. 3. 1. Teneur en carbonates de calcium (CaCO ₃) dans l'horizon 1 (H1)	43
2. 3. 2. Teneur en carbonates de calcium (CaCO ₃) dans l'horizon 2 (H2)	44
2. 3. 3. Teneur en carbonates de calcium (CaCO ₃) dans l'horizon 3 (H3)	45
2. 4. L'analyse en composante principale (ACP)	46
3. La répartition spatiale superficielle des données	47
3. 1. La répartition spatiale du calcaire	47
3. 2. La répartition spatiale des argiles et des limons	47
3. 3. La répartition spatiale des sables fins	48
3. 4. La répartition spatiale du sable grossier	49

Chapitre 2 : Discussions

1. 1. Evolution de la profondeur en fonction de la géomorphologie	50
1. 2. Evolution de la granulométrie des horizons des profils	51
1. 3. Evolution du calcaire en fonction des unités géomorphologiques	57
1. 4. Aptitude des sols étudiés à leur mise en culture	61
Conclusion.....	63
Références bibliographiques	64

Liste des tableaux

Tableau 1. Localisation, coordonnées des profils étudiés et unité géomorphologique correspondante.....	17p
Tableau 2. Dimensions des diamètres des particules.....	23p

Figure 1 : Position et limites géographiques de la wilaya de Laghouat.....	12p
Figure 2 : Unités géomorphologiques de la wilaya de Laghouat.....	14p
Figure 3 : Représentation de la localisation des points de mesure.	16p
Figure 4 : Représentation du Calcimètre de Bernard.....	21p
Figure 5. Représentation de la lecture du volume de CO ₂	22p
Figure 6. Représentation du principe de tamisage à sec.....	24p
Figure 7. Représentation d'une tamiseuse vibrante.	25p
Figure 8. Représentation du variogramme.....	28p
Figure 9. (a) Représentation d'un profil de sol sur une surface plane au Kheneg,	29p
(b) Evolution de la profondeur des profils.	29p
Figure 10. Evolution de la profondeur en fonction des unités morphologiques dans l'horizon H1.....	31p
Figure 11. Evolution de la profondeur en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H2.....	32p
Figure 12. Evolution de la profondeur en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H3.....	33p
Figure 13. Évolution de la teneur en argiles et limons en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H1.....	34p
Figure 14. Evolution de la teneur en sables grossiers dans l'horizon H1.....	35p
Figure 15. Evolution de la teneur en sables fins dans l'horizon H1.....	36p
Figure 16. Évolution de la teneur en argiles et limons en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H2.....	37p

Figure 17. Evolution de la teneur en sables grossiers dans l'horizon H2.	38p
Figure 18. Evolution de la teneur en sables fins dans l'horizon H2.....	39p
Figure 19. Évolution de la teneur en argiles et limons en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H3.....	40p
Figure 20. Evolution de la teneur en sables grossiers dans l'horizon H3.	41p
Figure 21. Evolution de la teneur en sables fins dans l'horizon H3.	42p
Figure 21. Evolution du calcaire dans l'horizon H1.....	43p
Figure 22. Evolution du calcaire dans l'horizon H2.....	44p
Figure 23. Evolution de carbonate de calcium ans l'horizon H1.	45p
Figure 24. Analyse en composante principale (ACP), représentant la teneur en calcaire et les pourcentages des fractions granulométriques des horizons des sols selon leur position géomorphologique.....	46p
Figure 26. Carte Krigée de la répartition spatiale de la teneur en calcaire.....	47p
Figure 27. Carte Krigée de la répartition spatiale de la teneur en Argiles et Limons.....	48p
Figure 28. Carte Kriégée de la répartition spatiale de la teneur en sables grossiers.....	49p
Figure 29. Carte Krigée de la répartition spatiale de la teneur en sables fins.....	50p

Introduction

Devant le besoin incessant d'une population en croissance démographique rapide, la mise en valeur des terres est une des politiques de l'Etat Algérien pour maintenir l'équilibre socio-économique du pays. A l'idée que cela peut constituer des gisements d'emplois et des sources de subsistances pour de nombreux ménages. Mais dans les régions arides de l'Algérie, la mise en valeur des terres rencontre des difficultés liées souvent à l'inadéquation des pratiques utilisées par rapport aux caractéristiques du milieu.

Dans beaucoup de cas, l'absence de prise en compte des contraintes physiques, chimiques et microbiologiques des sols reste préjudiciable à leur exploitation. Pourtant, il est depuis très longtemps connu que certains paramètres des sols jouent un rôle capital dans la gestion de la nutrition végétale (Troeh et al., 2005).

La caractérisation physico-chimique des sols des régions aride de l'Algérie est rarement abordée de façon détaillée [Halilat, 1998]. Les principales études disponibles traitent d'une façon générale les encroûtements calcaires [Pouget, 1980] et la dynamique du calcaire (Halitim, 1988 ; Djili et Daoud, 1990) dans les sols des régions arides. Les études des sols de ces régions restent jusqu'à actuellement incomplètes, par exemple leur classification est discutée depuis les années 1950, du fait qu'elle ne peut obéir aux schémas classiques des classifications Russe ou françaises en raison de nombreuses discordances dont la principale est leur climatologie (Durand, 1955 ; Benchetrit, 1957).

Et pourtant, mettre en valeur des terres, c'est avant tout tenir compte de tous les facteurs édapho-climatiques afin d'apprécier les potentialités actuelles et réunir le maximum de conditions nécessaires à l'augmentation de la qualité intrinsèque de cette terre et assurer, de façon pérenne, une production qualitative et quantitative (BENNADJI, 1998).

Dans cette perspective le présent travail est engagé dans la wilaya de Laghouat qui est le lieu de l'implantation de nombreux périmètres agricoles dans le cadre de nombreuses politiques de l'Etat Algérien. Les études pédologiques de la wilaya sont quasi inexistantes et pourtant elles peuvent contribuer dans les projets d'aménagements des espaces aussi bien que dans la gestion conservatrice du territoire de la wilaya.

Dans le cadre des politiques agricoles de l'Algérie, nombreux périmètres agricoles furent implantés sur le territoire de la wilaya (DSA, 2010), mais les agriculteurs ou les bénéficiaires sont confrontés à nombreuses contraintes qui les poussent parfois à l'abandon de leurs terres et même de l'activité agricole (Houasnia, 2008 ; Snouci, 2011). Aussi les lieux des implantations des zones agricoles est le mécontentement de nombreux bénéficiaires de l'APFA dans la région de Laghouat, les agriculteurs ont évoqué que les terres attribuées sont parfois inaptes à la mise en culture leur structure légère et leur composition chimique entravent les activités des bénéficiaires (Laadjal, 2014).

Dans cette alternative la présente étude est menée dans 56 parcelles agricoles attribuées à des bénéficiaires de la wilaya de Laghouat dans le cadre des programmes agricoles de l'Etat et a pour objectifs une simple prospection pédologique à travers laquelle nous tenterons de :

- Relever la stratification du sol de ces parcelles ;
- Mesurer la teneur en calcaire des différents Horizons identifiés et déterminer la leur granulométrie respective ;
- Relever les principales contraintes à la productivité de ces sols, liées aux paramètres mesurés.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Dans un chapitre premier sont présentées des revues bibliographiques relatives à notre travail ;
- Un deuxième est consacré au cadre physique de notre étude, au matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail ;
- Dans un troisième chapitre nous présenterons nos résultats ;
- Dans un quatrième chapitre nous discuterons les résultats ;
- Et enfin nous terminerons avec une conclusion et des perspectives.

1. Le calcaire

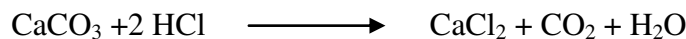
1.1. Définition du calcaire :

Le calcaire est une roche sédimentaire principalement organogène qui peut être détritique (contenant au moins 50% de Ca CO₃. 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).

Le constituant essentiel des calcaires est le carbonate de calcium ; est qui cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (Deo Shorta, 1979).

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 :



Selon la teneur en calcaire, il y a cinq (05) classes de sols calcaires (Loz et Mathieu, 1990)

- Sols très faiblement calcaires avec un taux de CaCO₃ < 2% ;
- Sols faiblement calcaires avec un taux de CaCO₃ de 2 à 10% ;
- Sols moyennement calcaires avec un taux de CaCO₃ de 10 à 25% ;
- Sols fortement calcaires avec un taux de CaCO₃ de 25 à 50% ;
- Sols très fortement calcaires avec un taux de CaCO₃ > 50%.

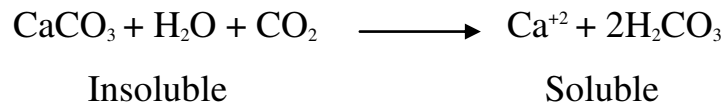
1.3. Origine du calcaire dans le sol :

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

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

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

En outre Bonneau et Souchier (1979) mentionnent que 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 de calcium, ces ions sont déplacés par les eaux percolantes ou par diffusion sur des distances variables, tant au sein d'un horizon ou des divers horizons du profil.

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

On peut accepter 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 Pieltain, 2003).

1. 4. Les propriétés des sols calcaires :

1. 4. 1. La valeur de pH:

Plusieurs travaux ont été réalisés afin de mettre en évidence l'influence du calcaire sur la variation du pH. Floate et Enrigh (1991) ont démontré qu'il y a une relation hautement significative entre l'apport du calcaire et l'augmentation du pH, dans le même sens Vorobyova et al (1991) pensent que les variations des valeurs du pH sont conditionnées par l'équilibre calciumcarbonates des sols.

Selon Legros (2007), les sols calcaires et les sols saturés en calcium ayant un pH relativement élevée ; il est voisin de la neutralité dans les sols saturés et 7,5 à 8,5 dans les sols calcaires.

En Algérie Djili (2000) a montré que dans le contexte des sols du Nord de pays une augmentation des taux de calcaire entre 0 et 2,5% provoque une augmentation du pH jusqu'à une valeur maximale de 7,82%. Au delà du seuil de 2,5% de CaCO₃, les particules de carbonate de calcium auront essentiellement un effet stérique sur les propriétés des sols.

1.4.2. Le taux d'argile:

D'après Legros 2007 les sols calcaires sont caractérisés par une structure fragmentaire et anguleuse en particulier si le sol est riche en argile. Pour les sols d'Algérie Djili (2000) trouve qu'il n'y a pas de proportionnalité entre les taux d'argile et les taux de calcaire. L'argile ne commence à avoir un effet sur les taux de calcaire qu'à partir d'une teneur qui avoisine les 40% d'argile. A partir de ce seuil, les teneurs en calcaire des sols diminuent très fortement quand les taux d'argile augmentent.

1. 4. 3. Les matières organiques :

Legros (2007) signale que les sols calcaires sont caractérisés par 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 ;dans le même sens Djili (2000) déclare que les sols riches en calcaire ; ils sont aussi riches en matière organique.

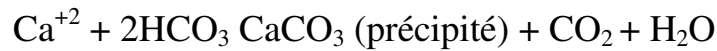
En outre Pouget 1980 et Trachaud 1994 ont mentionné la relation entre la matière organique et le calcaire, ils ont signalé que les processus d'humification et de minéralisation de la matière organique sont régis, par la présence du calcaire dans le sol, le calcium ayant un effet protecteur contre la dégradation microbienne.

1. 4. 4. La capacité d'échange cationique (CEC) :

D'après (Djili, 2000), la CEC devrait diminuer quand les taux de calcaire augmentent, seulement, dans la nature, le calcaire et l'argile sont accompagnés par de nombreux constituants du sol (sables, limons, matière organique, gypse, etc.....). Le même auteur trouve que dans le nord d'Algérie l'augmentation des taux de calcaire entre Zéro 0% et 40% s'accompagnent par l'augmentation de la CEC, au delà de ce seuil, la CEC diminue quand les taux de calcaire augmentent suite au faible pouvoir d'échange du carbonate de calcium.

1. 5. Le phénomène de la précipitation :

D'après Legros (2007), l'équation se déroule comme le suivant :



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. 6. Les Formes du calcaire dans le sol :

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'œil 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) :

1 .6. 1. Distributions diffuses :

Le calcaire se présente sous forme de particules fines de dimensions égales ou inférieures à 1 mm. Ces particules, sont distribuées au hasard dans la base de l'horizon (Ruellan, 1971) dans le même sens (Baize et Jabiol, 1995).

La distribution diffuse du calcaire c'est une 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.

1.6.2. Concentrations discontinues :

En Algérie, d'après Djili (2000), les formes diffuses et discontinues, se localisent aussi bien dans les régions Sud de l'Algérie septentrionale, ces deux formes sont les bien représentées dans l'ensemble du profil, les principales formes de concentrations discontinues sont :

1. 6. 2. 1. Pseudo-mycélium :

Selon (Baize et Jabiol, 1995), les pseudo-mycéliums sont des accumulations filiformes et anastomosées , en position de revêtement soit à la surface des agrégats soit sur les parois des vides).

1. 6. 2. 2. Les amas friables :

Ruellan (1984) rapporte que les amas friables 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.

1. 6. 2. 3. Les nodules :

Les nodules peuvent être définis comme étant des amas durs : à l'état sec, on ne peut pas les écraser avec les doigts. Par convention, on appelle « granules » les petits nodules, d'un volume inférieur à 1 cm³. Le volume des nodules dépasse rarement quelques centimètres cubes (Ruellan, 1971).

1. 6. 3. Les concentrations continues :

Selon Djili (2000), la forme continue se situe essentiellement au niveau des régions arides et semi- arides. On peut distinguer plusieurs d'encroûtements :

1. 6. 3. 1. Encroûtement non feuilleté : il y a deux types :

1. 6. 3. 1. 1. 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).

1. 6. 3. 1. 2. 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 bande 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).

1. 6. 3. 2. Encroûtement feuilleté :

1. 6. 3. 2. 1. Les croûtes :

Selon Vogt 1984 il est possible de distinguer 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

1. 6. 3. 2. 2. Les dalles compactes :

(Ruellan, 1984) déclare que 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.

1. 7. Les sols calcaires en Algérie :

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le Nord du pays, où ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires, ils s'expriment mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm (Figure 5). Les taux en calcaire se localisent préférentiellement dans les zones inférieures du pays (régions steppiques et hauts plateaux) (Djili, 2000).

D'après 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.

2. Les constituants granulométriques des sols :

L'opération qui consiste à attribuer des noms aux particules du sol définies par leur taille et s'appliquant a des objets de nature différente dont l'usage en est si généralement admis est appelée analyse granulométrique. Elle contribue à définir la texture du sol. On distingue dans les éléments grossiers de diamètre supérieur à 2mm, de la terre fine de diamètre inférieur à 2mm.

2. 1. Les composants granulométriques du sol :

D'après Richer de Forges *et al.*, (2008) les composants granulométriques sont :

2. 1. 1. Les éléments grossiers

2. 1. 1. 1. Les cailloux :

- Les cailloux sont des constituants mécaniques grossiers issus de la désagrégation de la roche-mère.
- Leur taille est supérieure à 2 cm.
- La quantité de cailloux et de graviers détermine la pierrosité du sol. Une teneur trop importante en éléments grossiers pose des problèmes pour le travail du sol. Un moyen de diminuer la pierrosité du sol est l'épierrage.

2. 1. 1. 2. Les graviers :

- Les graviers sont des constituants mécaniques grossiers issus de la désagrégation de la roche-mère.
- Leur taille est comprise entre 2mm et 2cm.
- La quantité de cailloux et de graviers détermine la porosité du sol. Un moyen de diminuer la porosité est l'épierrage.

2. 1. 2. Les éléments fins :

2. 1. 2. 1. Les sables grossiers et fins :

Les sables sont des constituants mécaniques issus de la désagrégation de la roche-mère.

Ce sont les plus gros éléments de la terre fine. On distingue les sables grossiers de taille comprise entre 0,2 mm et 2 mm, des sables fins de taille comprise entre 0,05 mm et 0,2 mm.

Si la teneur en sables est très faible, on peut sabler : le sablage consiste à apporter du sable pour modifier la texture du sol. Cette action est surtout pratiquée sur des parcelles maraîchères.

2. 1. 2. 2. Les limons grossiers et fins

Les limons sont des constituants mécaniques issus de la désagrégation de la roche-mère.

On distingue les limons grossiers de taille comprise entre 0,02 mm et 0,05 mm, des limons fins de taille comprise entre 0,002 mm et 0,02 mm

2. 1. 2. 3. Les Argiles

Le terme « argile » fait référence soit à l'argile granulométrique, soit à l'argile minéralogique.

Argile granulométrique et Argile minéralogique

- L'argile granulométrique définit les constituants mécaniques issus de l'altération de minéraux silicatés de la roche-mère, regroupant l'ensemble des particules de diamètre inférieur à 2 μm : les argiles proprement dites, des particules de quartz, de micas et de calcaire. Ce sont les plus petits éléments de la terre fine.
- L'argile minéralogique désigne le minéral issu de la désagrégation de la roche-mère.

3. La wilaya de Laghouat position et situation géographique :

3. 1. Présentation de Laghouat :

La wilaya de Laghouat issue du découpage administratif de 1974 occupe une position centrale en Algérie reliant les hauts plateaux avec le Sahara, elle est aussi l'un des passages obligés pour les caravanes qui vont de l'Afrique noire vers la Méditerranée.

La wilaya couvre une superficie totale de 25.052 km² et fait partie du groupe des 12 wilayas steppiques du pays ainsi que des wilayas du Sud. Elle est limitée au Nord et à l'Est par la wilaya de Djelfa, au Nord Ouest et à l'Ouest par les wilayas de Tiaret et d'El Bayadh et au Sud par la wilaya de Ghardaïa (Figure.1).

1980, Djebaili ; 1981, Aidoud ; 1984). Les géo formes modelées (Figure.2) peuvent se résumer à :

3. 3. 1. Les reliefs :

Ce sont l'ensemble des inégalités de la structure terrestre de la wilaya, formés de relief de l'Atlas Saharien et sont principalement dues : à ce que le plissement moins intense a été inachevé, rudimentaire en quelque sorte, et à ce qu'une période sèche ayant succédé à une phase humide, l'érosion par les eaux courantes est devenue intermittente ; les matériaux de cette érosion sont restés sur place, et l'érosion éolienne, a pris le dessus (Bernard et Ficheur ; 1902).

3. 3. 2. Les Hautes surfaces :

Elles se présentent sous forme de surface d'érosion en pente douce, développées dans les régions semi-arides au pied des reliefs. Elles forment l'ensemble des glacis, des terrasses, des versants, des chenaux d'oueds alluvionnés et des zones d'épandages et de débordements décrites par (Estorges ; 1965 et Pouget ; 1980).

3. 3. 3. Les dépressions (Dayas) :

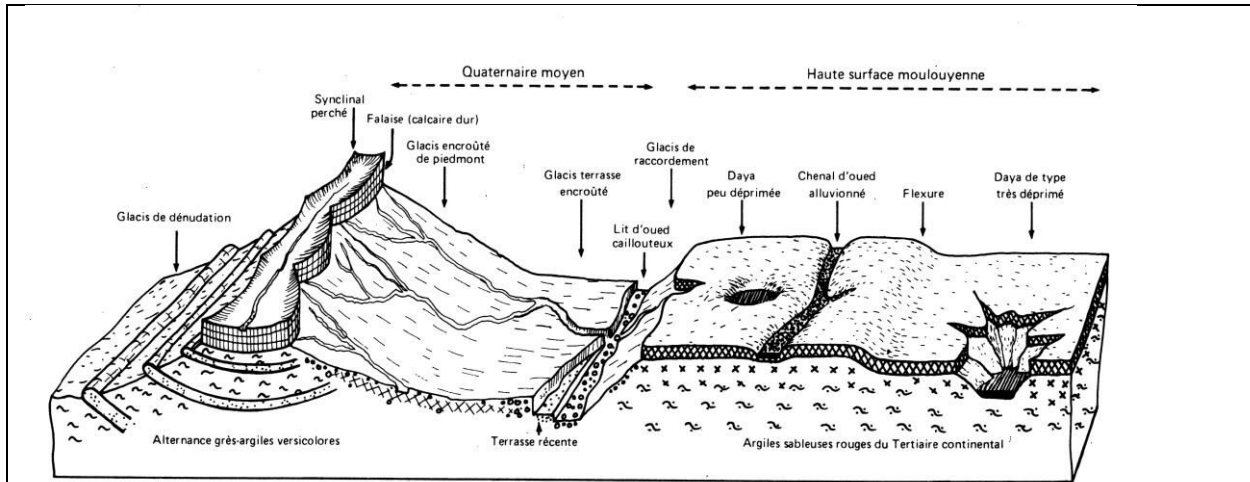
Ce sont des dépressions de type fermé aux bords faiblement inclinés, de formes grossièrement circulaires, parfois elliptiques mais toujours globuleuses et arrondies de diamètre très variables pouvant dépasser quelques centaines de mètres (Tricart, 1969). La plus part se localisent sur les surfaces encroutées du quaternaires ancien moins souvent sur le quaternaire moyen, d'autres existent dans certaines formations du jurassique et du Crétacé (Capot et Rey, 1939).

