

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar TELIDJI Laghouat
Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques

جامعة عمار ثليجي - الأغواط -
كلية العلوم
قسم العلوم الفلاحية



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie
Option : Protection Des Végétaux et d'Environnement*

Thème

**Analyse physique et chimique de la croûte
superficielle d'une variante de sols dans la région
de Laghouat**

Présentées par : **BAADACHE ; Kheira**

DJOUBAR ; Souad

Le : **25 juin 2014**

Encadrées par : Mlle **HOUYOU Zohra (Maître-assistante A)**

BAADACHE Kheira

DJOUBAR Souad

Thème : Analyse physico-chimique de la croûte superficielle d'une variante du sol dans la région de Laghouat

Résumé

L'extension d'une céréaliculture aléatoire au dépend d'une couverture végétale bien adaptée aux conditions du milieu menace la biodiversité de l'écosystème dans les régions steppiques de l'Algérie. Le périmètre de Mokrane en est un exemple type de cette situation. Les terres dans cette zone sont proies à des morcellements par la population locale en vue de leur mise en valeur agricole. Ce travail présente des analyses physico-chimiques effectuées sur la partie du sol en contact avec l'atmosphère dans cette région. Les résultats montrent que ces sols présentent des textures légères ou les sables dominant à plus de 90%. Le dosage de certains éléments majeurs notamment (C, K, P) donne des quantités infiniment petites traduisant une faiblesse de la fertilité de ces sols. Les analyses de la végétation traduisent des pauvretés de la richesse des espèces naturellement présentes dans les lieux. Les mesures d'une rugosité de sol de hauteur maximale de 2,5 (cm) avec des vitesses du vent dépassant parfois les 15m/s montrent une tendance favorable au phénomène de l'érosion éolienne des sols.

Mots clés : Sol, dégradation, steppe, rugosité, Nutriment.

بعداش خيرة

جوهر سعاد

العنوان : التحليل الفيزيائي والكيميائي للقشرة السطحية لعينة من التربة لمنطقة الاغواط

ملخص

التوسع العشوائي لزراعة الحبوب يتوقف على الغطاء النباتي الملازم للظروف البيئية التي تهدد التنوع البيولوجي للنظم الايكولوجية في المناطق السهبية بالجزائر . محيط مهران مثال نموذجي لهذه الحالة. اراضى هذه المنطقة هي ضحية لنفقات السكان المحليين بسبب التوسع الزراعي. هذا العمل يقدم هذه التحليلات التي اجريت بشأن جزء من الارض المتصل مع الغلاف الجوي لهذه المنطقة . النتائج تبين ان هذه التربة تشكل بنية حبيبية صغيرة بحيث ان الرمال تهيمن على اكثر من 90 بالمئة. معايرة بعض العناصر الرئيسية بما في ذلك (C , P, K) اعطت كميات صغيرة غير محدودة و هذا يرجع لنقص خصوبة التربة. تحليل الغطاء النباتي يبين وجود فقر في الانواع النباتية في هذه الاماكن . قياس شدة انحدار مستوى الارض تصل إلى أقصى ارتفاع (2.5 سم) مع سرعة رياح تتجاوز أحيانا 15 م/ثا تدل على استعداد ملائم لظاهرة التعرية الربحية للتربة.

الكلمات المفتاحية: التربة, تلف, سهوب, شدة انحدار, عنصر مغذي.

BAADACHE Kheira

DJOUBAR Souad

Title : Physical and chemical analysis of the superficial crust of a variant of soil in the region of Laghouat.

Summary:

Extending of a random cereal crops that depends on vegetative cover well adapted to local conditions threatens the biodiversity of the ecosystem in the steppe regions of Algeria. The scope of Mokrane is a typical example of this situation. The lands in this area are prey grinds by the local population for their agricultural development. This paper presents the analysis performed on the portion of the soil in contact with the atmosphere in this region. The results show that these soils have slight texture where sands dominate more than 90%. The determination of certain major elements including (C, K, and P) gives infinitely small quantities reflecting a weak fertility of these soils. Analysis of vegetation reflects poverty of wealth in species naturally present in the scene. Measures of roughness ground gives a maximum height of 2.5 (cm), with wind speeds sometimes exceeding 15 (m/s) showed a favorable trend the wind erosion.

Key words : Soil, degradation, stepp, roughness, nutrient.

Remerciements

Nous remercions *Allah* le miséricordieux, le tout puissant qui nous a donnés la force et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Au terme de ce travail, nous voudrions remercions en premier lieu Mlle HOUYOU Zohra Maître assistante -A- à l'Université de Laghouat, pour avoir acceptée de diriger ce travail, pour la confiance qu'elle nous a accordée et l'appui qu'elle a témoignée à nos travail, pour les orientations indiquées, les conseils et encouragements prodigués. Sa disponibilité constante associée à son esprit critique et le suivi durant ce travail. Respect et sincères remerciements.

Nous remercions profondément les plus sincères à membres de jury, pour avoir accepté de juger ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Monsieur KOUIDRI Mohamed Maître de Conférences -B-, au département d'Agronomie à l'université de Laghouat.

Nous tenons à remercier vivement Monsieur Boutmedjet Ahmed, Maitre Assistant à l'Université de Laghouat et Monsieur ADAMOÛ Alaa-Eddine, Maitre de Conférences-B- à l'Université de Laghouat.

Nous tenons à remercier aussi, le corps d'enseignants qui ont assuré notre formation en Agronomie

Merci à tous les membres aux laboratoires de génie civil et génie mécanique.

Nous remercions vivement et particulièrement Boumedienne Abdelmadjid qui nous a aidé sur terrain.

Merci à toutes les personnes, ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Résumé	I
Dédicace	IV
Remerciements	VI
Sommaire.....	VII
Liste des tableaux	XI
Liste des figures	XIV
Liste des abréviations.....	XV
Introduction.....	01
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : APERÇU SUR L'ÉVOLUTION DU SOL ET CARACTÉRISATION DES STEPPES ALGÉRIENNES	
I.1. Evolution du sol.....	04
I.1.1. Formation d'un sol (pédogenèse).....	04
I.1.2. Mécanismes intervenants dans la pédogenèse.....	04
a. Phénomènes physiques.....	04
b. Phénomènes chimiques et biochimiques.....	04
c. Phénomènes de migration.....	04
d. Phénomènes d'accumulation.....	05
I.1.3. Facteurs de la pédogenèse.....	06
a. Le climat.....	06
b. La roche mère.....	06
c. La topographie.....	06
d. La végétation.....	07
e. L'homme.....	07
f. temps.....	07
I.1.4. Appréciation de l'évolution d'un sol.....	07
a. Les horizons des sols.....	08
I.1.5. La fraction organique du sol.....	08
I.2. Les sols steppiques Algériens.....	09

I.2.1. Nature des sols.....	10
I.2.2. Les principaux types de sols.....	10
I.3. Les caractéristiques végétales de la steppe.....	10
I.3.1. Les steppes à alfa (<i>Stipa tenacissima</i>).....	10
I.3.2. Les steppes à armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>).....	11
I.3.3. Les steppes à sparte (<i>Lygeum spartum</i>).....	11
I.3.4. Les steppes à Remt (<i>Arthrophytum scoparium</i>).....	11
I.4. Les facteurs de dégradation des écosystèmes steppiques.....	11
I.4.1. Les facteurs physiques.....	12
a. Sécheresse.....	12
b. L'érosion éolienne et hydrique.....	12
c. Phénomène de salinisation.....	12
I.4.2. Les facteurs anthropiques.....	13
a. Le surpâturage.....	13
b. Défrichement et extension de la céréaliculture.....	13
c. Evolution de la population steppique.....	13
d. Les politiques d'organisation de la steppe.....	14
I.5. La dégradation des terres et la désertification.....	14
PARTIE II : MATERIEL ET METHODES	
II. MATERIELS ET METHODE.....	16
II.1. Présentation de la zone d'étude.....	16
II.2. Méthode d'étude.....	16
II.2.1. Méthode de travail sur le terrain.....	17
II.2.2. Caractérisation d'une station.....	17
II.2.3. Prélèvement et préparation des échantillons du sol.....	17
II.3. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol au laboratoire.....	18
II.3.1. Analyses physiques.....	18
a. Détermination de l'humidité.....	18
b. Mesure de pHeau.....	19
c. Mesure de conductivité électrique (CE).....	19
d. L'analyse granulométrique.....	19
e. La rugosité.....	20

II.3.2. Analyses chimiques.....	21
a. Détermination de la teneur en matière organique par calcination.....	21
b. Détermination de calcaire total.....	22
c. Détermination de phosphore total.....	22
d. Dosage du potassium et du sodium par spectrophotométrie d'émission.....	23
II.4. Etude floristique.....	23
II.4.1. Méthode d'étude floristique.....	23
II.4.2. Choix des sites à étudier.....	23
II.4.3. Emplacement des relevés.....	24
II.4.4. Relevé floristique (PARKER).....	24
II.4.5. Identification des espèces.....	25
II.4.6. Analyse du patrimoine biologique.....	25
a. La richesse totale (S).....	25
b. Diversité spécifique (H').....	26
c. Recouvrement global de la végétation RGV %.....	26
d. Fréquence spécifique (FSi).....	27
e. Contribution spécifique (CSi).....	27
f. La densité.....	28
II.4.7. Types biologiques.....	28
II.5. Analyses des données collectées sur le terrain.....	29
II.6. Climatologie de la zone d'étude.....	29
PARTIE III : RESULTATS	
III. RESULTATS ET ANALYSES.....	31
III.1. Climatologie de la zone d'étude.....	31
III.1.1. Températures.....	31
III.1.2. Précipitations.....	32
III.1.3. Vent.....	32
III.1.4. Direction du vent.....	33
III.2. Caractérisation des lieux.....	34
III.3. Emplacement des stations (sites).....	35
III.4. Analyses physiques et chimiques.....	36
III.4.1. analyse physique.....	36

a. Humidité du sol.....	36
b. pH du sol.....	37
c. Conductivité électrique du sol.....	38
d. Analyse granulométrique.....	38
e. La rugosité du sol.....	41
III.4.2. Analyse chimique.....	42
a. Teneur en matière organique.....	42
b. Evolution du calcaire (CaCO ₃).....	42
c. Evolution du Phosphore.....	43
d. Evolution du Potassium.....	44
III.5. Analyse de la végétation.....	45
III.5.1. Richesse totale des sites.....	45
III.5.2. Diversité spécifique de Shannon (H') et Equitabilité (E).....	47
III.5.3. Recouvrement globale (RG).....	48
III.5.4. Etat de surface du sol.....	49
III.5.5. Fréquence spécifique (FSi) et contribution spécifique (CSi).....	49
III.5.6. La densité.....	50
III.5.7. Type biologique.....	50
III.5.8. Dendrogramme de la distribution des espèces végétales.....	52
III.5.9. Dendrogramme des éléments de surface du sol.....	53
PARTIE IV : DISCUSSION	
Discussion.....	55
Conclusion générale.....	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62
ANNEXE.....	71

Liste des tableaux

	Titre	Page
Tableau 01	Codes et coordonnées des points (stations ou sites) identifiés sur les quatre transects.....	35
Tableau 02	Structure floristique du site d'étude (Mokrane).....	45
Tableau 03	Richesse de la flore des différentes unités géomorphologiques.....	47
Tableau 04	Fréquence spécifique (FSi) et contribution spécifique (CSi) des espèces dans la zone d'étude.....	49

Liste des figures

	Titre	Page
Figure 01	Localisation géographique de la zone d'étude.....	16
Figure 02	Emplacement des prélèvements du sol.....	17
Figure 03	Ensemble des échantillons du sol.....	18
Figure 04	Appareil d'un rugosimètre à aiguille.....	21
Figure 05	Schéma de la méthode de PARKER.....	24
Figure 06	Représentation de la station météo de la zone d'étude.....	30
Figure 07	Evolution de la température journalière dans la zone d'étude durant la période de septembre 2013 à Mai 2014.....	31
Figure 08	Evolution des précipitations journalières dans la zone d'étude entre septembre 2013 et juin 2014.....	32
Figure 09	Evolution de la vitesse du vent dans la zone d'étude durant la période de septembre 2013 à Mai 2014.....	33
Figure 10	Fréquence de la direction des vents durant la période de Septembre 2013 à Mai 2014.....	33
Figure 11	Différentes unités géomorphologiques identifiées dans la zone d'étude.....	34
Figure 12	Variation des élévations en fonction des unités géomorphologiques...	36
Figure 13	Evolution du taux d'humidité dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	37
Figure 14	Variation du pH du sol en fonction des unités géomorphologiques.....	38
Figure 15	Evolution de la conductivité électrique (g/ l) dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	38
Figure 16	Evolution du taux de sable dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	39
Figure 17	Evolution du taux de limon dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	40
Figure 18	Evolution du taux d'argile dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	40
Figure 19	Evolution du taux de fraction érodible dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	41

Figure 20	Evolution de la rugosité de sol en fonction des unités géomorphologiques.....	42
Figure 21	Evolution de la teneur en matière organique du sol en fonction des unités géomorphologiques.....	42
Figure 22	Evolution du taux de calcaire dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	43
Figure 23	Evolution du taux de phosphore dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	44
Figure 24	Evolution du taux de potassium dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.....	44
Figure 25	Importance des principales familles dans la zone d'étude.....	47
Figure 26	Diversité de Shannon et Equitabilité (E) dans la zone d'étude (Mokrane).....	48
Figure 27	Recouvrement de végétation et des éléments de surface de sol dans la zone d'étude.....	48
Figure 28	Recouvrement des éléments de surface du sol dans la zone d'étude....	49
Figure 29	Evolution de la densité de la végétation en fonction des unités géomorphologiques.....	50
Figure 30	Spectre biologique brut de la zone d'étude.....	51
Figure 31	Spectre biologique réel de la zone d'étude.....	51
Figure 32	Dendrogramme de la CH de la distribution des espèces dans les unités géomorphologiques.....	52
Figure 33	Dendrogramme de la CH de la distribution des éléments de la surface du sol dans les unités géomorphologiques.....	53

Liste des abréviations

CE	Conductivité Electrique
Ch	Chamephytes
Cm	Centimètre
G	Géophytes
g	gramme
H	Hémicryptophytes
Ha	Hectare
Km	Kilomètre
Km ²	Kilomètre carré
m	Mètre
(m)	Variante thermique
m ²	Mètre carré
mm	Millimètre
MO	Matière Organique
P (mm)	Précipitations
Ph	Phanérophytes
S	Seconde
T	Thérophytes
T	Température
V	Vitesse du vent
µm	Micromètre
OSS	Observatoire du Sahara et Sahel
l	litre
UF	Unité fourragère
MS	Matière sèche
T1	Transect 1
P	Poids

Introduction

Les zones steppiques algériennes sont des régions à vocation essentiellement pastorale. Elles connaissent aujourd'hui une forte tendance à la dégradation qui se traduit par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologiques et socioéconomiques. L'influence du Sahara confère à ces régions un climat sec et chaud avec une amplitude thermique très importante. La pluviométrie moyenne annuelle (P) varie de 400 mm à 100 mm.

Les précipitations annuelles reçues attribuent à ce territoire une physionomie végétale de type herbacée générée par la nature d'un sol fragile et pauvre (Le Houérou, 1995). En raison de l'accroissement démographique, le milieu est soumis à une pression anthropique dangereuse.

La gestion inadaptée des terres conjuguées aux changements climatiques constituent un des moteurs de la disparition progressive de la végétation. Dégradées et asséchées, les terres subissent la manifestation de plusieurs processus tels que la perte de fertilité, la réduction de la couverture végétale, l'augmentation de l'érosion hydrique et éolienne, menant tous à une plus grande fragilité du milieu. Parmi ces processus, le surpâturage est une activité parmi celles contribuant le plus à la dégradation environnementale, notamment par la perte de la couverture végétale des sols (Mainguet et Dumay, 2006). L'augmentation démographique entraîne une pression accrue sur le milieu. D'une part par la demande croissante en ovins et d'autre part par le défrichage de lopins de terre pour produire un minimum de céréales (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Le bilan établi par le Ministère de l'Agriculture montre que 5 millions d'hectares parmi les 20 millions d'hectares menacés se trouvent dans un état avancé de dégradation. De même, la carte de sensibilité à la désertification établie par le Centre National des Techniques Spatiales sur la totalité de la zone steppique, révèle que 7 millions d'hectares de terres dégradées nécessitent en urgence des aménagements (Bensaid, 2006).

Or la dégradation des terres dans ces écosystèmes déjà fragilisés par les conditions pédoclimatiques, nécessite surtout et avant toute intervention, des recherches approfondies en amont : répertorier l'ensemble des facteurs impliqués de façon directe ou indirecte dans

le processus de dégradation du sol et surtout, chercher à savoir **comment** ces facteurs se conjuguent et interagissent dans le temps et dans l'espace (Bensaid, 2006).

Les nombreuses études phytoécologiques et pastorales entreprises dans ces régions ont permis d'évaluer et de cartographier les ressources naturelles disponibles. Ces études menées dans les spatiotemporelles ont montré de nette réduction des richesses biologique de la steppe algérienne (OSS, 2013).

De part sa position géographique la wilaya de Laghouat fait partie des wilayas steppiques, son territoire est entrain de subir des modifications en raison de sérieux changements dans le mode de vie de la société steppique. Comme partout dans la steppe, les ressources naturelles dans la wilaya de Laghouat sont sujettes à des mutations vers une sévère dégradation irréversible. Des études réalisées entre 2008 et 2012 dans une région modèle sur le territoire de la wilaya de Laghouat, ont montré que les sols sont soumis à d'importantes pertes en raison de leur mise en culture (Goffin, 2009 ; Rochez, 2010 ; Boumeddiene, 2010). De même des relevés de végétation effectués par (Khelifi, 2008 ; Rahmoun, 2009 ; Serdoun, 2009 ; Graa, 2010 ; Azizi, 2010 ; Djoubar, 2011 ; Benhassine, 2012) ont permis d'identifier un nombre représentant moins de 1 % d'espèces identifiées par (Le Houérou, 1995).

Ce mémoire s'intègre dans ce sens et nous pouvons le considérer complémentaire de ceux qui l'ont précédé dans la région de Laghouat.

L'objectif de ce travail est de caractériser la croute superficielle de quelques sols dans une zone qui a intéressé des travaux antérieurs cités ci-dessus et qui ont été réalisé dans la région de Laghouat. Nous considérons croute superficielle la partie du sol qui est en contact avec l'atmosphère. Dans notre travail nous essayerons de présenter une description physique et chimique de sols choisis qui ont été abordés dans des travaux qui nous ont précédés.

Après une introduction, nos travaux sont présentés dans quatre chapitres comme suit :

- Chapitre 1 : Une première partie dans laquelle présenterons des données générales (revues bibliographiques) sur le thème à traiter ;
- Chapitre 2 : Consacré au matériel et méthodes utilisés pour la réalisation du travail ;

- Chapitre 3 : Dans lequel sont présentés nos résultats ;
- Chapitre 4 : Nous discuterons dans ce chapitre nos résultats.

Et enfin nous terminerons par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I : APERÇU SUR L'EVOLUTION DU SOL ET CARACTERISATION DES STEPPES ALGERIENNES

I.1. Evolution du sol

I.1.1. Formation d'un sol (pédogenèse)

Le sol résulte d'un double processus. Le premier est la désagrégation ou la décomposition des roches formant le sous-sol, appelées pour cette raison roches mères. Le second est l'apport de substances organiques provenant de la couverture végétale ou de substances minérales déposées par le vent (sol éoliens) ou les cours d'eau (sols limoneux). Il évolue toutefois de façon différente suivant les climats (Faurie et *al.*, 2003).

I.1.2. Mécanisme intervenants dans la pédogenèse

a. Phénomènes physiques

L'érosion, le ruissellement, l'action du vent assurent une désagrégation mécanique de la roche mère. À celle-ci s'ajoute une désagrégation physique proprement dite, consécutive au gonflement et éclatement des particules par imbibition, liées à l'action du gel et de la chaleur sur les roches et sur le sol. Les résultats de ces actions sont l'émiettement, le fractionnement, la séparation des éléments, leur classement par grosseur ou par densité, leur déplacement et leur accumulation (Faurie et *al.*, 2003).

b. Phénomènes chimiques et biochimiques

Ce sont principalement des hydrolyses, hydratations, oxydations, réductions, action du CO₂ et réaction des éléments entre eux. Ces réactions très lentes ont des conséquences diverses. Elles concourent à la formation des argiles à partir des silicates des roches magmatiques ; la décomposition de ces mêmes argiles aboutit à la formation de la latérite en climat tropicale. Elles assurent la dissolution du calcaire (décalcification) et l'évolution de la couleur vers le rouge (rubéfaction). Elles participent à la formation et l'évolution de l'humus (Faurie et *al.*, 2003).

c. Phénomènes de migration

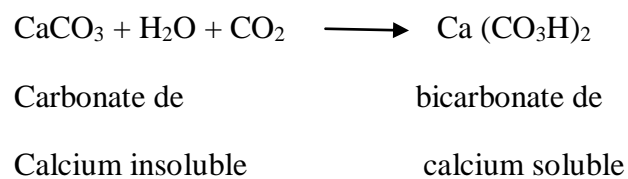
Ces phénomènes très importants accompagnent les précédents et déterminent le type de sol. Les migrations affectent surtout les éléments solubles (bicarbonate de calcium et autres

sels) et colloïdaux (humus, argiles, hydroxydes métalliques). Elles s'effectuent sous l'influence des mouvements de l'eau dans le sol (Faurie et *al.*, 2003).

Migrations descendantes, on désigne l'enchaînement des éléments par les eaux d'infiltration (Prévost, 1999).

➤ La lixiviation

Migration des sels solubles, c'est là le cas des sels provenant des carbonates d'une roche calcaire :



➤ La cheluviation

Migration de complexes organométalliques (principalement de fer et l'alumine).

➤ Le lessivage (migration des argiles)

On regroupe souvent ces formes de migrations sous le terme général de « lessivage » (Prévost, 1999).

Migrations ascendantes ou remontées « compensatrices », correspondent à des remontées d'éléments de la profondeur vers la surface liées à une forte évaporation (favorisant la remontée de l'eau par capillarité) ou aux êtres vivants du sol (ex : les vers de terre qui vont puiser en profondeur certains éléments qu'ils restituent à la surface dans leurs excréments) (Prévost, 1999).

Les migrations vont différencier des couches à l'intérieur du sol appelées horizons (Prévost, 1999).

d. Phénomènes d'accumulation

Les éléments entraînés s'accumulent dans le sol. Les causes peuvent en être physiques, telles que la dessiccation de horizon par évaporation ou par succion des racines, ce qui à pour conséquence un arrêt de la migration par équilibre entre les deux mouvements. Elles

peuvent aussi être de nature chimique, lorsque la désacidification entraîne la floculation des colloïdes ou la précipitation du calcaire. L'accumulation peut se faire sous forme diffuse (enrichissement de l'horizon) mais elle aboutit souvent à la formation de concrétions (rognons) pouvant se souder en croûtes continues (Faurie et *al.*, 2003).

I.1.3. Facteurs de la pédogenèse

La formation du sol aboutit à une grande variété de sol et cela, du fait de l'influence d'un certain nombre de certains de facteurs (Prévost, 1999).

a. climat

Son importance est primordiale. Ce sont surtout les précipitations qui par leur intensité et leur répartition enchaînent le lessivage plus ou moins intense du sol. L'évaporation au contraire fait remonter les solutions salines ou colloïdales en surface. La température agit sur la vitesse et la nature de l'altération des roches (Faurie et *al.*, 2003).

b. La roche mère

Les roches, issues de mouvements géologiques successifs, présentent des caractéristiques variées selon leur nature (silicatées ou non) et leur origine (volcanique, sédimentaire...); celles-ci portent sur :

- La composition chimique : roche calcaire, roche siliceuse ;
- La perméabilité (ex. : sables alluviaux) ;

La dureté (ex. : le granite est dur, contrairement aux marnes) (Prévost, 1999).

Ces caractéristiques influencent l'évolution du sol surtout chez un sol jeune ; dans certains cas, son influence peut persister (sol calcaire sur roche-mère calcaire) (Prévost, 1999).

c. La topographie

Résultant de l'action de nombreux facteurs climatiques, tectoniques et pédologiques, la topographie reste une cause d'évolution des sols très importante; elle agit directement sur la répartition de l'eau infiltrée dans le sol (Pouget, 1980).

Elle intervient surtout par son action sur le ruissellement diminuant l'infiltration et entraînant l'érosion des couches superficielles, parfois jusqu'à la roche mère. Les bas fonds en revanche peuvent s'enrichir d'alluvions (Faurie et *al.*, 2003).

La topographie conditionne les phénomènes d'érosion hydrique et partiellement l'érosion éolienne (Pouget, 1980).

d. La végétation

Elle intervient sur la formation et l'évolution du sol de différentes manières par la production d'humus (selon le type de végétation, la nature de l'humus sera variable :les résineux et les landes donnent un humus acide...les feuillus donnent un humus doux) (Prévost, 1999).

