

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

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : écologie végétale et environnement steppes et

Oasis

THEME

**Analyse du comportement face aux facteurs abiotiques
chez quelques plantes dans un parcours dans la région de
Laghouat.**

Présenté par : Aiouana Hanaa

Le : 01/06/ 2016.

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Président(e) : Amrani Ouarda

Maître-assistant A

Rapporteur : Mlle Houyou Zohra

Maître-assistant A

Co-Rapporteur : Allali Khadidja

Examinatrice : Maallem Hamida

Maître-assistant A

JUIN 2016 .

Remerciements

Avant tout je remercie mon dieu Allah, le tout puissant et le très Miséricordieux de m'avoir donné, la foi, la santé et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mlle Houyou Zohra, d'avoir accepté d'encadrer ce travail. Ses conseils, son soutien et ses encouragements ont été très précieux pour mener à bien ce travail.

Je tiens également à remercier tous les enseignants et les enseignantes qui ont assurés ma formation en écologie végétale.

Mes parents, mes sœurs et mes frères pour leurs encouragements et leur soutien ;

Je tiens à remercier vivement toute personne qui, de près ou de loin, a contribué à ce travail.

Dédicace

Je remercie tout d'abord le bon Dieu tout puissant qui m'a donné la force et le courage pour terminer ce travail ;

Je dédie ce modeste travail aux deux personnes que j'aime le plus dans la vie, ma raison de vivre qui méritent tout le respect du monde qu'ils trouvent ici le témoignage de mon profond amour et mon dévouement infini ;

A mon très cher père, l'homme le plus parfait dans le monde, mon grand exemple et le secret de ma réussite ;

Ma mère, source de compassion et de tendresse, l'exemple de patience et sacrifice

Et mes chers frères et mes sœurs et à toutes ma familles : Aiouana

Et toutes mes amies

A Toute la promotion d'écologie végétale et environnement

2015-2016

Analyse du comportement face aux facteurs abiotiques chez quelques plantes dans un parcours dans la région de Laghouat.

Résumé

Notre travail vise à déterminer la résistance aux facteurs abiotiques d'une végétation relevée entre Mars 2016 et Mai 2016 dans un parcours naturel dans la région de Laghouat. La richesse totale est de 25 espèces. Parmi ces espèces *Aristida pungens* présente la plus forte contribution spécifique au tapis végétal avec un taux de 54,87%, l'espèce la moins présente est *Argyrobium uniflorum* avec une contribution spécifique de 0,24%. L'Équitabilité mesurée est de 60% ce qui laisse dire qu'il y a tendance vers l'équilibre entre les effectifs des espèces présentes sur le parcours. Les analyses du sol ont montré qu'il est formé d'un profil de deux horizons où les sables dominent avec plus de 97%. Le pH montre une alcalinité du sol. Les résultats de la conductivité électrique indiquent une faible présence de sels. Dans son ensemble le sol est pauvre en éléments majeurs. Le rapport C/N indique qu'il n'y a pas de décomposition de la matière organique. Les données climatiques ont révélé que la période humide le mois de Décembre. Le dosage de la proline a révélé des différences en concentration entre les espèces, variables entre un minimum de $2,55.10^{-5}$ (mmol/kg de matière fraîche) chez *Trigonella stellata* (Forsk.) et un maximum de $1,14.10^{-3}$ (mmol /kg de matière fraîche) chez *Thymelaea microphylla*. Ces valeurs sont indicatrices que la morphologie de la plante influe sur son comportement physiologique.

Mots clé : Couvert végétal, résistance, proline.

Behavior Analysis cope with abiotic factors in some plants in a course in Laghouat region.

Summary

Our work aims to determine the resistance to abiotic factors of vegetation inventoried between March 2016 and May 2016 in a natural grazing of the wilaya of Laghouat. The total richness was 25 species. Among these species (*Aristida pungens*) has the highest specific cover contribution with a rate of 54, 87%, the less present species (*Argyrobium uniflorum*) with a rate specific contribution of 0,24 %. The equitability measured at 60 % which suggests that there tends towards equilibrium between the species present on the course the species present on the course. Soil tests have shown that it consists of a profile of three horizons when sands dominate with over 97 %. The pH shows an alkalinity of the soil, the results of the electrical conductivity indicate low presence of salts. As a whole, the soil is poor in major elements. The C / N ratio indicates that there is light decomposition of the organic matter. Climate data revealed that the wet period in December. The Proline concentration in fresh vegetable material showed differences in variable species from a minimum of $(2,55.10^{-5} \text{ mmol / kg})$ in *Trigonella stellata* and a maximum $(1,14.10^{-3} \text{ mmol / kg})$ in *Thymelaea microphylla*. These values indicate very well that the morphology of the plant affects its physiological behavior.

Keywords: vegetable cover, resistance, Proline.