Le caractère spécifique des dayas est d'avoir un fond très plat, de n'être qu'accidentellement limitées par des abrupts, et jamais complètement imperméables. Elles sont présentes sous climat aride ou semi-aride, elles sont abondantes de part et d'autre de l'Atlas saharien mais nulle part en semis homogène, elle sont peuplées de « *Pistacia atlantica* » au sud de Laghouat.

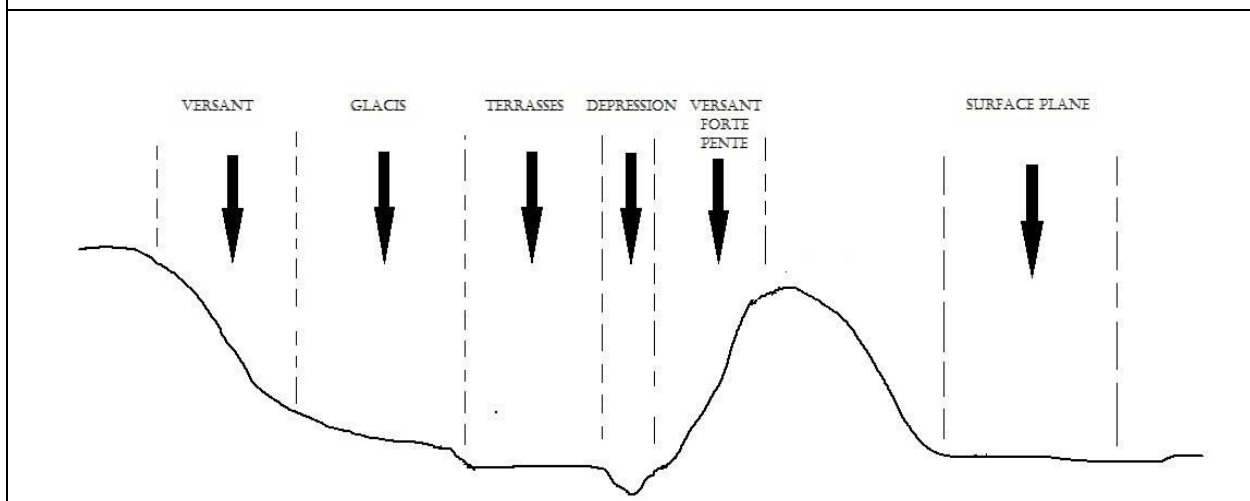
3. 3. 4. Les formations éoliennes :

Les processus géomorphologiques éoliens sont largement dominants au-dessous de 100 mm avec, pour corollaire l'existence de divers types de regs et de dunes (Le Houérou ; 1995). Résultent notamment pour une bonne partie du démantèlement des grès albiens des

reliefs. A Laghouat ces formations se présentent sous formes de buttes sableuses désordonnées appelées *Nebka* à proximité des grands Oueds.



(a)



COUPE GEOMORPHOLOGIQUE SCHEMATIQUE (CACG. 1965 - 1968)

(b) Coupe schématique montrant des unités morphologiques dans la région de Laghouat
Source originelle

Figure 2. Unités géomorphologiques de la wilaya de Laghouat

3. 4. Cadre pédologique dans la wilaya de Laghouat :

Il est assez difficile de présenter de façon claire les domaines pédologiques de la wilaya de Laghouat. Ce ci tient d'abord de l'importance de la taille de sa superficie globale. En outre les données pédologiques qui existent sur la wilaya de Laghouat sont relativement maigres et résultent en grande majorité d'une carte des sols de l'Afrique élaborée en 1963 par l'institut géographique militaire de Bruxelles (Commission de coopération technique en Afrique ; 1963), et à travers laquelle (feuille N°5 et feuille N°6) exposent l'ensemble des sols de l'Algérie.

3. 5. Types de sols identifiés dans la wilaya de Laghouat :

Les études des sols de la wilaya de Laghouat sont quasi absentes, elles n'ont pas été abordées de façon claire dans la littérature. Afin de tenter une approche représentative et descriptive de l'ensemble des sols de la wilaya de Laghouat, la carte élaborée en 1963 par l'institut militaire de Bruxelles a été utilisée pour délimiter l'ensemble de ses grands domaines pédologiques (API,1972)

Dans la partie qui couvre la wilaya de Laghouat la carte de l'API (1972) montre une mosaïque dans laquelle cinq classes de sols sont dispersées :

- sols minéraux bruts ;
- sols peu évolués ;
- sols Calcimagnésiques ;
- sols iso humiques ;
- sols des dayas.

1. Matériels et méthodes :

1. 1. Zone d'étude et justification de son choix :

Notre travail a été réalisé avec la collaboration d'une équipe de la Direction des services agricole de la wilaya de Laghouat. L'échantillon des sols étudiés dans le cadre de ce mémoire a été sélectionné par l'équipe des services agricole. Leur choix était basé sur l'emplacement de périmètres agricoles dans la région de Laghouat dans le cadre des politiques agricoles de l'Etat.

Notre travail sur le terrain a lieu entre le mois Février 2016 et le mois de Juin 2016. Les périmètres agricoles lieu de notre étude sont localisés dans trois (3) communes de la wilaya de Laghouat (Figure. 3) à savoir : El Houita, Ain Madhi et El Kheneg.

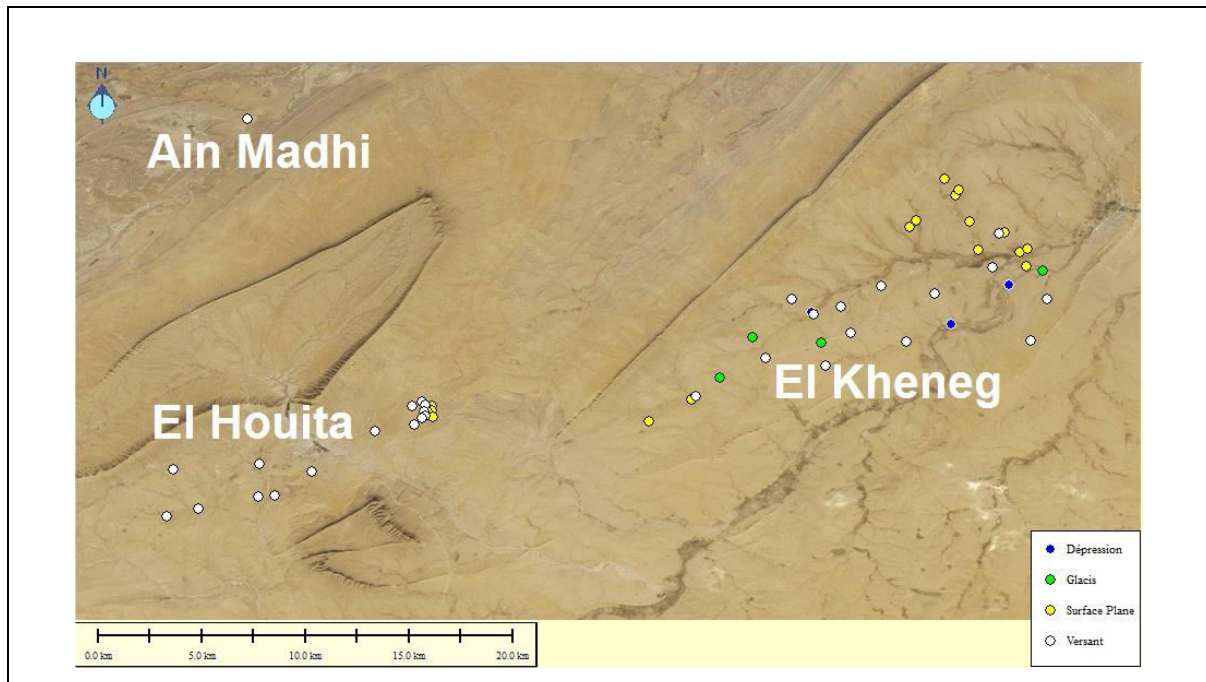


Figure 3. Représentation de la localisation des points de mesure.

1. 2. Localisation des points de mesure (profiles) et travail sur le terrain :

La localisation des profiles échantillonnés est effectuée d'abord à partir des plans parcellaires (Morcellement des périmètres) sur la base des directives de l'équipe de la DSA. Les emplacements des points de mesures sont ensuite localisés sur le terrain, un GPS type Garmin st 72 est utilisé pour cela, il permet de géo référencer les coordonnées des points sélectionnés (exploitations agricoles) sur les plans parcellaires, les coordonnées affichées sont notées sur la fiche de prélèvement et sont représentées Tableau N°1.

Tableau N° 1 : Localisation, coordonnées des profils étudiés et unité géomorphologique correspondante.

Numéro de profile	Localisation	X	Y	Unité géomorphologique correspondante
1	KHN	2°44' 58,2"	33° 43' 4,6"	Dépression
2	KHN	2°43' 29,1"	33°42' 3,1"	Dépression
3	KHN	2°39'51"	33°42' 21,5"	Dépression
4	AM	2°25' 12,5"	33°47' 22,6"	Versant
5	KHN	2°44' 33,1"	33° 43' 31,8"	Versant
6	KHN	2°43' 2,5"	33° 42' 51,3"	Versant
7	KHN	2°43' 2,5"	33°42' 51,3"	Versant
8	KHN	2°41' 54,5"	33° 42' 22,3"	Versant
9	KHN	2° 41' 38,8"	33° 43' 3,1"	Versant
10	KHN	2° 42' 19,5"	33° 41' 35,5"	Versant
11	KHN	2° 40' 52,2"	33° 41' 49,4"	Versant
12	KHN	2°40' 36,7"	33°42' 30,4"	Versant
13	KHN	2°39' 54"	33°42' 17,8"	Versant
14	KHN	2° 40' 13,53	33° 40' 58,7"	Versant
15	KHN	2° 38' 40,2"	33° 41' 10,2"	Versant
16	KHN	2°36' 50,7"	33° 40' 10,6"	Versant
17	HOU	2° 29' 44,3"	33° 40' 2,0"	Versant
18	HOU	2° 29' 49,6"	33° 39' 58"	Versant
19	HOU	2°29' 48,1"	33°39' 46,3"	Versant
20	HOU	2°29' 49,6"	33°39' 39,6"	Versant
21	HOU	2°29' 44,3"	33° 39'37"	Versant
22	KHN	2°44' 42,5"	33° 44'24,2"	Versant
23	KHN	2°39'20,4"	33°42'42,6"	Versant
24	KHN	2°45'58,1"	33°42'42,2"	Versant
25	KHN	2°45'32"	33°41'37,5"	Versant
26	HOU	2°29'31,5"	33°39'26,4"	Versant
27	HOU	2°29'28,5"	33°39'56,4"	Versant
28	HOU	2°28'303	33°39'16"	Versant
29	HOU	2°26'53,3"	33°38'13,4"	Versant
30	HOU	2°25'55,4"	33°37'36"	Versant
31	HOU	2°25'31,2"	33°38'24,7"	Versant

32	HOU	2°25'29,2"	33°37'34,2"	Versant
33	HOU	2°23'16,5"	33°38'16,8"	Versant
34	HOU	2°23'55,9"	33°37'15"	Versant
35	HOU	2°23'6,7"	33°37'3,2"	Versant
36	KHN	2° 45' 15"	33°43' 54,5"	Surface plane
37	KHN	2° 44' 51,8 "	33° 44' 25,9"	Surface plane
38	KHN	2° 45' 24,8"	33° 43' 33,5"	Surface plane
39	KHN	2°44' 10,8"	33° 43' 58,6"	Surface plane
40	KHN	2°36' 44,2"	33° 40' 5,6"	Surface plane
41	KHN	2°35' 37,6"	33° 39' 32,4"	Surface plane
42	HOU	2° 29'59,4"	33° 39' 55,7"	Surface plane
43	HOU	2° 29' 59,9"	33° 39' 48,8"	Surface plane
44	HOU	2° 29' 52"	33° 39' 46,5"	Surface plane
45	HOU	2°30' 1,0"	33°39'39"	Surface plane
46	KHN	2°45' 26,9"	33°43' 59,9"	Surface plane
47	KHN	2°43' 57,1"	33° 44'42"	Surface plane
48	KHN	2°43' 34,7"	33°45'22,8"	Surface plane
49	KHN	2°43'17,5"	33°45'49,4"	Surface plane
50	KHN	2°43'39,5"	33°45'32"	Surface plane
51	KHN	2°42' 34,5"	33°44'45"	Surface plane
52	KHN	2°42' 24,5"	33° 44' 34,3"	Surface plane
53	KHN	2°40' 5,6"	33°41' 34,2"	Glacis
54	KHN	2° 38' 19,4"	33°41' 43,3"	Glacis
55	KHN	2° 37' 28,3"	33° 40' 38,9"	Glacis
56	KHN	2°45' 51,9"	33°43'25,5"	Glacis

Source originale

1.3. Identification des unités géomorphologiques, creusé des fosses pédologiques (Profils) et leur géo référencement :

Sur les rapports accompagnant les plans parcellaires établis pour le compte des services de la DSA de la wilaya de Laghouat par des géomètres, les unités géomorphologiques sur lesquelles sont positionnés les périmètres agricoles étaient déjà identifiées, nous les avons donc repris telles (Tableau N°1).

Les agriculteurs ayant été avertis par les services Agricoles qu'une prospection pédologique aura lieu, chaque agriculteur a donc lui-même préparé sa fosse pédologique que nous avons trouvée toute prête lors de notre visite. Nous avons donc procédé à la prospection dans le cadre de notre travail.

1. 4. Observations des horizons du profil et prélèvements de la terre sur le terrain :

1. 4. 1. Observations des profils et paramètres d'identification des horizons :

Chaque profil est observé visuellement et est décrit par la suite. La description est portée sur une fiche spécifique (Annexe), les paramètres observés sont tels que décrits dans Baize et Jabiol (1995).

- Les profondeurs des horizons basées surtout sur les présences des racines ;
- L'état d'humidité de l'horizon (humide, frais, sec) ;
- La texture évaluée par des tests tactiles ;
- La couleur de l'horizon : la couleur est évaluée visuellement par deux paramètres, la teinte ('couleur de base') et sa clarté ('du clair au sombre'). Ce dernier paramètre est difficile à distinguer de la pureté de la teinte ;
- L'effervescence à l'acide chlorhydrique (1 N);
- La présence éventuelle et l'abondance d'éléments grossiers (Cailloux).

1. 4. 2. Prélèvements de la terre des horizons du profil :

Les prélèvements de la terre ont été effectués de deux manières :

Suite aux horizons identifiés sur le profil et selon la position de l'horizon dans le profil :

1. 4. 2. 1. Prélèvements des horizons superficiels :

Pour les horizons superficiels la terre a été à chaque fois prélevée à l'aide d'une pelle cuillère, mise dans un sac en plastique étiqueté et hermétiquement fermé ;

1. 4. 2. 2. Prélèvements de la terre des horizons sous jacents :

Afin d'éviter les contaminations de l'horizon qui superpose, nous avons procédé au prélèvement de la terre à l'aide d'un tube carottier (ϕ : 32 x 36 mm, long. 22 cm), la méthode (Sanglérat, 2008) qui est la suivante :

- Les différents horizons du profil du sol déterminés à l'aide d'un croquis. Nous avons inscrit l'épaisseur de chaque horizon.
- On huile soigneusement la paroi interne de chaque tube de prélèvement (l'huile de moteur).
- A l'endroit où on veut prélever un échantillon, on introduit le tube horizontalement dans le sol, on l'enfonce aussi vite et régulièrement que possible en s'aidant d'un marteau en cas de nécessité.
- On retire le tube du sol avec un couteau en faisant bien attention de le maintenir horizontal pour ne pas déplacer l'échantillon de sol qu'il contient.
- On ferme hermétiquement le tube aux deux extrémités pour y enfermer l'échantillon de sol à l'aide d'un film plastique ou de chambre à air.
- On place le tube dans un sac en plastique, on l'étiquette et numérote en fonction de sa fiche de prélèvement. Toutes les informations visuelles qui le concernent sont notées dans une fiche de prélèvement (ANNEXE) qui porte le numéro du profil et de l'horizon qui correspond (Duchauffour ; 2006).
- L'opération est répétée le long du profil, autant de fois qu'il est nécessaire.
- Les sacs étiquetés et bien fermés sont par la suite ramenés aux laboratoires.

1.5. Analyses au Laboratoires :

1. 5. 1. Dosage du calcaire total :

La méthode utilisée est celle de la gazométrie (Dutoit,1996), à l'aide d'un Calcimètre de Bernard (voir la figure 4).



(photo originale)

Figure 4. Représentation du Calcimètre de Bernard

1. 5. 1. 1. Principe du dosage :

Un calcimètre permet de mesurer le volume de CO_2 dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl , 1 N) sur le carbonate de calcium (CaCO_3) de l'échantillon de sol.

1. 5. 1. 2. Préparation de la mesure :

- On prépare une solution saturée de NaCl (environ 1/4 de litre) ; la verser jusqu'à mi hauteur de l'ampoule.
- On tare la balance puis pèse l'échantillon ;
- On place dans l'Erlenmeyer : l'échantillon ;
- On verse dans un petit tube de l' HCl assez concentré (1N).
- A l'aide d'une grosse pince, on met en place ce petit tube dans l'Erlenmeyer.

- On bouche l'Erlenmeyer ;
- On modifie la hauteur de l'ampoule de manière à ce que l'eau salée soit au même niveau dans l'ampoule et le tube gradué.

Le contenu de l'Erlenmeyer sera alors à la pression atmosphérique

- On note le niveau.

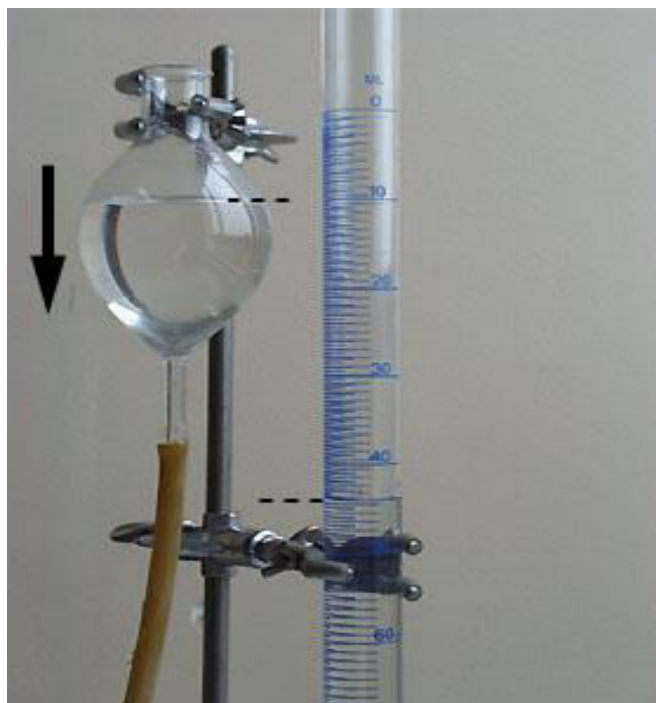
1. 5. 1. 3. La mesure :

- On incline l'Erlenmeyer afin de faire couler l'acide sur l'échantillon.
- On repose l'Erlenmeyer et attendre la fin de l'effervescence.

La pression dans le tube gradué est alors supérieure à la pression atmosphérique.

Il convient de rétablir la pression atmosphérique en descendant l'ampoule jusqu'à obtenir le même niveau dans l'ampoule et le tube.

- Le CO₂ dégagé est à pression atmosphérique : on peut faire la mesure Fig 5.
- On ouvre l'ErlenMeyer ; puis ajoute un peu d'acide sur l'échantillon. On Vérifie que l'acide était bien en excès et que tout le CaCO₃ a été attaqué.



(Photo originale)

Figure 5. Représentation de la lecture du volume de CO₂.

1. 5. 1. 4. Calcul de la teneur en CaCO₃ :



- Si l'acide HCl est en excès, son action sur une mole de CaCO₃ (100g/mol) libère une mole de CO₂ (22,4 l soit 22400 ml).
- Connaissant le volume de CO₂ dégagé (niveau final - niveau initial), faire un produit en croix pour calculer la masse de CaCO₃ attaqué.
- Connaissant la masse de CaCO₃ et la masse de l'échantillon, faire un produit en croix pour calculer le pourcentage de CaCO₃ dans l'échantillon.

1. 6. Analyse granulométrique par tamisage :

1.6.1. Description de la granulométrie :

L'analyse granulométrique s'effectue sur une prise d'essai de terre fine (éléments < 2mm). Elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions des particules constituantes des agrégats.

Nous avons procédé à une analyse granulométrique des sédiments à sec avec des tamis de 2000, 200 et 50 µm, sans prétraitements chimique, les différentes particules ont été classées selon l'échelle d'Atterberg dans (Legros, 1993), tel que les diamètres des particules soient dans les classes suivantes :

- Argiles et limons (AL) < 50 µm
- 50 µm < Sables fins (SF) < 200 µm
- 200 µm < Sables grossiers (SG) < 2000 µm

Tableau N° 2. Dimensions des diamètres des particules

Taille de la particule (mm)	Type de fraction granulométrique
$\Phi < 0,05$	Argile et Limons
$0,05 < \Phi < 0,20$	Sables fins
$0,20 < \Phi < 2$	Sables grossiers

Source : Legros, 1993

1. 6. 2. Exécution du tamisage au laboratoire :

On fait passer le sédiment à travers la série de tamis dont les ouvertures (ou mailles) diminuent de haut en bas ; la série est mise à vibrer un certain temps sur une tamiseuse (voir la figure 7) Chaque tamis retient une quantité de sédiment appelé refus de tamis (voir la figure 6)

Le refus de tamis constitue une classe granulométrique définie par sa limite inférieure qui est la maille du tamis lui-même et sa limite supérieure qui correspond à la maille du tamis immédiatement supérieur.