L'influence sur l'évolution du sol sera modifiée :

- Par l'enracinement plus ou moins profond qui facilitera les migrations d'éléments ;
- Par création d'un microclimat protégeant le sol des agents climatiques (Prévost, 1999).

e. L'homme

Chacune des interventions de l'homme sur le milieu influence l'érosion du sol ; son action peut être :

- Indirecte : c'est le cas lorsqu'il modifie la végétation naturelle (ex. : déforestation) ;
- Directe : dans le cas des sols cultivés (Prévost, 1999).

f. Le temps

Même si le sol évolue plus vite que le climat, le facteur temps est important dans la pédogenèse. L'évolution d'un sol s'apprécie à l'échelle du siècle (hormis les sols cultivés qui peuvent évoluer très vite sous les contraintes agronomiques) (Prévost, 1999).

I.1.4. Appréciation de l'évolution d'un sol

L'état d'évolution d'un sol peut s'apprécier par l'observation d'une coupe verticale du

sol de la surface à la roche-mère ou profil pédologique (Prévost, 1999).

Celui-ci met en évidence les différentes couches de sol ou horizons qui diffèrent par la couleur, la taille des constituants, leur disposition, etc. (Prévost, 1999).

a. Les horizons des sols

L'horizon 0, horizon de surface est riche en matière organique. La litière végétale s'y accumule et se décompose progressivement. Dans les déserts, l'horizon 0 est quasi absent alors que dans certains sols organiques riches, il constitue l'horizon dominant (Raven et *al.*, 2008).

La transformation des matières organiques est le processus pédogénétique majeur, aucun autre processus n'y est décelable. Les matières organiques ne sont jamais liées à la matière minérale (Baize et Girard, 2008)

Sous l'horizon 0, on trouve l'**horizon A**, en générale de couleur sombre, riche en matière organique et en humus. Il est pauvre en éléments nutritifs qui sont lessivés et migrent dans les horizons plus profonds. Dans certains sols, un horizon de lessivage ou **horizon E** se développe entre les horizons A et B (Raven et *al.*, 2008).

L'horizon B, moins coloré, est fréquemment une zone d'accumulation où les éléments nutritifs lessivés des horizons supérieurs et de la litière s'accumulent. C'est un horizon riche en fer, aluminium et argile (Raven et *al.*, 2008).

L'horizon C, Se trouve sous l'horizon B. il contient des fragments de roche mère décomposée et forme la limite avec la roche mère compacte. Cet horizon se trouve sous la zone d'extension des racines et est souvent saturé en eau (Raven et *al.*, 2008).

I.1.5. La fraction organique du sol

Il s'agit de la matière carbonée provenant de la décomposition et de l'évolution des êtres vivants (végétaux, macro et microfaune). Cette matière composée de carbone, d'oxygène, d'azote et d'éléments minéraux, évolue sans cesse. Dans un premier temps humifiée, elle subit une deuxième évolution (minéralisation, de l'ordre de 1 à 2 % par an), sous l'effet du compartiment microbien des sols. Cette substance provient de :

- La biomasse en activité (animale, végétale, microbienne),

- Des débris d'origine végétale et animale qui constituent la matière organique fraîche,
- Des composés organiques intermédiaires (évolution de la matière organique fraîche),
- Des composés organiques stabilisés (CTIFL, 2012).

La fraction organique du sol, bien que ne représentant que quelques pourcentages de la masse totale du sol, joue un rôle physico-chimique capital et est souvent déterminante au point de vue de sa fertilité. Elle est toutefois constituée d'un ensemble de substances de natures et de propriétés très variées (Bonneau et Souchier, 1979).

L'horizon de surface ou horizon A contient de la matière organique appauvrie en colloïdes et en fer, ces constituants étant emportés lors de lessivage par les eaux de pluie. L'horizon intermédiaire ou horizon B diffère de A par un enrichissement en colloïdes, en particulier en argile et en fer. C'est un horizon d'accumulation. L'horizon inférieur ou horizon C correspond au début de l'altération de la roche mère qui se trouve immédiatement en dessous. L'horizon A, dans lequel se forme d'humus, comprend un niveau A₀ purement organique et un niveau A₁ mixte dans lequel la matière organique et la matière minérale sont mélangées (Dajoz, 2006).

Le contenu en matière organique des sols est influencé globalement par :

- Les facteurs climatiques,
- La végétation,
- La texture du sol,
- Les conditions topographiques, influençant le microclimat et le drainage,
- Les pratiques culturales (Bonneau et Souchier, 1979).

Quant à l'évolution des matières organiques dans le sol, elle se caractérise par un grand nombre de mécanismes et de voies de transformation qui interviennent simultanément (Bonneau et Souchier, 1979).

I.2. Les sols steppiques Algériens

La steppe est l'écosystème ou s'exacerbent l'ensemble des contraintes méditerranéennes par le déficit hydrique qui devient permanent (aridité) et par la pression anthropique qui est dans la plupart des cas, de plus en plus intense (Madani, 2007).

I.2.1. Nature des sols

Les sols steppiques sont peu profonds et pauvres en matières organiques, caractérisés par une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation. Les bons sols sont destinés à une céréaliculture aléatoire et se localisent dans les dépressions, les lits d'oued, les dayas et les piémonts de montagne du fait que leur endroit permet une accumulation d'éléments fins et d'eau (Nedjimi et Guit, 2012).

Les bons sols dont la superficie est limitée, se situent au niveau des dépressions (sols d'apport alluvial) soit linéaire et constituées par les lits d'oueds soit fermées et appelées Dayas (Pouget, 1980).

I.2.2. Les principaux types de sols

Les principaux types de sols sont les suivants (Halitim, 1988):

- Les sols minéraux bruts d'érosion,
- Les sols peu évolués d'apport éolien et d'apport alluvial,
- Les sols calcimagnésiques,
- Les sols halomorphes,
- Les sols isohumiques.

I.3. Les caractéristiques végétales de la steppe

Selon Le Houerou (1995), la steppe comme les formations végétales basses et ouvertes, dominée par des espèces pérennes, dépourvue d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables.

En fonction du végétal dominant, qui peut être herbacé (graminée) ou ligneux (sous-arbisseaux), parfois par une référence aux conditions climatiques et édaphiques locales (Steppe aride ou saharienne, steppe Halophile à *Salsolacées*), la Steppe repose souvent une combinaison de critères à la fois Physionomiques structuraux et écologiques (Kaabache, 1990).

I.3.1. Les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*)

Présentent une forte amplitude écologique (Nedjraoui, 2004). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège

floristique (Nedjraoui, 1981 ; Aidoud, 1983 ; Nedjraoui, 1990). La valeur pastorale peu importante (10 à 20/100 en moyenne) permet une charge de 4 à 6 hectares par mouton. (Nedjraoui, 2004).

I.3.2. Les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*)

Elles couvrent 3 millions ha et sont situées dans les étages arides et moyen à hiver frais et froid. La production annuelle consommable est de 500 kg MS/ha, soit une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha. Les steppes à armoise blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises saisons. L'armoise est une espèce adaptée à la sécheresse et la pression animale, en particulier la pression ovine (Mouhous, 2004).

I.3.3. Les steppes à sparte (*Lygeum spartum*)

Couvrent 2 millions d'hectares. *Lygeum spartum* ne présente qu'un faible intérêt pastoral (0,3 à 0,4 UF/kg MS). La productivité, relativement élevée (110 kg MS/ha/an), des espèces annuelles et petites vivaces, confère à ces types de parcours une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ha/an et une charge de 2 à 5 ha/mouton (Nedjraoui, 2004).

I.3.4. Les steppes à Remt (*Arthrophytum scoparium*)

Elles forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12 %. Ces steppes présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La production moyenne annuelle varie de 40 à 80 KgMS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 à 50 UF/ha/an. Ce type de steppe est exploité par le camelin (Mouhous, 2004).

I.4. Les facteurs de dégradation des écosystèmes steppiques

Depuis une trentaine d'années, l'écosystème steppique a été complètement bouleversé, tant dans sa structure que dans son fonctionnement à travers sa productivité primaire. On assiste à un ensablement progressif allant du voile éolien dans certaines zones à la formation de véritables dunes dans d'autres. La réduction du couvert végétal et le changement de la composition floristique sont les éléments qui caractérisent l'évolution régressive de la steppe (Homida et Nedjimi, 2006).

I.4.1. Les facteurs physiques

a. Sécheresse

Les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations. En outre, les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante (Nedjimi et Guit, 2012).

Les sécheresses, ont été les révélateurs de la désertification dans les zones arides où la pluviosité faible et sa variabilité plus grande, il est devenu plus difficile à l'écosystème et à la société de résister (Benguerai, 2011).

Dans un milieu où la végétation à un recouvrement inférieur à 30%, l'action du vent engendre des sols grossiers et caillouteux peu propices à la recolonisation par la végétation. Ce ci provoque une perte de sol de 150 à 300t/ha/an, dans les steppes défrichées. L'érosion hydrique est due aux pluies torrentielles. Cette action désagrège les sols peu épais et diminue leur fertilité. La superficie totale menacée par l'érosion hydrique est estimée à près de 10 millions d'ha (Mouhous, 2004).

b. L'érosion éolienne et hydrique

Des données récentes montrent que ces phénomènes ont provoqué d'énormes pertes: près de 600.000 ha de terres en zone steppique sont totalement désertifiés sans possibilité de remontée biologique et près de 6 millions d'hectares sont menacées par les effets de l'érosion hydrique et éolienne (Nedjraoui, 2004).

L'action de l'érosion par le vent accentue le processus de désertification, elle varie en fonction du couvert végétale. Ce type d'érosion provoque une perte de sol de 100 à 25 tonnes/ha/an dans les steppes défrichées (Homida et Nedjimi, 2006).

c. Phénomène de salinisation

Plus de 95% des sols des régions arides sont soit calcaires, gypseux ou salsosodiques. Du fait des hautes températures qui sévissent pendant une longue période de l'année, les précipitations subissent après leur infiltration, une forte évaporation entraînant la remontée vers la surface du sol, des particules dissoutes qui se concentrent en croûtes et stérilisent le

sol. On trouve deux types de dépressions salées aux niveaux des régions arides et semi-arides dont les termes vernaculaires sont Chott et Sebkha ; la différence entre ces deux noms réside dans le mode d'alimentation (Nedjimi et Guit, 2012).

I.4.2. Les facteurs anthropiques

a. Le surpâturage

Le surpâturage est défini comme étant un prélèvement d'une quantité de végétal supérieur à la production annuelle des parcours. La majeure partie de la population steppique tire ses revenus à travers la pratique de l'élevage d'un cheptel principalement ovin. L'exploitation permanente des pâturages naturels, utilisant une charge animale nettement supérieurs au potentiel de production des parcours, à pour effet de réduire leur capacité de régénération naturelle (Homida et Nedjimi, 2006).

b. Défrichement et extension de la céréaliculture

Au cours des années 70, l'extension de la céréaliculture fut caractérisée par la généralisation de l'utilisation de la charrue à disques pour le labour des sols à texture grossière fragile. Les labours par ces derniers constituent en un simple grattage de la couche superficielle accompagné de la destruction quasi totale des espèces pérennes. Ces techniques de labour ont aussi une action érosive, détruisant l'horizon superficiel et stérilisant le sol, le plus souvent de manière irréversible (Homida et Nedjimi, 2006).

Le Houerou (1995) estime que le degré de recouvrement des pérennes de la végétation steppique à diminué d'environ 25% en moyenne à moins de 5%.

Actuellement, la superficie des parcours steppiques défrichés, labourés et cultivés aurait dépassé les 2.7 millions d'hectares. Ceux-ci sont essentiellement consacrés à la céréaliculture fourragère avec des rendements très faibles et aléatoires (Bencherif, 2011).

L'inaccessibilité des combustibles industriels et l'absence de véritables forêts ont conduit les nomades à arracher les plantes capables à subvenir à leur besoins (Hadeid, 2008).

c. Evolution de la population steppique

La croissance démographique et la sédentarisation de plus en plus importante ont eu

comme conséquences l'augmentation de la pression sur les ressources et l'intervention anarchique de l'homme. La pression humaine continue est à l'origine de l'important déséquilibre écologique des zones steppiques (Nedjimi et Guit, 2012).

d. Les politiques d'organisation de la steppe

L'extension de la céréaliculture et la surexploitation des parcours sont les résultats de l'échec des déférentes politiques menées en milieu steppiques depuis l'indépendance. Ces politiques ont toujours ignoré l'organisation traditionnelle des éleveurs ainsi que leurs préoccupations (Homida et Nedjimi, 2006).

I.5. La dégradation des terres et la désertification

La désertification, selon la définition donnée par la Convention Internationale de Lutte contre la Désertification : " La désertification est la dégradation des terres dans les zones arides, semi arides et sub-humides sèches résultant de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines". Ce n'est donc pas seulement, comme on se le représente souvent, l'avancée du désert et l'ensablement. Il s'agit en réalité d'un phénomène plus vaste, plus dynamique, qui affecte tous les écosystèmes et qui altère les potentialités de production de grands espaces (Korachi, 1995).

Les pratiques agricoles et d'élevage sont parmi les causes majeures de la dégradation des parcours steppiques. Leur responsabilité dans la dégradation du couvert végétal et dans l'accélération du phénomène d'érosion des sols (Daoudi et *al.*, 2010).

La dégradation des terres réduit ou détruit la capacité des terres à produire (agriculture, foresterie, pastoralisme). Elle résulte d'activités humaines excessives ou inadaptées (surpâturage, mauvaise gestion des terres, prélèvement excessif de bois de feu) entraînant l'érosion, la perte de fertilité et la salinisation des sols. La baisse de la productivité des sols atteint 50 % dans certaines régions. Le stade ultime de la dégradation est irréversible : les sols deviennent alors stériles (Sarkozy, 2011).

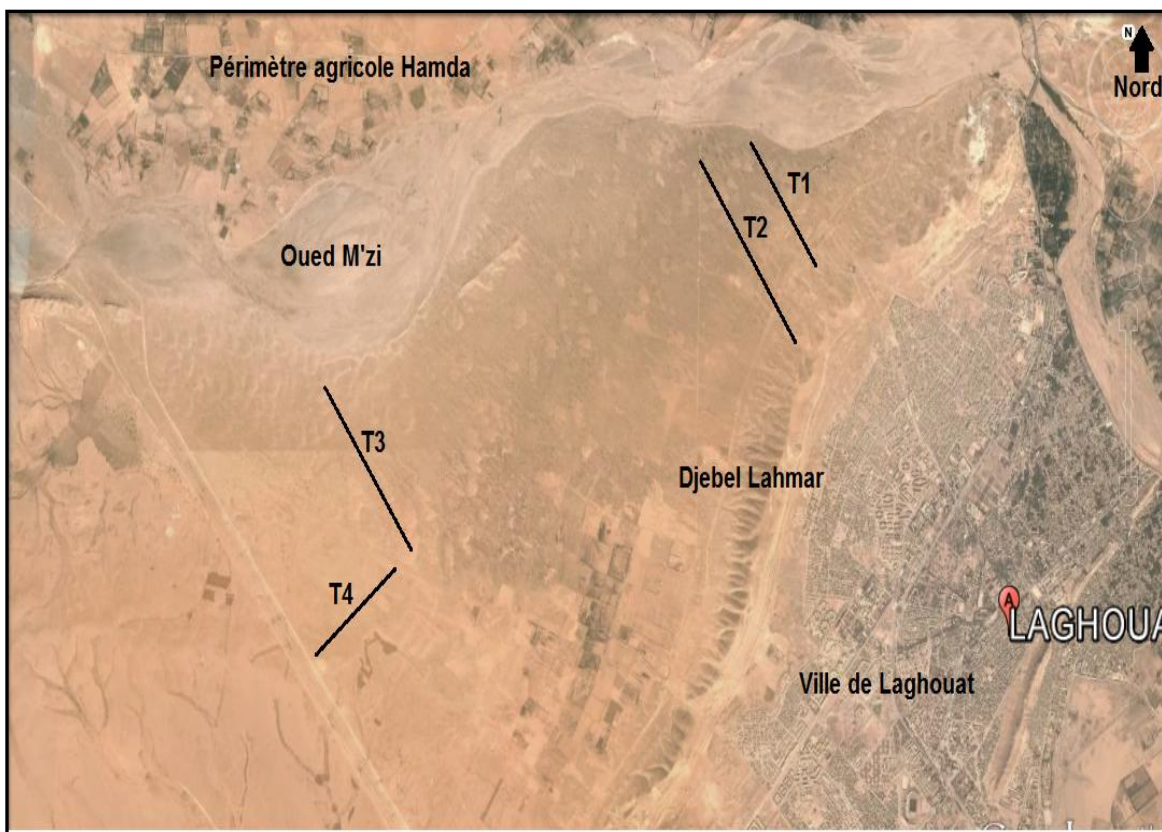
Parmi les indices courants de dégradation des terres figurent la réduction de la quantité et de la diversité des espèces animales et végétales, la perte de la capacité de rétention en eau, la diminution de la fertilité du sol et une érosion croissante due au vent et à l'eau. En fin de compte, les communautés végétales et animales en arrivent à se trouver si radicalement simplifiées que des espèces précédemment communes dans une région ne

peuvent plus survivre dans un environnement si profondément différent, à moins d'y être délibérément réintroduites (Hountondji, 2008).

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude (Fig.01) est localisée dans Theniet El R'mel (passage, chemin ou voie de sable) une zone de formations sableuses peu végétalisées. Elle est située à 4 km à l'ouest de la ville de Laghouat. Limitée à l'Est par le Djebel Lahmar dit Kaf Mokrane qui sépare la zone d'étude de la ville de Laghouat. Vers le Nord elle est limitée par l'oued M'zi et à l'Ouest elle est limitée par Djebel Deloua.



Source : google earth et nos tracés

Figure 01. Localisation géographique de la zone de Kaf Mokrane

II.2. Méthode d'étude

La méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail repose sur la collecte de données sur terrain et par la suite leurs traitements.

Le travail de terrain a été précédé par une étape dans laquelle nous nous sommes intéressés à vérifier des aspects reflétés par les croûtes superficielles du sol de la région d'étude sur l'image Satellite (Google Earth). A cet effet quatre transects (T1, T2, T3, T4) sur l'image satellite ont été tracés dans la zone choisie pour mener le travail. Les aspects à

vérifier reflètent des taches différemment colorées entre sombre et claire. Nous avons alors géo référencé les extrémités des transects dans un GPS Garmin st62. Les points introduits dans le GPS nous permettrons de nous déplacer en ligne continue sur le terrain.

II.2.1. Méthode de travail sur le terrain

Au cours du travail de terrain nous avons procédé à une collecte de données en nous déplaçant sur les lignes tracées (transects). Au cours de nos déplacements sur les lignes tracées nous nous sommes basés sur des observations physionomiques pour discerner les lieux (Points de mesure) que nous avons considéré individuellement site ou station. Chacun des sites est alors géo référencé.

En écologie, une « station » est un paysage végétal homogène ; ‘c’est un espace dans lequel les principaux facteurs écologiques, roche mère et sol, microclimat et exposition de la végétation ligneuse et herbacée ; sont homogène’’ (Duchaufour, 1977).

II.2.2. Caractérisation d’une station

Dans chacune des stations nous avons procédé à la caractérisation du sol et de la végétation.

II.2.3. Prélèvement et préparation des échantillons du sol

Afin de caractériser les lieux, des échantillons de sol sont prélevés aléatoirement dans un rayon de 50 m autour du point central de la station (Fig. 02).

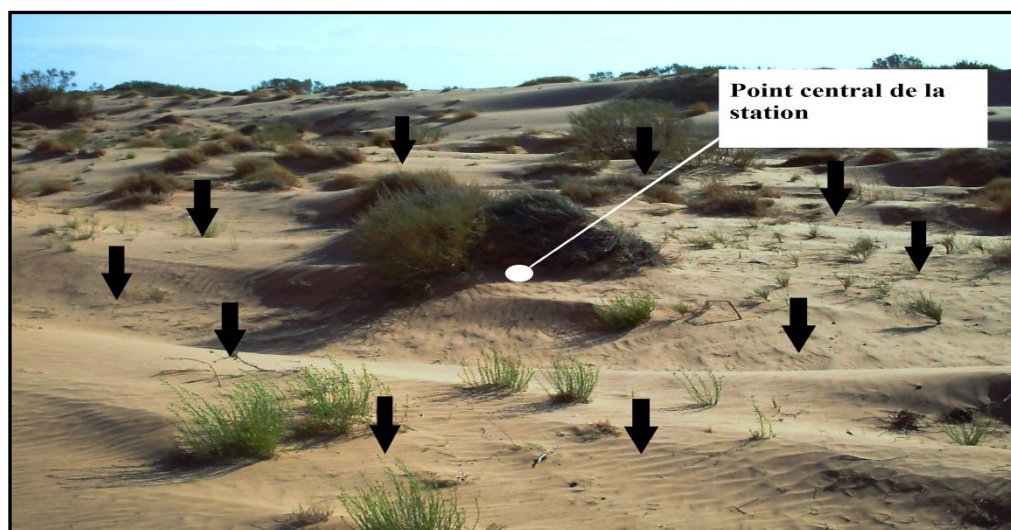


Figure 02. Emplacement des prélèvements du sol.

Ces échantillons ont été prélevés, à l'aide d'une spatule. La prise s'effectue en général sur la croûte superficielle (2 cm) du sol. Par la suite ils ont été introduits dans des sacs en plastique, fermés hermétiquement et étiquetés selon la position du site (Point) (Fig. 03).



Figure 03. Ensemble des échantillons du sol

II.3. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol au laboratoire

Les analyses physico-chimiques des échantillons de sol prélevés au laboratoire, concernent la granulométrie, le pH, la CE les bases échangeables (Na^+ , P , CaCo_3 , et K^+), l'humidité et le taux de matière organique présente.

II.3.1. Analyses physiques

a. Détermination de l'humidité

La détermination de l'humidité des échantillons de sols a été basée sur la méthode décrite par Mathieu et Pielain (1998), dont le mode opératoire est le suivant :

- Peser dans un bêcher, préalablement taré, un poids P exactement connu de terre tamisée à 2 mm (10 g par exemple) ;
- Porter à l'étuve pendant 24 heures à 105 °C ;
- Retirer le bêcher de l'étuve et le laisser refroidir dans un dessiccateur ;
- Peser.

Le pourcentage d'humidité se déduit des pesées suivantes :

- Bêcher vide = P ;

- Bêcher + terre séchée à l'air = P' ;
- Bêcher + terre séchée à 105 °C = P''.

La teneur en eau en pour cent de la terre séchée à l'air est de :

$$\text{Eau \%} = [(P' - P'') / (P' - P)] * 100$$

b. Mesure de pH_{eau}

La valeur est lue à l'aide d'un pH-mètre, l'électrode est plongée dans une suspension sol/eau préparée avec un rapport de (1/2,5) (Aubert, 1978).

La mesure elle-même est fort simple, rapide, et la reproductibilité est excellente, tant que l'on se sert d'un même appareil.

c. Mesure de conductivité électrique (CE)

La valeur est lue par un conductivimètre, l'électrode est plongée dans une suspension sol/eau, avec un rapport de (1/5) (Aubert, 1978).

d. L'analyse granulométrique

Avant de faire l'analyse granulométrique, nous avons procédé à la destruction des ciments calcaires et organiques des échantillons de sols respectivement à l'aide de HCl (1N) et H₂O₂. Par la suite les échantillons sont rincés à l'eau distillée et séchés à 105 °C jusqu'à stabilisation du poids.

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 de particules minérales constituantes des agrégats.

La détermination de la distribution granulométrique du sol a été effectuée en deux étapes, soit :

1. Le tamisage mécanique des particules dont la grosseur est compris entre 50 µm et 2000 µm. cinq classes de particules minérales identifiées par leur taille après destruction de la matière organique :
2. L'essai sédimentométrique a été effectué sur la portion des particules de dimensions

inférieures à 50 μm .

La sédimentation est basée sur la loi de Stokes qui nous dit que la vitesse de chute d'une particule sphérique, tombant librement dans un fluide, est proportionnelle au carré de son rayon et à sa densité. Cette vitesse est aussi en relation avec la viscosité et la densité du fluide (l'eau, dans le cas présent) (Mathieu et Pieltain, 1997).

D'après Windisch (1999), il est possible de relier cette vitesse de chute au diamètre des particules à partir de l'équation suivante dérivée de la loi de Stokes :

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{G_s - G_w}}$$

Où

η = viscosité du fluide (g/cm \times s)

v = vitesse de chute des particules (cm/s)

G_s = densité relative des solides

G_w = densité relative du fluide (varie avec la température)

Les conditions de l'essai (température, agent dispersant) influencent les résultats obtenus. Quelques corrections sont nécessaires. Une correction combinée pour l'agent dispersant et la température doit être effectuée en cours d'essai à partir de lectures sur un cylindre témoin (Windisch, 1999).

e. La rugosité

La rugosité est un paramètre permettant de quantifier l'irrégularité d'une surface. Plus une surface est irrégulière, plus elle est dite rugueuse.