تحليل سلوك بعض النباتات المواجهة للعوامل اللاحيوية الموجودة في مرعى بمنطقة الاغواط

ملخص

يهدف هذا العمل الى دراسة مقاومة العوامل اللاحيوية عند مجموعة نباتات احصيت ما بين مارس 2016 ومايو 2016 في مرعى طبيعي شمال ولاية الاغواط قدرت وفرة النباتات ب25 نوع . يساهم (*Aristida pungens*) بأعلى نسبة في الغطاء النباتي تقدر (54,87%) بينما يساهم (*Argyrobium uniflorum*) باقل قيمة قدرت ب0,24%. 60% نسبة التكافؤ بين النباتات تشير الى ان هناك ميل الى التوازن بين الانواع النباتية. أظهرت تحاليل التربة أنها تتكون من طبقتين حيث سيادة الرمال بنسبة أكثر من 97%. درجة حموضة التربة و نتائج التوصيل الكهربائي تشير الى عدم وجود نسبة قليلة من الأملاح. كما اظهرت التحاليل الكيميائية ان التربة فقيرة من العناصر الرئيسية. بينما نسبة الكربون على الازوت تشير الى أنه ليس هناك تحلل للمادة العضوية. كما كشفت البيانات المناخية أن الفترة الرطبة في المرعى تظهر في شهر ديسمبر فقط. وأظهر تركيز البرولين عند النباتات عدة اختلافات ، و أظهر اختلاف تركيز البرولين عند اصناف النبات حد أدنى ($2,55 \times 10^{-5}$ ممول كجم) عند *Trigonella stellata* و حد أقصى ($1,14 \times 10^{-3}$ ممول كجم) عند *Thymelaea microphylla* . هذه القيم تدل على أن مورفولوجيا النبات تؤثر على سلوكها الفسيولوجي

الكلمات المفتاحية : الغطاء النباتي , المقاومة، البرولين.

<i>Sommaire</i>		<i>page</i>
Introduction		2
<i>Chapitre I : Revue bibliographique</i>		
I.1. Les facteurs écologiques		5
I.1.1. Les facteurs abiotiques		5
I.1.1.1. Les facteurs édaphiques		5
I.1.1.2. Les facteurs climatiques		5
I.1.2. Les Facteurs biotiques		5
I. 2. Evolution et conditions de développement des végétaux		5
I.2.1. La relation entre le sol et la plante		6
I.2.1.1. L'azote		7
I.2.1.2. Le phosphore		7
I.2.1.3. Le sodium.		8
I.2.1.4. Le potassium		8
I.2.2. La relation climat-végétation		8
I.2.2.1. L'influence de la végétation sur le climat		9
I.2.2.2. L'influence du climat sur la végétation		9
I.3. Le déficit hydrique ou Sècheresse		9
I.4. Les stress chez les plantes		10
I.4.1. Les forme de stress		11
I.4.1.1. Biotique		11
I.4.1.2. Abiotique		11
I.4.1.2.1 Stress salin		12
I.4.1.2.2. Stress hydrique		12
I.4.1.2.3. Le stress thermique		12
I.4.1.2.4. Les stress ioniques		13
I.4.2. Les hormones de stresse		13
I.4.2.1. Acide abscissique		14
I.4.2.2. Ethylène		14
I.4.2.3. Les auxines		14
I.4.2.4. La Proline		15
I.4.2.4.1. La proline et le stress		15

I.4.2.4.2. Rôle de proline	15
I.5. La plante et le stress	16
I.5.1. Réponses d'une plante aux stress abiotiques	16
I.5.1.1. Réponse moléculaire	16
I.5.1.2. Réponse cellulaire	17
I.5.1.3. Réponse au niveau de la plante entière	17
I.5.2. Réponses des plantes à la sécheresse	17
I.6. Les modes de réponses	17
I.6.1. Adaptation	17
I.6.2. L'acclimatation	17
I.7. Mécanismes de résistance ou de tolérance au stress	18
I.7.1. Phénomène d'échappement	18
I.7.2. L'évitement	18
I.7.3. La résistance ou la tolérance	19
Chapitre II : Matériels et Méthodes	
II.1. Localisation et présentation de la zone d'étude	21
II.1.1. Présentation du site d'étude : La zone de Mokrane	21
II.1.2. Cadre géologique	21
II.1.3. Caractéristiques climatiques	22
II.1.4. Cadre pédologique de la zone d'étude	22
II.2. Méthode d'échantillonnage et collecte des données sur le terrain	22
II.2.1. Pédologie du site d'étude	22
II.2.1.1. Echantillonnage sur le terrain	22
II.2.2. Analyses physico-chimique aux laboratoires	23
II.2.2.1. Analyse physique	23
A. Analyse granulométrique	23
II.2.2.2. Analyses chimiques	24
A. Mesure du pH	24
B. Mesure de la conductivité électrique	24
C. Détermination de la matière azotée	24
D. Le rapport C /N	24
E. Le dosage des éléments P , Na et K	24
E.1. Dosage du Phosphore et du Potassium	24