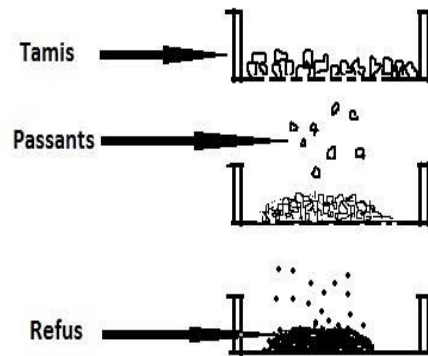


SCHÉMA REPRÉSENTE LE TAMISAGE À SEC

Source originale

Figure 6. Représentation du principe de tamisage à sec



Figure 7. Représentation d'une tamiseuse vibrante.

1. 6. 2. Calculs des proportions des particules :

Après tamisage, chaque tamis possède son propre refus. On peut procéder de deux manières différentes qui aboutissent au même résultat.

1. 6. 3. Pourcentages des refus simples :

Chaque refus est pesé et son poids est noté. Prenons par exemple p_1 le poids du refus du premier tamis, p_2 le poids du refus du second tamis, p_3 le poids du refus du troisième tamis. Nous notons les refus r_1 , r_2 , r_3 et PT le poids total de la quantité de terre tamisée ; le pourcentage de chaque refus est calculé de la manière suivante :

$$\% r_1 = (p_1 \times 100) / PT ; \% r_2 = (p_2 \times 100) / PT ; \% r_3 = (p_3 \times 100) / PT .$$

1. 6. 4. Analyses des données de terrain :

En raison de la difficulté que nous avons rencontré dans la classification des sols que nous avons étudié, vu que toute la classification des sols de l'Algérie est discutée depuis les années 1950 (Durand, 1955 ; Capo Rey, 1955 ; Benchetrit, 1957, Aubert, 1976, Pouget 1980 ; Hamdi Aissa, 1988 ; Halilat, 1998 ; Meddour, 2010), nous avons opté vers un rangement des profils étudiés selon leurs unités géomorphologiques.

La géomorphologie intervient dans la détermination du caractère polygénique du sol et, le cas échéant, précise les aspects des séquences morpho-dynamiques et morpho-climatiques correspondantes, elle apporte une contribution non négligeable à la prospection, à l'explication et à la cartographie des sols (Boumaraf, 2013).

L'orientation actuelle de la pédologie vers leur étude au niveau d'unités biogéodynamiques implique des recherches multidisciplinaires où le géomorphologue trouve sa place. Ces conclusions demeurent valables pour sa proche parente, la géochimie qui traite de la nature de la distribution et de la migration des éléments chimiques constituant les sols (Coque, 1977).

Les résultats obtenus ont subi des analyses statistiques à l'aide des Logiciels Minitab 17 et XLStat .

1. 7. Cartographie et Interpolation spatiale :

Une carte de la répartition superficielle du calcaire a été établie et avant cela nous avons procédé à une analyse géostatistique des données par le modèle exponentiel, le krigeage est effectué dans Matlab 2014.

L'Analyse géostatistique représente un procédé de modèles et d'outils développés pour les analyses statistiques des variables aléatoires continues (ESRI, 2010), c'est à dire, des valeurs de données où peuvent être mesurés à n'importe quel endroit de l'espace considéré.

L'interpolation spatiale désigne les processus permettant l'estimation des valeurs des sites non échantillonnés à partir des points de mesure des sites échantillonnés. Le résultat de l'interpolation produit ainsi des surfaces continues à l'intérieur des limites définies par la position des sites échantillonnés. Dans ce cas, chaque point de la surface interpolée possède une valeur bien déterminée.

1.8. Méthodes d'interpolation géostatistique :

1. 8. 1. Krigeage :

Parmi les méthodes d'interpolation géostatistique, nous avons adopté le krigeage, ce dernier, c'est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées.

Le krigeage est le meilleur estimateur sans biais, en plus c'est le premier interpolateur spatial à considérer l'indépendance spatiale des données.(Matheron.1965)

1. 8. 2. Krigeage ordinaire :

Dans notre étude ce type de krigeage , Il s'agit de krigeage ordinaire (Matheron, 1970) la technique de krigeage la plus fréquemment utilisée selon Gratton (2002). Ce type de krigeage ne requière pas une hypothèse de stationnarité d'ordre deux

Le krigeage va se baser sur cette nouvelle hypothèse : l'auto-corrélation spatiale des données. Concrètement, cela signifie que deux données rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires.

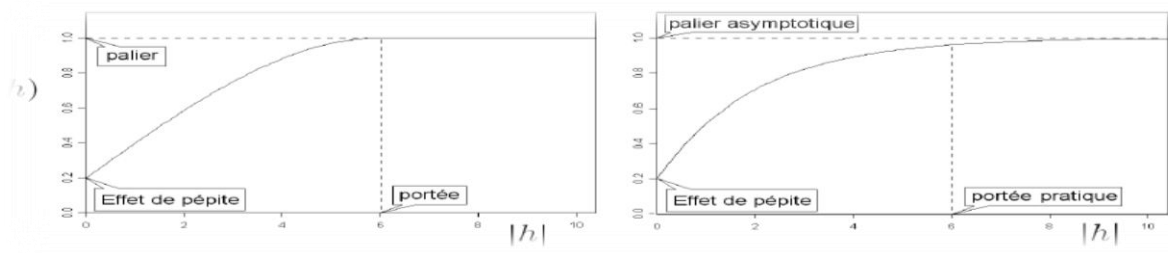
1. 8. 3. Etablissement d'un Vario-gramme :

Pour appliquer ce type d'interpolation par krigeage, il est nécessaire d'explorer la structure spatiale des données afin de vérifier si celles-ci sont bien auto-corrélées. L'outil principal permettant cette analyse est le semi-variogramme qui décrit l'évolution de la semi-variance en fonction de la distance entre les mesures et permet ainsi de d'étudier le lien spatial entre les données (Baillargeo.2005)

1. 8. 4. Modélisation du Variogramme :

Une fois le Variogramme estimé, on le modélise par une fonction de référence (modèle exponentiel), Ce modèle aura alors toutes les propriétés requises pour effectuer un krigeage sur les données.

La modélisation est la phase la plus délicate du krigeage, elle consiste à l'ajustement d'une fonction analytique continue à tous les points du semi-variogramme calculé et reproduisant mieux l'allure de la courbe de celui-ci. La fonction analytique à ajuster de type, exponentiel.



Source : ESRI,2010

Figure 8. Représentation de variogramme

1. 9. Analyse spatiale par logiciel géostatistique :

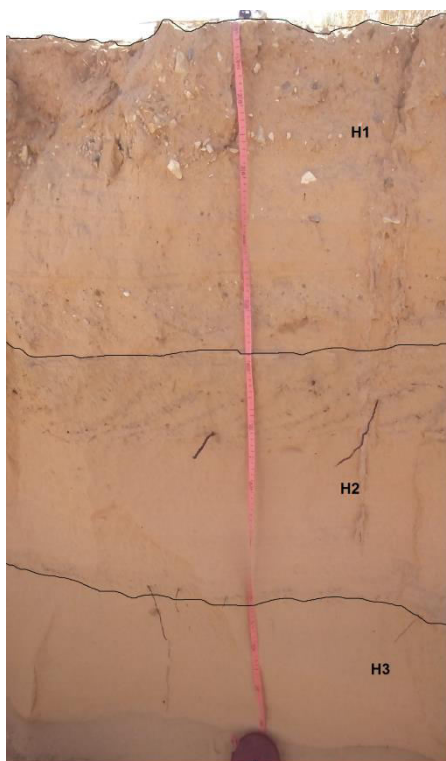
L'utilisation de la méthodologie du SIG sous le logiciel Surfer pour l'analyse spatiale, nous a permis l'élaboration de la carte de l'évolution des paramètres étudiés à la surface du sol.

1. Répartition géomorphologique, profondeurs et stratification des profils :

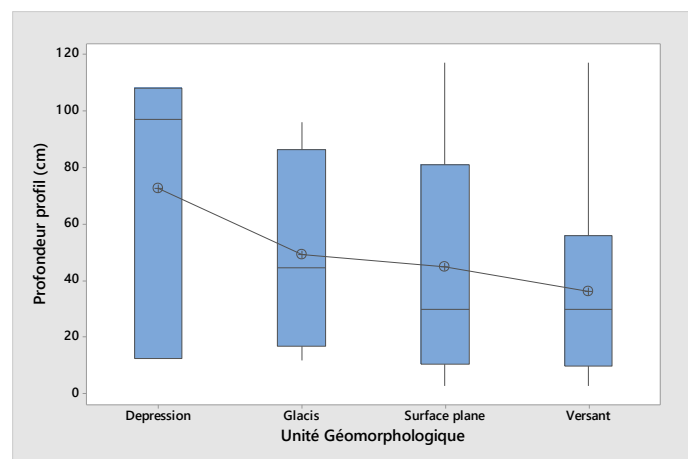
Les cinquante six (56) profils étudiés sont réparties entre quatre (4) unités géomorphologiques à savoir : Glacis, Versant, Surface plane et Dépression.

Nous avons recensé trente deux (32) profils sur des Versants ; dix sept (17) profils sur une surface plane ; quatre (4) profils sur un glacis, et trois (3) profils sur une dépression.

Les profondeurs totales varient d'un profil à un autre (voir la figure 9 (b)), le plus superficiel présente une profondeur totale de 3 cm observée dans la région d'El Kheneg ; le plus profond a atteint 117 cm localisé dans la région d'El Houita. Il est à noter que l'analyse de la variance a révélée que paramètre profondeur du profil présente une différence non significative pour l'unité géomorphologique sur laquelle se trouve le sol ($F_{obs}=1,10$; $p= 0,358$).



(a) (Source originale)



(b)

Figure 9. (a) Représentation d'un profil de sol sur une surface plane au Kheneg, (b) Evolution de la profondeur des profils.

Nous avons distingué 29 profils constitués d'un seul horizon (H1), 20 profils constitués de deux horizons (H₁ + H₂) et 7 profils constitués de trois horizons (H₁ + H₂ + H₃).

Les épaisseurs de l'horizon H1 sont situées entre 0 et 68 cm ; celles de l'horizon H2 sont comprises entre 6 et 91 cm et enfin l'épaisseur de dernier horizon H3 est comprise entre un minimum de 30cm et un maximum de 68 cm. Le paramètre épaisseur de l'horizon n'est pas spécifique à l'unité géomorphologique.

2. Analyse des profils en fonction de l'unité géomorphologique :

2.1. Analyse de profondeurs des horizons :

2. 1. 1. Profondeur H1 :

Les résultats de la profondeur de l'Horizon H1, montrent (voir la figure 10) qu'elle est variable entre un minimum de 3 cm et un maximum de 68 cm. Le Glacis présente la moyenne la plus élevée avec environ 20 cm proche de celle de la dépression qui a marqué une profondeur moyenne de H1 de 19,90 cm. La surface plane et le versant ont marqué des profondeurs moyennes de l'horizon H1 respectivement de 17,12 cm et 14,87 cm.

Pour les glacis le profil le plus superficiel est noté à 4 cm, tandis que le plus profond est à 57 cm, dans les dépressions, nous avons noté une profondeur minimale de 12 cm et une profondeur maximale atteint 35 cm, les surfaces planes et les versants ont enregistré des horizons de surface de 3 cm et des profondeurs maximales respectivement 68 cm et 47 cm.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significative pour la profondeur de l'horizon H1 des sols en fonction des unités géomorphologiques de leur localisation ($F_{\text{obs}} = 0.28$; $P = 0.838$).

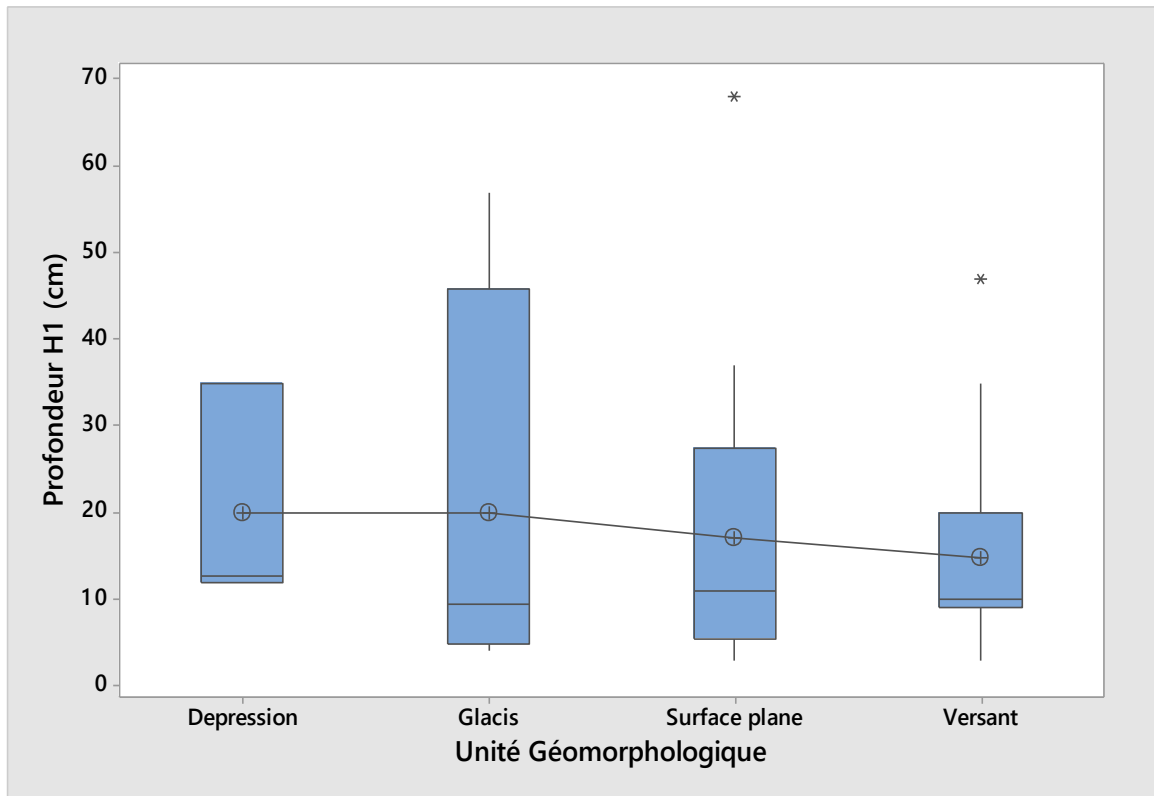


Figure 10. Evolution de la profondeur en fonction des unités morphologiques dans l'horizon H1

2. 1. 2. Profondeur H2 :

Pour les profondeurs de l'horizon H2 les résultats signalent (voir figure 11) que la profondeur diffère entre un minimum de 13 cm situé dans un versant dans la région de Houita et un maximum de 116 cm localisé dans un versant dans la région de Kheneg.

Nous remarquons que les dépressions possèdent la profondeur moyenne pour H2 la plus élevée avec 102.5 cm ; les glacis présentent une profondeur moyenne de H2 de 64 cm, tandis que les surfaces planes et les versants se caractérisent par des moyennes moins élevées avec respectivement 49 cm et 51.88 cm.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélé qu'il existe une différence significative pour la profondeur de l'horizon H2 des profils des sols des différentes unités géomorphologiques ($F_{Obs} = 2.94$; $P = 0.052$).

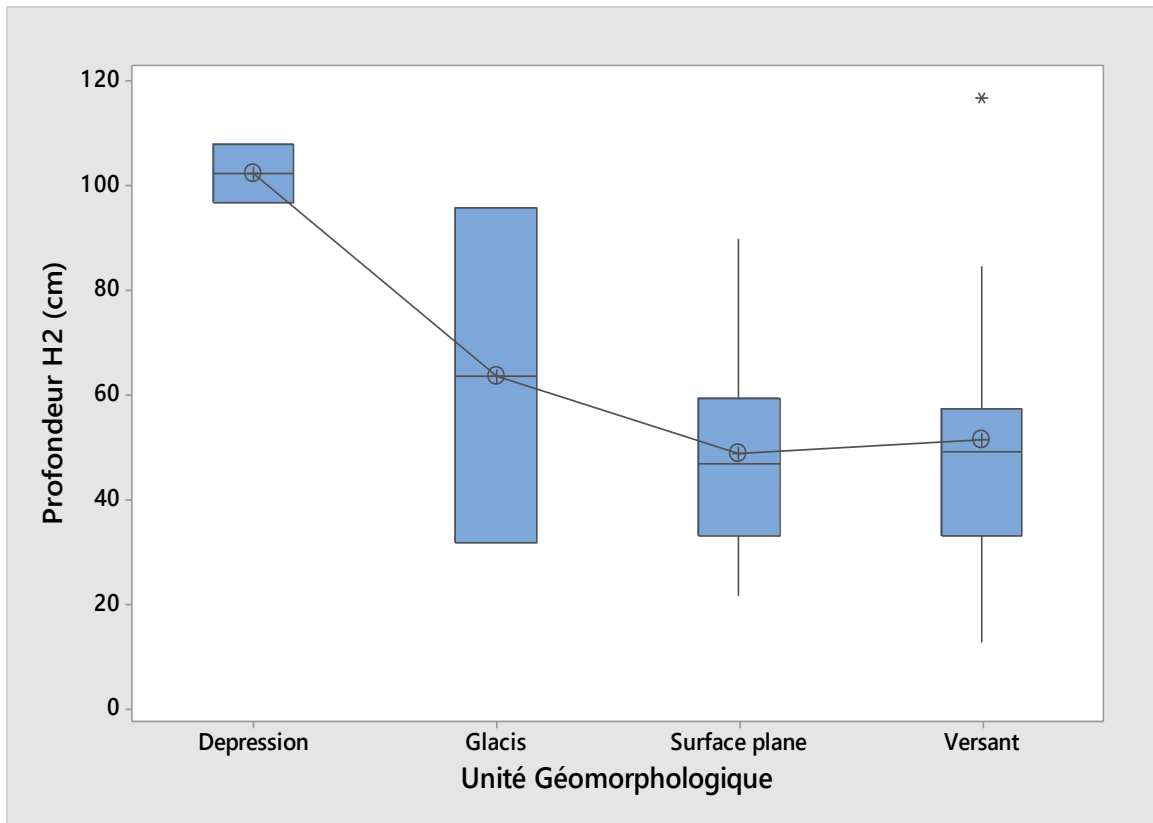


Figure 11. Evolution de la profondeur en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H2

2.1.3. Profondeur H3 :

D'après les résultats (voir la figure 12), nous notons que les glacis et les dépressions n'ont pas de troisième horizon, ce dernier a été observé uniquement dans les surfaces planes et dans les versants.

La profondeur dans cet horizon variable entre un maximum de 117 cm et un minimum de 71cm, elles sont remarquées dans une surface plane dans la région de l'Houita. Nous remarquons que la profondeur moyenne de l'horizon H3 enregistrée dans la surface plane est de 94.20 cm et est de 87.7 cm pour les versants.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significative de la profondeur de l'horizon H3 des profils des différentes unités géomorphologiques ($F_{obs}=0.25$; $P=0.632$).