L'appareil utilisé pour cette estimation est un rugosimètre à aiguille constitué d'une plaque et de 50 aiguilles de mêmes dimensions qui sont mobiles verticalement. Lors de la mesure, on dépose l'appareil sur le sol et d'une façon correcte pour ne pas gêner la surface. On prend une photo pour chaque mesure, comprenant les sommets de toutes les aiguilles au niveau de la plaque (Fig. 04).



Figure 04. Appareil d'un rugosimètre à aiguille (originale)

Un logiciel permet de donner la position de chaque aiguille et de calculer par la suite l'écart-type des hauteurs des aiguilles données exprimant la rugosité du sol (Stolte, 2003).

II.3.2. Analyses chimiques

a. Détermination de la teneur en matière organique par calcination

D'après Giva (2011) l'appréciation de la teneur en matières organiques par la méthode de (PAF : perte au feu), sert à une détermination pondérale basée sur la calcination (550°C) de la matière organique en combustion sèche.

La formule suivante permet de déterminer la proportion de matière organique contenue dans le sol :

$$\text{MO}\% = [(\text{Poids sol sec} - \text{poids sol calciné}) / \text{Poids sol sec}] * 100$$

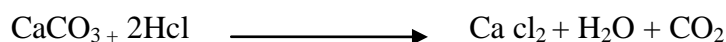
Lorsque l'échantillon contient du carbone minéral (carbonates), le carbone organique est calculé en déduisant du carbone total donné par la mesure, la fraction provenant des carbonates (CIRAD, 2004).

La matière organique est obtenue par la formule :

$$\text{MO} = \text{C organique} \times 1.724$$

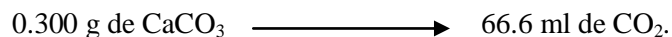
b. Détermination de calcaire total

Le CaCO_3 est dosé à l'aide de la méthode volumétrique par le calcimètre de Bernard. On utilise la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et gaz carbonique. Ce dernier est recueilli dans un tube gradué en ml ou en unités inférieures (Aubert, 1978).



1 molécule gramme de carbonate de calcium (100 g) donne 22.41, de gaz carbonique à la pression normale et à zéro degré.

1 litre de gaz carbonique obtenu dans les mêmes conditions, est engendré par $100/22.4 = 4.5$ g de CaCO_3 .



c. Détermination de phosphore total

Dans le sol, le phosphore assimilable se trouve essentiellement sous forme de phosphate de calcium (monocalcique), de fer et d'alumine. Les phosphates de calcium sont extraits par une solution acide à faible concentration, alors que ceux de fer et d'alumine le sont surtout par une solution alcaline (Aubert, 1978).

En milieu acide, les phosphates donnent de l'acide phosphorique. Ce dernier en présence de molybdate d'ammonium, forme des complexes phospho-molybdiques. Ces complexes ont la propriété d'être réduits par une solution de chlorure stanneux ; ils sont alors transformés en bleu de molybdène. En mesurant au colorimètre l'intensité du bleu de molybdènes, on détermine la concentration en acide phosphorique (Aubert, 1978).

Pour mesurer la concentration en phosphate de nos échantillon nous avons du effectuer une gamme étalon de KH_2PO_4 .

d. Dosage du potassium et du sodium par spectrophotométrie d'émission

Le potassium et le sodium sont des éléments facilement excitables. En effet au sein d'une flamme relativement froide, telle que celle obtenue à partir du butane, les atomes Na^+ et K^+ émettent des radiations lumineuses dont certaines ont des longueurs d'onde spécifiques de ces éléments. L'intensité des radiations caractéristiques d'un élément étant proportionnelle à la concentration de celui-ci, il suffit d'évaluer quantitativement l'intensité des raies caractéristiques à l'aide de cellules photoélectroniques pour connaître la teneur de l'élément dosé (Aubert, 1978).

Ainsi en spectrophotométrie de flamme, l'élément à doser est dissous dans une solution adéquate, puis vaporiser dans une flamme. Les atomes excités émettent un rayonnement ; seules les raies caractéristiques sont sélectionnées par des monochromateurs avant d'être captées par des cellules photo électroniques (Aubert, 1978).

Les concentrations pour nos échantillons sont déterminées graphiquement grâce à la gamme étalon de potassium.

II.4. Etude floristique

II.4.1. Méthode d'étude floristique

L'échantillonnage subjectif est défini par Le Floch (2008) comme étant : « L'échantillonnage le plus utilisé en phytosociologie, car le plus simple à mettre en œuvre. L'opérateur ne dispose généralement que d'un minimum d'informations sur le terrain. Cet échantillonnage est donc souvent pratiqué en l'absence de données de terrain afin d'avoir une idée préliminaire ».

Il consiste à choisir des éléments de façon à obtenir des informations objectives et d'une précision mesurable sur l'ensemble de ces éléments (Gounot, 1969).

Deux étapes distinctes d'échantillonnage, relevant bien entendu toutes deux de la même méthode, sont à mener. La première, la plus ample, concerne la caractérisation initiale des milieux et la seconde le suivi-surveillance (Le Floch, 2008).

II.4.2. Choix des sites à étudier

Un site est une surface où les conditions écologiques sont considérées comme étant homogènes et où la végétation est uniforme (Le Floch, 2008).

II.4.3. Emplacement des relevés

Le choix de l'emplacement est un élément essentiel dans l'observation d'un milieu du fait de la nécessité de sa représentativité (Prevost, 1999).

L'emplacement des relevés dans chaque station, a été choisi en fonction de l'homogénéité physionomique et géomorphologique des faciès (Le Floc'h, 2008).

II.4.4. Relevé floristique (PARKER)

Selon Aidoud (1984), Le relevé phytoécologique est considéré généralement comme un échantillon, il est en réalité un ensemble de mesures, chacune correspondant à une variable.

Pour l'étude quantitative, on a adopté une méthode linéaire s'appelle la méthode de PARKER qui est à notre avis la plus pratique et qui répond le mieux à l'évolution de la végétation est ouverte (Fig. 05).

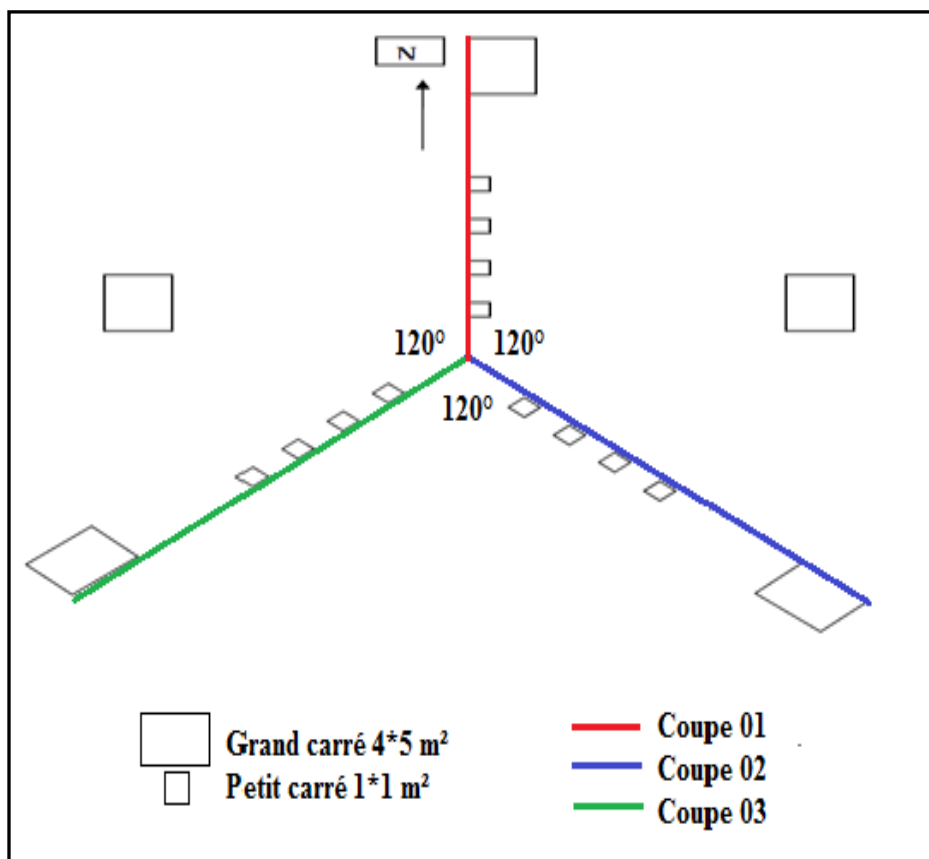


Figure 05. Schéma de la méthode de PARKER

D'ailleurs, c'est une méthode fréquemment utilisée pour l'évaluation du couvert végétal des zones steppiques en Australie en Afrique du Sud (Daget et Poissonnet, 1971).

Principe de la méthode de PARKER :

Du centre de la station (M), un ruban est tendu d'une longueur de 30 m, dans le sens Nord, désigné à l'aide d'une boussole. Une barre de métal est posé au centre pour attacher à lui le ruban et faisant la coupe n° 01. On prend la lecture en tombant une barre fine verticalement chaque 30 cm tout au long du ruban et du côté droit. On note tout ce qui apparaît (sol nu, cailloux, plante, débris,...) au totale sont comptées 100 lectures.

On bouge le ruban d'un angle de 120° aux aiguilles de montre (le point attaché au centre reste inchangé) pour faire la coupe n° 02 et on prend les lectures de la même manière que précédemment.

De la même façon, on bouge le ruban de 120° à la direction des aiguilles de montre pour faire la coupe n° 03.

On délimite des placettes de 1*1m² et des placettes de 4 * 5 m². Une superficie totale de 112 m² est alors prise en considération et est sensé représentative du point (Station ou site).

II.4.5. Identification des espèces

Afin d'établir la liste floristique, les espèces sont prélevées et misés dans des sacs codés. L'identification des espèces a été effectuée selon les guides spécialisés de Ozenda (1954) et Quezel et Santa (1954 ; 1962-1963) et un herbier a été réalisé.

II.4.6. Analyse du patrimoine biologique

a. La richesse totale (S)

Elle représente en définitive un des paramètres fondamentaux caractéristiques d'un peuplement et représente la mesure la plus fréquemment utilisée de sa biodiversité (Ramade, 2003).

La richesse totale S, est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné. La richesse totale d'une biocénose correspond à la totalité des espèces qui la composent (Ramade, 2003).

On utilise l'échelle de Daget et Poissonet (1991) :

➤ Raréfiée : < de 5 espèces ;

- Très pauvre : de 6 à 10 espèces ;
- Pauvre : de 11 à 20 espèces ;
- Moyenne : de 21 à 30 espèces ;
- Assez riche : de 31 à 40 espèces ;
- Riche : de 41 à 60 espèces ;
- Très riches : de 61 à 75 espèces.

b. Diversité spécifique (H')

L'indice de Shannon et Weaver, largement utilisé ; sa valeur est calculée à partir de données quantitatives ou semi-quantitatives de la végétation. Il a une valeur entre 0 et 5 (Le Floch, 2008).

Dans l'évaluation de la diversité spécifique, interviennent en principe les abondances (traduisant le nombre d'individus ou effectif) des espèces constitutives de la biocénose (ou de la communauté) (Lacoste et Salanon, 1999).

La diversité est fonction de la probabilité P_i de présence de chaque espèce i dans un ensemble d'individus. La valeur de H' (indice de SHANNON) est donnée par la formule :

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \log_2 p_i)$$

(Les logarithmes utilisés étant de base 2, H' s'exprime en bit : binary digit).

Où :

S = nombre total d'espèces

P_i (n_i/N) = fréquence relative des espèces

n_i = fréquence relative de l'espèce j dans l'unité d'échantillonnage

N = somme des fréquences relatives spécifiques

c. Recouvrement global de la végétation RGV %

Le recouvrement total de la végétation est défini théoriquement comme le pourcentage de la surface du sol qui serait recouvert par les végétaux (Gounot, 1969).

Selon Djaballah (2008), Le degré de recouvrement est déterminé par la projection des organes aériens sur le sol. L'approche du calcul du recouvrement est variable en fonction de la forme de chaque plante, qui peut être circulaire, dans ce cas on calcule le diamètre

moyen (d) du végétal, soit rectangulaire où on calcul respectivement la longueur "a" et la largeur "b" du végétal.

A partir de cela la surface recouverte est calculée

$$\mathbf{Rc (c) = \pi * (d/2)^2}$$

$$\mathbf{Rc (r) = a * b}$$

Où :

Rc (c) c'est le recouvrement circulaire

Rc (r) c'est le recouvrement rectangulaire

d. Fréquence spécifique (FSi)

La fréquence spécifique exprime la probabilité de présence d'une espèce *i* dans l'unité échantillonnée. Elle est égale au rapport exprimé en pourcent du nombre de fois (**ni**) où l'espèce (*i*) a été recensée le long de la ligne au nombre totale de points de lecture (**N**) (Le Floc'h, 2008 ; Hammouda, 2009).

$$\mathbf{FSi \% = \frac{ni \times 100}{N}}$$

D'où

$$\mathbf{\sum FSi = RGV}$$

e. Contribution spécifique (CSi)

La contribution spécifique se définit comme le rapport de la fréquence spécifique d'une espèce à la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces recensées.

La contribution spécifique (CSi) d'une espèce *i* définit sa participation au tapis végétal. Elle est égale au quotient de la fréquence spécifique centésimale de ce taxon (FSi) par la somme des fréquences spécifiques de tous les taxons rencontrés dans le relevé (Le Floc'h, 2008).

$$\mathbf{CSi \% = \frac{FSi \times 100}{\sum FSi}}$$

Avec ($n = i, i = 1$)

Où :

Csi : contribution spécifique de l'espèce *i*

Fsi : fréquence spécifique de l'espèce *i*

f. La densité

Est exprimée en nombre d'individu par unité de surface. Pour faciliter la mesure de la densité, on délimite des placettes de $1 \times 1 \text{ m}^2$ et des placettes de $4 \times 5 \text{ m}^2$. Une superficie totale de 112 m^2 est alors prise en considération et est sensée représentative du point (Station ou site) (Djaballah, 2008).

La densité des plantes = Le nombre des plantes/ 112 m^2

Puis la densité se transformera et se mentionnera en hectare.

Densité à l'hectare = (Densité des placettes/ Superficie des placettes) * 10000

II.4.7. Types biologique

Daget (1980) définit le spectre biologique comme étant : « Une stratégie d'adaptation de la flore dans son ensemble aux conditions de milieu, plus particulièrement aux conditions climatiques ».

Pour les différents types de végétation, des critères de regroupement des espèces peuvent être fondés sur les stratégies utilisées pour leur survie durant la période défavorable. Etablie sous des conditions tempérées froides. Selon Raunkiaer (1934) et Molinier et Muller (1938), la forme biologique définie par la hauteur du bourgeon terminal par rapport au sol pendant la mauvaise saison :

- Phanérophytes (Ph) : ce sont les plantes ligneuses (arbres ou arbustes) dont les bourgeons hivernaux sont situés à plus de 50 cm du sol.
- Chaméphytes (Ch) : ce sont les plantes herbacées ou plus ou moins lignifiées, dont les bourgeons sont à moins de 50 cm du sol.
- Hémicryptophytes (H) : ce sont les plantes herbacées, vivaces ou bisannuelles, dont

les bourgeons hivernaux sont au ras du sol, souvent entourés de feuilles.

- Géophytes (G) : ce sont les plantes herbacées, bisannuelles ou vivaces, passant l'hiver sous la forme de bulbes, rhizomes ou tubercules.
- Thérophytes (T): ce sont des plantes annuelles, passant l'hiver à l'état de graines ou de plantules lorsque la graine a peu germé à l'automne.

Les différents types biologiques renseignent ainsi sur les formes de croissance et donc sur la réponse des végétaux aux conditions locales de milieu et de perturbation (Aidoud, 1983).

II.5. Analyses des données collectées sur le terrain

Les données de sols collectées ont subi des tests ANOVA à l'aide du logiciel Minitab. Cependant pour les données de la végétation nous avons procédé à une classification ascendante hiérarchique (C A H), de la distribution des espèces inventoriées à l'aide du même logiciel Minitab.

II.6. Climatologie de la zone d'étude

Une station météorologique est placée dans la zone d'étude et est composée d'un système d'acquisition de données de type CR1000 (Campbell Scientific) qui permet la collecte et l'enregistrement des données, d'un système d'alimentation composé d'un panneau solaire alimentant une batterie de 12 volts et de toute une série de capteurs (Fig. 06).

Les capteurs branchés sur la station sont les suivants :

- 1- quatre anémomètres placés à 0,45 m, 0,75 m, 1,1m et 3 m au-dessus du niveau du sol. Ils servent à établir les profils du vent,
- 2- une girouette située à 3 m du sol afin de connaître la direction des vents,
- 3- un pluviomètre à auget basculeur qui surplombe le sol de 2 m où chaque basculement représente 0,2 mm de pluie,
- 4- deux sondes de température situées environ 0,6 m et 2,2 m du sol.

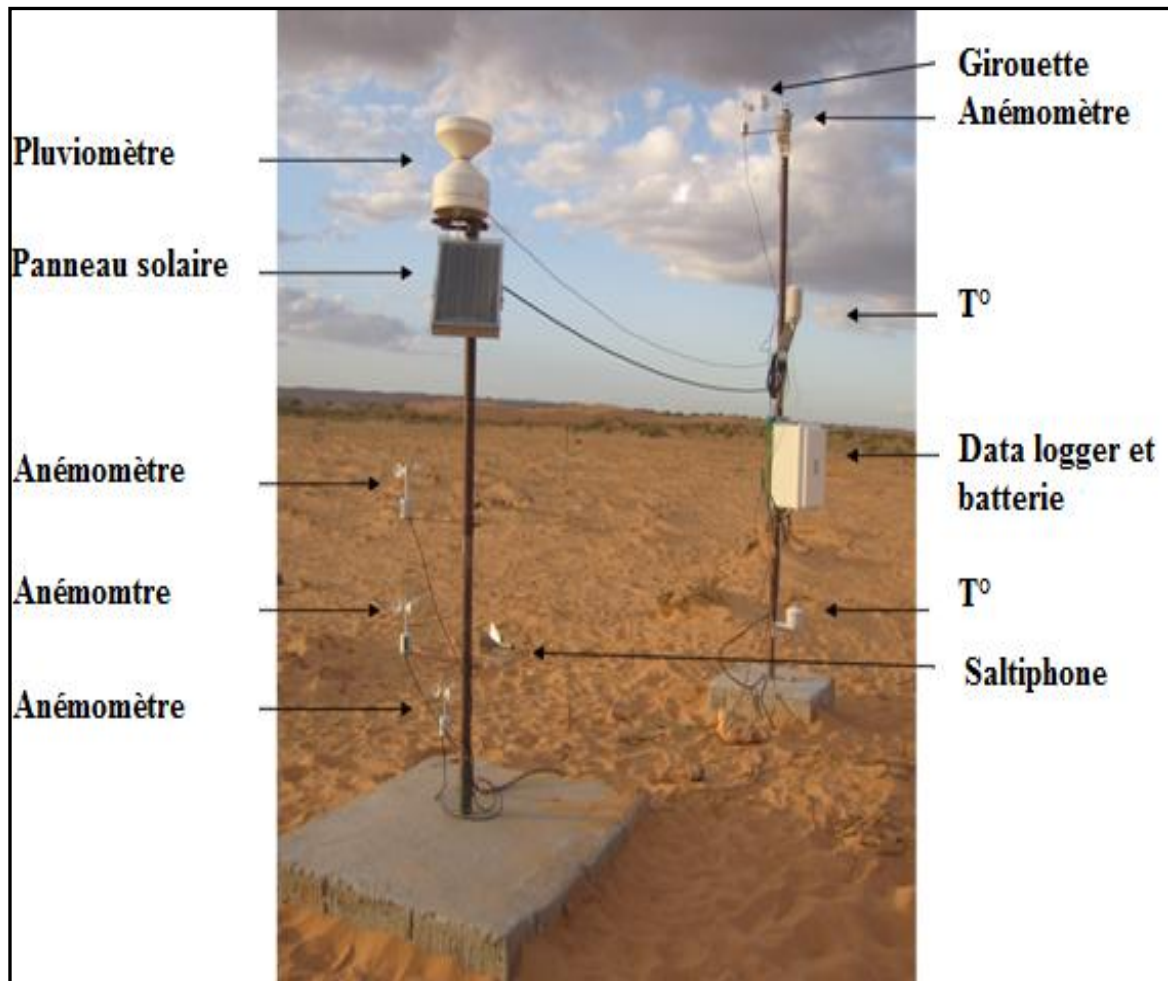


Figure 06. Représentation de la station météo de la zone d'étude (cliché: Goffin N. Mars 2009, Laghouat, Algérie).

III. RESULTATS ET ANALYSES

III.1. Climatologie de la zone d'étude

La climatologie de la zone d'étude a concernée la période de Septembre 2013 à Mai 2014.

III.1.1. Températures

Durant la période de notre travail, on remarque que la température maximale est enregistrée en Septembre 2013. A partir de Septembre la température commence à chuter pour atteindre des minimums en Décembre 2014. Par la suite les températures reprennent une phase d'augmentation (Fig. 07).

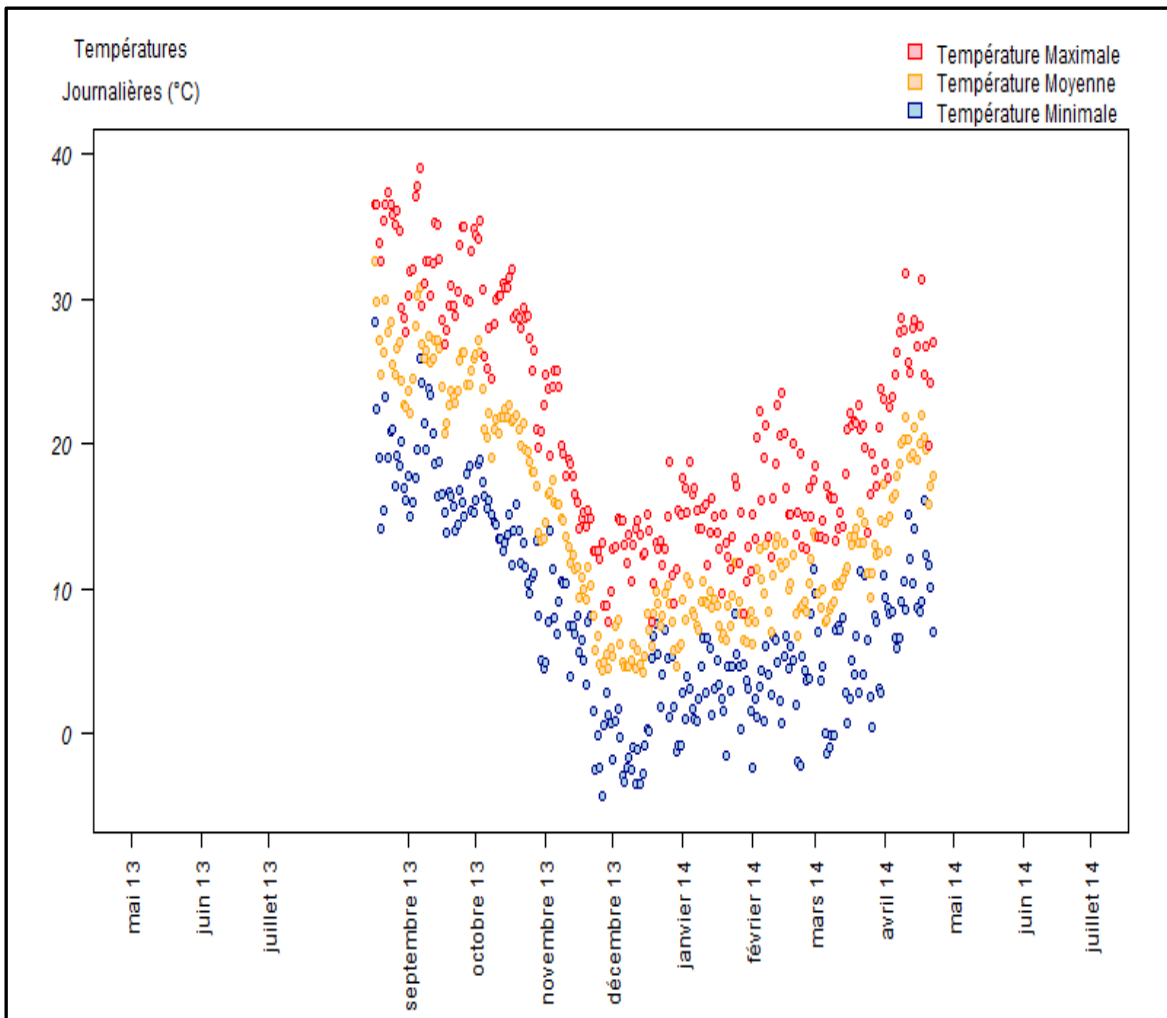


Figure 07: Evolution de la température journalière dans la zone d'étude durant la période de septembre 2013 à Mai 2014.