E.2. Dosage du sodium (Na^+)	25
F. Dosage du calcaire	25
G. Détermination de la teneur en matières organiques (MO) par calcination	25
II.3. Analyses floristique	26
II.3.1. Méthode d'échantillonnage	26
II.3.2. Relevé phytocéologique	26
II.3.3. Mode opératoire sur le terrain	26
II.3.3.1. Emplacement des relevés	26
II.3.3.2. Relevé linéaire par la méthode de la ligne simple	27
II.3.4. Analyses des données du terrain	27
II.3.4.1. Identification des espèces	27
II.3.4.2. Analyse du patrimoine biologique	27
II.3.4.2.1. Richesse totale (spécifique, S)	27
II.3.4.2.2. Recouvrement global de la végétation	28
II.3.4.2.3. La fréquence spécifique F_{Si}	28
II.3.4.2.4. La contribution spécifique C_{Si}	28
II.3.4.2.5. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')	29
II.3.4.2.6. Equitabilité (E_Q)	29
II.3.4.2.7. Diversité biologique (Le spectre biologique)	30
II.3.4.2.8. Diversité phytogéographique	30
II.4. Analyses de la matière fraîche de la communauté végétale relevée	31
II.4.1. Détermination de l'eau, de la matière minérale et organique de sol	31
II.4.2. Dosage de la proline	31
II.5. Analyse statistique	31
Chapitre III : Résultats	
III.1. Climatologie de la zone d'étude	33
III.1.1. Climagramme d'EMBERGER	33
III.1.2. Le diagramme Ombrothermique	34
III.1.3. Humidité relative de l'air	34
III.1.4. Le vent	35
III.1.5. La Gelée	35
III.1.6. L'indice d'aridité de De Martonne	36

III.2. Pédologie de la zone d'étude	36
III.3. Analyses physico-chimiques du sol	36
III.3.1. Granulométrie	36
III.3.2. Le pH du sol	37
III.3.3. La conductivité électrique	37
III.3.4. Eléments chimiques du sol de la zone d'étude	37
III.3.5. Dosage du carbone organique et la matière organique	38
III.3.6. Le rapport C/N	39
III.4. Analyses floristique	39
III.4.1. Richesse totale (spécifique, S)	39
III.4.2. Recouvrement global	40
III.4.3. La fréquence spécifique F_{Si} et La contribution spécifique C_{Si}	42
III.4.4. Indice de diversité spécifique de Shannon-Weaver (H') et L'Equitabilité (E_Q)	42
III.4.5. Diversité biologique (Le spectre biologique)	43
III.4.6. Diversité phytogéographique	43
III.5. Analyse de la matière fraîche de la communauté végétale	44
III.5.1. Détermination de l'eau, de la matière minérale et organique	45
III.5.2. La proline	45
III.6. Analyses statistiques des données	46
III.6.1. Degré de similarité entre les espèces relevées pour les paramètres (C_{Si} et la proline)	47
III.6.2. Degré de similarité entre les espèces relevées pour les paramètres proline et teneur en eau dans la matière végétale.	47
Chapitre IV : Discussions	
IV.1. Climatologie de la zone d'étude	50
IV.2. Les paramètres physico-chimiques du sol	51
IV.3. Analyses floristique	53
IV.5. La matière fraîche de la communauté végétale	56
Conclusion	58
Références bibliographiques	60
Annexes	

N°	<i>Liste des tableaux</i>	Page
1	Présente les classes granulométriques. (USDA, 1986)	23
2	Vitesse des vents moyens mensuels de la région de Laghouat.	35
3	Moyennes de nombre de jours de gelée de la région de Laghouat (2005-2015).	35
4	Le pH du sol.	37
5	Évolution du N, P, K, Na^+ éléments chimiques dans les échantillons du sol (g/kg) et de calcaire en (%).	38
6	Le carbone organique et la matière organique des sols en (%).	38
7	Rapport C/N en (%).	39
8	Les espèces inventoriées dans le site étudié et l'importance des familles.	40
9	Fréquence spécifique et contribution spécifique de la zone d'étude.	42
10	Diversité spécifique (H') et L'Equitabilité (E_Q).	43