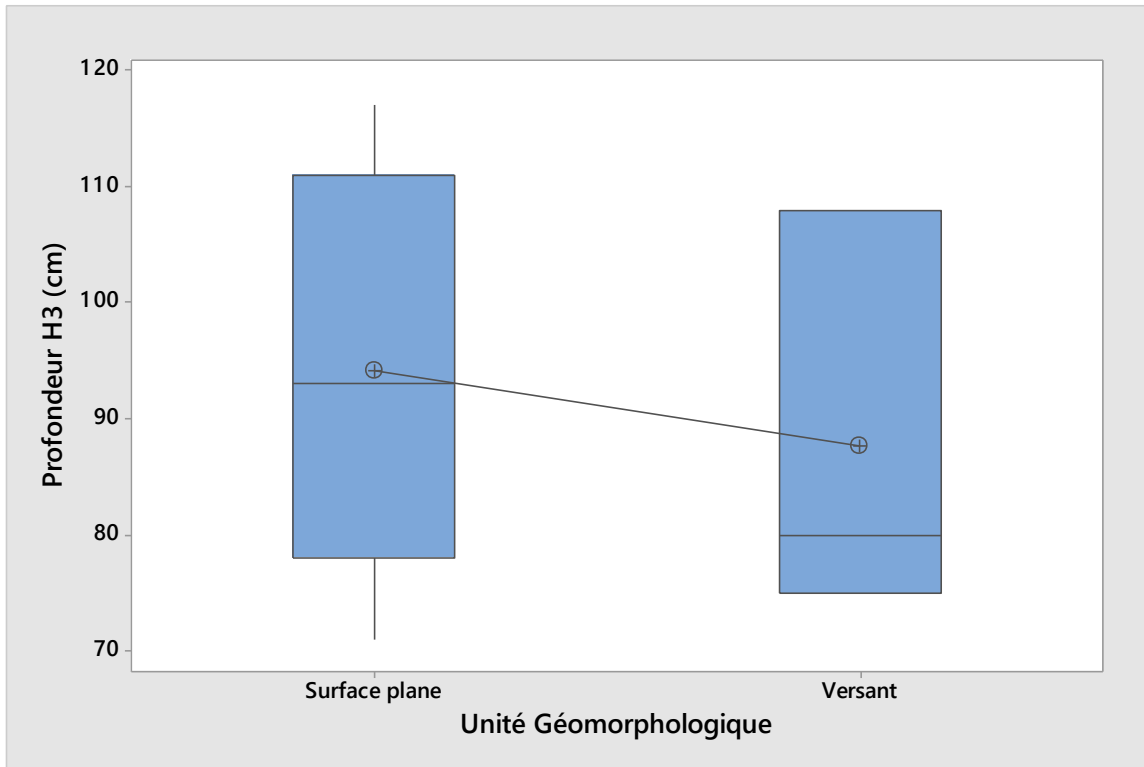


Figure 12. Evolution de la profondeur en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H3

2. 2. Composition granulométrique des horizons :

2.2. 1. Composition granulométrique de l'horizon 1 (H1) :

2.2. 1.1. Teneur en Argiles et Limons (AL) :

Les résultats montrent (voir la figure 13) que la teneur de l'horizon de surface H1 en limon et argile varie d'un profil à un autre, notant que la teneur la plus élevée en argile et limon est de 64.6 % marqué dans un profil sur une surface plane localisée dans la région de Kheneg. La teneur la plus faible en argile et limon est de 5.8% observé dans un profil sur une surface plane située dans la région de Houita.

La plus grande moyenne en argile et limon est enregistré dans les dépressions avec une moyenne de 39.87%, dans la deuxième place, il y a les surfaces planes qui atteignent une moyenne de 33.25%, tandis que les glacis et les versants présentent des moyennes de 28.45%, 28.55 % respectivement.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significative pour les teneurs en argiles et limon en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon superficiel ($F_{Obs}=1.11$; $P=0.352$).

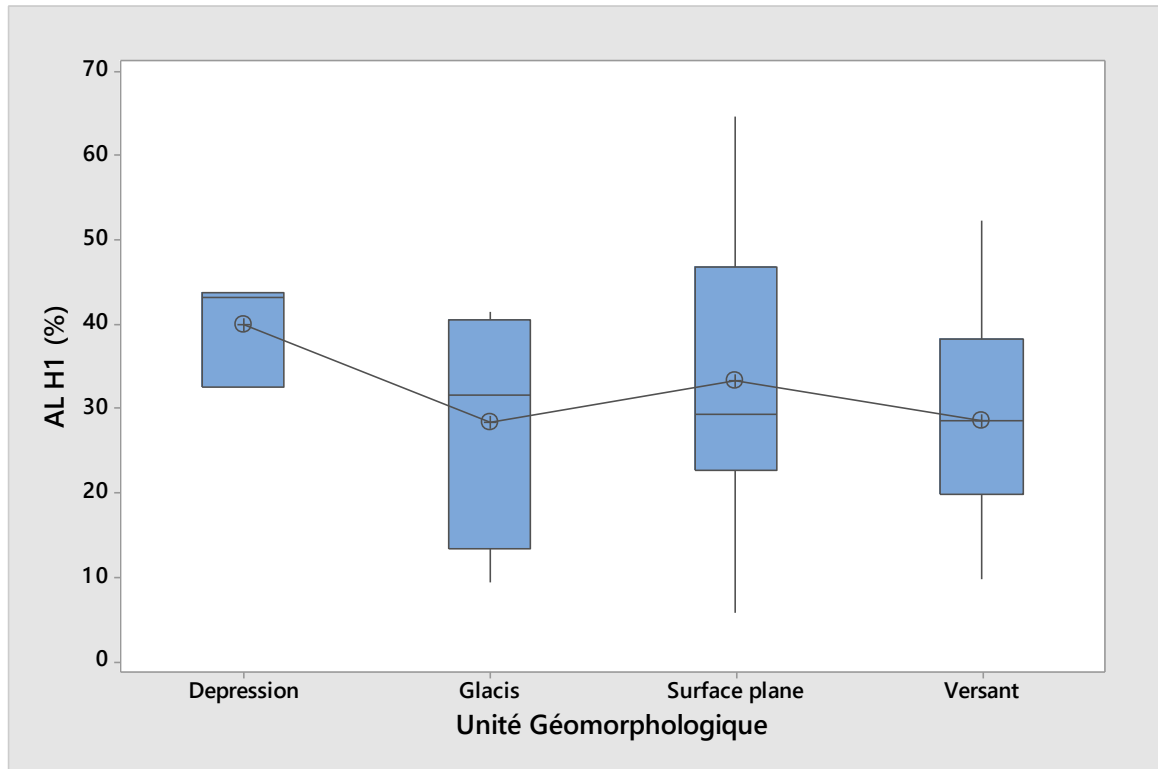


Figure 13. Évolution de la teneur en argiles et limons en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H1

2. 2. 1.2. Teneur en Sables Grossiers (SG) :

Les résultats obtenus (voir la figure 14) rapportent que la teneur en sable grossier diffère d'un profil à un autre dans l'horizon superficiel, elle varie à travers toutes les unités morphologiques, nous avons observé la teneur la plus élevées en sables grossiers dans l'horizon superficiel est de 71.6% localisé dans une surface plane dans la région de l'Houita, en revanche, la teneur minimale en sable grossier dans l'horizon H1 1 est de 12.6% situé dans une surface plane dans la région de Ain Madhi,

Nous remarquons que les versants présentent le pourcentage le plus élevé en sables grossiers qui a atteint 37.24 %. Les surfaces planes présentent des teneurs moyennes en

sables grossiers aux alentours de 35% ; alors que les glacis enregistrent une teneur moyenne de 25.30%, et la plus faible teneur moyenne en sables grossiers 17.6% est observée dans les dépressions de.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence significative pour le teneur en sables grossiers en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon de surface ($F_{Obs}=3.00$; $P=0.039$).

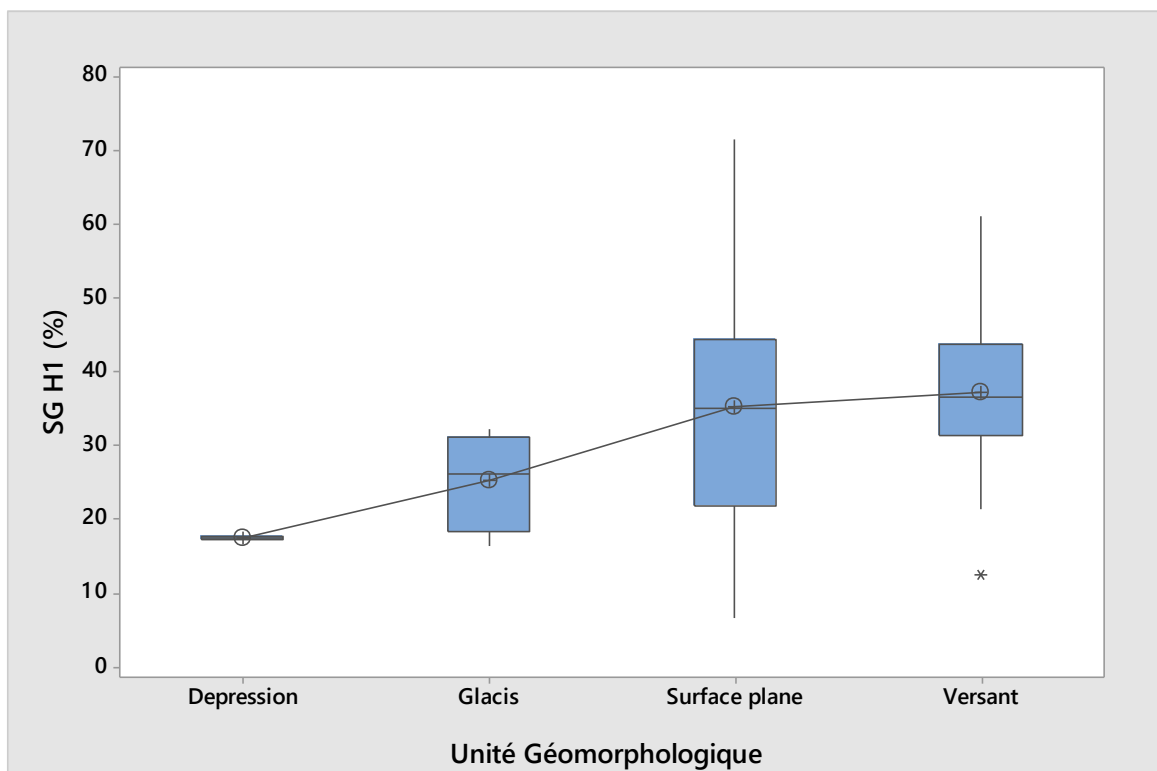


Figure 14. Evolution de la teneur en sables grossiers dans l'horizon H1

2. 2. 1. 3. Teneur en Sables Fins (SF) :

Les résultats montrent (voir la figure 15), une variation concernant la teneur en sables fins dans l'horizon H1 dans les différents profils des unités morphologiques. Nous remarquons une teneur maximale de 60% dans un profil sur un versant dans la région de Kheneg et une teneur minimale de 15.6 % dans un profil de la région de Houita localisé dans un versant.

Les teneurs moyennes les plus élevées en sables fins sont notés dans les glacis et les dépressions avec des valeurs respectives de 46.25 et 42. Aussi, nous remarquons des teneurs moins élevées en sables fins dans l'horizon H1 pour les versants et surfaces planes avec respectivement 34.21 % et 31.21%.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence significative pour les teneurs en sables fins dans H1 des sols des différentes unités géomorphologiques de l'horizon superficiel (FObs = 4.99 ; P =0.004).

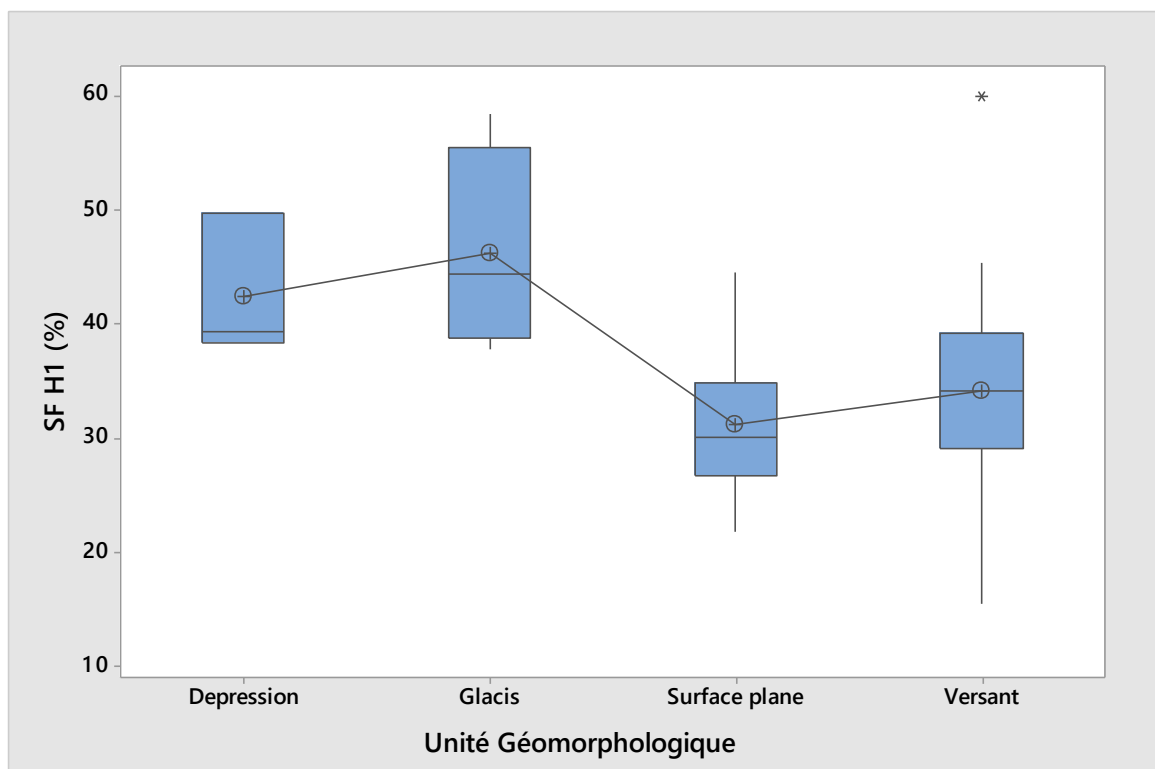


Figure 15. Evolution de la teneur en sables fins dans l'horizon H1

2.2. 2. Composition granulométrique de l'horizon 2 (H2) :

2.2. 2.1. Teneur en Argiles et Limons (AL) :

D'après les résultats (voir la figure 16), nous observons qu'à travers l'horizon H 2 les teneurs du sol en argiles et limons varient d'un profil à un autre, la teneur en argiles et limons la plus élevée est de 72.4% observée dans une surface plane dans la région de Kheneg, tandis que la teneur minimale en argiles et limons enregistrée est de 14.6% observée dans une surface plane dans la région de l'Houita.

Les dépressions ont marqué la teneur moyenne la plus élevée en argile et limons avec une moyenne de 43.6 % ; des teneurs moyennes en argiles et limons moins élevées sont enregistrées dans les autres unités morphologiques, nous notons que les glacis présentent une teneur moyenne en argiles et limons de 23.3%, tandis que les teneurs moyennes dans les surfaces planes et les versants convergents respectivement vers 21.13 % et 20.59%.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significative pour les teneurs en argiles et limons dans les horizons H2 des sols des différentes unités géomorphologiques ($F_{Obs} = 0.75$; $P = 0.528$).

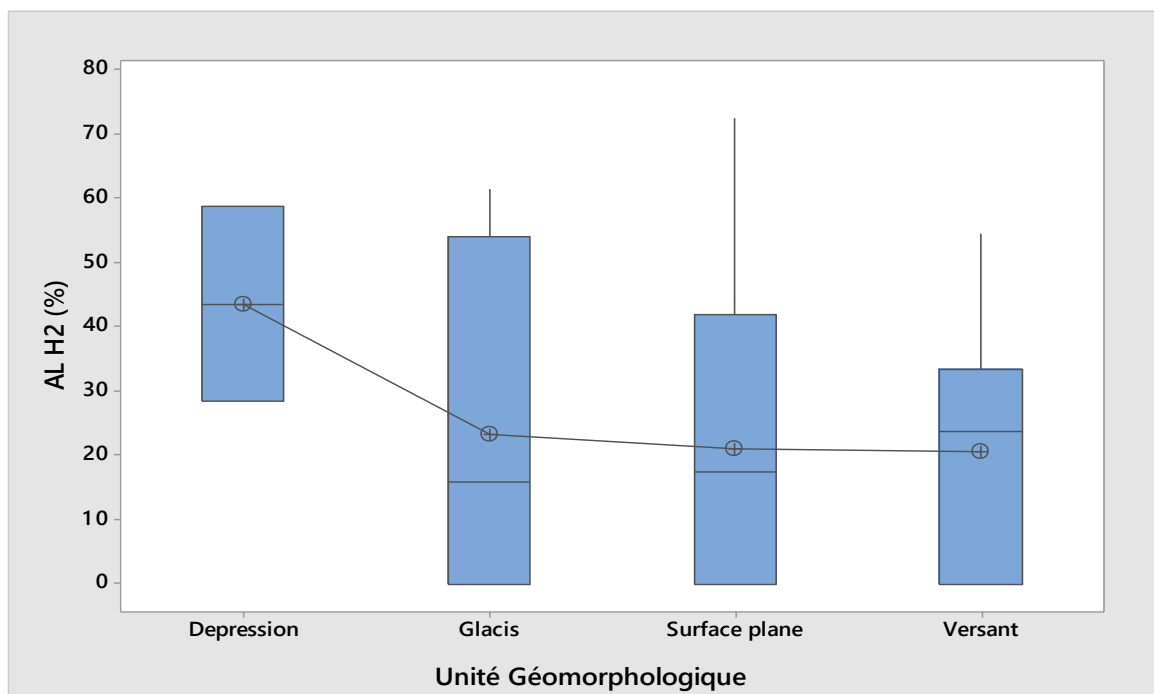


Figure 16. Évolution de la teneur en argiles et limons en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H2

2.2.2.2. Teneur en Sables Grossiers (SG) :

Les résultats (voir la figure 17) présentent l'évolution de la teneur en sables grossiers de l'horizon H2, elle varie entre un maximum de 60% marqué dans une surface plane dans la région de Kheneg et un minimum de 7 % observé dans un glacis dans la même région.

Les versants ont noté la teneur moyenne la plus élevée en sables grossiers parmi toutes les unités morphologiques avec une valeur de 41.55%. Nous notons aussi que les surface planes présentent une teneur moyennes en sables grossiers de 39.56 %, tandis que la teneur moyenne en sables grossiers diminue dans les dépressions, elle est de 23% ; et enfin les glacis présentent la moyenne la plus faible avec une teneur de 15.3%

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence significative pour la teneur en sables grossiers dans l'horizon H2 des sols étudiés ($F_{Obs} = 2.97$; $P = 0.050$).

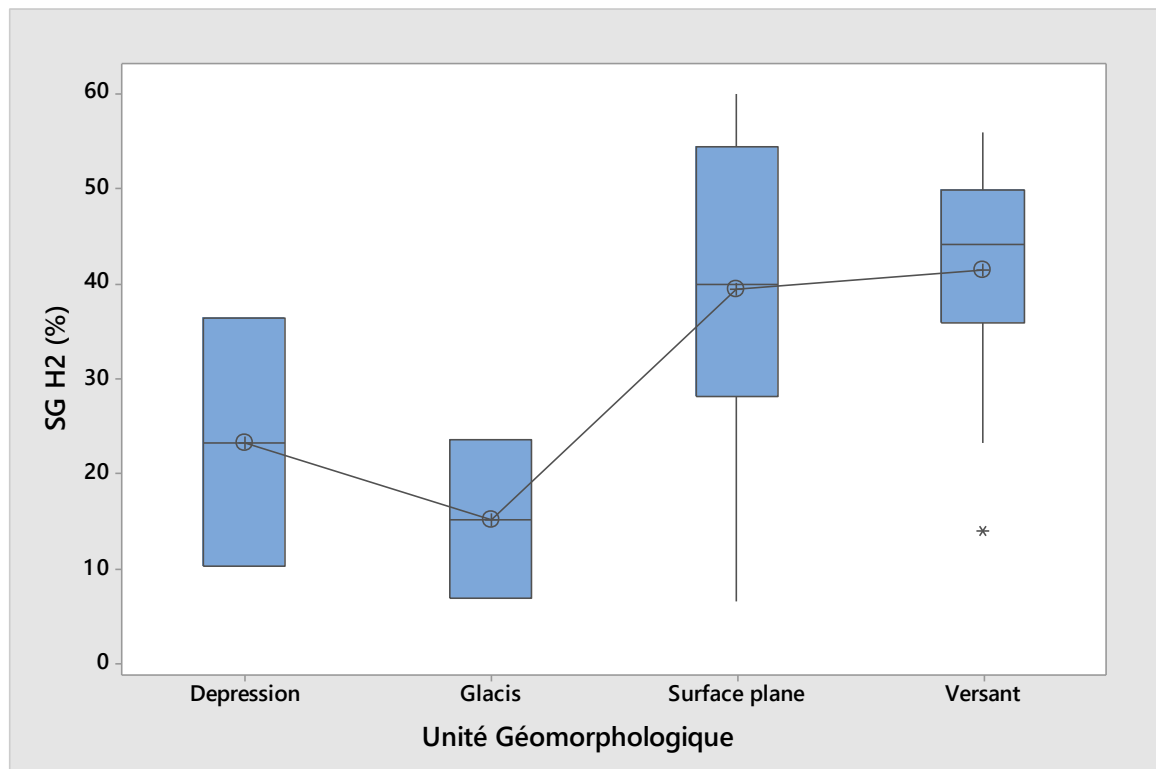


Figure 17. Evolution de la teneur en sables grossiers dans l'horizon H2.

2. 2. 2. 3. Teneur en Sables Fins (SF) :

D'après les résultats (voir la figure 18) nous remarquons que les proportions des sables fins varient dans l'horizon H2, nous avons obtenu la teneur la plus élevée en sable fin dans un versant qui est de 44.8 %, tandis que la teneur la plus faible en sables fins est de 12.4 % mesurée pour un profil d'un versant.

Pour l'horizon (H2) nous observons que les glacis présentent la teneur moyenne en sables fins la plus élevée avec une valeur de 38.20% ; nous notons aussi les dépressions présentent une teneur moyenne en sables fins de 31.65%, tandis que les versants et les surface planes possèdent des teneur moins élevées en sable fin avec des moyennes respectivement de 24.99 , 24.52%

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence significative pour la teneur en sables fins dans l'horizon H2 des sols étudiés ($F_{Obs} = 2.96$; $P = 0.051$).