III.1.2. Précipitations

Les précipitations journalières enregistrées montrent que de Septembre 2013 à mi-October sont inférieurs à 10 mm. De la mi-October 2013 à la fin Décembre 2013 les mois sont secs.

A partir du début de 2014 et jusqu'au mois de Mars 2014 les précipitations journalières n'ont pas dépassé les 50 mm. En Mars 2014 les plus fortes précipitations sont enregistrées dépassant 150 mm. A partir d'Avril suivant une phase de sécheresse est enregistrée (fig. 08)

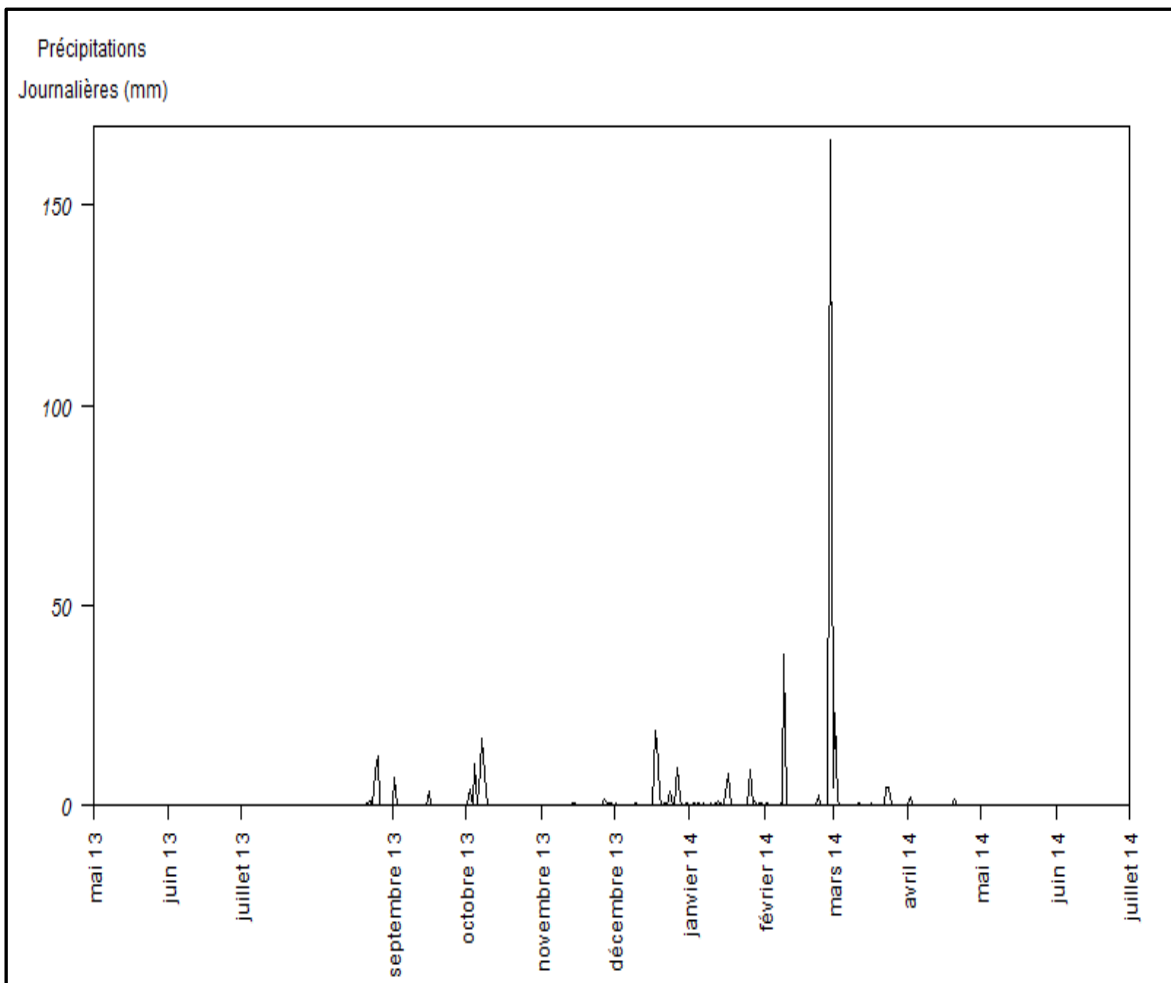


Figure 08: Evolution des précipitations journalières dans la zone d'étude entre septembre 2013 et juin 2014.

III.1.3. Vent

Les plus fortes vitesses de vent sont enregistrées en Janvier 2014. Entre Février 2014 et fin Mars 2014 on observe des vitesses de vent maximales qui dépassent 5 m/s. A partir de Mars 2014 les vitesses du vent chutent (fig. 09).

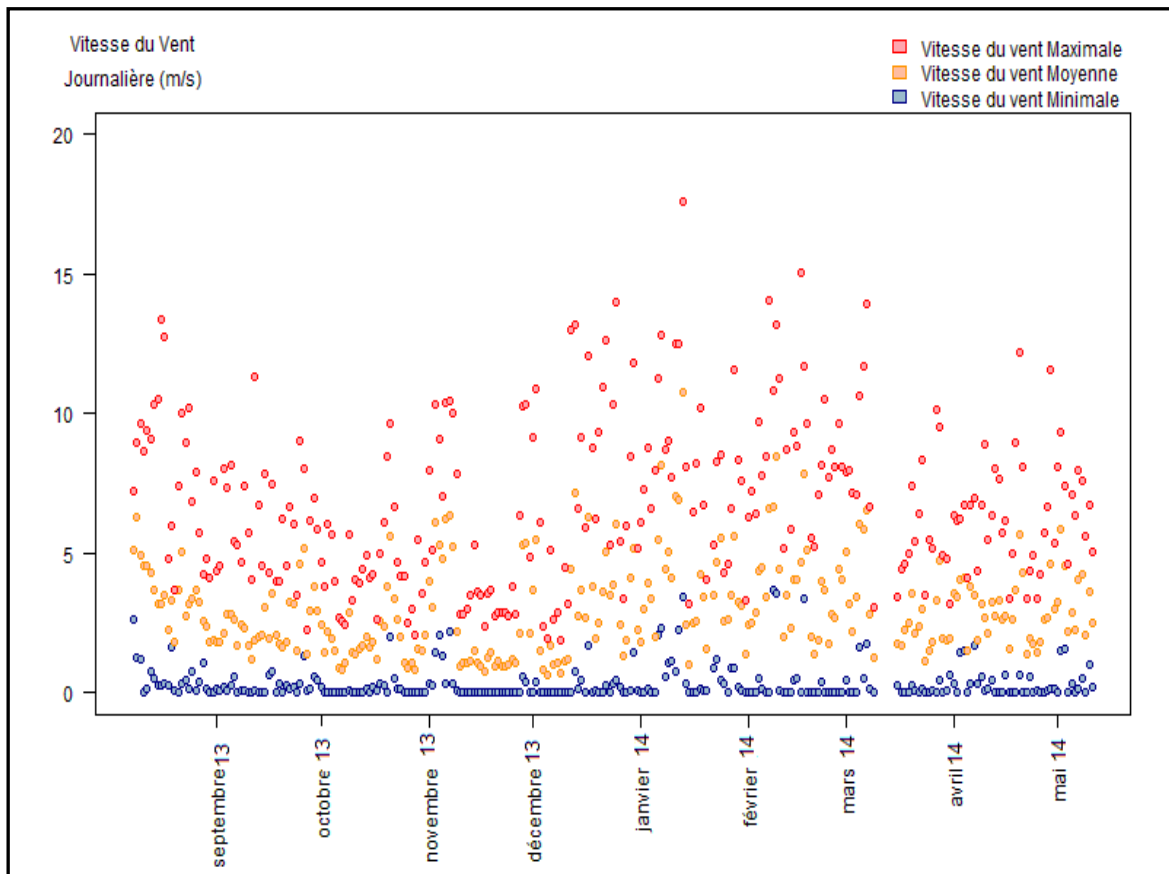


Figure 09: Evolution de la vitesse du vent dans la zone d'étude durant la période de septembre 2013 à Mai 2014

III.1.4. Direction du vent

Entre Septembre 2013 et Mai 2014, la direction du vent oscille entre le Nord et le sud-Ouest, avec une dominance de Nord-Ouest (Fig. 10).

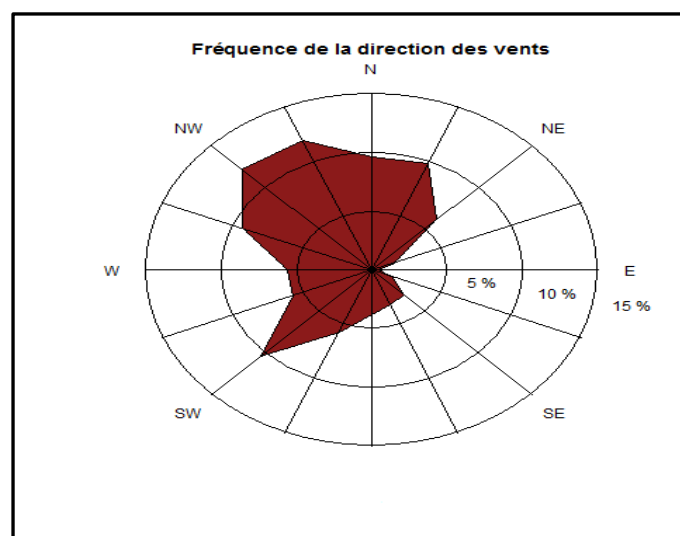


Figure 10. Fréquence de la direction des vents durant la période de Septembre 2013 à Mai 2014.

III.2. Caractérisation des lieux

Les aspects physionomiques observés sur le terrain lors de nos déplacements sur les quatre transects nous ont permis d'identifier cinq unités géomorphologiques (Fig. 11).

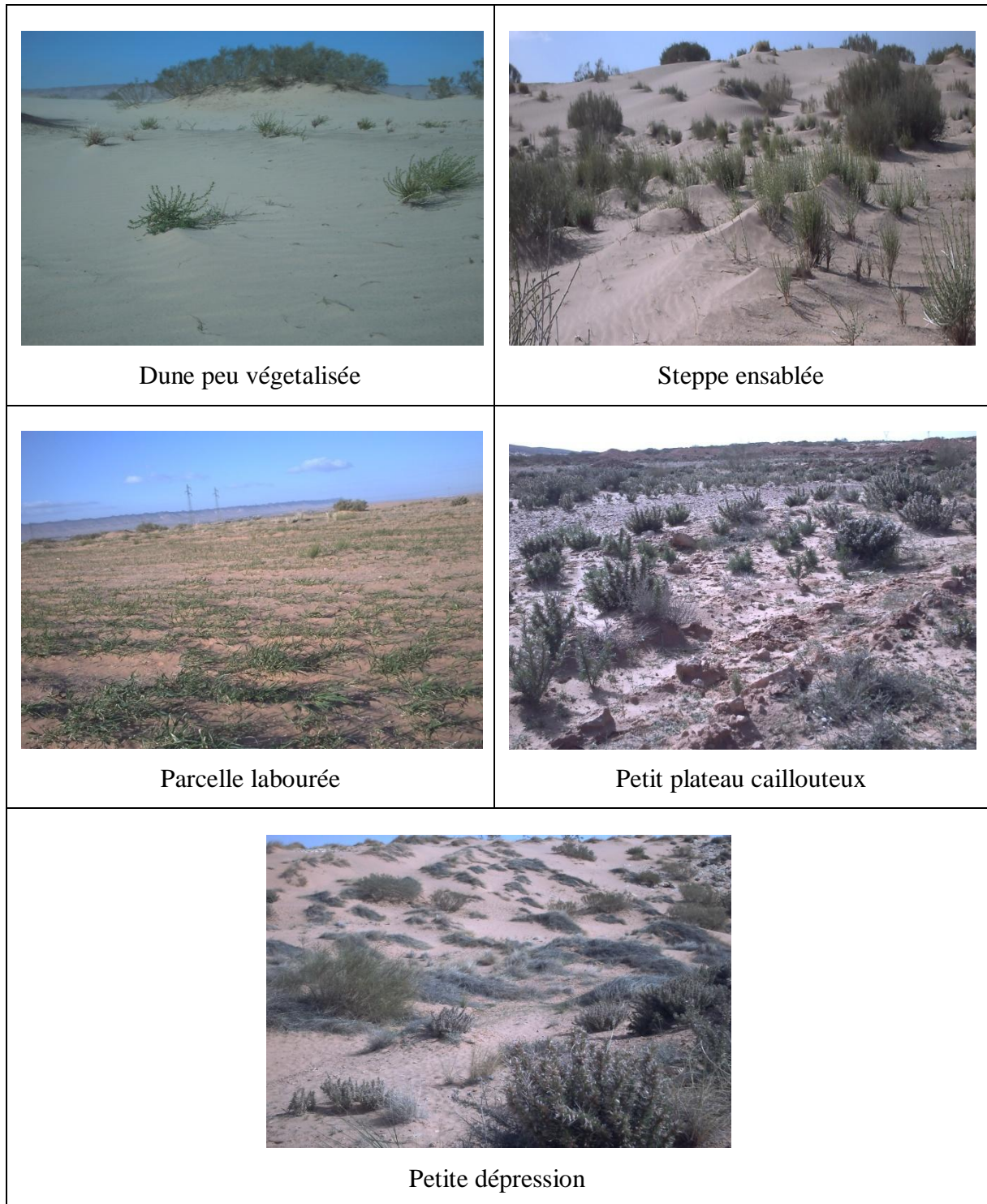


Figure 11. Différentes unités géomorphologiques identifiées dans la zone d'étude.

III.3. Emplacement des stations (sites)

En fonction des quatre transects chacune des unités géomorphologiques a été codée. Le code de chacun des points (Station ou Site) comporte le code de l'unité géomorphologique (U1, U2, U3, U4, U5) et un numéro qui lui a été attribué (S1, S2, S3.....Sn).

Au total selon nous avons à caractériser 33 stations réparties en cinq unités géomorphologiques (Tab. 01).

Tableau 01 : Codes et coordonnées des points (stations ou sites) identifiés sur les quatre transects.

Points et codes attribués	E	N	Elévation (m)
U1S1	33° 49' 19,0"	002° 46' 15,0"	799
U1S2	33° 49' 10,1"	002° 46' 26,7"	795
U1S3	33° 49' 02,2"	002° 46' 41,0"	802
U1S4	33° 49' 59,7"	002° 50' 3,4"	786
U1S5	33° 49' 46,3"	002° 50' 25,4"	796
U1S6	33° 49' 11,8"	002° 50' 34,1"	804
U2S1	33° 49' 13,5"	002° 46' 21,9"	799
U2S2	33° 49' 5,4"	002° 46' 35,4"	798
U2S3	33° 49' 00,2"	002° 46' 44,9"	800
U2S4	33° 48' 56,8"	002° 46' 50,6"	799
U2S5	33° 48' 48,4"	002° 47' 2,6"	805
U2S6	33° 50' 2,5"	002° 50' 1,5"	786
U2S7	33° 49' 43,2"	002° 50' 7,9"	786
U2S8	33° 49' 36,6"	002° 50' 8,6"	790
U2S9	33° 49' 15,2"	002° 50' 10,1"	812
U2S10	33° 50' 3,0"	002° 50' 24,5"	782
U2S11	33° 49' 38,0"	002° 50' 27,7"	802
U2S12	33° 49' 26,7"	002° 50' 29,2"	806
U3S1	33° 49' 37,9"	002° 50' 8,7"	787
U3S2	33° 49' 28,9"	002° 50' 9,4"	794
U3S3	33° 49' 52,0"	002° 50' 24,4"	791
U3S4	33° 49' 41,6"	002° 50' 27,5"	800
U3S5	33° 47' 44,7"	002° 47' 21,0"	809
U3S6	33° 47' 49,5"	002° 47' 26,4"	810
U4S1	33° 49' 33,3"	002° 50' 9,1"	793
U4S2	33° 49' 28,9"	002° 50' 29,6"	807
U4S3	33° 49' 16,9"	002° 50' 30,1"	826
U4S4	33° 47' 38,8"	002° 47' 16,3"	807
U4S5	33° 47' 46,3"	002° 47' 22,7"	809
U4S6	33° 47' 52,7"	002° 47' 29,6"	810
U5S1	33° 49' 08,4"	002° 46' 28,8"	800
U5S2	33° 48' 58,6"	002° 46' 47,5"	799
U5S3	33° 48' 51,9"	002° 46' 57,8"	797

La (fig.12) nous permet de constater que l'élévation de la surface du sol varie de manière significative d'une unité géomorphologique à l'autre. Elle présente la plus forte moyenne (808.6 m) dans les petits plateaux caillouteux. Les dunes peu végétalisées, montrent la plus faible moyenne (796.8 m).

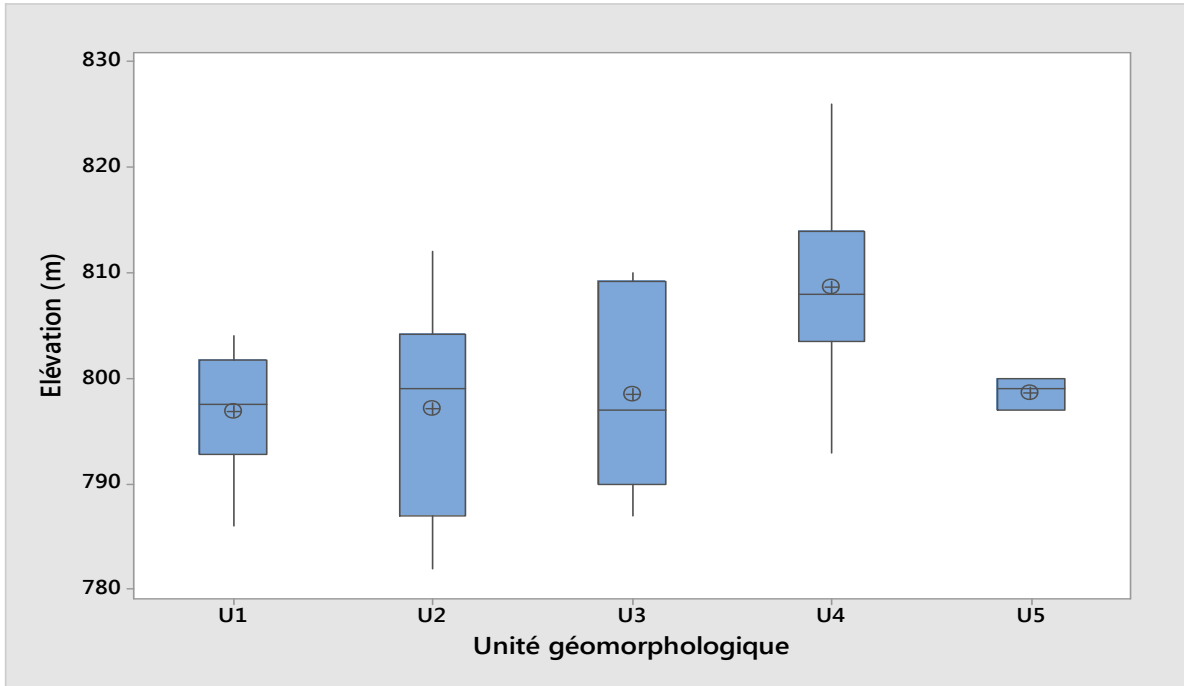


Figure 12. Variation des élévations en fonction des unités géomorphologiques

III.4. Analyses physiques et chimiques

III.4.1. analyse physique

a. Humidité du sol

Dans la figure 13, l'évolution du taux d'humidité dans le sol varie de manière différente dans les unités géomorphologiques. La moyenne maximale de 0.36 % est obtenue dans les petits plateaux caillouteux. Le taux le plus faible de 0,06 % est obtenu dans les dunes peu végétalisées, il varie de 0 à 0.13 %.

L'analyse de la variance a montré que l'humidité présente une différence significative en fonction des unités géomorphologiques.

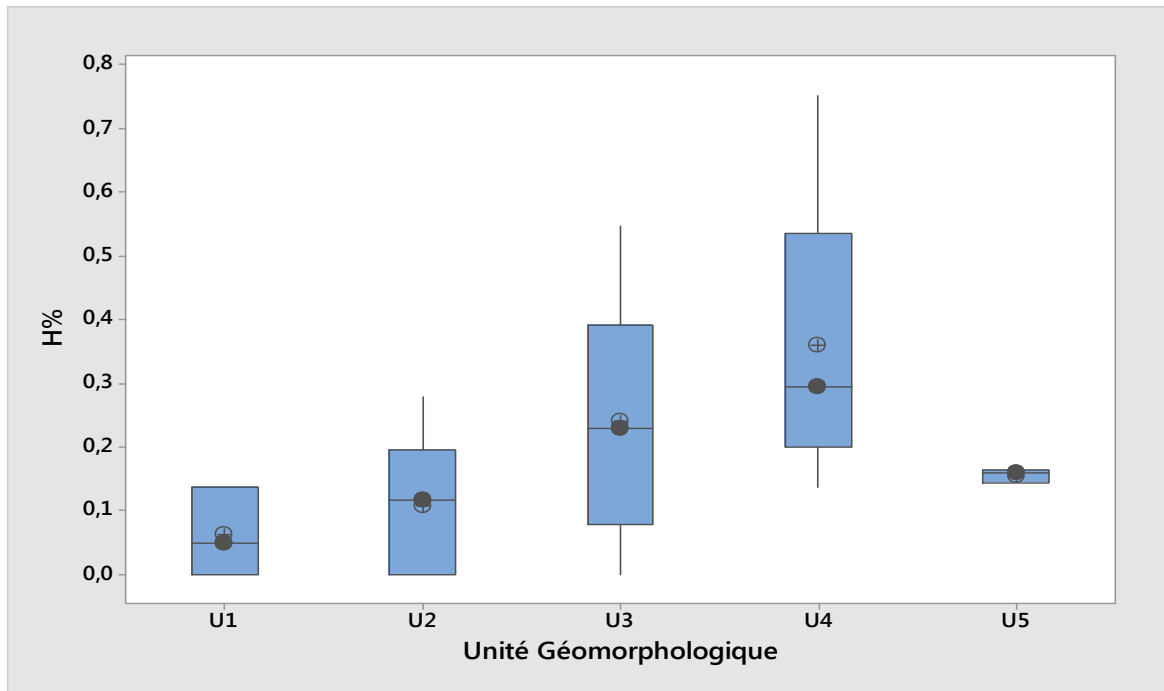


Figure 13. Evolution du taux d'humidité dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

b. pH du sol

Dans la figure 14 nous constatons le pH dans le sol varie de manière significative avec les unités géomorphologiques.

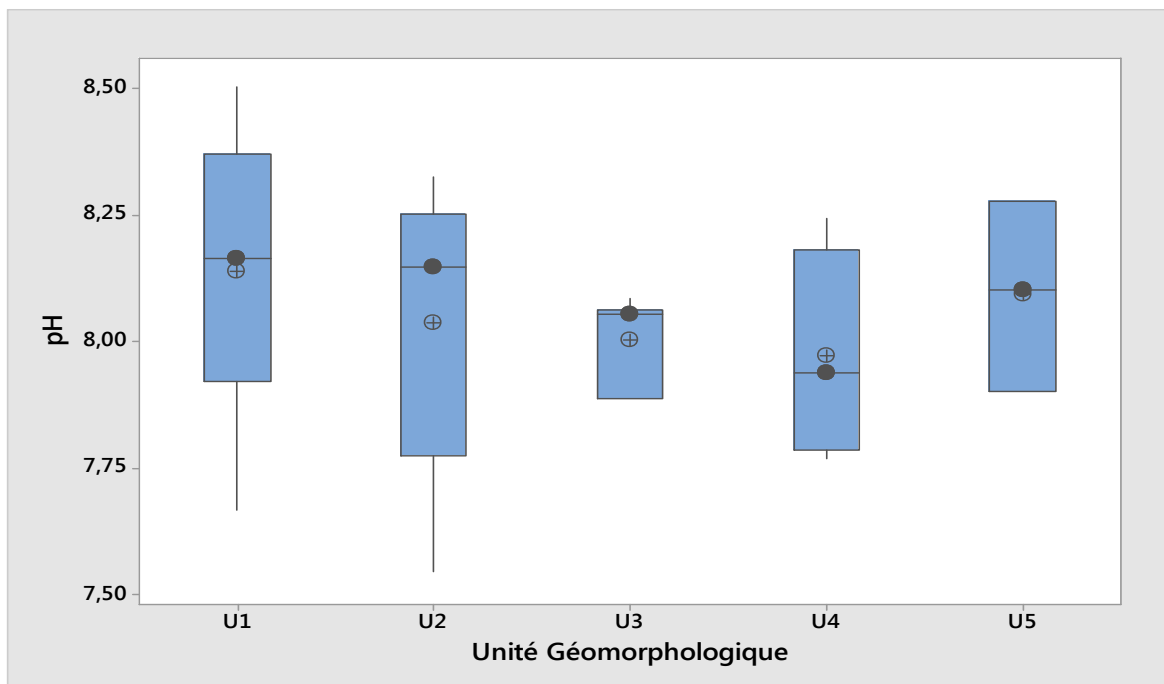


Figure 14. Variation du pH du sol en fonction des unités géomorphologiques.