N°	<i>Liste des figures</i>	Page
1	Localisation de la zone d'étude (Site Kaf Mokrane).	21
2	prélèvement des échantillons du sol et des végétaux.	27
3	Climagramme pluviothermique d'Emberger pour la station de Laghouat (2005-2015).	33
4	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNAULS de la région de Laghouat (2005-2015).	34
5	Variation de l'Humidité de la région de Laghouat (2005-2015).	35
6	Pourcentage % des fractions granulométriques de l'échantillon globale en différentes classes en mm de 10 Mars 2016.	36
7	La conductivité électrique.	37
8	Recouvrement global de végétation et éléments de surface du sol dans la zone d'étude(%).	41
9	Taux de recouvrement global d'élément de surface de sol dans la zone d'étude.	41
10	Spectre biologique de la zone d'étude (%).	43
11	Spectre phytogéographique de la zone d'étude (%).	44
12	Détermination de l'eau, de la matière minérale et organique des espèces végétale.	45
13	Evolution de la teneur en proline dans les feuilles fraîches des espèces relevées.	46
14	Dendrogramme de la CHA de la contribution spécifique des espèces dans la zone d'étude.	47
15	Dendrogramme de la CHA de la physiologie des espèces.	48

Introduction

Les plantes en générale exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais elles sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentiels hydriques, température et salinité, engendrant différents types de stress (Hopkins, 1999 ; Bouaouina *et al.*, 2000). En conditions stressantes, certaines espèces sont menacées de disparaître (Chamard, 1993), d'autres peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques (Kylin et Quatrano., 1975; Parida *et al.*, 2005) et biochimiques (Brugnoli et Lauteri., 1991) impliquant une activité enzymatique (Stephanopoulos., 1999; Chaffei *et al.*, 2004). Ainsi, par la synthèse de composés organiques ayant un rôle d'osmo-protecteurs (Rathinasabapathi *et al.*, 2000) ou de régulateurs osmotiques (Goldhirset *et al.*, 1990) en synthétisant des acides aminés comme la proline (Ashraf, 2004). La proline est l'une des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb *et al.*, 2012). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo *et al.*, 1989).

Les steppes algériennes sont caractérisées par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie spontanée des êtres vivants (Nedjraoui, 2002). La diminution et l'irrégularité accrue des pluviosités, l'augmentation des températures et la longueur des périodes de sécheresse estivale avec un bilan hydrique déficitaire rendent les conditions de développement des plantes difficiles (Le Houérou, 1996). Ces conditions sont donc très défavorables au bon développement des communautés végétales. Par conséquent le risque de la régression irréversible de la couverture végétale et la diminution de la biodiversité de cet écosystème sont à craindre Benabadj *et al.* (1996) Aidoud et Touffet (1996) (Quezel, 2000) (Bouazza, 1995) (Quézel et Barbéro, 1990). Et de ce fait ce milieu fragile nécessite d'urgentes interventions qui doivent impérativement passer par la compréhension du fonctionnement de ses peuplements notamment les mécanismes physiologiques des espèces végétales qui le colonisent ou qui peuvent être utilisées dans les opérations de plantations.

Dans ce contexte notre travail de mémoire a été entrepris dans la région de Laghouat et dont l'objectif est d'analyser le comportement physiologique de résistance aux facteurs abiotiques d'une population végétale relevée dans un environnement aride.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

Dans un premier chapitre sont présentées des revues bibliographiques traitant le travail qui nous intéresse ;

Dans un deuxième chapitre une description de la région et du site d'étude, et des différentes méthodes utilisées au cours de la réalisation de ce travail, sur terrain ou aux laboratoires ;

Le troisième chapitre, expose les résultats obtenus et qui sont discutés dans un quatrième et dernier chapitre ;

Enfin, nous finissons avec une conclusion et des perspectives.

1 . Les facteurs écologiques

Les facteurs écologiques sont les éléments du milieu susceptible d'agir sur les êtres vivants, ils concernent les facteurs abiotiques et biotiques (RAMADE, 2003 ; DAJOZ, 2006).

1.1 . Les facteurs abiotiques

D'après Dreux (1980), tout être vivant est influencé par un certain nombre de facteurs dits abiotiques qui sont le climat (température, précipitation, humidité et vents). Les caractères physiques et chimiques du sol jouent eux aussi un rôle important. Ils sont désignés sous le nom de facteurs édaphiques.

1.1.1. Les facteurs édaphiques

Les facteurs édaphiques ont une action écologique sur les êtres vivants, ils jouent un rôle important, en particulier pour les insectes qui effectuent une partie ou même la totalité de leur développement dans le sol (Dajoz, 1971 ; Dreux, 1980). D'après Ramade (1983), le sol constitue l'élément essentiel des biotopes.