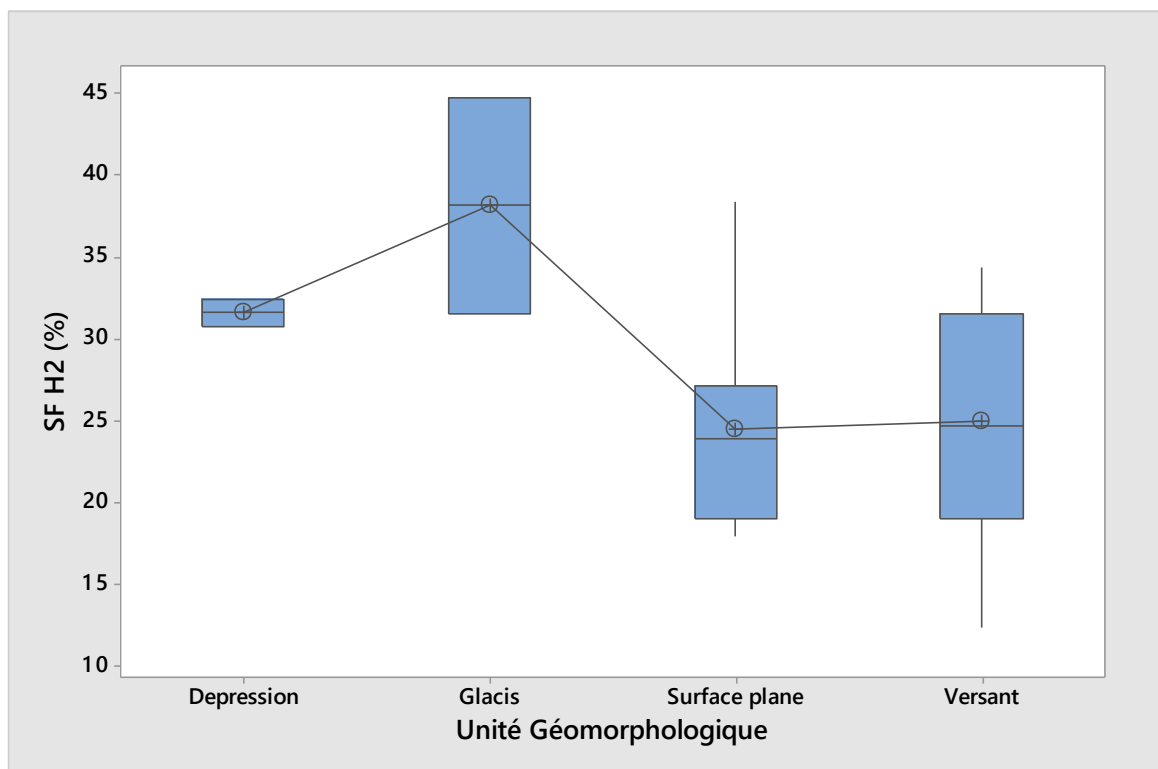


Figure 18. Evolution de la teneur en sables fins dans l'horizon H2

2.2. 3. Composition granulométrique de l'horizon 3 (H3) :

Nous notons que parmi les 56 uniquement 7 profils présentent une stratification en trois horizons (H1+H2+H3). Ces profils sont situés sur deux types d'unité géomorphologiques à savoir : les surfaces planes et les versants.

2.2. 3.1. Teneur en Argiles et Limons (AL) :

Les résultats (voir la figure 19) montrent que les horizons H3 dans les profils des versants présentent une teneur moyenne en argiles et limons de 39.7%, plus élevée que celle des surfaces planes qui ont marqué une teneur moyenne de 33.16 %.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significatives pour les teneurs en argiles et limons de l'horizon H3 des sols des différentes unités géomorphologiques ($F_{Obs} = 0.19$; $P = 0.679$).

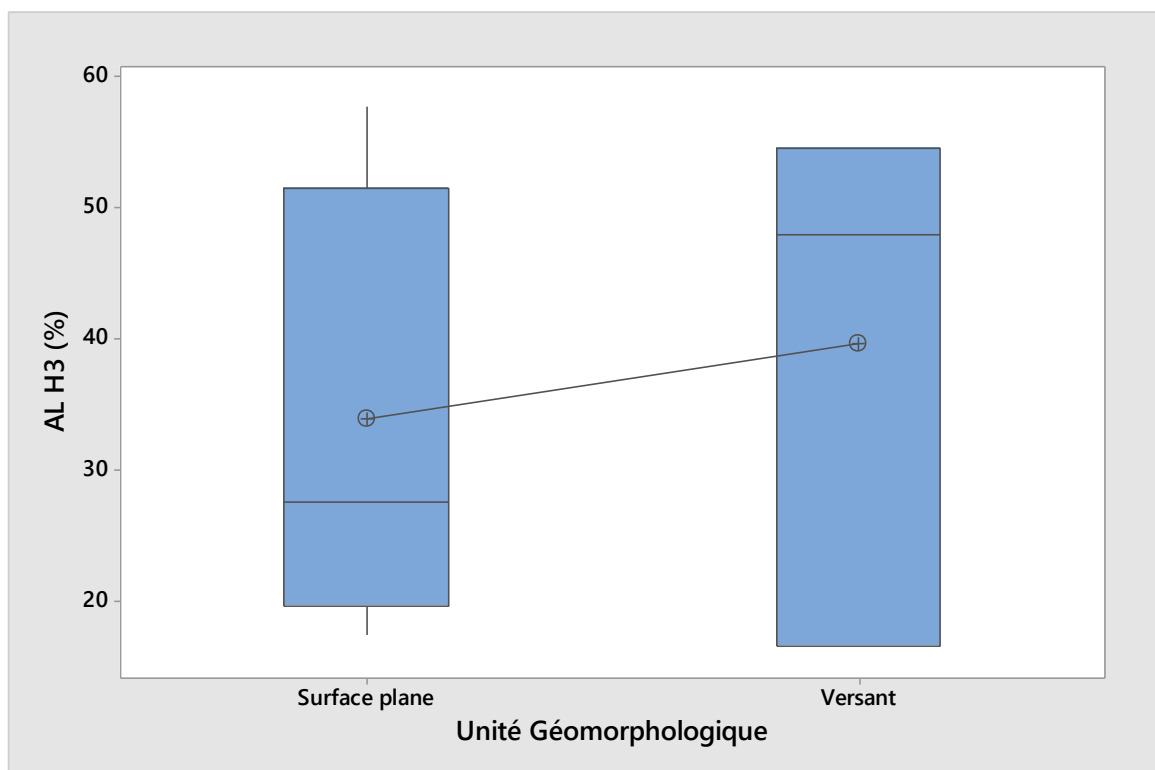


Figure 19. Évolution de la teneur en argiles et limons en fonction des unités géomorphologiques dans l'horizon H3

2. 2. 3. 2. Teneurs en Sables Grossiers (SG) :

Les résultats (voir la figure 20) signalent que la teneur du sol en sables grossiers dans l'horizon H3 varie entre une valeur maximale de 45.4% marquée dans une surface plane dans la région de Houita et une valeur minimale de 11.63% observée dans un versant dans la même région.

Les surfaces planes présentent une teneur moyenne en sables grossiers de 35.88%, tandis que pour les versants la teneur moyenne en sables a atteint 31.6%.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence significative pour les teneurs en sables grossiers dans H3 dans les sols des quatre unités géomorphologiques dans l'horizon H3 ($F_{Obs} = 2.96$; $P = 0.051$)

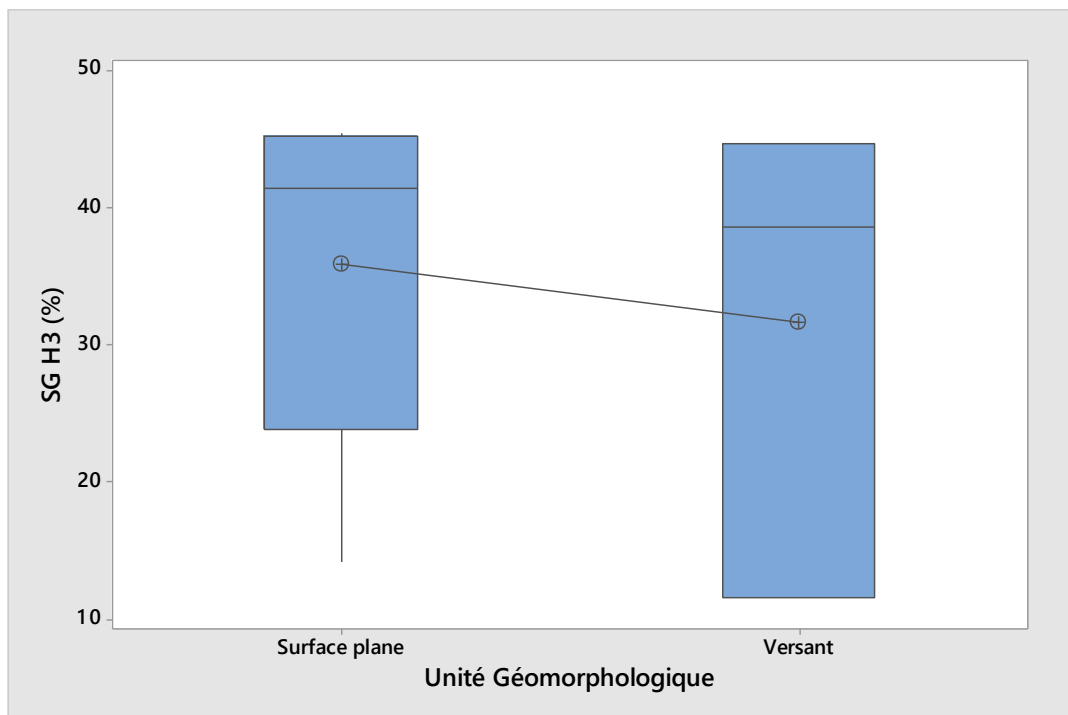


Figure 20. Evolution de la teneur en sables grossiers dans l'horizon H3.

2. 2. 3. 3. Teneur en Sables Fins (SF) :

Nous observons d'après les résultats (voir la figure 21) que les proportions du sable fin diffèrent dans l'horizon (H3) d'un profile à un autre, entre un maximum de 41.2% situé dans une surface plane dans la région Kheneg et un minimum de 13.2% localisé dans un versant dans la région de Houita.

Les surfaces planes caractérisées par une teneur moyenne plus élevée en sable fin 30.16% que les versants qui présentent 21.8%.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significative pour les teneurs en sables fins dans H3 des sols des quatre unités géomorphologiques ($F_{Obs} = 2.96$; $P = 0.051$).

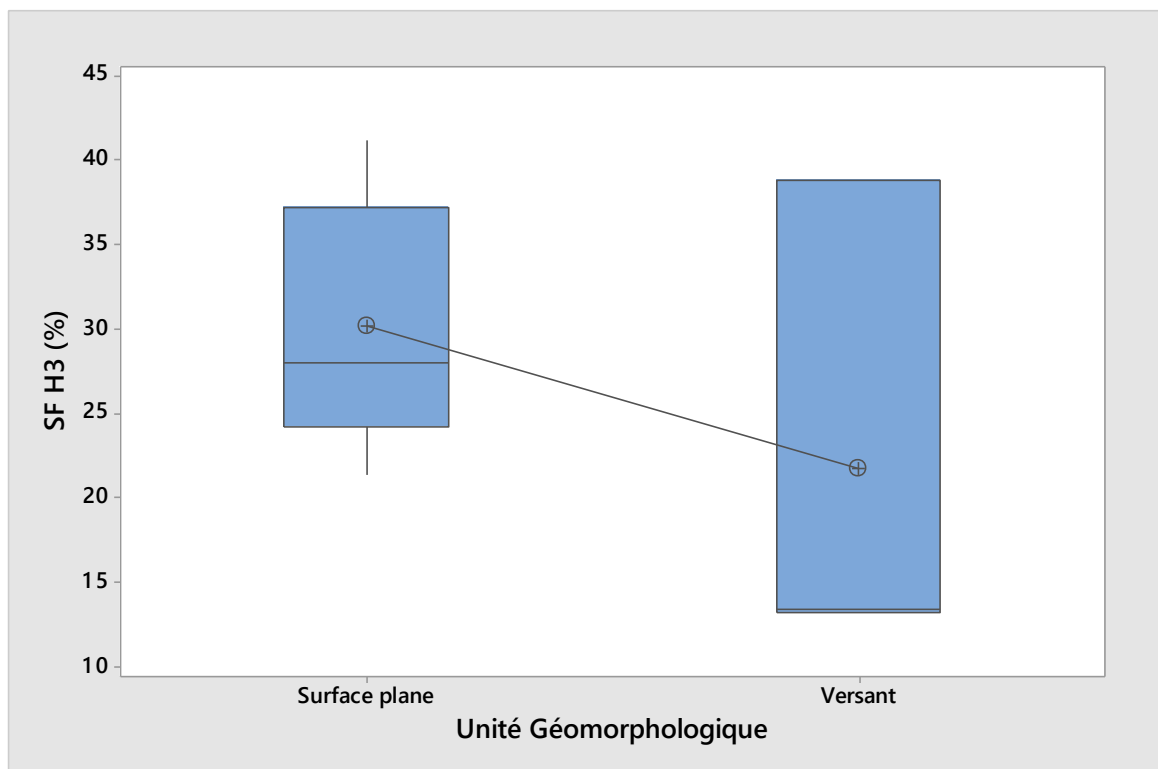


Figure 21. Evolution de la teneur en sables fins dans l'horizon H3.

2. 3. Teneur en carbonates de calcium (CaCO_3) dans les 3 horizons :

2. 3. 1. Teneur en carbonates de calcium (CaCO_3) dans l'horizon 1 (H1) :

Les résultats montrent (voir la figure 22) que la teneur en carbonate de calcium dans l'horizon de surface est variable entre une valeur maximale de 22.13% notée pour un profil d'une surface plane dans la région de Kheneg et une valeur minimale de 3% qui est marqué dans deux profils situés dans des versants localisés dans la région de l'Houita.

Les Glacis présentent la teneur moyenne la plus élevée en carbonate de calcium dans l'horizon de surface avec une valeur de 11.44%, viennent après les surfaces planes qui ont enregistré une teneur moyenne en CaCO_3 de 9.69 %. Les teneurs moyennes en carbonates de calcium les moins élevées sont marquées pour des profils de versants et ceux de dépressions avec des moyennes respectives 8.46 % et 8.5%.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélé qu'il existe une différence non significative pour la teneur en CaCO_3 dans l'horizon de surface pour les profils étudiés ($F_{\text{obs}}=0.69$; $P=0.561$).

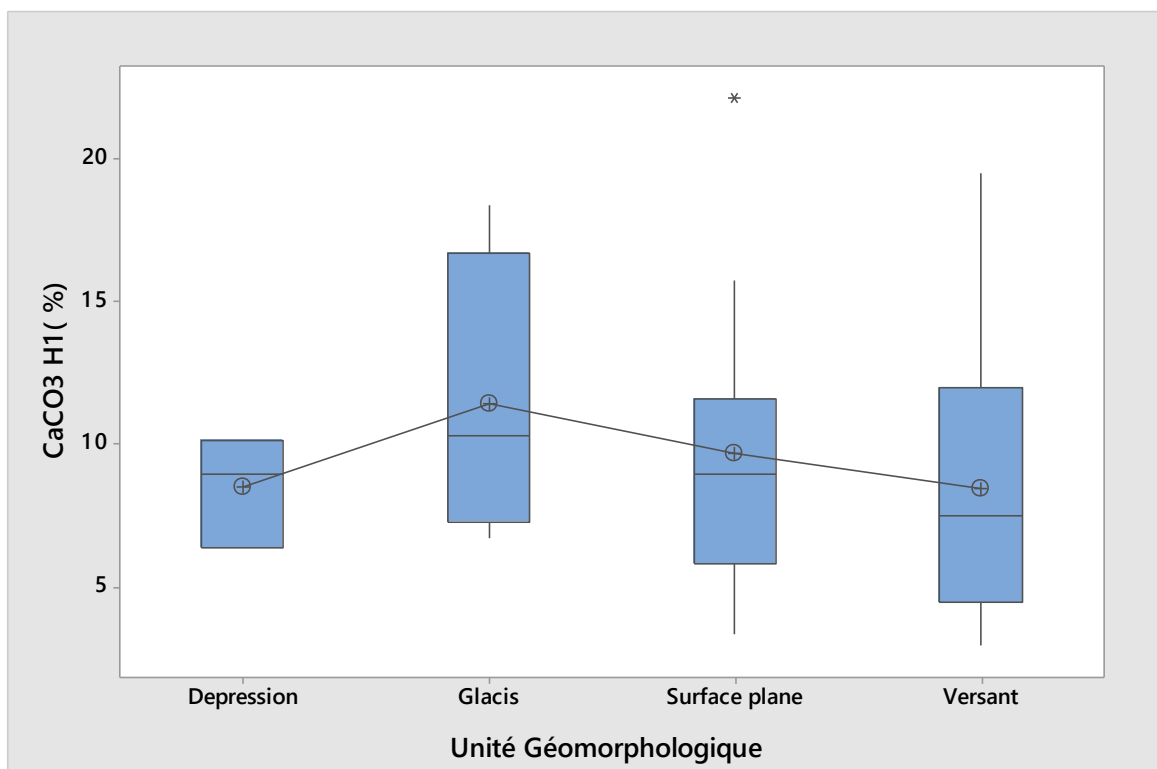


Figure 22. Evolution du calcaire dans l'horizon H1

2. 3. 2. Teneur en carbonates de calcium (CaCO₃) dans l'horizon 2 (H2) :

Dans le deuxième horizon (H2), les résultats (voir la figure 23) indiquent que la teneur en carbonate de calcium est variable entre un maximum de 50.63 % notée dans le profil d'un versant dans la région de Kheneg et un minimum de 2.63% noté dans le profil d'une surface plane située dans la région de Houita.

Les Glacis marquent la teneur moyenne la plus élevée en carbonate de calcium avec une valeur de 13.32%, ensuite les versants ont noté une teneur moyenne de 11.84%. Elle est plus faible dans les surface planes avec une moyenne de 9.83% , tandis que les dépressions ont enregistré la moyenne la plus faible avec une valeur de 7.31%.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélée qu'il existe une différence non significative pour la teneur moyenne en carbonates de calcium dans l'horizon H2 pour l'ensemble des profils étudiés ($F_{Obs} = 0.22$; $P = 0.884$).

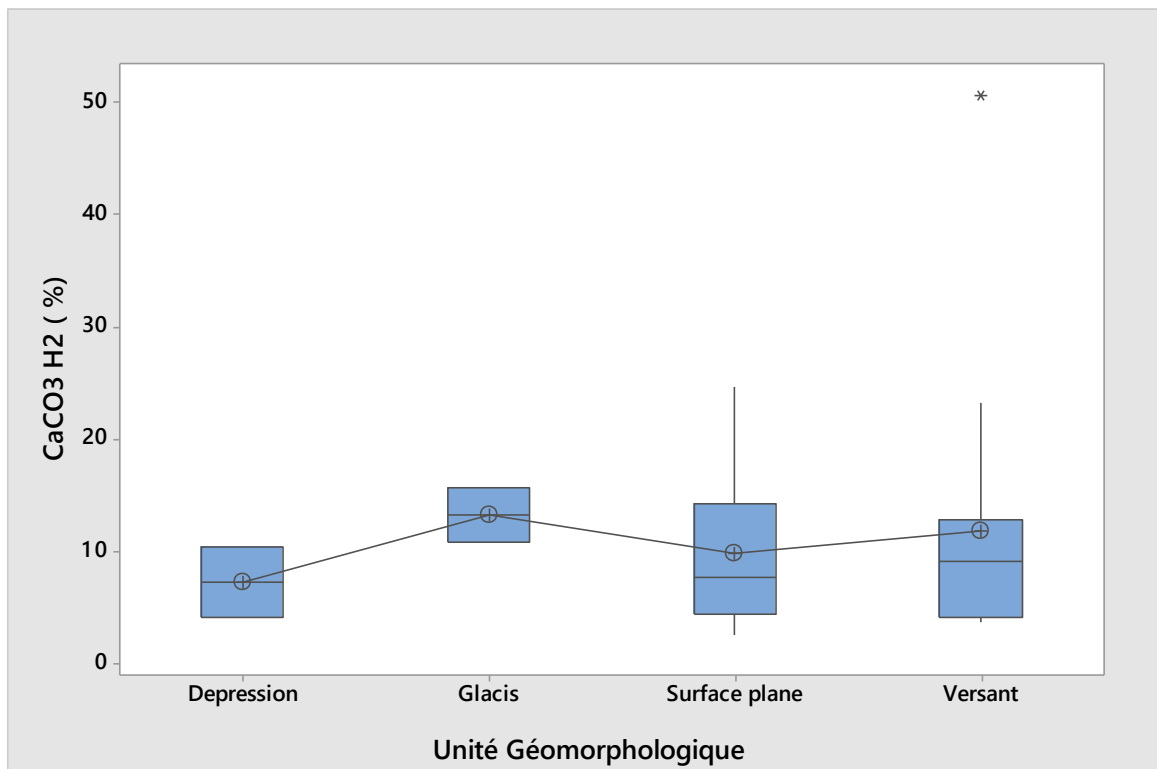


Figure 23. Evolution du calcaire dans l'horizon H2

2. 3. 3. Teneur en carbonates de calcium (CaCO_3) dans l'horizon 3 (H3) :

Les résultats (voir la figure 24) montrent que la teneur en carbonate de calcium est variable dans les 7 profils étudiés ; qui ont un troisième horizon, elle évolue d'une valeur maximale de 45.38% marquée dans une surface plane dans la région de Kheneg, et une valeur minimale de 5% enregistrée dans un profil d'un versant dans la région de Houita.