Il est basique dans les dunes peu végétalisées avec une moyenne maximale 8.13. Le pH le plus faible est de 7.97 dans les petits plateaux caillouteux), mais reste toujours situé dans un contexte basique.

c. Conductivité électrique du sol

L'évolution de la conductivité électrique dans le sol (fig. 15) est variée d'une manière significative dans les unités géomorphologiques.

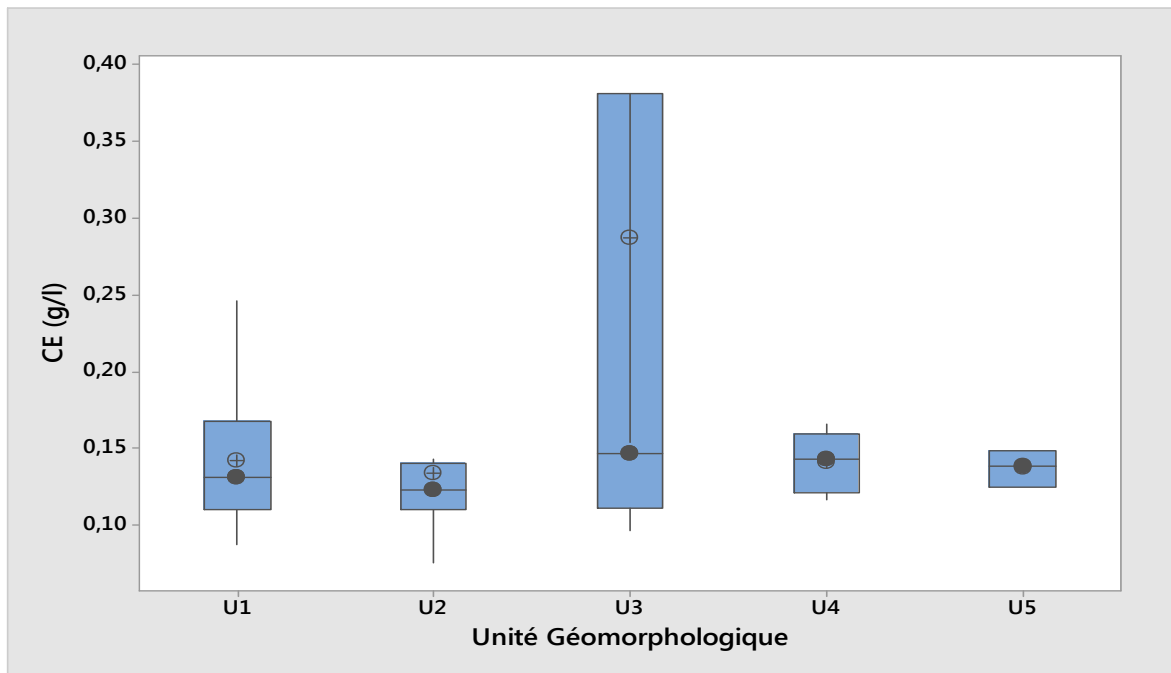


Figure 15. Evolution de la conductivité électrique (g/l) dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

Une moyenne maximale de 0.287 g/l est obtenue dans les parcelles labourées. Le taux le plus faible est de 0.133 g/l obtenu dans les steppes ensablées.

d. Analyse granulométrique

➤ Evolution des sables

Dans la figure 16 nous constatons la présence des sables dans le sol est variée de manière significative dans les unités géomorphologiques. Le taux de sable se situe dans un intervalle de 97.70 % et 94.48 %.

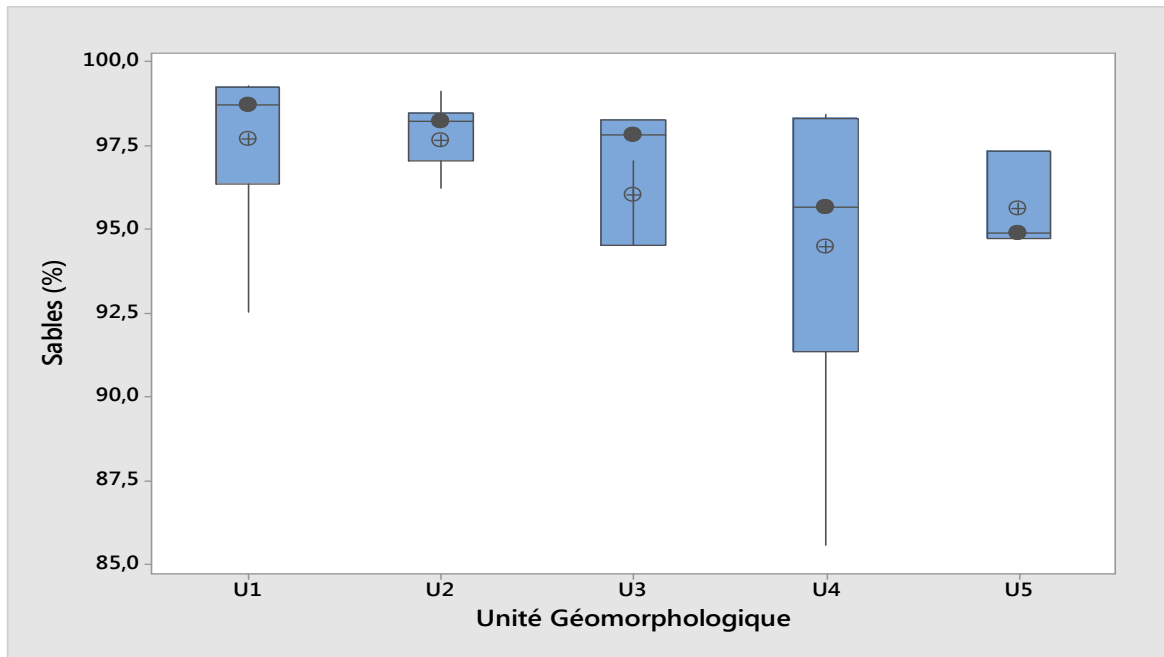


Figure 16. Evolution du taux de sable dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

➤ Evolution des limons

Dans la figure 17 nous constatons que le taux des limons dans le sol varie dans les unités géomorphologiques. Une moyenne maximale de 3.92 % est obtenue dans les petits plateaux caillouteux. Le plus faible de 0.86 % est obtenu dans les dunes peu végétalisées.

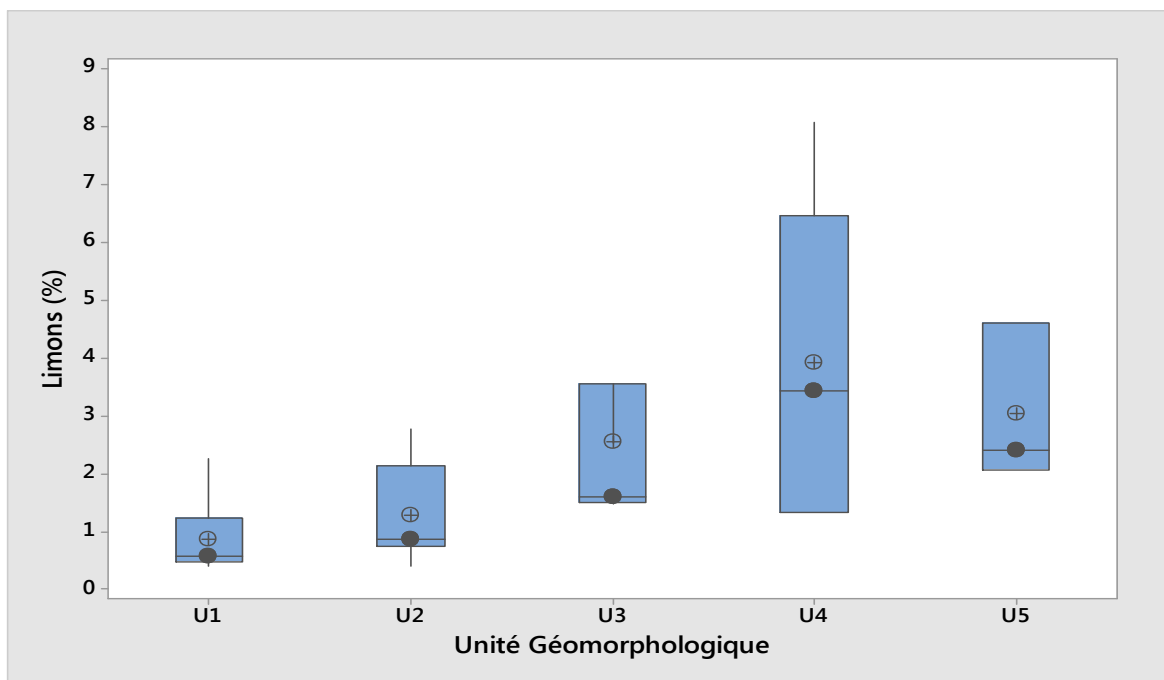


Figure 17. Evolution du taux de limon dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

L'analyse de la variance a montré que le taux de limon dans le sol présente une différence significative en fonction des unités géomorphologiques.

➤ Evolution des Argiles

Dans la figure 18 nous constatons l'évolution du taux d'argile dans le sol qui est variable dans les unités géomorphologiques.

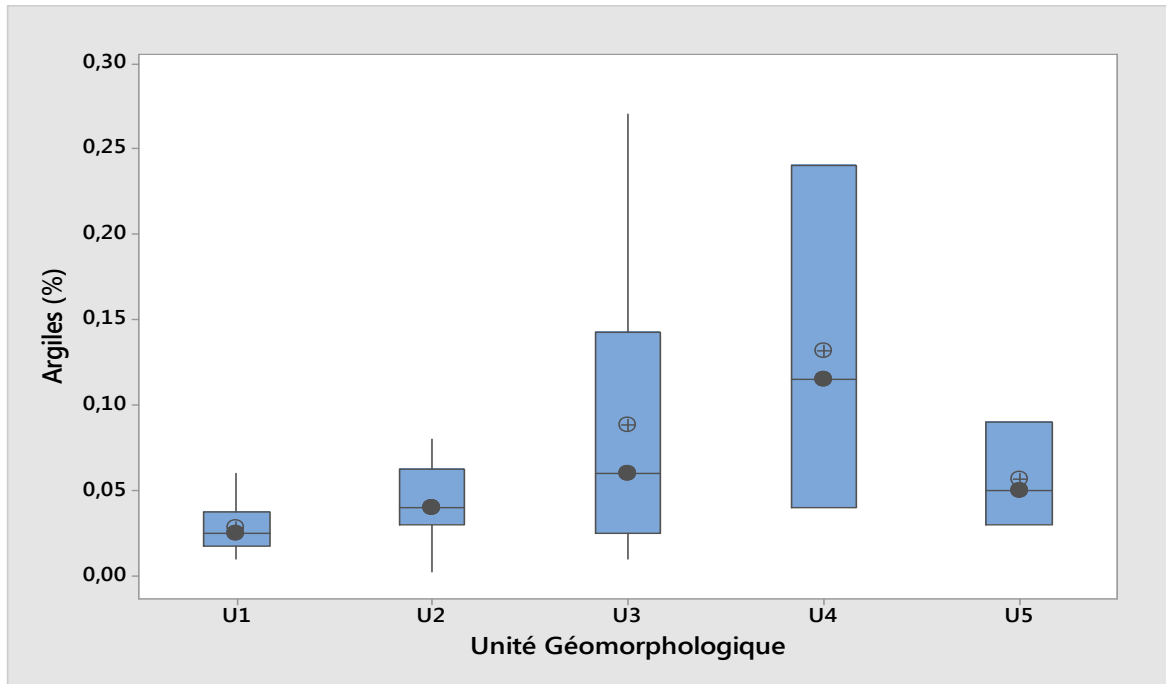


Figure 18. Evolution du taux d'argile dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

Une moyenne maximale de 0.13 % dans les petits plateaux caillouteux. Le taux le plus faible de 0.02 % est obtenu dans les dunes peu végétalisées. L'analyse de la variance a montré que le taux de limon dans le sol présente une différence significative en fonction des unités géomorphologiques.

➤ Fraction érodible du sol

La fraction érodible du sol est celle dont les particules sont inférieures à 80 μm . Cette fraction de sol est facilement mobilisable par les vents (Fryrear *et al.*, 1991).

Dans la figure 19 nous constatons que le pourcentage de la fraction érodible dans le sol est varié d'une manière significative dans les unités géomorphologiques. Le taux de la fraction érodible se tourne dans un intervalle de 96.85 % et 93.17 %

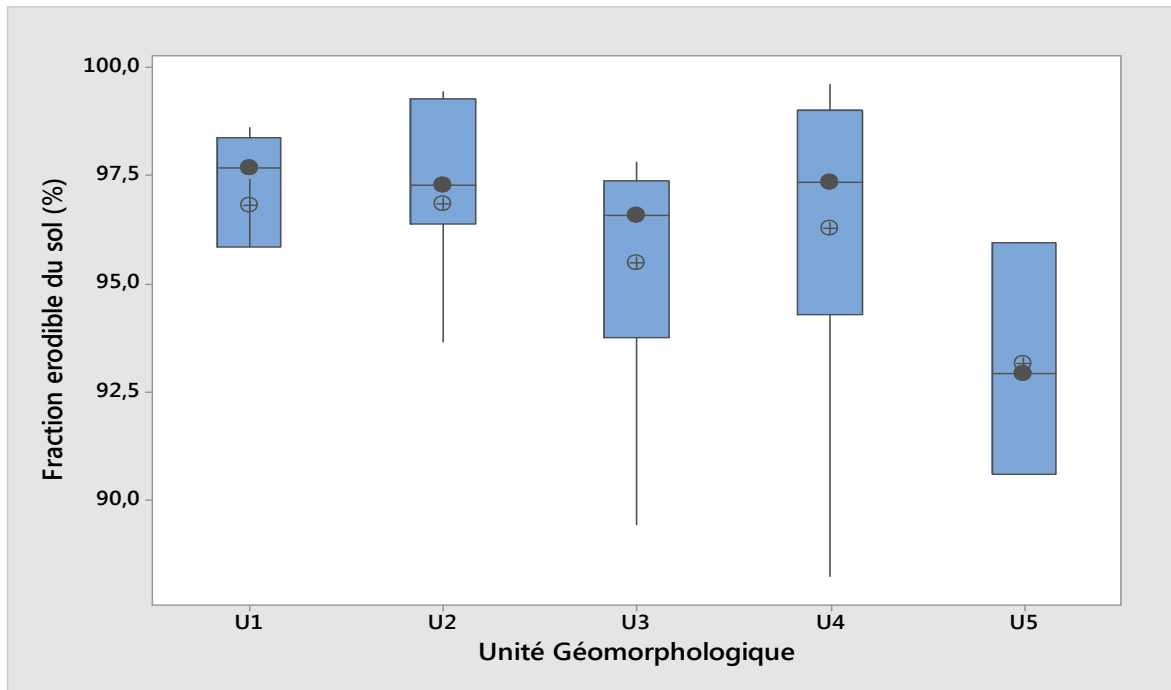


Figure 19. Evolution du taux de fraction érodible dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

e. La rugosité du sol

Dans la figure 20 nous constatons que la rugosité du sol est variable dans les unités géomorphologiques.

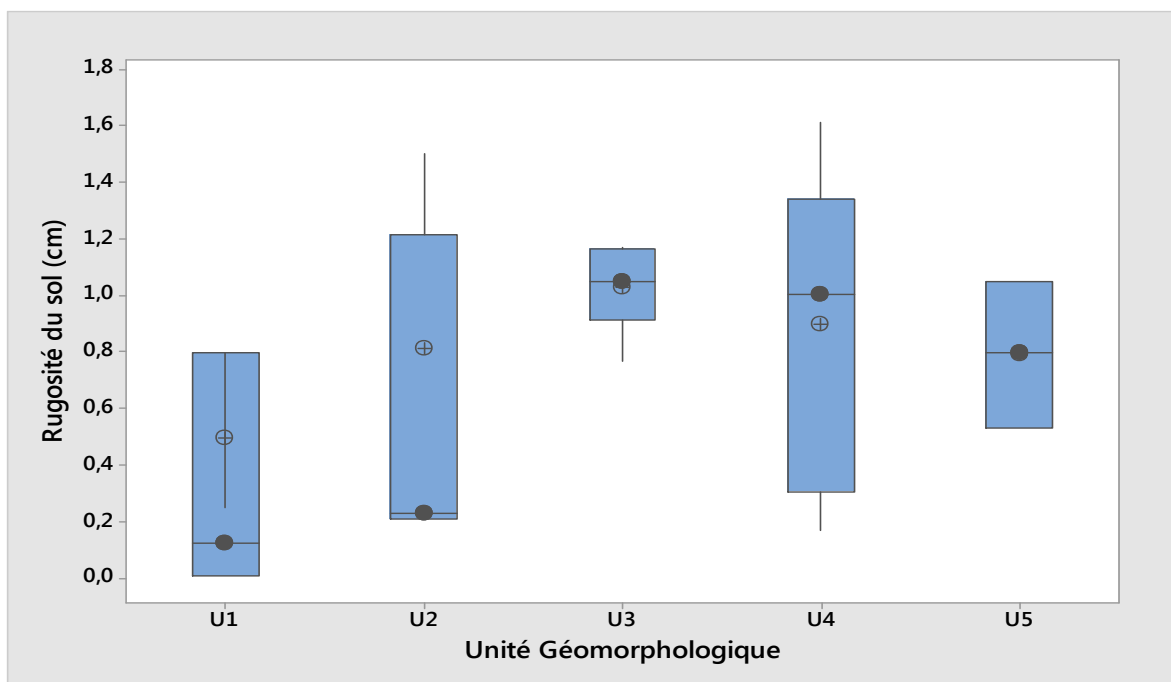


Figure 20. Evolution de la rugosité de sol en fonction des unités géomorphologiques

Une moyenne maximale de 1.02 cm est observée dans les parcelles labourées. La valeur de la moyenne la plus faible est de 0,49 cm observée dans les dunes peu végétalisées.

III.4.2. Analyse chimique

a. Teneur en matière organique

Dans la figure 21 nous permet de constater que la teneur en matière organique dans le sol présente des différences entre les unités géomorphologiques.

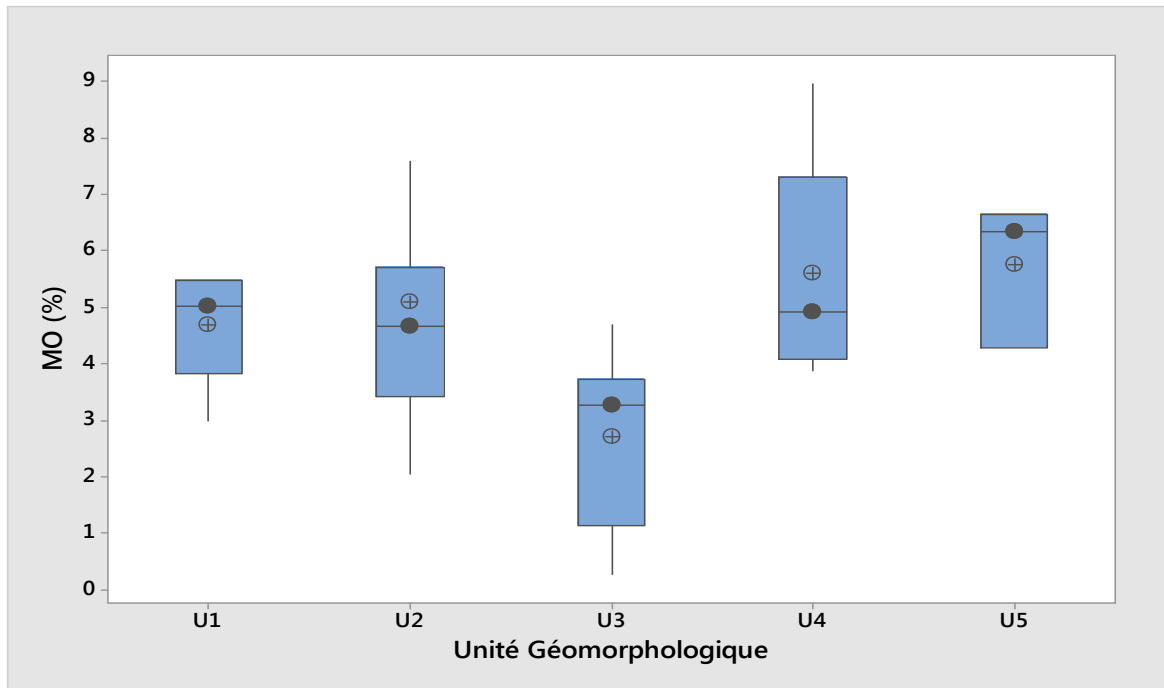


Figure 21. Evolution de la teneur en matière organique du sol en fonction des unités géomorphologiques.

Elle a une moyenne plus forte (5.76 %) dans les petites dépressions. Alors que dans les parcelles labourées elle est la plus faible avec une moyenne de 2.72%. Dans les autres unités géomorphologiques les valeurs sont intermédiaires.

L'analyse de la variance a montré que le taux de la matière organique dans le sol présente une différence significative en fonction des unités géomorphologiques.

b. Evolution du calcaire (CaCO_3)

Dans la figure 22 nous permet de constater que le taux de calcaire dans le sol est varié d'une manière significative dans les unités géomorphologiques. La moyenne la plus forte

de 4.34 % observée dans les petits plateaux caillouteux, relativement dans les dunes de sables peu végétalisées, une faible moyenne 3.11 %.

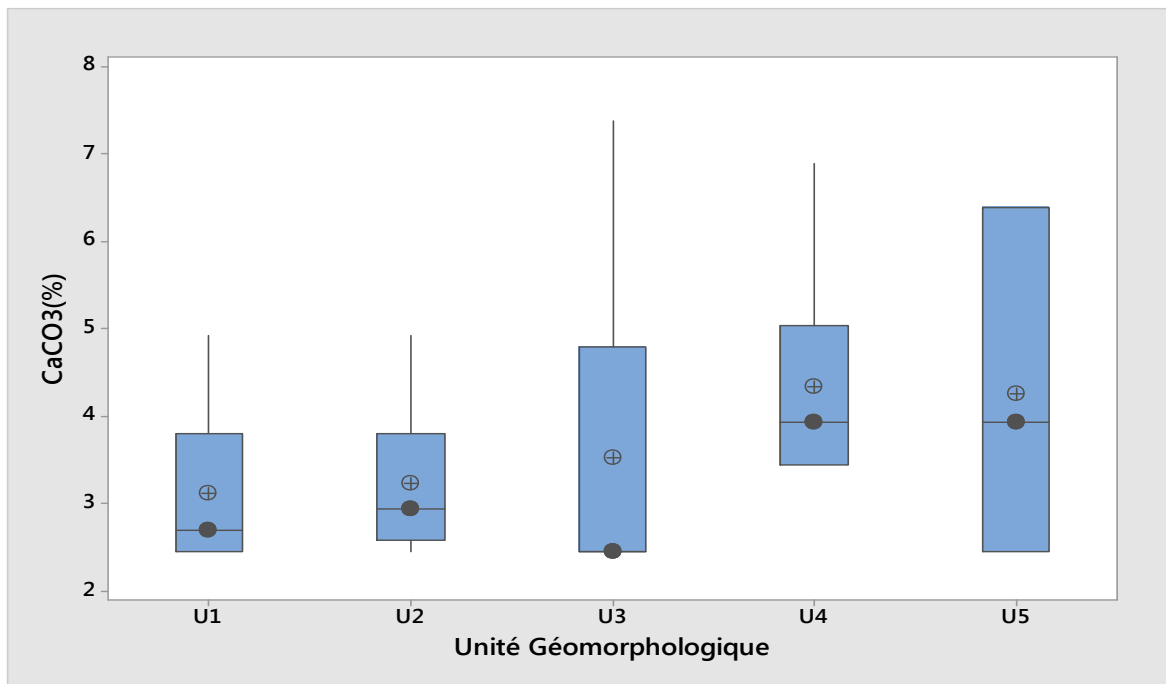


Figure 22. Evolution du taux de calcaire dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

c. Evolution du Phosphore

Dans la figure 23 nous constatons que l'évolution du taux de phosphore dans le sol est variée d'une manière significative dans les unités géomorphologiques. Elle présente la moyenne la plus forte (1.12 %) dans les petites dépressions alors que dans les parcelles labourées, la plus faible moyenne est observée (0.66 %).