1.1.2. Les facteurs climatiques

Au sein des facteurs climatiques, les plus importants sont les températures et la pluviométrie, humidité relative de l'air (Kouassi et al., 2008)

1.2. Les Facteurs biotiques

Il s'agit des facteurs écologiques qui se manifestent au sein des populations et qui influencent leur démographie : effets de groupe et de masse, compétitions intra-ou interspécifiques, prédation, parasitisme. Ils dépendent donc des organismes vivants. Ce sont toutes les interactions qui existent entre les êtres vivants présents dans un écosystème donné (Khasirikani, 2009)

2. Evolution et conditions de développement des végétaux

Les végétaux ont commencé à coloniser les continents au silurien, il y a 400 millions d'années. Ce sont les premiers êtres vivants à avoir réussi une telle adaptation et s'ils se sont développés dans le milieu hostile qu'était la terre à cette époque, c'est grâce à la mise en place de systèmes efficaces (photosynthèse, mise en place d'organes spécifiques comme les racines et les feuilles...) Les végétaux ont aussi pu se répandre sur la surface de la planète en mettant en œuvre la pollinisation puis, plus tard, en créant une symbiose avec les insectes via les fleurs. Le règne végétal a réussi à se maintenir et même à prospérer et ce, malgré l'avancée du règne animal. Il semble donc évident que les plantes qui, contrairement aux animaux, sont incapables de se déplacer afin d'échapper à un stress

environnemental, ont su développer des stratégies pour répondre aux modifications de leur milieu et pour survivre (Tafforeau. M ,2002)

Le quotidien des végétaux n'est pas de tout repos. En effet, sa croissance est, à tout instant, affectée par une multitude de stress environnementaux. Les plantes ont mis en place des mécanismes qui leur sont propres pour percevoir et répondre à toute une série de stress environnementaux tels que la déshydratation, les basses températures, la chaleur, les stress mécaniques comme le toucher ou le vent, les blessures ou encore les infections provoquées par des espèces qui leur sont pathogènes. Tous ces stress environnementaux sont donc perçus par la plante comme des stimuli qui, par un phénomène de transduction du signal au sein de la cellule végétale, vont à leur tour induire tout un ensemble de réponses biochimiques, moléculaires (expression ou répression de certains gènes) ou physiologiques (Mahrouz .F, 2013).

Ainsi, depuis la vie embryonnaire, le développement des végétaux est fonction non seulement de l'information génétique que ceux-ci portent et qui est spécifique à chaque individu, mais aussi des caractéristiques de l'environnement. Les végétaux sont constamment soumis aux différentes variations environnementales et subissent divers stress biotiques et/ou abiotiques. Aussi, les plantes ont-elles développé des stratégies d'évitement et de tolérance vis-à-vis de ces variations, ce qui leur permet de s'adapter et de s'acclimater aux différentes modifications pour survivre (Elmsehli, 2009).

2.1.La relation entre le sol et la plante

Les plantes prélèvent les éléments minéraux du sol pour produire les composés organiques. Il est établi que plusieurs éléments sont nécessaires pour le fonctionnement normal de la machine biochimique de la plante. Les éléments nutritifs doivent être présents sous une forme assimilable pour que les végétaux puissent les absorber (Ghozlene I., 2013).

Pour se développer, une plante a besoin d'eau, de lumière, d'oxygène, de carbone mais également d'éléments minéraux présents plus ou moins dans le sol. Pour pousser, les plantes ont besoin de plusieurs éléments nutritifs essentiels, en quantité variable, à différentes étapes de leur développement. Les éléments requis en quantité relativement importante (l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium.....etc.) sont appelés macro éléments (Ghozlene I., 2013).

2.1.1. L'azote

L'azote est un élément essentiel pour la croissance des plantes, étant un élément constitutif des protéines, des acides aminés, de la chlorophylle, des acides nucléiques et d'une large gamme d'autres composés (Harper, 1994).

Les plantes absorbent principalement l'azote du sol sous la forme des ions minéraux nitrate et ammonium, toutefois elles peuvent aussi absorber de petites molécules aminées (acides aminés, urée) mais cela ne représente, à l'exception de plantes de certains écosystèmes tels les écosystèmes alpins ou ceux des toundras arctiques (Rehder et Hart, 1997), qu'une faible part de la nutrition azotée des plantes (Chaillou et Lamaze, 1997). Les espèces de la famille des légumineuses peuvent aussi avoir accès à l'azote atmosphérique (N₂) grâce à l'établissement au niveau de leurs racines de symbioses avec des bactéries fixatrices de l'azote atmosphérique (Trinchant *et al.*, 1997). Dans la plupart des sols des régions tempérées, où les conditions sont généralement favorables à l'oxydation par les organismes nitrifiants de l'ammonium en nitrate, le nitrate est la plus importante source d'azote pour les plantes (Salsac *et al.*, 1987).