Nous avons remarqué que le troisième horizon est présent uniquement dans les versants et les surface planes ; dans ces dernières unités morphologiques, nous observons que la teneur moyenne en carbonate de calcium ; au alentour de 13.5 %.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 5% a révélé qu'il existe une différence non significative pour la teneur moyenne en carbonates de calcium dans l'horizon H3 pour l'ensemble des profils étudiés ($F_{\text{Obs}} = 0.00$; $P = 0.975$).

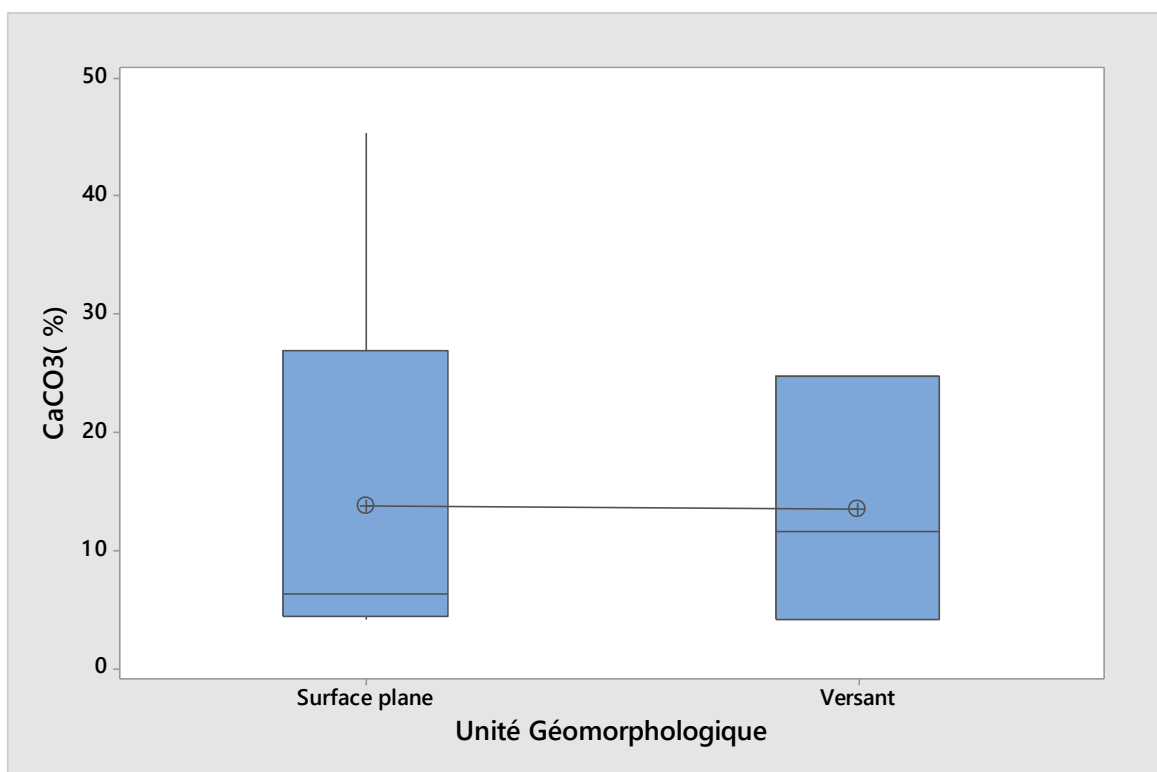


Figure 24. Evolution de carbonate de calcium dans l'horizon H1.

2. 4. L'analyse en composante principale (ACP) :

L'ACP permet une meilleure visualisation du comportement de la variation des paramètres teneurs en calcaires et teneurs en sables fins et en sables grossiers des horizons des sols en rapport avec les unités géomorphologiques sur lesquelles se trouvent les profils étudiés , et d'étudier la relation entre les variables. Les deux axes de l'analyse en composantes principales, ont montré 73,15 % de la variation (voir la figure 25). Le premier axe F1 révèle 39,03 % des informations, il a été positivement corrélé avec la teneur en CaCO₃ dans l'horizon H3, les teneurs en sables fins et en sables grossiers dans l'horizon H3 et les teneurs en Argiles et Limons dans l'horizon H1 avec respectivement ($r=0,6506$; $r=0.6506$; $r=0.6506$ et $r=0,6506$), cette variabilité est liée à l'unité géomorphologique Versant ($r=0,95$). Le second facteur F2 rapporte 34,31% des informations et est corrélé positivement avec les teneurs en sables fins et en sables grossiers dans les deux premiers horizons H1 et H2 avec respectivement ($r=0.87$; $r=0.48$; $r=0.73$ et $r=0,68$), cette variabilité est liée à l'unité géomorphologique Surface plane ($r=0,87$).

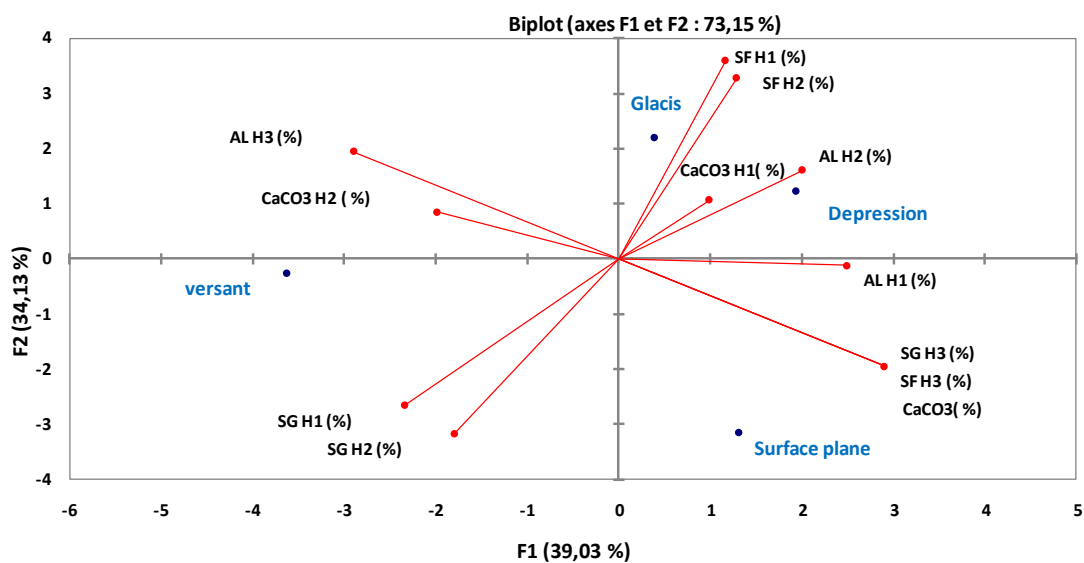
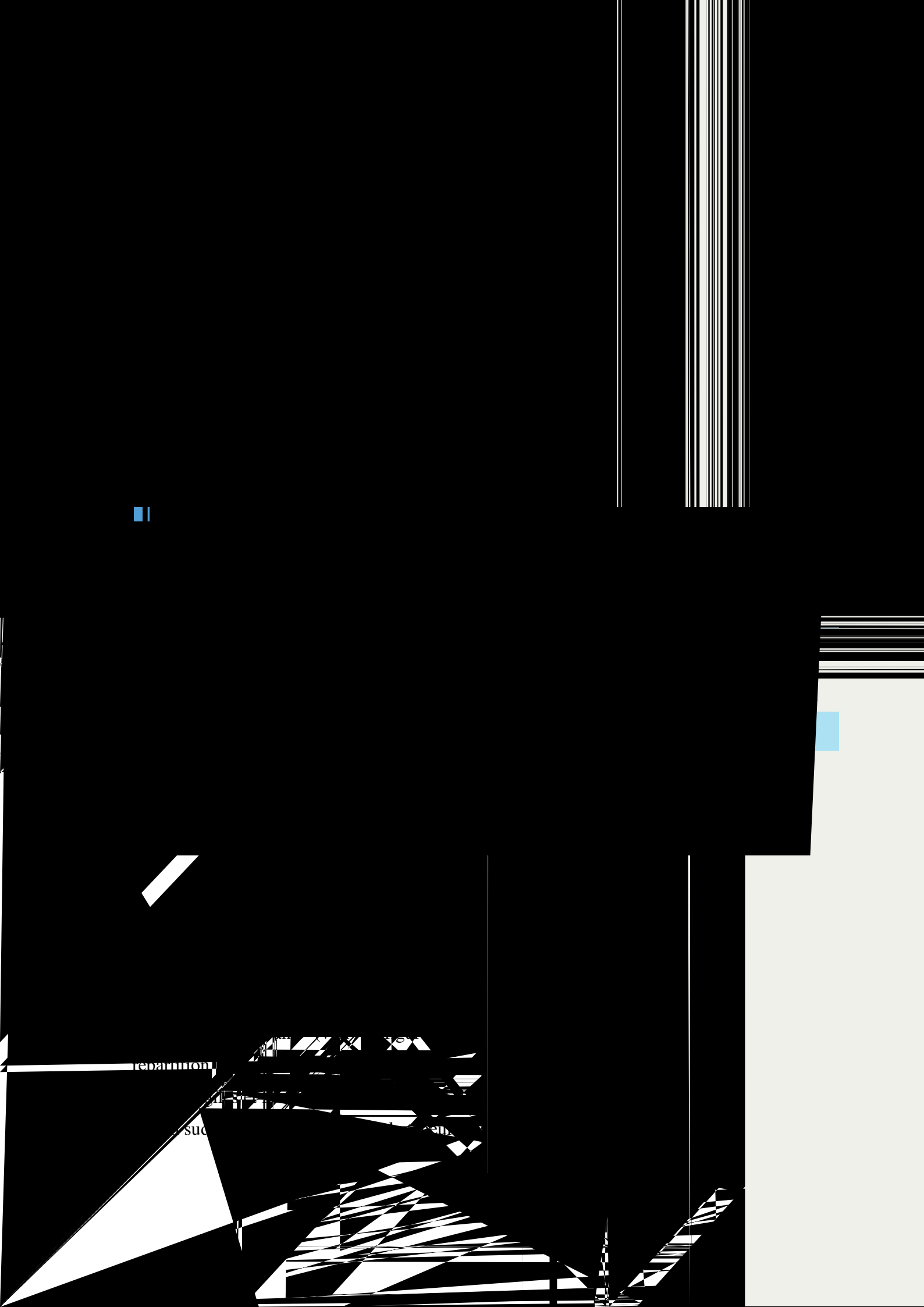


Figure 25 .Analyse en composante principale (ACP), représentant la teneur en calcaire et les pourcentages des fractions granulométriques des horizons des sols selon leur position géomorphologique



Nous remarquons aussi que dans la région ouest de Houita la teneur en argile et limons environ est environ 40%. Les sols les plus riches en argiles et limons dans l'horizon superficiel, sont localisés dans des dépressions dans la commune de Kheneg avec une teneur moyenne d'environ 39% ; suivis par ceux localisés sur les surfaces planes qui atteint une teneur moyenne de 33,25%, en revanche les sols situés sur les versants ont des teneurs moins élevées en argiles et limons.

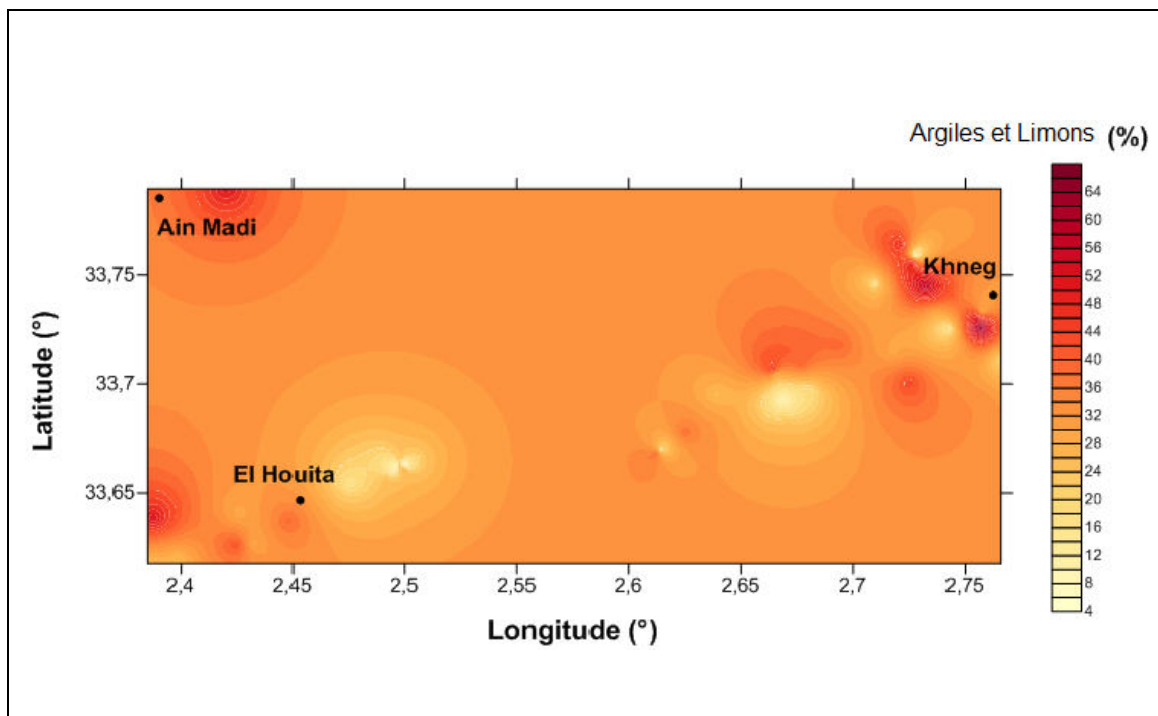


Figure 27. Carte Krigée de la répartition spatiale de la teneur en Argiles et Limons

3. 3. La répartition spatiale des sables fins :

A partir de la carte Krigée (voir la figure 28) qui représente la répartition spatiale des sables fins dans l'horizon de surface, nous remarquons que la distribution des sables fins est variable entre les 3 régions. Les sols les plus riches en sables fins (> 50 (%)) sont localisés dans la région étendue entre commune de Houita et Kheneg qui s'étale entre les coordonnées approximativement ($x = 2.6^\circ$, $y = 33.65^\circ$) jusqu'à ($x = 2.75^\circ$, $y = 33.7^\circ$), dans ces

sols les proportions des sables fins dépassent 50 %. Les teneurs en sables fins sont relativement plus élevées dans la commune de Kheneg en revanche dans la région de Ain mahdi, les sols se caractérisent par des teneurs moins élevées en sable fins au niveau de l'horizon superficiel.

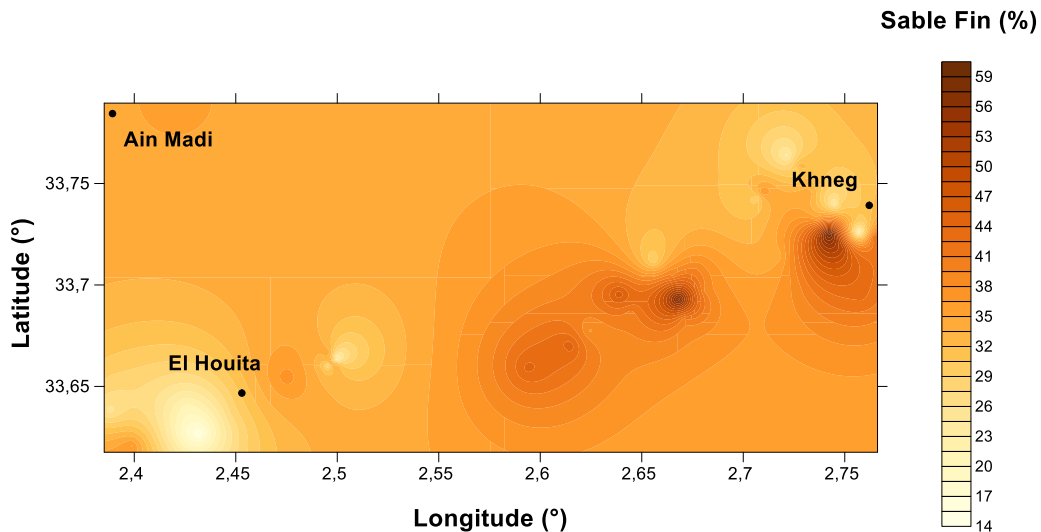


Figure 28. Carte Krigée de la répartition spatiale de la teneur en sables fins

3. 4. La répartition spatiale du sable grossier :

D'après la carte kriegée (voir la figure 29) ; la répartition spatiale des sables grossiers au niveau de l'horizon superficiel diffèrent d'une région à une autre. Les teneurs les plus élevées en sable grossiers sont observées dans la région de Houita ; avec des proportions qui dépassent 60%. Dans le même sens ; nous observons que la région de Kheneg se caractérisent par des sols riches en sables grossiers relativement à ceux de l'Houita. D'après l'échelle de la carte, elles sont aux alentours des 35% ; par contre nous remarquons les horizons superficiels des sols dans la région de Ain Madhi sont les plus pauvres en sables grossiers.

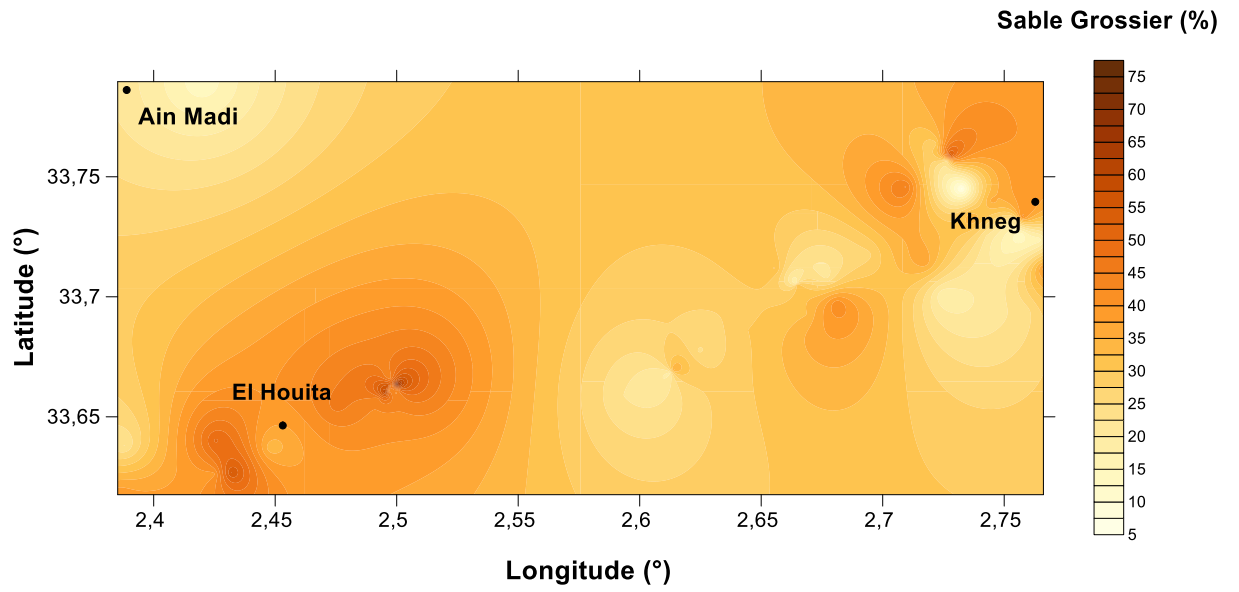


Figure 29. Carte Krigée de la répartition spatiale de la teneur en sables grossiers

1. Discussions :

Dans le contexte de mieux comprendre et interpréter l'évolution de calcaire et des particules granulométriques dans les sols des régions étudiés pour des fins de mise en culture des terres à Laghouat, nous avons examiné les teneurs en carbonates de calcium et les particules granulométriques en fonction des unités géomorphologiques, et sondé les profondeurs de chaque profils.

Les résultats obtenus nous ont permis de mettre en évidence l'influence des unités géomorphologiques sur l'évolution des particules granulométriques et les variation des teneurs en calcaire dans les sols ; nous avons distingué que cette évolution se fait par l'intervention de plusieurs mécanismes pédologiques sous l'influence de la topographie et la morphologie de paysage plus les conditions climatiques qui caractérisent la région aride .

1. 1. Evolution de la profondeur en fonction de la géomorphologie :

La profondeur des sols à Laghouat n'est pas influencée par le type d'unité géomorphologique. Mais ce sont plutôt les profondeurs des horizons qui le sont en effet ils ont marqué une différence significative, nous avons remarqué que l'horizon superficiel et l'horizon H2 pour les glacis et les dépressions atteignent la profondeur moyenne la plus élevée ; par contre les versants sont caractérisé par des profondeurs moyennes faibles.