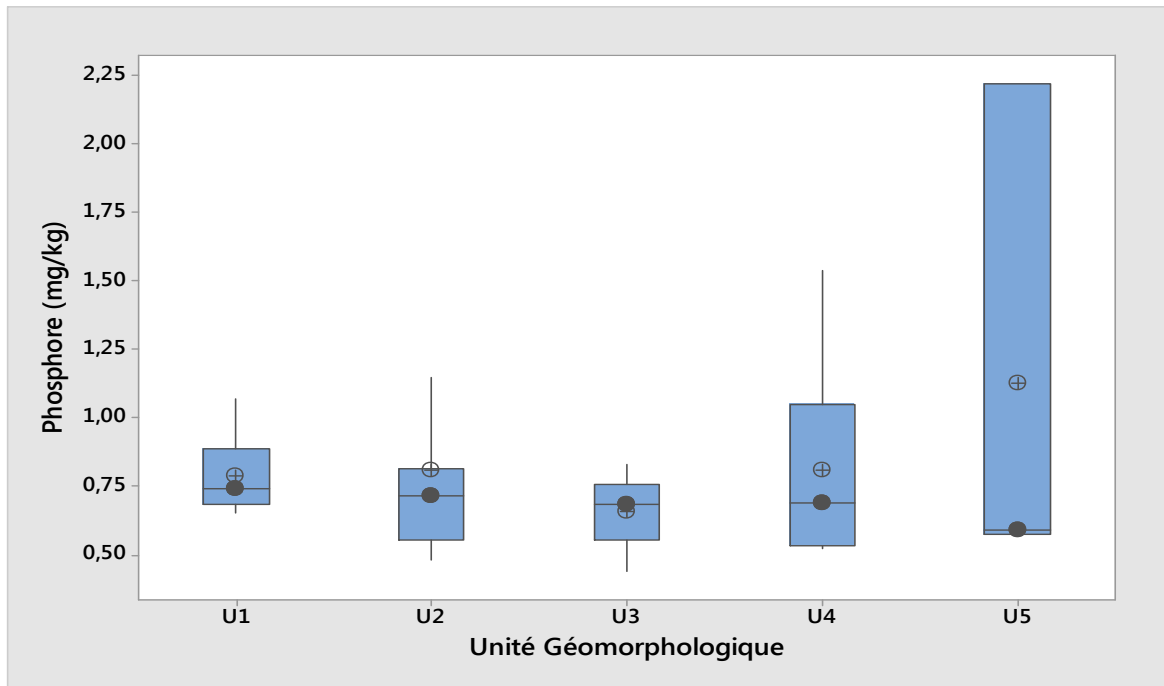


Figure 23. Evolution du taux de phosphore dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

d. Evolution du Potassium

Dans la figure 24 l'évolution du taux de potassium dans le sol montre une variation dans les unités géomorphologiques.

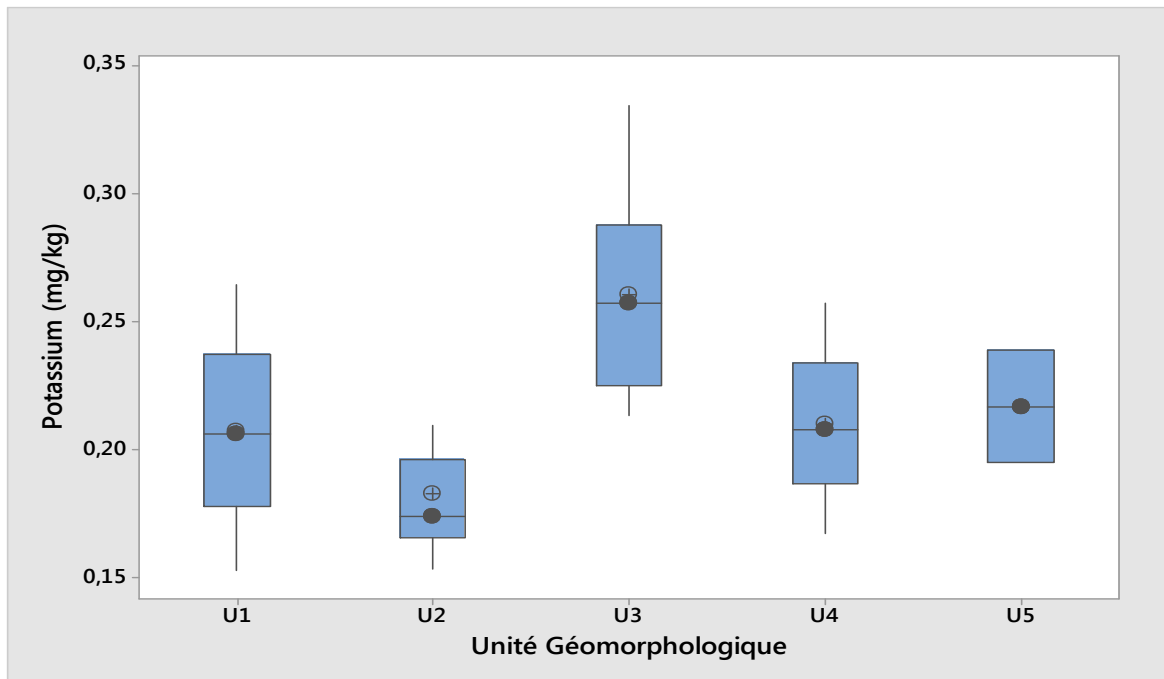


Figure 24. Evolution du taux de potassium dans le sol en fonction des unités géomorphologiques.

Une moyenne maximale de 0.26 % est obtenue dans les parcelles labourées. Le taux le plus faible de 0.18 % est obtenu dans les steppes ensablées.

L'analyse de la variance a montré que le taux de potassium dans le sol présente une différence significative en fonction des unités géomorphologiques.

III.5. Analyse de la végétation

L'analyse de la végétation a concerné uniquement quatre points. Nous avons évité les répétitions des relevés en nous basant sur la définition des concepts (Site et Station) définies dans le chapitre matériel et méthodes.

A cet effet un relevé floristique a été réalisé par unité géomorphologique. Les parcelles labourées sont semées à l'orge (*Hordeum vulgare L*) en sec qui est considéré dans notre cas la seule plante ou végétal sur place.

III.5.1. Richesse totale des sites

Pour donner une importance de végétation dans notre zone d'étude, et à travers les relevés floristiques réalisés, nous avons recensé 32 espèces, réparties en 28 genres et appartenant à 14 familles (Tab. 02).

Tableau 02: Structure floristique du site d'étude (Mokrane).

Famille	Espèce	Nombre d'espèce	Pourcentage
Asteraceae	<i>Artemisia compestris L.</i> <i>Atractylis sp.</i> <i>Centaurea pungens.</i> <i>Echinops spinosus Bove ex DC.</i> <i>Evax argentina Pomel.</i> <i>Evax desertorum</i> <i>Ifloga spicata (Forks.) Sch. Bip.</i> <i>Launaea resedifolia (Cass) Hook.</i>	8	25
Brassicaceae	<i>Oudneya Africana Coss. & Dur.</i> <i>Eruca vesicaria L.</i> <i>Eruca sp.</i>	6	18.75

	<i>Henophyton deserti</i> Coss. et Durieu. <i>Moricandia arvensis</i> (L.) DC. <i>Sisymbrium officinale.</i>		
Capparidaceae	<i>Cleome arabica</i> L.	1	3.12
Caryophyllaceae	<i>Silene</i> <i>sp</i>	1	3.12
Chenopodiaceae	<i>Salsola vermiculata</i> L.	1	3.12
Distaceae	<i>Helianthemum getalum.</i>	1	3.12
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia guyoniana.</i> <i>Euphorbia helioscopia.</i>	2	6.25
Fabaceae	<i>Astragalus armatus</i> Willd. <i>Astragalus</i> <i>sp.</i> <i>Genista uniflora</i> Briq. <i>Ononis serrata.</i> <i>Retama raetam</i> (Forssk.) Webb.	5	15.62
Geraniaceae	<i>Erodium triangulare</i> (Forssk.) Muschler.	1	3.12
Lamiaceae	<i>Saccocalyx satureioides.</i>	1	3.12
Plantaginaceae	<i>Plantago albicans</i> L.	1	3.12
Poaceae	<i>Aristida pungens</i> desf. <i>Stipa tenacissima</i> L.	2	6.25
Tamaricaceae	<i>Tamarix</i> <i>sp.</i>	1	3.12
Thymelaeaceae	<i>Thymelaea microphylla</i> Coss. et DR.	1	3.12

Nous avons remarqué la dominance de la famille des Asteraceae avec 7 genres et 8 espèces suivie par les Brassicaceae avec 5 genres et 6 espèces, suivie par Fabaceae par 4 genres et 5 espèces, suivie par les Poaceae avec 2 genres et 2 espèces, les Euphorbiaceae avec 1 genre et 2 espèces.

Enfin, les Capparidaceae, Caryophyllaceae, Distaceae, Geraniaceae, Lamiaceae, Plantaginaceae, Tamaricaceae, Thymelaeaceae, Chénopodiaceae ne sont présente que par une seule espèce.

Parmi les familles, 6 familles à savoir les Asteraceae, les Brassicaceae et Fabaceae, les Euphorbiaceae et les Poaceae représentent rassemblées presque de la moitié des espèces listées, avec des taux respectifs de 25 %, 18.75 %, 15.62 % et 6.25 % de la totalité de la flore de la zone (Fig.25).

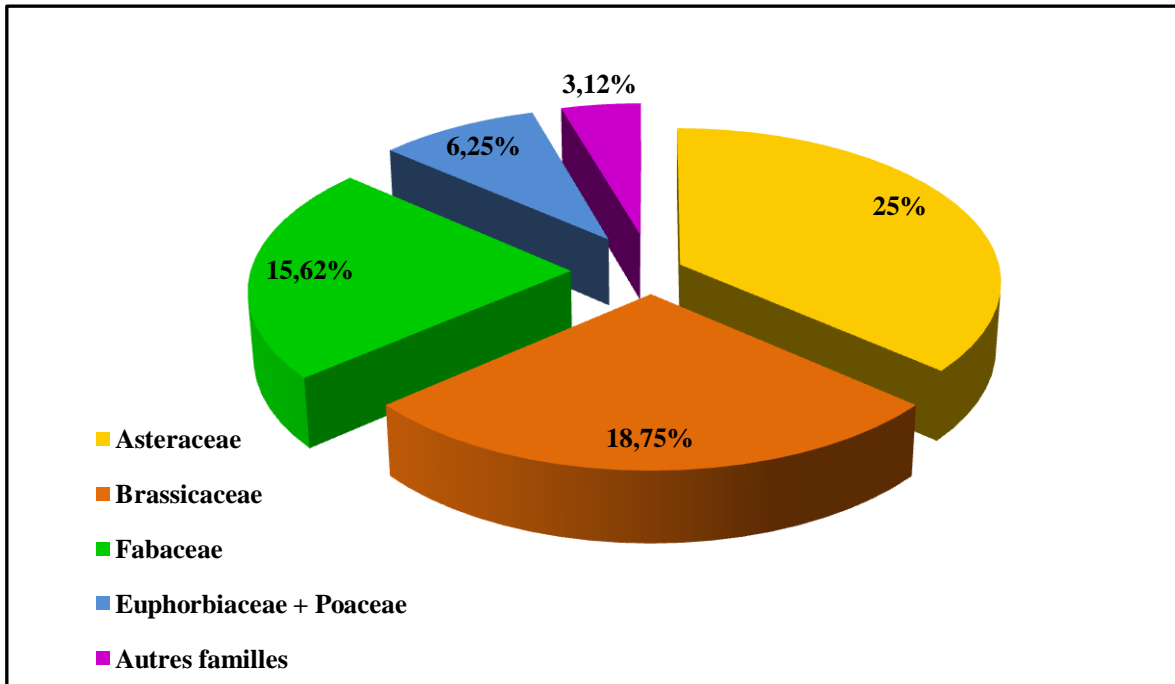


Figure 25. Importance des principales familles dans la zone d'étude

La richesse de la flore des différentes unités géomorphologiques, selon l'échelle de Daget et Poissonet (1991), est présentée dans le Tableau 03 :

Tableau 03. Richesse de la flore des différentes unités géomorphologiques

Unité géomorphologique	Sables peu végétalisés (U1)	Steppes ensablées (U2)	Petits plateaux caillouteux (U4)	Petites dépressions (U5)
Richesse de la flore	3	5	11	6
Etat de la flore	Raréfiée	Raréfiée	Pauvre	Très pauvre

III.5.2. Diversité spécifique de Shannon (H') et Equitabilité (E)

Le calcul de la diversité de Shannon a révélé une diversité spécifique avec **0.0255** bits. En outre, l'Equitabilité (E) représente une valeur est égale à **0.0051** (Fig. 26).

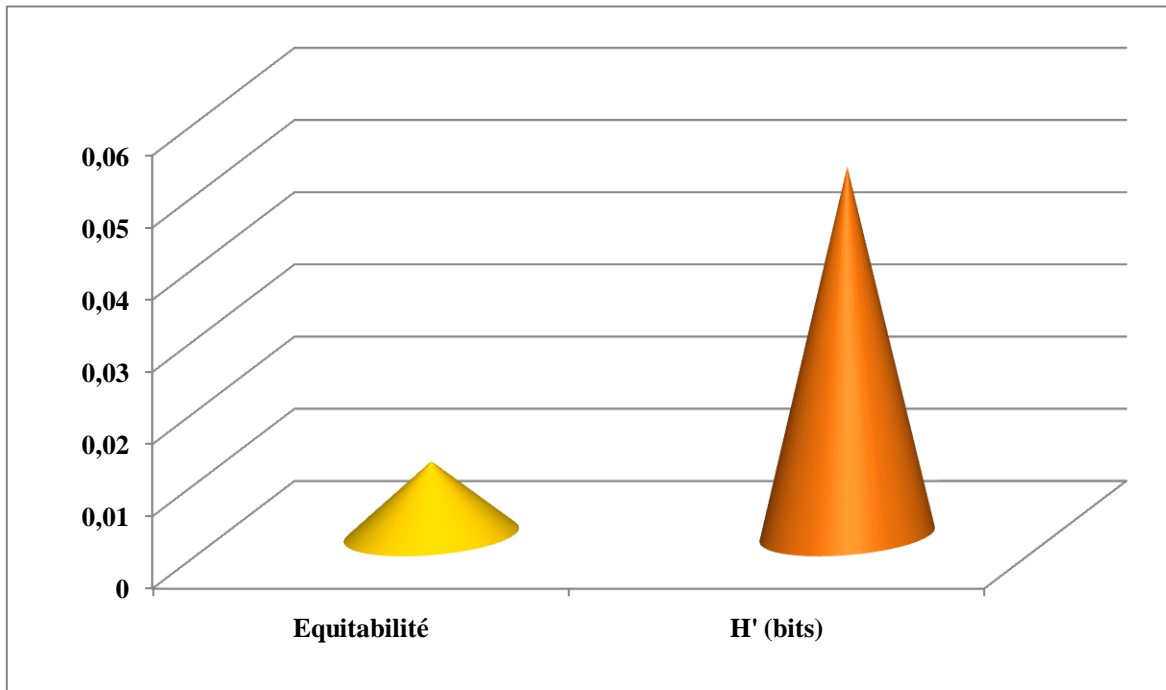


Figure 26. Diversité de Shannon et Equitabilité (E) dans la zone d'étude (Mokrane).

III.5.3. Recouvrement globale (RG)

Le recouvrement global de la végétation dans la zone d'étude présente un taux faible avec 27,50 %. Le reste est occupé par les différents éléments de surface du sol avec un taux important de 72,50 % (Fig.27).

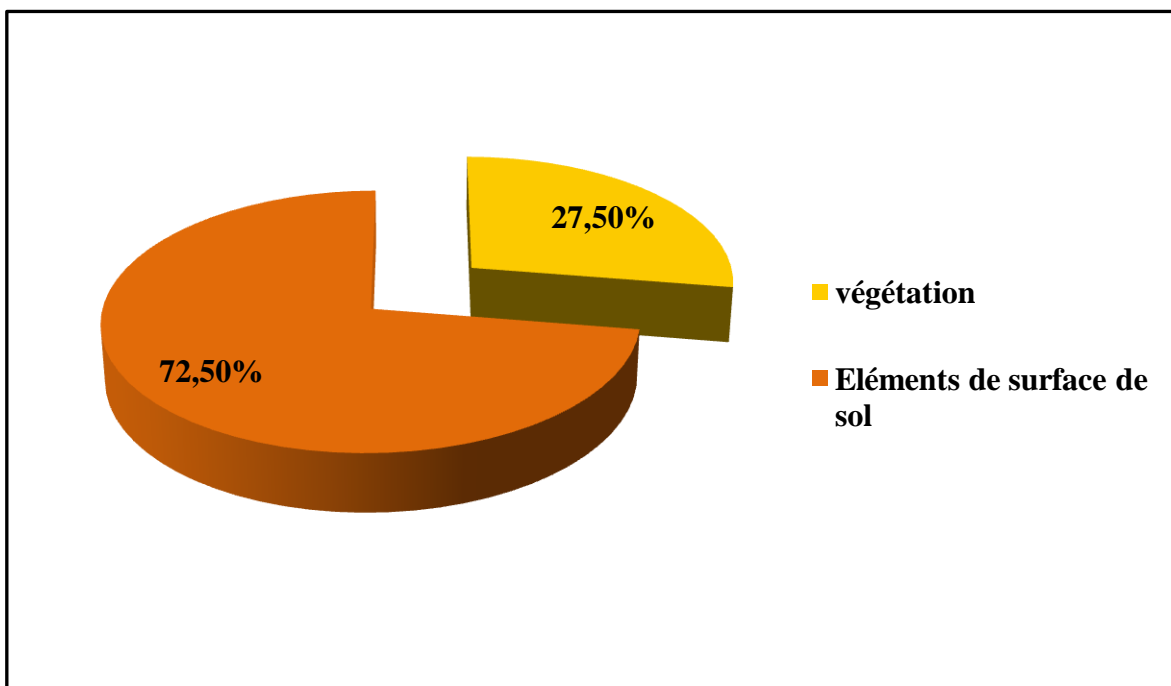


Figure 27. Recouvrement de végétation et des éléments de surface de sol dans la zone d'étude

III.5.4. Etat de surface du sol

La figure 28 montre la répartition des éléments de surface de sol dans la zone d'étude. Le sable apparut en premier ordre par un taux de 53.17 %, suivie par les débris avec 15.94 %, suivie par la croûte argileuse avec 2.32 % ainsi, les cailloux montrent une très faible proportion avec 1.04 %.

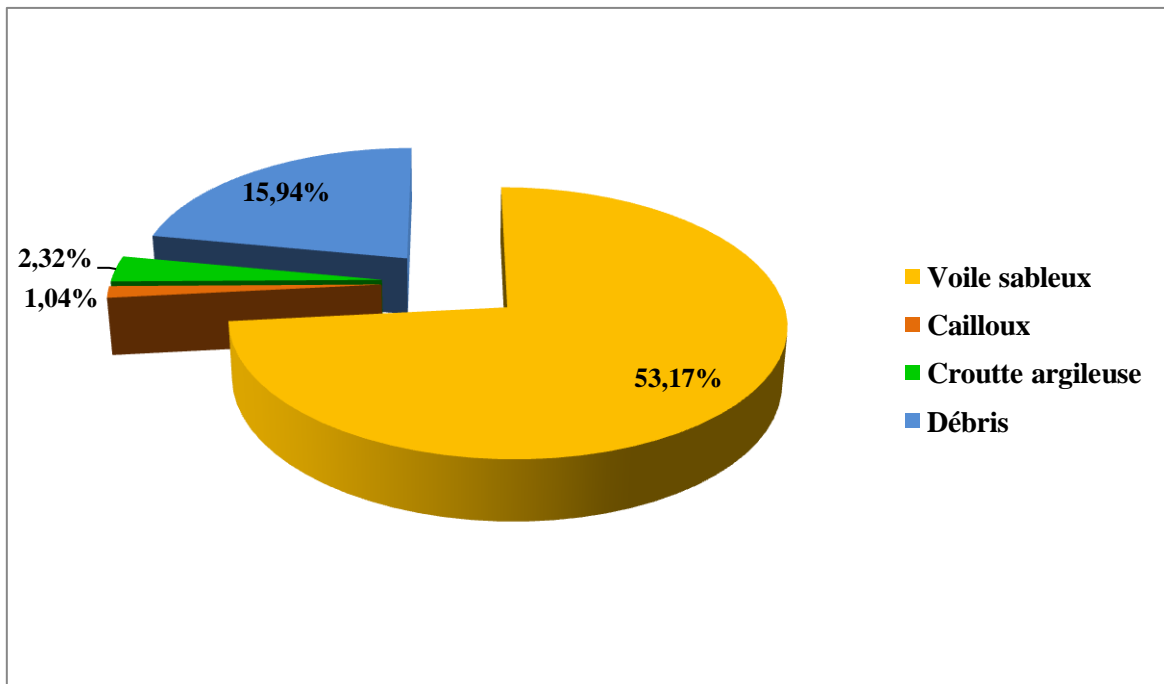


Figure 28. Recouvrement des éléments de surface du sol dans la zone d'étude

III.5.5. Fréquence spécifique (FSi) et contribution spécifique (CSi)

La lecture du tableau 04 montre que les contributions spécifiques varient d'une l'espèce végétale à l'autre. *Aristida pungens* présente la contribution spécifique les plus élevées avec 23.79 %.

Tableau 04. Fréquence spécifique (FSi) et contribution spécifique (CSi) des espèces dans la zone d'étude.

Espèces	FSi %	CSi %
<i>Aristida pungens</i> desf.	2.90	23.79
<i>Astragalus armatus</i> Willd.	7.04	14.25
<i>Astragalus</i> sp.	0.06	0.11
<i>Cleome arabica</i> L.	0.06	0.11
<i>Echinops spinosus</i> Bove ex DC.	5.37	16.62
<i>Erodium triangulaire</i>	0.12	0.22

<i>Eruca sp.</i>	1.02	1.87
<i>Euphorbia guyoniana.</i>	0.95	11.1
<i>Euphorbia helioscopia.</i>	5.86	19.74
<i>Genista uniflora Briq.</i>	0.68	2.81
<i>Ifloga spicata (Forks.) Sch. Bip.</i>	0.25	0.76
<i>Oudneya africana</i>	1.99	3.63
<i>Plantago albicans L.</i>	0.06	0.11
<i>Retama raetam (Forssk.) Webb.</i>	0.97	4.58
<i>Rhantherium suaveoleus</i>	0.06	0.11
<i>Tamarix sp.</i>	0.06	0.11

III.5.6. La densité

La densité enregistrée dans la figure 29 présente un maximum dans les petits plateaux caillouteux de 20200 plant/ha et un minimum en été de 800 plant/ha pour les sables peu végétalisés.

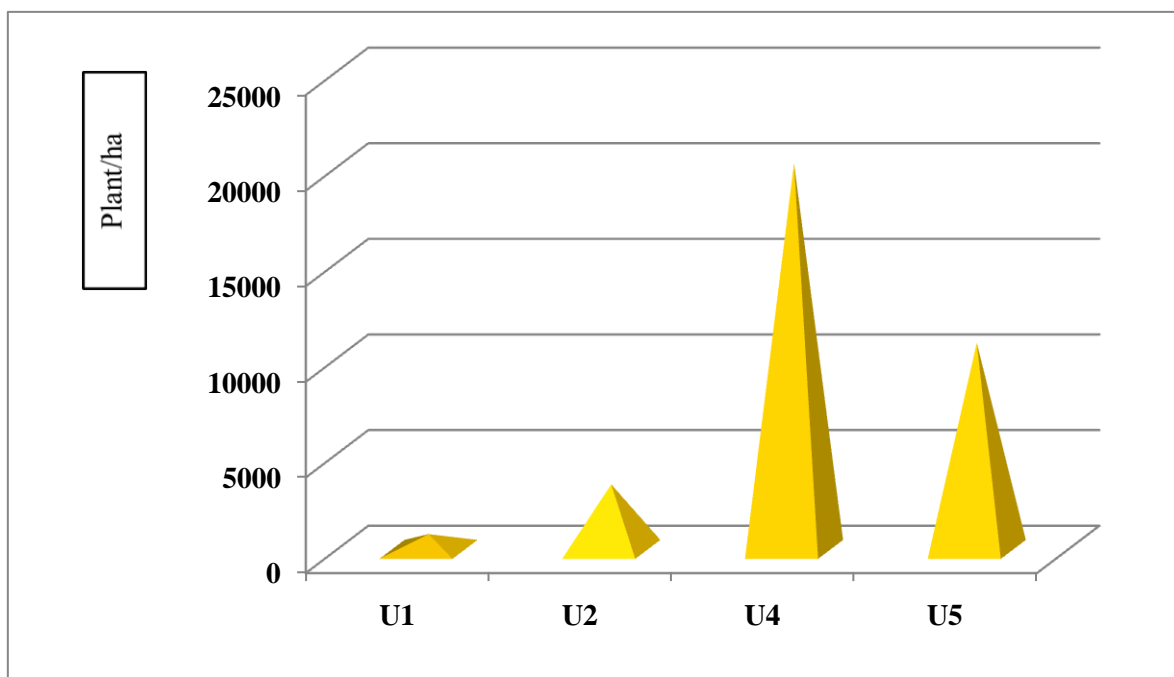


Figure 29. Evolution de la densité de la végétation en fonction des unités géomorphologiques.