2.1.2. Le phosphore

Le phosphore (P) est un élément qui est largement distribué dans la nature. Il est considéré, avec l'azote (N) et le potassium (K), comme un constituant fondamental de la vie des plantes et des animaux. Le phosphore a un rôle dans une série de fonctions du métabolisme de la plante et il est l'un des éléments nutritifs essentiels nécessaires pour la croissance et le développement des végétaux. Il a des fonctions à caractère structural dans des macromolécules telles que les acides nucléiques et des fonctions de transfert d'énergie dans des voies métaboliques de biosynthèse et de dégradation. A la différence du nitrate et du sulfate, le phosphate n'est pas réduit dans les plantes mais reste sous sa forme oxydée la plus élevée (Marschner, 1993).

Le phosphore est absorbé principalement pendant la croissance végétative et, par la suite, la majeure partie du phosphore absorbé est transférée dans les fruits et les graines pendant les étapes de reproduction. Des plantes déficientes en phosphore montrent un retard de croissance (réduction de la croissance des cellules et des feuilles, de la respiration et de la photosynthèse), et souvent une couleur vert foncé (concentration plus élevée en chlorophylle) et une coloration rougeâtre (augmentation de la production d'anthocyanes).

Il a été signalé que le niveau de l'approvisionnement en phosphore pendant les étapes reproductrices règle la partition des photosynthétats entre les feuilles-sources et les organes

reproducteurs, ceci étant essentiel pour les légumineuses fixatrices d'azote (Marschner, 1993).

2.1.3. Le sodium

Le sodium ne constitue pas un (macro) élément nutritif essentiel chez la plupart des plantes supérieures. A forte concentration, ce cation devient même toxique pour la plante. A des concentrations plus faibles, la plante peut l'utiliser avec profit en tant qu'osmoticum vacuolaire (Jabnoute M, 2008).

Selon Cheeseman (1988), la concentration de Na⁺ dans le cytosol est maintenue à une valeur inférieure à celle de K⁺, dans les cellules animales comme dans les cellules végétales. Dans les cellules végétales, la concentration de Na⁺ ne semble pas être soumise à une homéostasie aussi étroite. Lorsque la plante se développe en présence de Na⁺, l'accumulation de Na⁺ dans le cytoplasme au-delà d'un certain seuil devient toxique, mais ce seuil n'est clairement déterminé.

Le sodium a un rôle en tant qu'osmoticum. En effet, différentes études ont effectivement montré que des quantités modérées de Na⁺ peuvent améliorer la croissance de nombreuses espèces végétales (Mengelet Lauchli, 1983). Par exemple, un effet nutritif bénéfique de Na⁺ a été décrit chez la betterave et la tomate (Woolley et Besford, 1978).

2.1.4. Le potassium

Le potassium présent à une concentration de 100 à 200 mM dans le cytosol, est le cation inorganique majoritaire du cytoplasme des cellules animales et végétales. Les raisons de son accumulation préférentielle par rapport à Na⁺ tiennent probablement au fait que Na⁺ est davantage « chaotropique » (du fait de sa plus petite taille et donc du champ électrique plus fort à sa surface) (Clarkson et Hanson, 1980).

2.2. La relation climat-végétation

Les climats peuvent varier sur de faibles distances selon les influences dues à des facteurs locaux déterminés : le relief, l'altitude, la présence de nappes d'eau (mer, lacs, étangs...), la présence ou l'absence de végétation sur le sol et la hauteur de cette végétation (cultures, prairies ou arbres) (Medjber Tegui T, 2015).

L'interdépendance de la flore ou de la végétation et du climat est un fait reconnu depuis fort longtemps. En effet, la végétation est le reflet fidèle des facteurs climatiques (humidité et chaleur) proches de leur minimum. Ces deux éléments constituent des "facteurs limitants" au sein de la région étudiée (Djellouli, 1990).

2.2.1. L'influence de la végétation sur le climat

L'effet rafraîchissant des couverts végétaux est un domaine d'étude et d'intérêt de beaucoup de sciences appliquées : Climatologie et météorologie, sylviculture et Arboriculture, conception bioclimatique et physique de bâtiments, planification de paysages (Boudjellal, 2009).

Selon Guyot (1999), à l'intérieur d'un couvert végétal, le flux de chaleur sensible est modifié, il dépend de la surface foliaire par unité du volume du couvert, de la différence de température entre les feuilles et l'air ainsi que de la ventilation qui intervient en modifiant la résistance à la diffusion dans la couche limite laminaire.

2.2.2. L'influence du climat sur la végétation

Les végétaux du désert sont obligés de recourir à un ensemble d'adaptations pour lutter contre l'évaporation qui tend à accroître la sécheresse atmosphérique, les températures élevées, les vents souvent violents (Albin, 1999).

La température intervient dans le déroulement de tous les processus biologiques, contrôle la répartition géographique des espèces (Lemee, 1978).

L'humidité atmosphérique et la disponibilité en eau du milieu joue un rôle essentiel dans l'écologie des organismes, en conjonction avec la température. Le facteur lumière intervient notamment, en écologie, par sa période (Barbault, 2000).