Dans ce sens Dennis (2008) explique la relation entre la topographie et les sols il rapporte que la relation entre les sols et la topographie se matérialise au travers d'une règle simple : les sections amont présentent la plupart du temps des sols moins développés, c'est-à-dire moins épais, que les sections aval. Ceci est dû au fait qu'en amont les sols sont soumis, du simple fait de leur position, à des phénomènes d'ablation des sédiments tandis qu'en aval ils affichent plutôt une tendance à l'accumulation.

Les sections intermédiaires des versants au sens strict, renvoient quant à eux à des dynamiques variant de trans-érosif à trans-accumulatif selon la position sur le versant, l'inclinaison de la pente et l'intensité de l'épisode érosif (Morschel,2013). Cette hypothèse peut expliquer la profondeur la plus élevée enregistrée dans les glacis et les dépressions qui se caractérisent par des sols plus épais par rapport les versants.

Donc comme nous avons observé à travers les profils étudiés ; chacun localisé dans une unité géomorphologique déterminé, les reliefs sont variable d'une zone à une autre ce qui implique un impact sur les propriétés physicochimiques du sol étudié d'autant plus leur texture et leur consistance J. BOULAIN (1961) a déclaré que le relief et le microrelief, souvent très mouvementés en Afrique du Nord, ont une très grande influence sur la répartition des sols. (Épaisseur, profondeur morphologie, consolidation) le relief est le résultat de phénomènes d'érosion, de transport et d'accumulation et qui régit l'érosion des sols et leur fossilisation par de nouveaux dépôts.

Allant de ces interprétation nous pouvons constater la relation entre l'unité géomorphologique et sa position avec les types de sols et leur profondeur comme Carrega (2007) le signale la nature des sols et leur localisation dépendent en effet fortement de la topographie, au travers de l'inclinaison de la pente d'une part puisqu'elle détermine l'intensité des processus d'érosion et de la position sur le versant qui définit les conditions d'ablation, de transport et de dépôt des sédiments.

1. 2. Evolution de la granulométrie des horizons des profils :

Plusieurs auteurs croissent que la plupart des caractères des sols bien différenciés ont été acquis autrefois, sous des conditions climatiques différentes, notamment dans les zones arides. Par contre d'autres pensent que le sol et les caractères pédogénétiques peuvent être comme facteur de pédogénèse se modifient avec le temps parallèlement avec la géographie de paysage et le type de modelé ; donc pour mieux comprendre les phénomènes pédologiques comme Ruellan (1971) déclare que le pédologue ne dispose jamais actuellement de faits sûrs nombreux.

Il doit surtout interpréter et cette interprétation, il la fait principalement en fonction de ce qu'il connaît, et de ce qu'il suppose, sur les relations qui existent entre les caractères pédologiques et les éléments de l'environnement actuel.

Nous remarquons que les teneur en proportions granulométriques varient d'un horizon à un autre suivant les unités géomorphologiques ; qui distribuent entre Kheneg , Houita et Ain Madhi, chaque région d'entre elle ; est caractérisée par des d'origine géologique différente qui leur confèrent une texture pédologique spécifique .

La région de L'Kheneg qui contient des versant, surface plane et Glacis comme Ritteb (1901) a déclaré La chaîne orientale, ou d'EL Kheneg, est plus large et coupée par plusieurs cols. A l'un d'eux, au Theniet Mokrane, on trouve de nombreuses ammonites turoniennes, malheureusement trop frustes pour permettre une détermination exacte. Elle a connu aussi le quaternaire dans plusieurs formations géologiques.

Pour la région de l'Houita l'étude qui a été réalisée par Estorges et *al.* (1965), elle a montré que dans le fond du synclinal d'El Haouita, l'entaille des oueds laisse entrevoir des dépôts du Tertiaire continental reposant en concordance sur l'assise terminale des calcaires turoniens suivi d'un quaternaire a donné naissance à plusieurs formations pédologiques.

Selon Beaudet, et *al.* (1967), le nord d'Afrique a connu durant le Quaternaire des variations climatiques. Tantôt, les précipitations augmentaient tandis que les températures moyennes diminuaient (périodes pluviales), tantôt le climat devenait plus chaud et plus sec (périodes inter pluviales). Pendant les Pluviaux, les montagnes connaissaient des conditions froides et localement humides ; la gélification était alors active et lors des dégels saisonniers les abondants débris transportés envoyaient le fond des vallées et tapissaient le pied des versants. Cela qui confèrent les reliefs des particules grossières et Caillouteuse et les plaines et les dépressions des molécules fines.

Nous remarquons que dans les dépressions et les Glacis les teneurs en Argiles, limons et sables fins plus élevées que dans les versants ; ce qui peut avoir une origine géologique comme Maurer et *al.* (1964) indique que les formations quaternaires occupent une grande partie des zones arides. Elles sont constituées de dépôts continentaux de sables, limons et argiles surmontés d'une puissante croûte calcaire (Quaternaire ancien), de croûtes et encroûtements calcaires variés (Quaternaire moyen) et de dépôts éoliens et alluviaux (Quaternaire récent).

En outre nous pouvons expliquer la teneur élevée en argiles, limons et sables fins comme (Coque, 1962 ; Belaid, 1967) ont attesté que les glacis d'accumulation, les plaines alluviales, les dépressions endoréiques, supportent des sols au comportement physico-hydrrique très comparable en raison d'une texture d'ensemble relativement plus lourde présentant de fortes proportions de limons, de sables fins et parfois d'argile. Ces derniers sont d'apport d'eau par ruissellement.

Cependant Fournet (1968), pense que la mise en place de certains de ces limons a débuté au Villafranchien et qu'elle s'est poursuivie lors des phases pluviales post-villafranchiennes. Plusieurs de ces formations ont pu être colluvionnées, car on explique difficilement sans cela, l'épaisseur de certaines d'entre elles.

En se basant sur les teneurs en sables et argiles qui sont élevés dans leur horizon nous pouvons les classer comme sol d'apport éolien par le vent comme Fuchs (1973) a signalé que dans ces sols, le vent a, au contraire, provoqué l'accumulation des éléments sableux (surtout sables fin et limons) en certains points en aval. Dans le même sens O.R.S.T.O.M (1968) déclare que dans les régions désertiques il ya des zones planes ou déprimées où s'accumulent des débris de taille variée: grossiers ou fins. Ces dépressions sont associées très souvent à des accumulations de sels (chlorures, sulfates ou carbonates). Là où l'accumulation éolienne est prépondérante.

En plus nous constatons dans les profils étudiés que les sols riches en argiles et sables fins sont généralement plus calcaires que les sols à teneur élevée en sable grossier ; nous parlons ici de glacis et dépression ; nous pensons que l'argile et les sables fins interviennent chimiquement dans l'enrichissement des horizons par des molécules calcaires.

Cette hypothèse conforme l'interprétation de Coudé-Gaussen (1991) qui déclare que le cortège argileux des sables est varié, avec des minéraux allochtones comme kaolinite et l'illite et des smectites dominantes qui montent jusqu'à 100% de la fraction argileuse de la croute calcaire, une partie du magnésium des smectites provient sans doute de l'évolution des calcites Mg en calcites.

Par contre nous observons que la différence est significative pour les teneurs en sables grossiers ; bien plus pour tous les profils faits dans des versants ; les sables grossiers sont à des teneurs élevées dans les versants et les surfaces planes ; on a plusieurs auteurs qui attestent que la lithologie reste un des facteurs les plus importants de la différenciation et de la localisation des sols dans les régions arides, le matériel rocheux est caractérisé par la grande puissance des couches sédimentaires du Secondaire et du Tertiaire affleurant sur de larges surfaces des particules caillouteuse dans les amonts (Castany et *al.* 1952,1961, Busson 1975).

Nous suggérons plusieurs mécanismes qui ont pu intervenir dans cette phénomène ; qui caractérisent les profils des versant étudiés, parmi lesquels l'érosion éolien et non éolien ; dans ce sens ORSTOM (1968) a déclaré que les sables fins sans cesse déplacés par le vent· qui couvrent de très vastes surfaces. Du point de vue géomorphologie, dans le milieu désertique, l'action de la pluie a un effet très brutal et est responsable d'érosion et d'accumulations particulières, en raison de la rareté du sol et de la végétation.

Par ailleurs, l'action du vent prend une importance considérable. Donc se basent sur cette interprétation , nous pensons que la texture des sols situés dans les versants des régions de L' Houita et L' Kheneg ; ont subit une érosion éolienne qui cause le déplacement des particules fins de sables fins et des limons vers l'aval de versant ; peut être envers les dépressions et les glacis et laisse les particules grossières et caillouteuse dans l'amont et au long de la pente à cause de leur poids qui ne permet pas de les éroder.

Pour confirmer la même hypothèse ORSTOM (1968) indique qu'en raison de l'absence d'eau, de végétation, le milieu désertique est tout à fait impropre au développement de sols. L'altération chimique est très réduite et les actions mécaniques sont particulièrement violentes. Il peut arriver, toutefois, que l'on puisse observer des sols fossiles. Ceux qu'on observe sont des sols minéraux bruts et parfois des sols peu évolués où les teneurs en argile sont très faibles.

Donc nous constatons que l'érosion éolienne joue un rôle très important dans le transport des particules sableuses a travers le versant et même dans les surfaces planes ; et cette phénomène revient à la texture fragile de sable et sa détachabilité au contraire des sols argileux dans ce sens il y a des auteurs notent que la détachabilité est élevée chez les sols sableux que chez les sols argileux et ce d'autant qu'ils sont moins humifères. La stabilité structurale des argiles et les sols riches en humus leur confèrent une bonne résistance à l'érosion. L'aptitude au transport dépend essentiellement de la densité du matériau (Mutiviti, 2004 ; Latrille, 1979).

Nous avons proposé que les vents ayant une intervention majeure dans la distribution des particules sableuses, notamment leur déplacement d'un horizon à un autre voisin ; mais nous sommes obligés de penser qu'il y a un autre facteur pédologique qui peut influencer sur la texture d'un horizon surtout dans la région de Houita qui caractérise par des formations géologiques provient de tertiaire ; tel que Djebel mahallas ; Gurern El houita jusqu'à Djebel Oum deloua

On parle ici du matériau originel ; dans ce contexte, Aubert (1962) rapporte qu'il existe des sols non soumis à l'action éolienne ou ne comportant pas de remise en mouvement d'au moins certains de leurs constituants sont formés de gros blocs de roches éclatés sous l'influence des variations de température et d'humidité, mais restés en place.

Le même auteur déclare que les conditions climatiques sont extrêmes et les sols y sont, en fait, des sols minéraux bruts, très peu évolués. Les processus chimiques d'altération des roches et des minéraux y sont très peu développés et ceux, physiques, de désagrégation sont, au contraire, dominants. Les matériaux originels ainsi formés ne sont cependant pas immuables, mais ils subissent essentiellement des actions mécaniques : brassage par le vent.

En plus du matériau originel, une étude a été effectuée dans le cote d'ivoire en 2007, elle constate que la topographie et les unités géomorphologiques peuvent influencer sur le classement des particules granulométriques ; Yao-Kouame (2007) atteste que les éléments grossiers d'un horizon dans un versant sont liés d'une part, à la nature de la roche mère et, d'autre part, à la position topographique dans le modelé. L'origine de cette nappe d'éléments grossiers peut être liée, soit à des remaniements locaux et superficiels (glissements lents, fauchage de filon de quartz, action de la faune, action de l'érosion superficielle).

Pour confirmer son étude Albert Yao-Kaouame note qu'en descendant du sommet vers le point le plus bas et, au niveau des profils, on observe un phénomène de granoclassement, en plus, il mentionne que l'abondance de ces éléments grossiers s'explique aussi par le fait qu'avec l'altération de la roche mère, la topographie favorise le transport des produits d'altération qui se déposent le long de la pente.

Dans notre étude les analyse statistiques présentent que les surfaces planes caractérisent par une teneur moyenne considérable en sables grossiers ; malgré elles ne situent pas au pente ; que ce soit dans la région de l’Kheneg ou L’Houita ; nous pouvons expliquer ce phénomène par la déflation éolienne a enlevé les parties fines et laissé sur place les cailloux. Nous pouvons parler ici de *Sols d’ablation*. Ils sont caractérisés par leur appauvrissement en éléments fins entraînés par le vent. .

Dans cette étude de l’évolution des particules granulométriques, nous avons vu que le climat dans la région de Houita et Kheneg et Ain Madhi joue un rôle primordial dans la distribution et classement des particules ; mais l’origine géologique fait sa place dans la détermination de processus pédologique et granulométrique ;

L’esquisse géologique de la région intervient pour mettre en évidence quelque phénomènes mal connus, d’après IAP (1972) l’étude géologique montre que :

L’Houita est héritée du Tertiaire ; caractérisée généralement par des sols peu évolués ; caillouteux ;

Kheneg est héritée de Tertiaire et Quaternaire ; les sols généralement ayant une teneur important de calcaire, où nous observons les dépressions qui sont caractérisés par des teneurs considérable en sables fins et argiles

Ain-Mahdi c’est une région provient du Jurassique et suivi d’un quaternaire ;

Donc cette connaissance de la géologie de la région en coordination de l’étude granulométrique ; elles nous permettent de mieux suivre cette évolution granulométrique.

Comme Ruellan (1971) a dit Je n’insiste pas sur le rôle bien connu des *climats* qui, en se transformant, modifient toutes sortes de facteurs de l’évolution des sols. Il faut cependant souligner qu’étant donné l’existence dans les sols de migrations latérales dont l’importance a été soulignée à diverses reprises ces dernières années (Maigmen, 1958 ; Delvigne, 1965 ; Ruellan, 1967, 1970 ; Bocquier, 1968 ; Bocquier ; Paquet et Millot, 1970), on ne doit pas interpréter les caractères reliques en fonction seulement des changements climatiques du lieu, mais aussi en fonction de ceux qui ont pu affecter les pays amont.

1. 3. Evolution du calcaire en fonction des unités géomorphologiques :

Depuis fort longtemps, les sols calcaires ont suscité de très nombreux travaux - que ce soit en Afrique du Nord (Durand, 1953, 1959; Aubert, 1947 ; 1960, Boulaine, 1957, 1961; Ruellan, 1970) ou plus généralement dans l'ensemble des régions semi-arides et arides où le climat est de type méditerranéen ou subtropical. Ce sujet, vaste et complexe, a entretenu et continue d'entretenir de larges débats quant à l'origine des calcaires dans le sol et son évolution.

« En présence d'un profil à carapace calcaire, il faut d'ailleurs en ce qui concerne l'horizon supérieur, se poser toujours deux questions; première question: quelle est l'évolution géomorphologique de cet horizon depuis la formation de la carapace; cet horizon n'est-il pas un apport postérieur, n'a-t-il pas été aminci ou épaissi par des phénomènes d'érosion et d'accumulation, est-il vraiment "en place" ; deuxième question : quelle est l'évolution pédologique de cet horizon depuis la formation de la carapace?

La réponse à la première question est toujours difficile et l'observation seule des profils pédologiques n'apporte jamais les éléments suffisants : cette observation doit toujours être complétée par une étude géomorphologique détaillée».(Ruellan ,1972)

Dans le même sens nous avons mené notre étude ; en étudiant l'évolution du calcaire en fonction des unités géomorphologiques ; et la distribution granulométriques dans chaque unité afin de mieux comprendre cette évolution ; par la liaison entre ces paramètres ,les résultats montrent une différence non significative concernant les teneurs en carbonate de calcium en fonction des unités géomorphologiques étudiés.

Mais quand nous classer les teneurs moyennes en calcaire pour chaque unité géomorphologique ; dans l'horizon superficiel et l'horizon H2, nous remarquons que les glacis ayant des teneurs moyennes plus élevées dans les deux horizons ; tandis que la teneur des versants en calcaire dans l'horizon H 2 et plus élevée que dans l'horizon de surface ; pour les dépressions ; la teneur en calcaire ; dans l'horizon de surface est plus élevée que dans l'horizon H2.

Nous connaissons déjà que la région de Laghouat est caractérisée par une aridité préjudiciable ; et un processus de pédogenèse très lent s'accompagne une présence remarquable des sols calcaire et salins, comme toutes les régions arides ; Aubert (1962) indique cette réalité en déclarant que les régions aride les sols en général présentent un certains nombres de caractères constants ; évolution lente, faible teneur en matière organique, structure faiblement définie et en général, présences des croûtes calcaires, gypseuses et d'autres salines .

Nous notons cette remarque dans les profils étudiés ; en plus nous observons aussi la distribution du calcaire dans tous les horizons, comme il a été signalé par Ruellan (1971) qui dit : « les régions désertiques et méditerranéennes, les sols qui contiennent du calcaire dans un ou plusieurs de leurs horizons sont très fréquents.»

Nous avons déjà connu que la région de la Laghouat se caractérise par des divers esquisses géologiques et la répartition des profils étudiés dans plusieurs régions d'origine géologique différent pose la question si le matériau originel peut influencer sur la richesse du sol en calcaire dans ce sens Durand (1953) pose une hypothèse pour interpréter la formation du calcaire dans le zones aride de l'Afrique du nord ; et elle a été très largement admise au Maroc, en particulier par les géomorphologues et les géologues (J. Margat, R ; Raynal et P. Taltasse, 1954 et R. Raynal ;1961) pour qui la croûte calcaire est un élément caractéristique des dépôts morphologiques quaternaires, éléments mis en place par ruissellement superficiel à la fin des pluviaux.

L'esquisse géologique de la wilaya de Laghouat qui caractérise la région de notre étude entre Kheneg et el Houita et les attribuent au tertiaire et au quaternaire. Cette hypothèse s'accorde avec Pouget (1980) qui rapporte que les vastes surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen attestent l'extension considérable des sols à croûte calcaire sur des matériaux divers : alluvions, colluvions de piedmont, argiles sableuses rouges du Tertiaire continental, marno-calcaires et calcaires, ; ces formation géologiques qui peuvent avoir donner naissance à des matériau calcaire, contribuant à créer des horizons calcaires à travers de Djebel Mahalass ; et Djebel de Guern d' El Houita .

Donc nous pouvons accepter que la géologie des régions étudiés possède un impact sur la présence du calcaire dans les sols étudié ; nous proposons aussi que la géomorphologie et la topographie peuvent être considérées comme des facteurs qui contrôlent la répartition

de calcaire au niveau du sol ; et même pour interpréter la teneur élevée en calcaire dans les glacis par rapport les autres unités géomorphologiques,

Les glacis sont des unités géomorphologique riches en en sables fins ; limons et argiles comme nous avons constaté. Ils se localisent plus bas que les versants et généralement dans l'aval ; ce qui permet aux pluies de transporter des eaux carbonatées de l'amont vers l'aval sous l'influence de la pente et la gravité et ses minéraux carbonatés précipite de leur rôle dans les horizons de sols. Comme l'a indiqué Boulaine (1957) que des quantités de calcaire solubilisées par les eaux, puis transportées par les ruissèlements et enfin accumulées dans les sols des glacis à une profondeur qui dépend à la fois du lessivage vertical qui empêche le calcaire de s'accumuler en surface, par évaporation et phénomènes d'oxydo-réduction, provoque la précipitation du calcaire.

Cette explication est rapportée par (Benchetrit) 1957 qui note ; que ces eaux carbonatés sont des formations de dépôt aqueux qui se forment par précipitation du bicarbonate de chaux en solution dans l'eau par suite de son échauffement et du départ du gaz carbonique d'équilibre. Ce ne sont donc que des calcaires précipités par voie chimique : une boue calcaire se dépose rapidement et vient tapisser le fond des lagunes.

Les eaux carbonatées transportées de versant sont généralement à l'origine des reliefs ; qu'ils ont des sols hérités des matériaux calcaires ; dans ce sens Floret et Pontanier (1980) indiquent que les sols se développant sur les reliefs des zones arides sont le plus souvent des lithosols sur les dalles structurales calcaires et des régosols sur les formations marneuses et ils sont parfois associés à des croûtes et encroûtements calcaires et gypseux. Sur les versants, les éboulis et colluvions sont tout aussi peu évolués (sols bruts d'apport très grossiers),

Dans quelques horizons , nous remarquons que les teneurs en calcaire est moins élevées dans l'horizon que celui-ci de la surface ;comme dans les versant ; et les surfaces planes ; nous pouvons expliquer la diminution de taux de calcaire par le lessivage de l'horizon ;

nous rapportons l'explication de Ruellan (1967) qui note que les eaux superficielles, quand elles ne sont pas saturées en calcaire, c'est-à-dire quand elles proviennent de pluies tombées localement et qui pénètrent dans le sol presque immédiatement, ou quand elles ont circulé sur des matériaux peu calcaires, peuvent provoquer un certain lessivage vertical du

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

Donc le lessivage peut avoir un effet primordial dans l'appauvrissement de l'horizon superficiel des sols calcaires ; en outre il y a un facteur déterminant de notre région de Laghouat qui se caractérise par une aridité dominante, une pluviosité discontinue et des « Vent érosifs qui nous qualifions facteurs essentiels à la formation des sols.

Dans les zones arides, Gile, Peterson et Grossman (1966) pensent que le calcaire est apporté par le vent sous forme de poussières et qu'il est ensuite lessivé et accumulé en profondeur par les pluies. Ceci expliquerait que des accumulations importantes de calcaire puissent se développer dans des roches-mères non calcaires .