III.5.7. Type biologique

L'étude des types biologiques dans notre zone d'étude a révélée une dominance des Thérophytes par une proportion de 50 %, suivis par les Hémicryptophytes avec 25 %, dans

le dernier ordre les Chaméphytes et les Phanérophytes par 12.50% (Annexe I-Tab. 01 et Fig. 30).

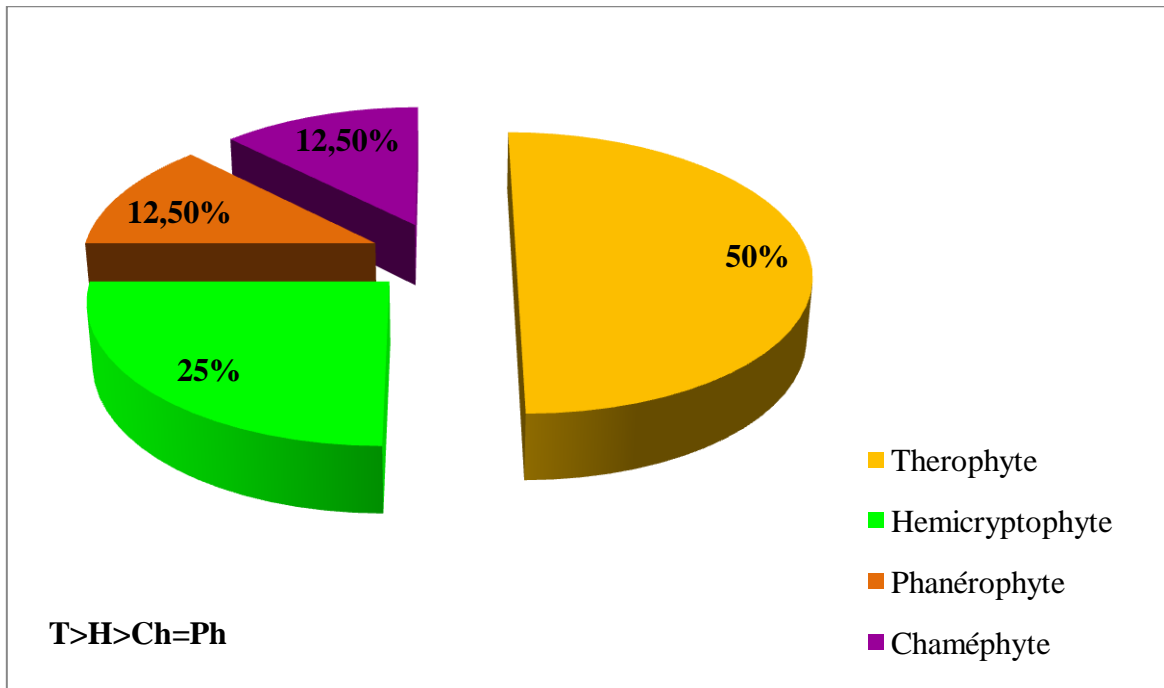


Figure 30. Spectre biologique brut de la zone d'étude.

La figure 31 présente le spectre biologique réel, nous avons remarqué la dominance des Hémicryptophytes, suivis par les Thérophytes, les Phanérophytes et les Chaméphytes.

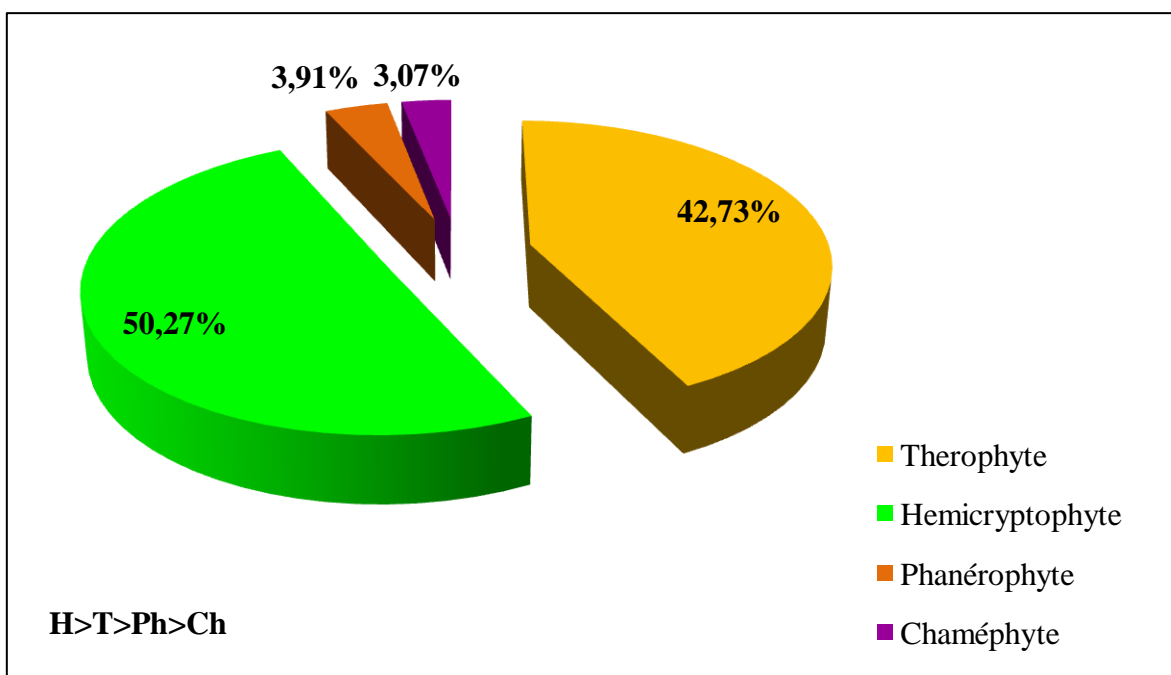


Figure 31. Spectre biologique réel de la zone d'étude

III.5.8. Dendrogramme de la distribution des espèces végétales

Afin de mettre en évidence la distribution des espèces, nous avons effectué une classification hiérarchique (CH) dans notre cas elle est présentée descendante suivant leur similarité (Fig. 32).

La classification obtenue nous a permis d'établir une partition en quatre classes :

- 1- La classe 1 est formée par les deux espèces (*Aristida pungens* et *Euphorbia guyoniana*) avec une similarité presque de 44 %.
- 2- La deuxième classe formée par les deux espèces (*Astragalus armatus* et *Echinops spinosus*) avec une similarité presque de 55 %.
- 3- Le troisième groupe renferme 6 espèces (*Astragalus sp*, *Cleome arabica*, *Plantago albicans*, *Tamarix sp*, *Rhantherium suaveoleus* et *Erodium triangulaire*) à similarité de 100 %.
- 4- Le quatrième groupe renferme 2 espèces (*Eruca sp* et *Oudneya africana*) à similarité de 88 %.

On remarque que l'espèce *Euphorbia helioscopia* ne partage aucune similarité avec les autres espèces.

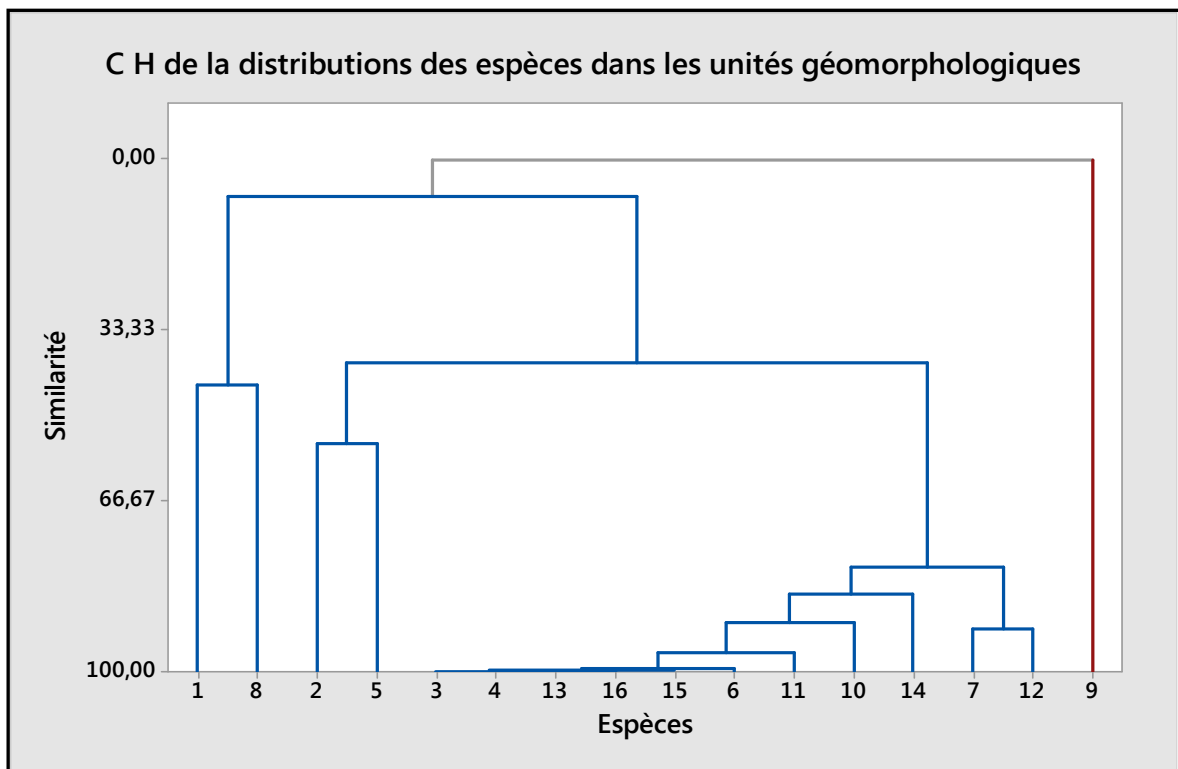


Figure 32. Dendrogramme de la CH de la distribution des espèces dans les unités géomorphologiques.

Légendes du dendrogramme pour les espèces :

1	<i>Aristida pungens</i> desf.	9	<i>Euphorbia helioscopia</i> .
2	<i>Astragalus armatus</i>	10	<i>Genista uniflora</i>
3	<i>Astragalus</i> sp	11	<i>Ifloga spicata</i>
4	<i>Cleome arabica</i>	12	<i>Oudneya africana</i>
5	<i>Echinops spinosus</i>	13	<i>Plantago albicans</i>
6	<i>Erodium triangulaire</i>	14	<i>Retama raetam</i>
7	<i>Eruca</i> sp	15	<i>Rhantherium suaveoleus</i>
8	<i>Euphorbia guyoniana</i>	16	<i>Tamarix</i> sp

III.5.9. Dendrogramme des éléments de surface du sol

Afin de mettre en évidence la distribution des éléments de surface du sol, nous avons effectué une classification hiérarchique (CH) dans notre cas elle est présentée descendante suivant leur similarité (Fig. 33).

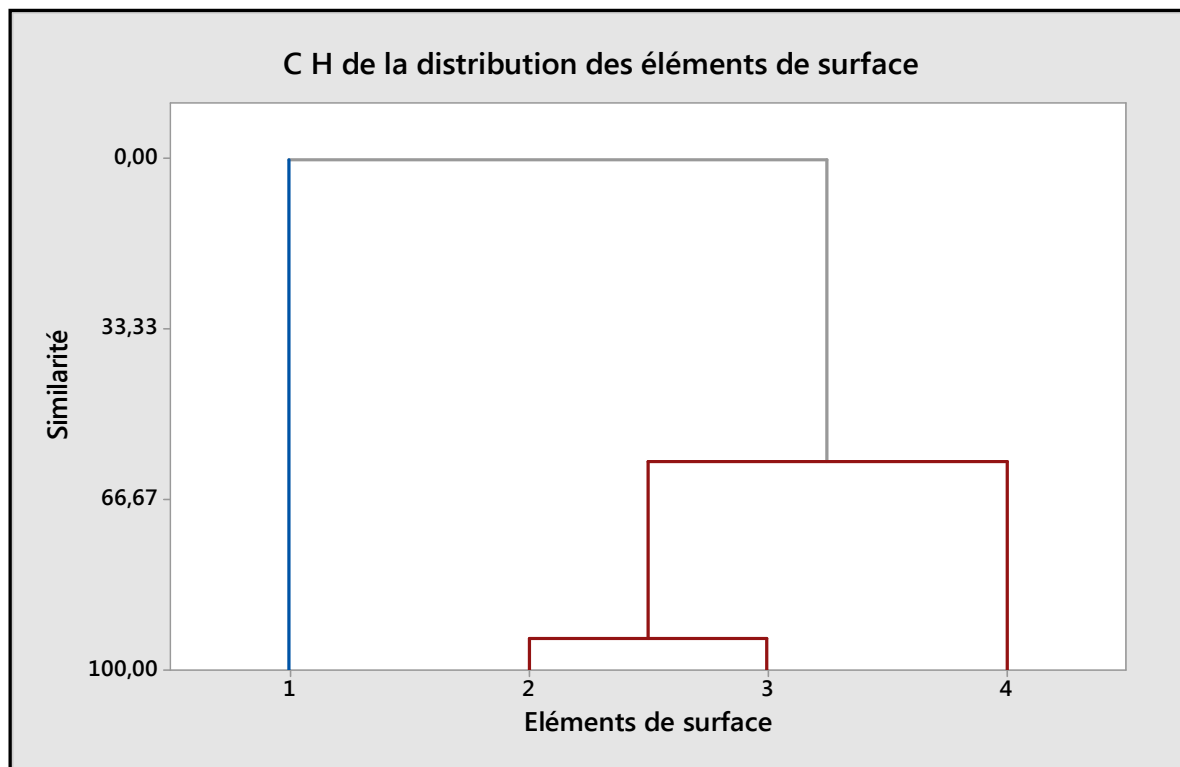


Figure 33. Dendrogramme de la CH de la distribution des éléments de la surface du sol dans les unités géomorphologiques

Légendes du dendrogramme pour les éléments de surface :

1 : Sable

2 : Cailloux

3 : Croûte argileuse

4 : Débris

La classification obtenue nous a permis d'établir une partition en deux classes :

- 1- La classe 1 est formée par les deux éléments (cailloux et croûte argileuse) avec une similarité presque de 90 %.
- 2- La deuxième classe formée par une seule élément (débris) de similarité presque de 57 % avec la première classe.

On remarque que l'élément du sable ne partage aucune similarité avec les autres éléments.

Les observations physionomiques sur le terrain étudié ont permis de faire ressortir cinq unités géomorphologiques. Cependant cette classification est personnelle et objective. Les précipitations et les températures enregistrées durant la période de déroulement de notre travail montrent une nette sécheresse. Nos résultats sont en accord avec ceux qui ont précédemment décrit la région (Khelifi, 2008; Goffin, 2009; Rahmoun, 2009; Serdoun, 2009; Azizi, 2010; Graa, 2010; Boumeddiene, 2010; Rochez, 2010; Djoubar, 2011; Benhassine, 2012).

Et du fait La zone d'étude est localisée dans la région de Laghouat, la valeur du Quotient pluviothermique d'Emberger de la région de Laghouat est de **13,98** avec une variante thermique de **2,11°C**, ce qui classe Laghouat dans l'étage climatique saharien à hiver frais (Djoubar, 2011).

Nos résultats montrent que le sol de la région d'étude est formé par un seul horizon sableux peu profond (Annexe II- photo 01) en accord avec Khadraoui (2004) : la région de Laghouat est caractérisée par un sol peu évolué, à texture légère à teneur faible en matière organique présentant ainsi des contraintes pour l'agriculture. La matière organique que nous avons dosée est superficielle, mais avec la sécheresse du climat durant la période dans laquelle nous avons travaillé l'humification n'aura pas lieu de manière satisfaisante. D'autant plus que le phosphore dans le sol est présent en faibles concentration ce qui augmente le risque dans la lenteur du métabolisme de l'humification dans le sol. Le taux de matière organique de la surface du sol dans notre zone d'étude a atteint une valeur plus forte de 5.76 % dans les petites dépressions et selon Aubert (1962), la zone aride est caractérisée à la fois par son climat toujours peu pluvieux, et parfois très sec, et très irrégulier, et par sa végétation herbacée ou certain nombre de caractères constants : évolution lente, profondeur souvent réduite frutescente, rarement arborée, très irrégulièrement répartie, et constituant un couvert excessivement lâche. Supportant des conditions aussi sévères, ses sols présentent un matière organique fortement évoluée, peu abondante et superficielle ou un peu plus abondante et répartie dans l'ensemble du profil (Annexe III- Tab. 04).

L'aridité du milieu et l'activité insuffisante des systèmes racinaires n'exercent pas d'influence efficace sur la dynamique des calcaires et des sels (Pouget, 1980). Ce qui justifie les faibles teneurs enregistré dans nos résultats ($1 < \text{CaCO}_3 < 5$) (Annexe III- Tab. 05).

Les sols de la région de Laghouat sont généralement peu profonds. Les roches mères de ces sols sont le plus souvent constituées par des formations marneuses et calcaires, ce qui explique leur richesse en sels solubles et en calcaires (Khadraoui, 2004). Dans notre cas l'assurance que les sels de sodium est certaine, mais reste à confirmer la nature des sels qui sont à l'origine de la conductivité électrique enregistrée (Annexe III- Tab. 03). D'après Halitim (1998), les sols dans la zone arides d'Algérie sont généralement hydromorphes, des minéraux bruts, ou halomorphes. Ces derniers sont classés en : sols sans accumulation des sels.

Le pH que nous avons dosé est d'une valeur moyenne de 8.04 et selon la classification de Mallouhi (1997), c'est un sol basique (Annexe III- Tab.02).

L'appréciation de la fertilité des sols par rapport au potassium est fonction de leur teneur en argile (Mallouhi, 1997), le taux de potassium de notre région d'étude renferme des taux faible par rapport au les résultats obtenu par Tossou, et al (2006).

Les analyses granulométriques des échantillons des sols prélevés dans les quatre unités géomorphologiques, indique la dominance de sable est de moyenne 96.31 % ; 2.32 % de limons et une proportion négligeable de 0.06 % d'argile.

Selon Fryrear et *al* (1991), fraction Erodible du sol est celle dont les particules sont inférieures à 80 μm dans notre zone d'étude présente une portion importante elle franchi les 90% dans les cinq unités géomorphologiques. Cette fraction de sol est facilement mobilisable par les vents. La rugosité du sol est un paramètre qui intervient contre l'érosion éolienne des sols, les plateaux caillouteux ont manifesté la rugosité la plus élevée ce qui peut être expliquée par la présence d'une charge caillouteuse importante (Sharratt et Feng, 2009).

L'application des indices écologiques a permis d'avoir un aperçu sur l'état actuel de la zone d'étude. La richesse totale en espèces est de l'ordre de 32 espèces qui appartiennent à 14 familles. Cette richesse est expliquée par la nature topographique et surtout les conditions climatiques aussi bien par les conditions physiques et chimiques défavorables.

Le climat jouet un rôle essentiel dans les déterminismes dans la répartition des plantes. La répartition des espèces et des familles est très variable suivant les unités géomorphologiques. En effet, les facteurs édaphiques interviennent sur le développement

de la végétation (Chehema, 2005). Dans notre zone d'étude, nous avons constaté la dominance de trois familles : les Asteraceae, les Brassicaceae et Fabaceae.

Les espèces dominantes dans la zone d'étude sont de genre (*Aristida*, *Astragalus*) sont des espèces psammophytes dans les zones sableuses, les accumulations sableuses (dune) favorise le développement d'une espèce psammophyte telle que *Aristida pungens* (Bensaid, 2006).

L'installation d'*Aristida pungens* a été observée suite à la destruction de l'alfa et à de fortes accumulations de sable.

Un milieu soumis à l'action anthropique, notamment le surpâturage et le labour, ce qui a permis le développement des espèces psammophytes, sélectives de voiles sableux (Hammouda, 2009)

Le spectre biologique brut pour notre zone d'étude montre que les Thérophytes dominent. Ils représentent un taux important **50 %**. *Aristida pungens* et *Euphorbia helioscopia* sont de type biologique Thérophyte, ceci s'explique par la quantité moyenne de pluie reçue (les plus fortes précipitations sont enregistrées en mois de Mars dépassant **150 mm**). Cette Thérophytisation est une caractéristique des zones arides et exprime une stratégie d'adaptation vis-à-vis des conditions défavorables et une forme de résistance aux rigueurs climatiques (Daget, 1980) (Annexe I- Tab 01).

Par ailleurs, Daget (1980), montre que la dominance des Thérophytes souligne un phénomène de Thérophytie. Sauvage (1960), Gaussen (1963), Nègre, (1966), Daget (1980) et Barbero et al (1990), présentent la Thérophytie comme étant une forme de résistance à la sécheresse, ainsi qu'aux fortes températures des milieux arides, ce qui est un trait essentiel de la végétation en zone aride. Floret et Pontanier (1982) notent également que : « plus un système est influencé par l'homme (surpâturage), plus les Thérophytes y prennent de l'importance ». Donc la dominance des Thérophytes peut être considérée également comme un indicateur de dégradation.

Les Hémicryptophytes et les Chamaephytes sont enregistrés un pourcentage considérable. Ces derniers ont pour origine le phénomène d'aridisation (Floret et al., 1990), il s'adaptent mieux à la sécheresse estivale et à la lumière (Danin et al., 1990).

La présence de type biologique Chamephytes est probablement due au surpâturage car les espèces de ce type biologique sont très peu appréciées par le cheptel. En effet selon Kadi Hanifi (2003) : « le pâturage semble ainsi favoriser de manière globale les chamephytes refusées par les troupeaux.

Cependant, le spectre biologique réel permet de mieux connaître la réalité sur le terrain. Les Hémicryptophytes dominant largement les autres formes biologiques. *Echinops spinosu* et *Astragalus armatus* ce sont des Hémicryptophytes physionomiquement dominants dans notre zone d'étude avec des pourcentages considérables de la contribution spécifique (Csi) : **16,62 %** et **14,25 %**. La dominance des Hémicryptophytes dans l'unité géomorphologique plateaux caillouteux s'explique la présence de ces espèces ou il y a un pédoclimat favorable à leur développement (Amghar et Kadi Hanifi, 2008).

L'absence du pâturage favorise les Thérophytes au détriment des Chamaephytes qui sont généralement refusés par les troupeaux (Kadi Hanifi, 1998). Les Thérophytes sont caractéristiques des zones arides et expriment une stratégie d'adaptation vis-à-vis des conditions défavorables et une forme de résistance aux rigueurs climatiques (Daget, 1980).

En outre, et D'après Melzi (1990), la formation d'un voile sableux constitue un écran contre l'évaporation qui maintient un degré d'humidité plus important et surtout plus durable pour les espèces.

L'indice de Shannon et l'Equitabilité enregistré des faibles valeurs qui se traduit par une dominance de quelques espèces.

L'espèce végétal *Astragalus armatus* avec un taux de contribution spécifique 49.33%, cet espèce à une aptitude à fixer de l'azote atmosphérique dans le sol, ce qui contribue à améliorer la fertilité du sol (Chaieb, 1997). Dans notre cas enregistré un pourcentage d'argile relativement important est obtenu en petits plateaux caillouteux.

Toutefois, bien qu'*Astragalus armatus* soit considérée comme étant une espèce marquant la dégradation, elle peut contribuer, ne serait ce que de façon partielle, au processus de restauration de l'équilibre écologique dans ces milieux dégradés. Le piégeage du sable et la reconstitution du voile éolien par les touffes très développées entraînent une amélioration du bilan hydrique du sol et favorisent la germination d'espèces jusqu'alors raréfiées (Chaieb, 1997).