Selon Soltner (1999), le vent provoque la déformation des arbres s'il est dominant.

La direction du vent varie beaucoup au cours de la journée ce qui complique l'analyse de la protection des cultures (Baldy, 1986).

Les adaptations à la sécheresse, au froid, à l'obscurité, à l'hypoxie sont quelques-unes des nombreuses adaptations des êtres vivants mises en œuvre pour assurer la colonisation d'un biotope et son organisation (Leveque, 2001).

3. Le déficit hydrique ou Sècheresse

Le terme "sécheresse" peut recouvrir plusieurs situations différentes selon que l'on se positionne en tant que météorologiste, agronome ou biologiste moléculaire (Passioura, 2007). De manière générale, il s'agit d'un phénomène climatique défini comme un manque d'eau au cours d'une période prolongée qui concerne exclusivement des plantes localisées en plein champ (Wood, 2005). D'un point de vue écologique, une sécheresse interfèrera défavorablement avec le fonctionnement des écosystèmes, alors qu'en agriculture, une sécheresse signifie que la disponibilité en eau du sol n'est pas suffisante pour pourvoir aux besoins de la culture implantée (Passioura et Pereira, 2007).

Les mécanismes qui interviennent dans l'adaptation des plantes à la sécheresse sont nombreux. Les caractères morphologiques et physiologiques qu'ils impliquent sont, pour la plupart, identifiés. Les effets de leur mise en œuvre sur le rendement final sont, par contre, moins bien connus et l'amélioration génétique du rendement, dans les milieux à fortes contraintes environnementales, reste largement empirique. En réalité, les contraintes environnementales subies par la plante associent, le plus souvent, plusieurs types de stress : la salinité, par exemple, comprend des stress ioniques (toxicité des ions Na⁺ et Cl⁻) et osmotiques ; la sécheresse quand à elle recouvre à la fois des stress thermiques et hydriques (ces dernières induisent par ailleurs des stress ioniques).

La sécheresse est l'une des principaux facteurs limitant les rendements à travers le monde, le manque d'eau, souvent associé à d'autres stress abiotiques (gel, hautes températures, salinité..), et la variabilité des facteurs climatiques sont responsables de pertes de rendement très importantes. (Monneveux et This, 1997).

Sous le climat méditerranéen, la sécheresse est récurrente et peut être mensuelle, saisonnière ou annuelle, omni présente en raison des températures élevées et d'une pluviométrie modeste et surtout très variable (Henia, 1993). Elle est caractérisée par une absence aussi générale des précipitations et par une hausse des températures ; cette sécheresse est dite saisonnière ou structurelle. De brefs déficits de pluies peuvent frapper également les mois de la saison froide; il s'agit de sécheresses accidentelles (Rognon,1996; Vigneau, 1996).

4. Les stress chez les plantes

Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement de dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement, il est défini aussi comme le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant d'après (Jones et Dutuit,1994).

Par exemple par une carence au niveau d'un écosystème, toute contrainte externe qui limite la productivité en deçà de la potentialité génétique d'une plante peut être considérée comme stress Grime(1979) et Levitt (1980) décrit la physiologie du stress en l'abordant dans son aspect physique. Le stress est une contrainte qui peut se résumer à une ou plusieurs forces de déformation appliquées à un corps.

Le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (Levitt, 1980). (Tsimilli-Michael et al., 1998) considèrent que

le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. Selon Jones et al., (1989) un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. D'autre part, les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (Madhava Rao et al., 2006).

4.1. Les formes de stress

On peut distinguer deux formes du stress dans la nature :

4.1.1. Biotique

Imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...), ils sont nombreux et ont pour origine les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Afin d'y faire face, la plante met en place un système de défense qui fait intervenir une chaîne de réactions. Les protéines végétales défensives produites font office de rempart contre les agents nuisibles (Shilpi et Narendra., 2005).

4.1.2. Abiotique

Provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité. Parmi les conditions environnementales qui peuvent causer un stress abiotique, on distingue : les inondations, la sécheresse, les basses ou hautes températures, la salinité excessive des sols ou des eaux, la présence d'un minéral inadéquat dans le sol, cas des métaux lourds, l'excès de lumière qui stimule la photo inhibition, le cas de faible éclaircissement, les radiations UV, les composés phytotoxiques comme l'ozone qui est un haut réacteur oxydant, la pollution de l'air, les produits oxydés formés à partir des réactions de pesticides . La sécheresse, le froid et la salinité sont les stress les plus fréquents et les plus étudiés. Ils peuvent imposer aux plantes des modifications métaboliques, physiologiques et phénologiques. Le stress peut déclencher plusieurs réponses à plusieurs niveaux de la plante (Shilpi et Narendra., 2005).

4.1.2.1. Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions en particulier mais pas exclusivement aux ions Na⁺ et Cl⁻ (Hopkins., 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (Tremblin., 2000).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter, sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneron et *al.*, 1995).