En parallèle avec le pouvoir éolien la géomorphologie du paysage a son rôle dans distribution et répartition du calcaire comme Coudé-Gaussen (2001) l'a rapporté , les poussières déposées peuvent être aussi retenues dans des pièges topographiques, par sédimentation éolienne directe soit par concentration depuis les surfaces rocheuses proche, ces pièges sont divers, souvent de dimension mineure : fissure ouvertes ; vasque et cuvettes , accumulations caillouteuses auxquelles s'ajoutent toutes les inégalités topographiques ; imaginable susceptible de retenir les poussières.

Boulaine (1963) interrogé concernant les carapaces calcaires ; comment elles ont pu se former, il pense que leur genèse est très complexe et estime qu'il est possible dans ce cas "que le ravitaillement de la surface en éléments calcaires soit surtout dû à des transports physiques (par ruissellement ou par le vent)

En outre les vents peuvent jouer un rôle dans le décapage des horizons du calcaire ; ou bien de lui déplacer d'une unité géomorphologiques à une autre parallèlement avec la topographie de paysage ; au même titre Pouget (1980) déclare que le décapage de l'horizon superficiel sera favorisé par tout ce qui tend à accentuer l'érosion en nappe ou éventuellement l'érosion éolienne : pente, texture de l'horizon de surface, dégradation du couvert végétal.

1.4. Aptitude des sols étudiés à leur mise en culture :

Notre travail contribué à analyser deux paramètres essentiels qui peuvent influencer ; le développement de la culture ; à savoir la teneur du sol en calcaire ; et la granulométrie du sol.

Nous avons remarqué que les versants et les surfaces planes sont caractérisés par des sols ayant une teneur importante en sables grossiers. Cependant les glacis et les dépressions sont des sols qui contiennent plus des argiles et des limons. Le calcaire se distribue dans tous les sols quelque soit le type de l'unité géomorphologique, mais les sols des glacis et des dépressions sont plus riches en calcaire que les sols des versants et des surfaces planes.

En zone aride Aubert (1962) propose de n'utiliser en culture sèche que les sols sableux. Un sol dont le profil comporte, en dessous de quelques décimètres (au moins **50** cm) d'horizon sableux, un niveau plus compact ou durci paraît particulièrement valable. Les cultures peuvent, ou bien être annuelles à cycle évolutif très court : céréales telles que le millet, légumes et plantes vivrières, ou pérennes : cultures arborées telles que l'amandier et l'olivier. De même que, en pareil cas, l'on sème très peu dense.

Dans versants ; et les surface planes, les sols sont sableux et les teneurs moyennes en calcaire sont respectivement 10.15 %, 9.76 %, généralement ces conditions physico-chimiques sont convenable pour l'arboriculture ; on désigne la culture de l'amandier, l'olivier, et l'abricotier ; et même le palmier dattier. Ces arbres fruitière tolèrent bien le calcaire de 10% jusqu'a 14.5%, en outre, elles préfèrent un sol sableux pour un meilleur drainage ; cette note s'accorde avec les travaux de l'ORSTOM (1952) dans le Nord de l'Afrique.

Les travaux entrepris par le Professeur Emerger (1952) qui ont permis d'étudier les rapports entre la végétation et les sols qui les portent, et leur mise en valeur agricole en Afrique du Nord. Suivi par ceux de Long (1954), en Tunisie qui préconise les mises en valeur suivantes: Pour les basses plaines et les versants : les sols à l'arboriculture: tels que amandiers, oliviers, abricotiers en association avec d'autres espèces de légumineuses fourragères.

Pour l'arboriculture sur les versants on éviterait le figuier et le grenadier qui tolèrent bien le calcaire mais ils tendent à croître mieux dans les sols lourds profonds à texture limon-argileuse, qui sont semblable à celle des glacis et des dépressions en plus le cerisier et le poirier ; ils se développent bien dans des sols riches en calcium et caractérisent par un sol plus ou moins évolué d'apport colluvial et alluvial ; le même sol des glacis et dépressions.

Il est possible de pratiquer la culture des agrumes, que ce soit sur les sols des versants, ou ceux des surfaces planes, des dépressions et des glacis ; les agrumes peuvent tolérer le calcaire jusqu'à 13% et supportent les sols sableux argileux ou les sols argileux limoneux.

Pour les sols de Laghouat on éviterait plutôt les cultures maraichère car la majorité d'entre elles (pomme de terre ; fabacées, solanacées ...) supportent les sols riche en argile et sable ; avec un taux du calcaire ne dépassant pas une valeur de 11%.

La wilaya de Laghouat est une zone pastorale typique dans laquelle l'insuffisance des ressources fourragères est un problème majeur, dans le but de satisfaire la demande accrue des ressources fourragères on propose l'introduction de légumineuse fourragères, *Sesbania grandiflora* et *Sesbania sesban* qui sont très riche en éléments nutritifs, résistantes au calcaire, la salinité et favorisent aussi les sols sableux.

Conclusion

Tenant compte de la limitation imposée par le régime pluviométrique en zone aride et semi-aride de l'Algérie, il est nécessaire de développer des techniques agricoles qui permettent d'utiliser au mieux les faibles ressources en eau disponibles pour une amélioration et une stabilisation de la production avec un meilleur choix des cultures en faveur aussi des propriétés physicochimiques des sols.

Notre travail a été effectué en vue de voir l'aptitude à la mise en culture des terres de périmètres agricoles de la wilaya de Laghouat par le biais de deux paramètres physicochimique, la teneur en calcaire du sol et sa texture.

L'approche que nous avons adopté était de grouper les sols dans des groupes en nous basant sur l'unité géomorphologique sur laquelle ils se localisent, ce qui est dû au fait que la classification des sols de l'Afrique du Nord n'a pas été établie de façon définitive.

L'ensemble des résultats de la prospection que nous avons faite montre une stratification allant d'un seul horizon jusqu'à la superposition de trois horizons. La majeure partie des sols étudiés sont superficiels et composés d'un seul horizon dont l'épaisseur maximale est de 68 cm. Un très faible nombre de sols est composé de trois strates.

L'épaisseur totale du profil n'a pas été influencée par le type d'unité géomorphologique sur laquelle se trouve le sol. Plus de 60 % des sols étudiés sont assez profonds pour le développement d'un système racinaire de plantes cultivées, environ 25% sont très superficiels présentant une profondeur inférieure à 15 cm ne permettant ni labour ni retournement pour la préparation d'un lit de semences.

Le taux de calcaire présent dans les sols est variable entre un taux maximum supérieur à 50% mesuré dans un horizon H2 pouvant classer les sols dans la gamme des sols fortement calcaires. Un minimum de 2,63% toujours dans l'horizon H2.

Les versants et les surfaces planes sont caractérisés par des sols ayant une teneur importante en sable grossier dépassant parfois les 60%. Cependant les glacis et dépressions sont des sols qui contiennent plus d'argiles et de limons.

Sur la base de ces résultats, il est possible de pratiquer de l'arboriculture fruitière de l'olivier de l'amandier, des agrumes sur ces sols, que ce soit la nature de l'unité géomorphologique sur laquelle se trouve le sol, les agrumes peuvent tolérer le calcaire jusqu'à 13% et supportent les sols sableux argileux ou les sols argileux limoneux.

Aussi, on éviterait plutôt les cultures maraichère car la majorité d'entre elles (pomme de terre ; fabacées, solanacées ...) supportent les sols riche en argile et sable ; avec un taux du calcaire ne dépassant pas une valeur de 11%.

Toutefois, des décisions par le biais uniquement de deux paramètres du sol resteraient toujours insuffisantes, elles doivent être complétées par les mesures d'autres paramètres pour plus de précision.

Enfin, il est bon de signaler que la mise en culture dans les zones arides se fait toujours au dépend de la destruction d'une végétation naturelle pouvant concurrencer des cultures pour l'eau ; mais qui reprend lentement et, parfois, difficilement à la suite de la disparition ou de l'arrêt de la culture, provoquant ainsi un risque pour l'écosystème.

Notre travail est une première prospection pédologique dans les périmètres agricoles de la wilaya. En, perspectives, nous suggérons la continuité et l'élargissement de ce travail l'ensemble du territoire de la wilaya et avec d'autres paramètres physicochimiques des sols afin de bien identifier la nature des terres en vu de leur exploitation agricole.

Aidoud L., 1984. Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L) des hauts plateaux sud-oranais. Thèse 3eme cycle, USTH Boumedienne, Alger, 253p.

Aubert, G. 1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales INA*, Alger Vol n° 1.1976 pp 185-196.

Aubert, G. 1947. Les sols à croutes calcaires (algérie). C.R. Conf. Méditer. Montpellier .Paris.330-337p

Aubert, G. 1962. Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur vation. *Acles Coll. U.N.E.S.C.O. de Paris sur les problèmes de la zone aride:* 127-150.

Augustin, B., 1898. Hautes-plaines et steppes de la Berbérie. Bull. Soc. Géog.et Archéol. Oran , XVIII, 18-30.

Augustin, B., et Ficheur, E., 1902. Les régions naturelles de l'Algérie. *Annales de Géographies.* t11, n°60. pp. 419-437. DOI:10.3406/géo.1902. 18191.

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

Beaudet, G. 1967. le quaternaire marocain observations et hypothèses nouvelles. revue de céographie physique et de céologie dynamique (2), VOL. FASC. 4.Paris. 269-310p

Belaidi, A. 1967. Notice de la carte géomorphologique de bouficha. *Archive pédologique.*152p

Benchetrit , M. 1956. Les sols d'Algérie. *Revue de géographie alpine* .Année 1956 Volume 44 Numéro 4 pp. 749-761

Bocquier,G ; Paquet, H et Millot, G. 1970. Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques : l'invasion remontante de la montmorillonite. *C. R. Ac. Sci.,* Paris, 270, D, pp. 460-463.

Bocquier, G . 1968. - Biogéocénoses et morphogenèse actuelle de certains pédiments du Bassin tchadien. *Int. Congr. Soil. Sci.* 9-1968. Adélaïde, vol. IV, pp. 605-612.

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

Boulaine, J et Hermitte, J-P.1963 - Sur les sols noirs à carapaces calcaires formés sous climat xérotherique. *Ann. Centre Rech. Exp. forest.* Alger, n02, pp. 5-8..

Boulaine, J.1961. Observations sur les carapaces du piemonts saharien.Trav.Inst.Rech.SAhar.20.79-90p

Boulaine, J. 1957. *Etude des sols des plaines du Chelif :Université d'Alger.Fac.Sciences.Thèse* Doct.582p.

Boulaine J.1961.Observations sur les carapaces du piémont saharien. Trav. Inst. Rech. Sahar.20.79-90

Boumaraf, B.2013. *Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallee d'oued righ, Sahara nord oriental d'Algérie-* Thèse de Doctorat-Université d'Amiens-108p.

Brewer, R.1964. Analyses des tissus et des minéraux des sols. New York, NY: Krieger, (1964). 482 p.

Busson, G. 1975. Le Mésozoïque saharien. La première partie l'extrême Sud Tunisien. Edition du CNRS, Paris, 194p.

Castany , G. 1952, - Paléogéographie, tectonique et orogénèse de la Tunisie. XIX Congrès géologique international, Tunisie. P120.

Capot –Rey., 1939. Pays du Mzab et région des Dayas Etude sur le relief de la dorsale saharienne, Annales de géographie 1939 XLVIII pp 41-62.

Carrega,P.2008. Les relations entre les sols et la topographie. P32

Coque , R. 1962. *La Tunisie présaharienne : Etude géomorphologique.* Thèse Lettres, Paris , Armand Colin, 476 pages.

Coque, R. 1977. Géomorphologie paris Armand Collins ,1 volume, 430 p.

Coudé-Gaussen, G. 1991. Les poussières sahariennes. UREF. Paris.489p

Deo Shorta, J-C. 1979. les encroûtements calcaires et les encroûtement gypseux en géotechnique routière. Bet. Labo, mécanique des sols, 105p.

Delvigne , J. 1965. Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferralitique. *Mém. ORSTOM.No 13,* Paris, 178 p.

Dennis,F. 2007 .Climat et société : l'apport des géographes-climatologues . Actes des Journées de climatologie de Nice (22-24 mars 2006), Commission « climat et société du CNFG ». 126 p.

Djebaili, S., 1984. Steppe Algérienne phytosociologie et écologie. OPU Alger, 177p

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

DSA L., 2010. Direction des services agricoles wilaya de Laghouat. Statistiques.110 p.

Durand, J. 1955. Les sols d'Algérie .CR .Société .Géo.Fr, p141.

Durand, J-H.1953. Etude hydrogéologique et pédologique des croutes en algérie.S.E.S.alger.3-19

Durand, J-H.1959. Les sols rouges et les croutes en Algérie. Serv. Etud.Sci. Pédol. N°7.188p

Durand, J-H. 1953. Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. Serv. Et. sei. Pédologie, n° 1. Alger, 209 p.

Dutoit, T.1996. *Dynamique et gestion des pelouses calcaires de Haute-Normandie*, p.92

Emberger, L. 1952. Etude sur le quotient pluviothermique. CR Acad. SC. Fran.,
234 : 2508-2510

Emberger, J., 1960. Esquisse géologique de la partie orientale des monts d'Ouled Nails. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin 27.Nouvelle série.399p.

Estorges, P., 1965. La bordure saharienne du Djebel Amour. Travaux de l'IRS, XXIV : 31-46.

Estorges, P.1969. Néolithique sans poterie de la région de l'Oued Mya (Bas-Sahara).Mémoires du Centre de recherches anthropologiques préhistoriques et ethnographiques Edité par SNED, Alger. 238 pages

Floret, C ; Potanier, R.1982. L'aridité en tunisie presaharienne , climat, sol, végétation et aménagement.O.R.S.T.O.M, CNRS. France.544p

Floate, M-J-S et Enrigh,P-D. 1991 : Effects of lime and 5 years ssulphun phosphors applications on soil Ph, ssulphun, and phosphorus status of tussock grassland soils on Est at agro – uplands. New Zealand journal of agriculture. Research.33.4, 99: 453-465.

Fournet, A , 1968 . Reconnaissance pédologique du Massif des Matmatas .DRES .Tunisie 336p.

Fuchs, M. 1973. Le climat et l'irrigation dans les zones arides. aron, Danfors Vaadia eds, Springer-Verlag : 3-9p

Gile, L-H ; Peterson, F et Grossman,R-B - 1966 - Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. Soil Sci., vol. 101, n° 5, pp. 347-360

Halitim, A. 1988 . *Les sols des régions arides de l'Algérie*. Edition OPU. Alger 386 p.

Halillet,M-T .1998. *Etude expérimentale de sable additionnée d'argile*

.Comportement physique et organisation en condition saline et sodique. Thèse doctorat.,

I.N.A.P.G Paris.250p

Hamdi, A-B.1988. *Contribution à la cartographie des sols de la zone de Ain El Kebira*

(Mascara) , Etude de la relation sol-géomorphologie . Thèse d'ing . INA ,Alger ,106p.

Hannachi, A., 1981. Relation entre aquifères superficiels et profonds : Hydrogéologie de la vallée d'oued M'zi à l'Est de Laghouat. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 121p.

Houasnia B.2008. L'agriculture face au vent dans la région de Laghouat. Mem Ing .Univ Laghouat 59 p.

I.A.P., 1972. Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 de Laghouat. Institut du pétrole Algérien. Rapport collectif dirigé par le professeur J.Guillemot. 110 p.

Laadjal Aek. 2014. Analyses des pratiques agricoles dans quelques perimeters de l'APFA de la region de Laghouat .Mem Master Univ Laghouat 60p.

Latrille, E. 1979. *Cours sur l'érosion et les techniques de lutte anti-érosives.*, 58 P.

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

Legros, J-P , 1993. Cartographie des sols. Presses polytechnique et universitaires Romandes. CH-1015.Lausanne.201 Pages.

Le Houérou, H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique, Options Méditerranéennes, B10, 396 pp.

Long ,G.1954 .Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie Centrale. Ann. Serv. Bot. Agron., Tunisie, 27, 388 p. et 1 carte couleur 1/200 Ooo

Loz, J et Mathieu,C. 1990 : Dictionnaire de science du sol. 2 eme édition. Lavoisier, 266 p.

Maignien ,R. 1958. *Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique Occidentale.* Thèse Sciences Strasbourg, *Mém., Serv. Carte géol. AIS. Lorr.*, no 16, Strasbourg, 239 p.

Margat, 1 ; Raynal , R et Taltasse, P.1954 - Deux séries d'observations nouvelles sur les croûtes au Maroc (couloir sud-rifain et Maroc Oriental). Notes Serv. géol. Maroc, t. 10. Notes et Mémoires n° 122, pp. 26-38.

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

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

Maurer, G et Schoen, U. 1964. La méthode d'analyse des argiles appliquée à l'étude morphologique du Rif. - Al Awamia, Rabat, 13, pp. 93-117.

Meddour R.2010. Bioclimatologie, Biogéographie et Phytosociologie de l'Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Tizi Ouzou.461p.

Morschel, M. 2013. Tahiti et ses périphéries insulaires : formation et crise d'un espace centralisé..

Mutiviti, P-G, 2004. *Indicateurs de la qualité physique des sols en relation avec l'érosion hydrique : impact des pratiques culturales,* Mémoire DEA, Louvain-la-neuve, 2004, 126 P.

O.R.S.T.O.M. 1968. Pédologie et développement. Paris : France. 422p

Pouget, M.1980. Les relations sol- végétation dans les steppes sud Algéroises. Travaux et documents de l'ORSTOM. N° 116. Paris, 555p.

Pouget, M.1980. Les sols à croûte calcaire dans les steppes algériennes Quelques aspects morphologiques et esquisse d'une évolution actuelle. Journée Georges Aubert.230P

Raynal, R. 1961 - Plaines et piedmonts du Bassin de la Moulouya (Maroc Oriental). Etude géomorphologique. Faculté des lettres, Rabat, 619 p

Richer de Forges A.C., Feller C., Jamagne M. et Arrouays D. 2008.Perdus dans le triangle des textures. Étude et Gestion des sols. Volume 15, numéro 2, pages 97 à 111.

Ritteb, TL 1901. Le djebel amour et les monts des oulad-nayl. Bulletin de service de la carte géologique de l'Algérie. Liare imprimerie.566p

Ruellan, A . 1967. L'individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du maroc.462p. *Cah. O.R.S.r.o.M., sér. Pédol., vol. V, n°4, 1967*

Ruellan , A. 1970. Quelques réflexions sur la paléopédologie. *Bull. Ass. Fr. Et. Quat., no 2-3, pp. 179-180.*

Ruellan, A. 1970. Les sols à profil calcaire différencié des plaines de Basse-Moulouya (Maroc oriental). Contribution à la connaissance des sols méditerranéens. *O.R.S.T.O.M.N° 54, 302 p.*

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

Ruellan, A. 1976. Caractéristiques morphologiques des sols calcaires Ann.Agro.INA, ElHarrach. 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.

Ruellan, A. 1971. L'histoire des sols : quelques problèmes de définition et d'interprétation. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. IX, no 3, 1971

Senouci L.2011. La mise en valeur des terres dans la région de Laghouat et contraintes environnementales. Mem Ing .Univ Laghouat 63 p.

Trachaud, L.1994. post fire plant community dynamics in the Mediterranean bassin. Univ. Moreno v.m et oechel N .C (eds).The role of the fire in Mediterranean. Type ecosystems , pp 1-15.

Tricart, J., 1969. Le modèle des régions sèches. Sedes, Paris, 472 p.

Troeh F.R. 2005. *Soils and soil fertility*. 265p. 6th ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing.

Vogt, T. 1984. Problèmes de genèse des croûtes calcaires quaternaires :Questions de la genèse du calcaire de quaternaire. Laboratoire de géographie physique en milieu tempère, université Louis-Pasteur, Strasbourg, pp : 210-220.

Vorobyova,L-A. ; Krechetova,V et Goronenkova Y. 1991 : Carbonate equilibria and alkalinity of soils of Djanybek experimental station. Moscow university soil science Bulletin. 46.4 , pp: 17-22.

Yao - kouame .A.2007. *La Nature des éléments grossiers observés dans les sols brunifiés.dérives de matériaux du complexe volcano-sédimentaire de Toumodi - Kanhankro en moyenne cote d'ivoire.* Rev. Cams-Série A, Vol. OS,47p.

ANNEXE

Fiche du prélèvement :

Une fiche de prélèvement est remplie, similaire à l'en-tête de la fiche de description des sondages tarière.

FICHE DE SONDAGE					
SOL EN PLACE (compositions, couleur, humidité, consistance, occupation actuelle)		ECHANTILLON		ANALYSE	
PROF(CM)		PROF(CM)	N° DE TERRAIN	TYPE	PARAMETRE
REMARQUE :	PROFONDEUR MAXIMALE : LOCALISATION : NOM DU SITE : NUMERO D'ECHANTILLON :				
PROJET : Prospection pédologique (l'étude de l'évolution du calcaire dans la région de Laghouat). ENDROIT : N° DU DOSSIER : DESCRIPTION DU SITE : EFFECTUEE PAR : DATE : MATERIEL UTILISES :					