Selon Abdelhamid (2003), la différence morphologique entre les espèces est liée essentiellement à l'appartenance botanique (systématique), au milieu édaphique et à la stratégie d'adaptation des espèces (réduction des surfaces foliaires, épaississement des cuticules, diminution des nombre de feuilles...). De cet effet, la valeur élevée de recouvrement de notre région d'étude qui est enregistré dans les steppes ensablés est traduit par la grande taille de l'espèce introduite *Aristida pungens*.

Le taux des éléments de surface du sol a atteint une valeur important de 72.50%, ainsi le sable qui occupe un taux considérable de 53.17%, le débris présente un taux de 15.94%. Notre zone d'étude soumis à l'action anthropique, notamment le surpâturage et le labour, ce qui a permis le développement des espèces psammophytes, électives de voile sableux.

Nos résultats dans la région de Laghouat ne sont pas contradictoires avec ceux publiés précédemment sur la steppe algérienne. Les faciès dégradés représentent une forte teneur en sables grossiers (30 à 60%) et un fort recouvrement de la surface du sol en éléments grossiers (Kadi Hanifi, 1990 et Melzi, 1990). Les équilibres du complexe sol-végétation, sont conditionnés d'abord par le climat, qui caractérise le sol et la végétation naturelle (Pouget, 1977). Le sol est un élément quasi permanent du milieu au même titre que le climat. La végétation est un facteur de pédogenèse très influencé par ces facteurs édapho climatiques. En générale cet équilibre du complexe sol-végétation reflète l'interaction évolutive des parcours steppiques de la région. La dégradation des écosystèmes se manifeste par la diminution de taux de recouvrement par la végétation (Bourbouz et *al.*, 2001).

La steppe connaisse aujourd'hui une grande dégradation à cause de plusieurs facteurs au sens de Nedjraoui (2002), parmi ces facteurs : la sécheresse liée aux faibles précipitations, l'érosion éolienne et hydrique suite à des pratiques anthropiques. La céréaliculture effectuée dans notre zone d'étude, depuis la prolifération des moyens de traction mécanique, ce qui provoque la destruction presque totale des espèces végétales. Ces espèces sont alors remplacées par des espèces liées à la culture et dont le couvert reste négligeable, la céréaliculture entraîne au moment des labours une mise en mouvement des horizons sableux de surface non maintenus par la végétation. L'érosion éolienne s'intensifie, entraînant par étape la dégradation totale du milieu et parfois même sa transformation en zones désertique (Floret et Floc'h, 1973).

La classification hiérarchique ascendante a donné un aperçu sur l'état actuel de la végétation de la zone d'étude.

Conclusion

La caractérisation de la croûte superficielle de la zone d'étude a permis de déterminer cinq unités géomorphologiques. Les aspects physiques et chimiques dans ces unités géomorphologiques présentent des différences significatives. Le niveau positionnement de ces unités sur la biosphère montre des écarts types non accentués, donnant une caractéristique générale plate à la zone d'étude. Les analyses climatiques de la zone d'étude signalent une période de quelques mois de stress hydrique, pouvant influencer sur la couverture végétale. Les relevés de végétation décrivent la présence d'une faible population psammophyte. La densité de la population végétale est expliquée par les faibles concentrations en éléments chimiques présents dans le sol de chacune des unités géomorphologique conjuguées au stress hydrique. La microstructure superficielle du sol montre clairement des différences dans les reliefs dans les unités géomorphologiques, pouvant intervenir positivement en faveur de forces du vent. Les analyses climatiques montrent aussi des vitesses de vent qui peuvent atteindre par moments les 17 m/s donc confèrent à la zone avec les éléments précités un risque à la déflation.

Les éléments décrits dans ce travail permettent de contribuer à la gestion durable de la zone dans laquelle nous avons travaillé pour la bonne planification de la préservation des territoires steppiques algériens.

Références bibliographiques

- Abdelhamid, H. 2003. Estimation du poids en fonction du recouvrement des principales plantes spontanées vivaces broutées par les dromadaires dans la région d'Ouargla et de Ghardaïa. Mémoire d'Ingénieur. Université d'Ouargla. 27p.
- Aidoud, A. 1983. Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du sud Oranais. Thèse de Doctorat. 3^{ème} cycle. USTHB, Alger. 255p.
- Aidoud, A. 1983. Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du sud. Oranais. Thèse de Doctorat. 3^{ème} cycle. USTHB, Alger. 255p.
- Aidoud, L-F. 1984. Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum*) des hauts plateaux sud-oranais. Etude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Université des sciences et de la technologie. Houari Boumediene. Alger, 253p.
- Amghar, F., Kadi Hanifi, H. 2008. Diagnostic de la diversité floristique de cinq stations steppiques du sud Algérois. Ed. Les cahiers d'Orphée, Paris. p. 386-395.
- Aubert, G. 1978. Méthodes d'analyses des sols. Marseille : C.H.A.D.R. 188p.
- Aubert, G. 19962. Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. OSTOM, Paris. p127-150.
- Azizi, M. 2010. Contribution à l'étude de l'évolution de l'état de surface d'un sol dans une mise en défens dans la région de Laghouat. Mémoire de Licence. Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 29p.
- Baize, D., Girard, M-C. 2008. Référentiel pédologique 2008, association française pour l'étude du sol. Ed. Quae. France. 405p.
- Barbero M., Quezel P., Loisel, R. 1990. Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. Forêt Méditerranéenne 1990, XII : p. 194-215.

- Bencherif, S. 2011. L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne : évolution et possibilités de développement. Thèse de Doctorat : L'institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech). France. 270p.
- Benguerai, A. 2011. Évolution du phénomène de désertification dans le sud Oranais (Algérie). Thèse de Doctorat : Université Abou Bekr Belkaïd. Tlemcen. 138p.
- Benhassine, F. 2011. Contribution à l'inventaire de la végétation dans un parcours dans la région de Laghouat (cas de la zone Kaf Mokrane). Mémoire de Licence. Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 35p.
- Bensaid, A. 2006. SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de Doctorat : Université de Joseph Fourier-Grenoble 1. 299p.
- Bonneau, M., Souchier, B. 1979. Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol. MASSON : Paris. 81p.
- Boumedienne, M-A. 2010. Effet de l'application des boues d'épuration sur la biomasse de la culture d'orge en sec et sur l'état de surface d'un sol dans la région de Laghouat. Mémoire d'Ingénieur : Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 79p.
- Chaib, M. 1997. Comportement biologique comparé d'*Astragalus armatus* Willd. Sub sp. *Tragacanthoides* (Desf.) M. et de *Rantherium suaveolus* Desf. Sur la steppe dégradée de la zone aride tunisienne. *Ecol. Medit.*, 23 : 45-52p.
- Chehma, M. 2005. Etude floristique et nutritive des parcours camelin du Sahara septentrional Algérien. Thèse doctorat. Univ. Badji Mokhtar, Annaba. 178p.
- CTIFL, 2012. Le point sur la fertilité des sols en production fruitière. N. 33. Octobre 2012. 10p.
- Daget, Ph., 1980. Recherche d'écologie théorique sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative (cas de thérophytes) *in* recherche d'écologie théorique, stratégie adaptative (éd. BARBAUT, P. BLANDIN, J. A. MEYER). *Maloine*. Paris. p. 89-114.

Daget, Ph., Poissonet, J. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critère d'application. *Ann. Agron.*, vol. 22, n. 1. p. 5-41.

Dajoz, R. 2006. Précis d'écologie. 7^{ème} Ed. Paris : DUNOD. 615p.

Danin, A., Orshan, G. 1990. The distribution of Raunkiaer life forms in Israel in relation to the environment. *Journal of Vegetation Science* 1, p. 41-48

Daoudi, A., Benterki, N., Terrantis, S. 2010. La lutte contre la désertification des parcours steppiques : L'approche du développement agro-pastoral intégré. France : ISDA. 11p.

Djaballah, F. 2008. Effet de deux méthodes d'aménagement « mise en défend et plantation » sur les caractéristiques floristiques et nutritives des parcours steppiques de la région de Djelfa. Thèse de Magister : Université Kasdi Merbah-Ouargla. 120p.

Djoubar, S. 2011. Contribution à l'étude de la structure d'un parcours steppique mis en défend « Choucha » dans la région de Laghouat. Mémoire d'Ingénieur : Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 69p.

Duchaufour, PH. 1977. Pédologie, Pédogenèse et classification. Tome I, Edition : Masson, Paris, 477p.

Faurie, C., Ferra, CH., Medori, P., Dévaux J. 2003. Ecologie, approche scientifique et pratique. 4^{ème} Ed. Paris : Lavoisier. 339p.

Floret, Ch., Galan, M-J., Le Floc'h, E., Orshan, G., Romane F. 1990. Growth forms and phenomorphology traits along an environmental gradient : tools for studying vegetation. *Journal of Vegetation Science* 1, p. 71-80.

Floret, TC., Pontanier, R. 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. trav. doc. O.R.S.T.O.M., Paris, n° 150. 544p.

Fryrear, D-W., Stout, J-E., Hagen, L-J., Vories, E-D. 1991. Erosion field measurement and analysis. *Transactions of the ASAE* 34, p. 155-160.

Gaussen, H. 1963. Ecologie et phytogéographie. *Abbayes*. p. 952-972.

- Giva, G. 2011. Les produits agricoles utilisables en agriculture en Languedoc- Roussillon. Guide technique. Tome 1. 123p.
- Goffin, N. 2009. Impact de la mise en culture sur l'érosion éolienne à Laghouat, Algérie. Mémoire de Master : UCL(Belgique). 90p.
- Gounot, M. 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Ed. Masson et Cie, Paris. 314p.
- Graa, S. 2010. Contribution à l'étude de la dégradation des parcours steppiques dans la région de Laghouat. Mémoire d'Ingénieur : Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 74p.
- Hadeid, M. 2008. Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes, *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 8 n. 1, avril 2008, mis en ligne le 07 novembre 2008. Développement durable. Revues. Org/8190.
- Halitim, A. 1998. Les sols des régions arides d'Algérie. Alger : OPU. 384p.
- Halitim, A. 1988. Les sols des régions arides d'Algérie. Algérie. OPU. 384p.
- Hammouda, R. 2009. Contribution à élaboration d'un modèle de gestion durable d'un parcours steppique dans la commune de Hadj Mechri willaya da Laghouat, *Mém. de mag.Univ., Sci. Tech. H. Boumediene*, Alger. 114p.
- Hammouda, R. 2009. Contribution à élaboration d'un modèle de gestion durable d'un parcours steppique dans la commune de Hadj Mechri willaya da Laghouat. Thèse de Magister. Université. H. Boumediene, Alger. 114p.
- Homida, M., Nedjimi, B. 2006. Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir. *Journal El-Baheth*, n.4, 19p.
- Hountondji, Y-C. 2008. Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse de Doctorat : Université de Liège. Belgique. 131p.

Kaabeche, M. 1990. Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie) essai de synthèse sur la végétation steppique de Maghreb. Thèse de Doctorat : Université de Paris-Sud. 132p.

Kadi Hanifi, A. 1998. L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relations milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct., USTHB., Alger. 270p.

Kadi Hanifi, H. 1990. Etude phytoécologique des formations à Alfa dans le sud oranais. *Biocénoses* 5(1.2), p. 37-68.

Kadi Hanifi, H. 2003. Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. *Sécheresse*. Vol 14, N°3, 169-79.

Khadraoui, A. 2004. Eaux et sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement).Ed. Houma, Ouargla, Algérie. 393p.

Khelifi, A. 2008. Rendement des plantes spontanées de quelques parcours steppiques la région de Laghouat. Mémoire d'Ingénieur : Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 60p.

Korachi, B. 1995. Aperçu général sur la lutte contre la désertification au Maroc. *Homme, terre et eaux*, n. 99, p. 27-35.

Lacoste, A., Salanon, R. 1999. *Éléments de biogéographie et d'écologie*. 2^e Ed. Nathan, Paris. 300p.

Lambert, J., 1975. Analyse de laboratoire pour les sols et végétaux. INA. 18-80 p.

Le Floc'h, E. 2008. Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation. Ed. Roselt/OSS., Montpellier, 174p.

Le Houérou, H-N. 1995. Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. *Option méditerranéenne. Série B : études et recherches*, n. 10. CIHEAM. Montpellier. 397p.

Le Houérou, H-N. 1995. Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. *Option méditerranéenne. Série B : études et recherches*, n. 10. CIHEAM. Montpellier. 397p.

- Madani, Dj. 2007. Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique. Thèse de Magister. Université. El Hadj Lakhdar. Batna. 119p.
- Mainguet, M., Dumay, F. 2006. Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification. Les dossiers thématiques du CSFD. N. p. 3-44.
- Mallouhi, N. 1997. *Interprétations des analyses du sol et principales caractéristiques de certaines substances organiques et du compost*, Coopération Française, Programme d'Appui à la Formation Professionnelle des Agronomes, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin, 20p.
- Mathieu, C., Pielain, F. 1998. Analyse physique des sols, méthodes choisies. Paris. Ed. Lavoisier, technique et documentation. 275p.
- Melzi, S. 1990. Evaluation du processus de la désertification dans une région présaharienne du sud Algérois. *Biocénoses* 5(1.2), p. 85-102.
- Molinier, R., Muller P. 1938. La dissémination des espèces végétales. *Revue générale de botanique* 50, p. 1-178.
- Mouhous, A. 2004. Les causes de la dégradation des parcours steppiques. Thèse Magister : Institut National Agronomique El-Harrach Alger. 126p.
- Nedjimi, B., Guit, B. 2012. Les steppes algériennes : causes de déséquilibre. *Algerian journal of arid environment*. Vol. 2, n. 2, p. 50-61.
- Nedjraoui, D. 1981. Teneurs en éléments biogénèse et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation dans les Hautes Plaines steppique de la wilaya de Saida. Thèse de Doctorat. 3^{ème} cycle : Université des sciences et de la technologie Haouari Boumedienne d'Alger. 156p.
- Nedjraoui, D. 1990. Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles. Thèse de Doctorat. USTHB, Alger. 256p.
- Nedjraoui, D. 2002. Evolution des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. *Options Méditerranéennes*. p. 239-243.

Nedjraoui, D. 2004. Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. In : Ferchichi, A. (comp.), Ferchichi, A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM, 2004. p.239-243 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 62).

Nedjraoui, D., Bédrani, S. 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. Vol 8.n. 1. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*. 19p.

Nègre, R. 1966. Les thérophytes. Mem. Soc. Bot. Fl. 92-108.

OSS, 2013. Vulnérabilité aux changements climatiques des écosystèmes pastoraux et mesures d'adaptation pour l'amélioration de la productivité de l'élevage en zone désertique. Rapport de l'Observatoire du Sahara et Sahel. 31p.

Ozenda, P. 1954. Observation sur la végétation d'une région semi-aride, les hauts plateaux du sud algérois. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 45, p. 189-224..

Pouget, M. 1973. Etude écologique et pédologique de la région de Messaad. Etude D.E.M.R.H., Alger. 50p.

Pouget, M. 1977. Cartographie des zones arides: géomorphologie, pédologie, groupements végétaux et aptitudes du milieu à la mise en valeur. *Echelle 1/100.000. Région de Messaad-Ain el Ibel (Algérie)*. Paris : Notice ORSTOM n°67. 89p.

Pouget, M. 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Paris. ORSTOM. 569p.

Pouget, M. 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Paris. ORSTOM. 569p.

Prévost, P. 1999. Les bases de l'agriculture. 3ème Ed. Paris : Lavoisier. 290p.

Prévost, P. 1999. Les bases de l'agriculture. 3ème Ed. Paris : Lavoisier. 290p.

- Quezel, P., Santa, S. 1954. Contributions à la Flore de l'Afrique du Nord. IV- Contribution à la Flore du Hoggar. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord 44 : 55-67pp.
- Quezel, P., Santa, S. 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 Vol. CNES. Ed., Paris. 1170p.
- Rahmoun, S. 2009. Etude diachronique de la végétation spontanée dans la région de Laghouat. Mémoire d'Ingénieur : Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 62p.
- Ramade, F. 2003. Eléments d'écologie (Ecologie fondamentale). 3^{ème} Ed. DUNOD, Paris. 690p.
- Raunkier, C. 1934. Recherches statistiques sur les formations végétales. *Del. Kgl. Danske. Vidensk. Selskab., biol. Med.*, vol. 1, p. 3-80.
- Raven, P-H., Berg, L.R., Hassenzahi, D-M. 2008. Environnement. 6^{ème} Ed. Paris : de boeck. 687p.
- Rochez, B. 2010. Impact de la mise en culture sur l'érosion éolienne à Laghouat, Algérie. Mémoire de Master. UCL .129p.
- Roula, S. 2005. Caractérisation des boues résiduaire et valorisation physico-chimique urbaines pour la confection de substrats de culture en pépinières hors sol. Mémoire de Magister : Université Hadj Lakhdar de Batna. 115p.
- Sarkozy, N. 2011. L'action extérieure de la France contre la dégradation des terres et la désertification. France. 11p.
- Sauvage, Ch. 1960. Recherches géobotaniques sur le chêne liège au Maroc. Thèse. Doct. Montpellier. Trav. Inst. Sci. Cherf. Série botanique, 21. 462p.
- Serdoun, M. 2009. Caractérisation de la végétation des quelques dépression fermées (daya) au sud de Laghouat. Mémoire d'Ingénieur : Université d'Amar Thelidji de Laghouat. 84p.
- Sharratt, B., Feng, G. 2009. Friction velocity and aerodynamic roughness of conventional and undercutter tillage within the Columbia Plateau, USA. *Soil & Tillage Research* 105: p. 236–241.

Soltner, D. 1982. Alimentation des animaux domestiques. Ed. Sciences et techniques agricoles. Paris. 392p.

Stolte, J. 2003. Affects of land use and infiltration behavior on soil conservation strategy. PhDThesis, Wageningen university, Netherlands.

Tossou, R-C., Vodouche, S-D., Fanou, J-A., Babadankpodji, P-A., Kouevi, A-T., Aholoukpe, H. 2006. Caractéristiques physico – chimiques et aptitudes culturales de sols de la conurbation. Faculté des sciences agronomiques. Université d'abomey-Calavi. 23p.

Windisch, E. J. 1999. Mécanique des sols. Essais de laboratoire. École de technologie supérieure. 108p.

ANNEXE I

Tableau 01: Type biologique des espèces floristiques

Espèce	Type biologique
<i>Aristida pungens</i> desf.	Thérophyte
<i>Cleome arabica</i> L.	Thérophyte
<i>Erodium triangulaire</i>	Thérophyte
<i>Eruca</i> sp.	Thérophyte
<i>Euphorbia guyoniana.</i>	Thérophyte
<i>Euphorbia helioscopia.</i>	Thérophyte
<i>Ifloga spicata</i> (Forks.) Sch. Bip.	Thérophyte
<i>Oudneya africana</i>	Thérophyte
<i>Astragalus armatus</i> Willd.	Hemicryptophyte
<i>Astragalus</i> sp.	Hemicryptophyte
<i>Plantago albicans</i> L.	Hemicryptophyte
<i>Echinops spinosus</i> Bove ex DC.	Hemicryptophyte
<i>Tamarix galica</i>	Phanérophyte
<i>Retama raetam</i> (Forssk.) Webb.	Phanérophyte
<i>Genista uniflora</i> Briq.	Chaméphyte
<i>Rhantherium suaveoleus</i>	Chaméphyte

ANNEXE II

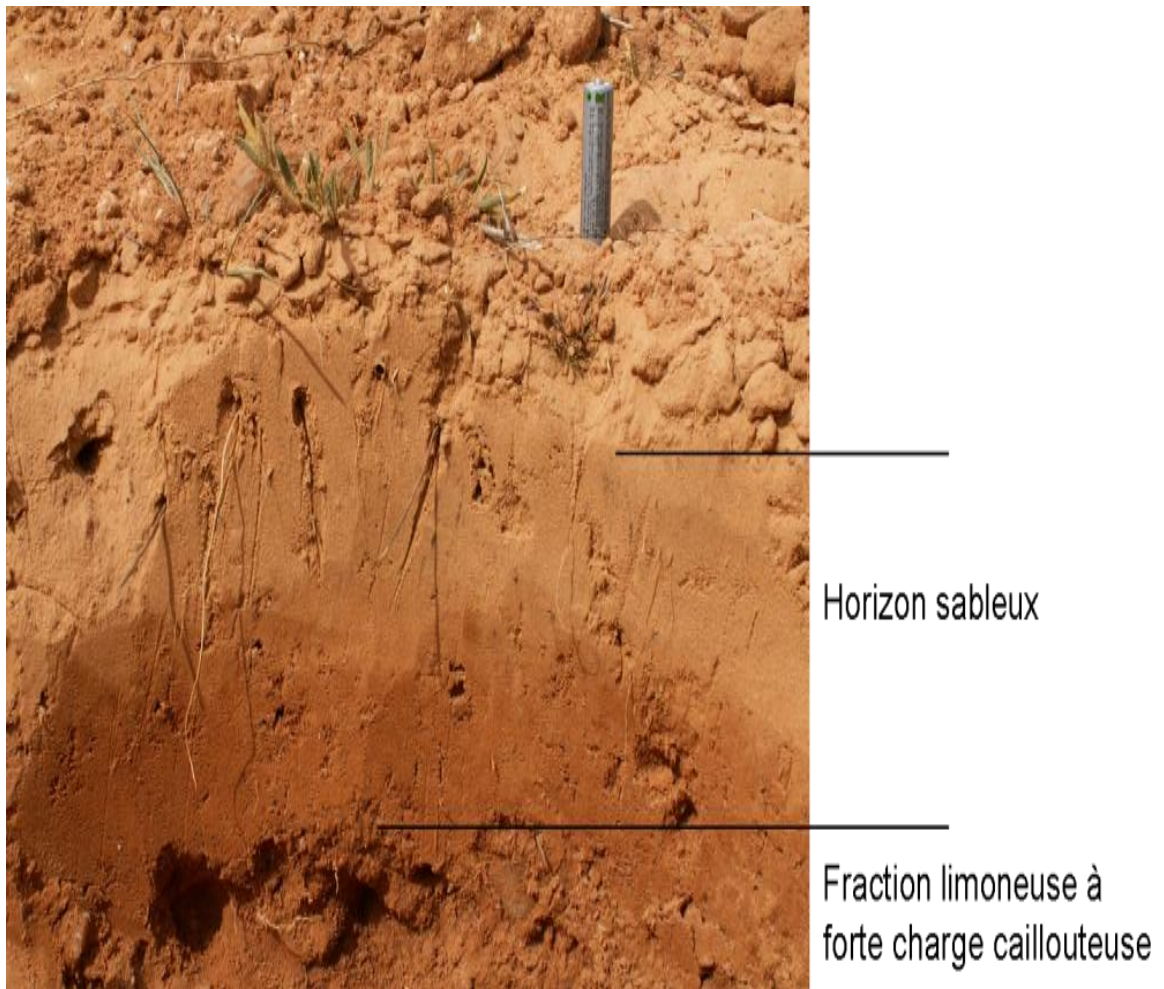


Photo 01 : Profil du sol de Mokrane (Cliché : Houyou Mars 2009, Laghouat).

Le sol de Mokrane présente deux horizons, c'est un sol dont la roche mère est à 70 Cm de profondeur il est donc peu évolué superficiel pauvre, l'horizon humique est absent.

ANNEXE III

Tableau 02. Classification des sols suivant leur pH

pH eau	Nature du sol
6,75 <pH ≤7,25	Neutre
7,25 <pH ≤8, 5	Alcalin
>8,5	Très alcalin

Source : Aubert, 1978.

Tableau 03. Classification des sols selon leur teneur en sels

CE (mmhos/cm a 25°C)	Nature d sol
<0,25	Excellente (non salin)
0,25 à 0,75	Faible salinité
0,75 à 2,25	Forte salinité
>à 2,25	Très forte salinité

Source Lambert, 1975.

Tableau 04. Classes des sols selon la teneur en matières organiques

MO%	Nature du sol
< 0,5%	Très pauvre en MO
0,5 à 1,5 %	Pauvre en MO
1,5 à 2,5 %	Moyennement pourvu en MO
2,5 à 6 %	Riche en MO
6 à 15 %	Très riche en MO

Source : Schafeer, 1975 in Roula, 2005.

Tableau 05. Classification des sols suivant le taux de calcaire

Ca CO₃ %	Nature du sol
CaCO ₃ < 1%	Non calcaire
1% < CaCO ₃ ≤ 5%	Peu calcaire
5% < CaCO ₃ ≤ 25%	Modérément calcaire
25% < CaCO ₃ ≤ 50%	Fortement calcaire
50% < CaCO ₃ ≤ 80%	Très fortement calcaire
CaCO ₃ > 80%	Excessivement calcaire

Source : Baize, 1988 in Roula, 2005

ANNEXE IV



Photo 02. Mesure de conductivité électrique



Photo 03. Mesure de pH_{eau} par pH-mètre.



Photo 04: Spectrophotomètre à flamme (originale)



Photo 05: Colorimètre (originale)



Photo 06. Analyse granulométrique par tamisage et sédimentation.