4.1.2.2. Stress hydrique

Un stress hydrique peut se produire aussi bien sous l'effet d'un excès que d'un manque d'eau. Un exemple d'excès d'eau est l'inondation. Le stress provoqué par l'inondation est habituellement une réduction de l'apport d'oxygène aux racines. La réduction de l'apport d'oxygène limite à son tour la respiration, l'absorption de nutriment et d'autres fonctions racinaires cruciales. Le stress provoqué par un déficit hydrique est bien plus fréquent, de sorte que l'expression de stress de déficit hydrique est abrégée en stress hydrique. Comme le stress hydrique dans des environnements naturels est dû à l'absence de pluies, une condition dite de sécheresse, ce stress est appelé stress de sécheresse. En laboratoire, le stress hydrique peut être simulé en favorisant de dessiccation. Le stress hydrique intervient aussi dans le stress salin et stress osmotiques.

Le terme "déficit hydrique" ou stress hydrique se rapporte à l'état physiologique de la plante, lorsque les conditions d'eau sont défavorables à la croissance optimum (Blum, 1974).

D'après Koslowski (1968), le déficit hydrique des plantes résulte d'une combinaison entre la plante, les facteurs du sol et l'atmosphère contrôlant le taux d'absorption de l'eau et les pertes d'eau par transpiration. Il y a stress hydrique lorsque la quantité d'eau perdue par transpiration est supérieure à celle que la plante est incapable d'absorber par ses racines (Bousmaha et Boulebene, 1991).

4.1.2.3. Le stress thermique

Le stress thermique correspond à une élévation de la température approximativement de 10°C au-dessus de la température normale de croissance (Schöffl et *al.*, 1986).

Tout effet négatif ou néfaste du stress thermique sur les membranes conduit à la rupture de l'activité cellulaire ou à la mort (Santoro et *al.*, 1992).

L'élévation de la température provoque une dénaturation des protéines membranaires par la fonte des lipides membranaires qui conduit à la rupture des membranes et à la perte

du contenu cellulaire (Abrol et Ingram, 1997) ; c'est pour cela, la chaleur demeure un facteur plus néfaste dans les zones sahariennes où les vents chauds et secs desséchants affectent la production de gousse et limitent aussi la production et la grosseur des graines (Zeghouane, 1989).

De plus, la baisse de la température entraîne le ralentissement de la croissance, voir même une destruction des végétaux exposés (Belhassen *et al.*, 1995).

4.1.2.4. Les stress ioniques

Le stress ionique survient lorsque l'accumulation des sels dans les tissus perturbent l'activité métabolique de la plante (Levigneron *et al.*, 1995). Ce type de stress est lié à la composition en éléments minéraux du sol et les carences en certains ions (Monneveux et This, 1997).

L'entrée massive de certains ions dans la plante, tels que le sodium et le chlore, exerce une action toxique qui se manifeste par des lésions sur les feuilles (Ungar, 1996).

Il apparaît aussi que la combinaison (Na^+ , Cl^-) entraîne des effets spécifiques que ne peuvent apporter d'autres combinaisons d'anions avec le sodium, de cations majeurs avec le chlore (Guerrier, 1983).

4.2. Les hormones de stress

L'acide abscissique l'éthylène et proline sont couramment qualifiés d'hormones du stress de par leur implication dans les réponses de la plante aux perturbations de son environnement. Si de nombreux composés ont une action physiologique au niveau cellulaire ou tissulaire, une catégorie de molécules, les hormones végétales présentes en très faible quantité ont un effet plus global et peuvent circuler au sein de la plante pour modifier l'état physiologique de celle-ci.

Elles vont : propager une information du lieu de perception d'un stimulus extérieur vers les zones de réponse de la plante à ce signal, réguler la physiologie des cellules cibles et déclencher des voies métaboliques entières. (Chaves *et al.*, 2003) structurent ces voies en trois groupes : celles à médiation éthylène contrôlant l'osmorégulation, les ABA dépendantes à l'origine de macromolécules de protection/stabilisation et les ABA indépendantes impliquées dans le signallement du stress. Nous passerons en revue dans les paragraphes suivants les caractéristiques et les rôles des différentes hormones végétales.

4.2.1. Acide abscissique

Nous avons déjà évoqué l'implication de l'acide abscissique (ABA) dans la dormance des graines, l'hydrotropisme et l'inhibition du développement des racines latérales. Cette hormone a pour rôle physiologique principal communément admis l'inhibition de la croissance et du développement des parties aériennes sur des plants bien alimentés en eau, elle agit comme une anti-gibbérelline. Mais de récentes études sur le maïs en condition de stress hydrique indiquerait que ces caractères seraient en fait sous le contrôle d'une balance entre l'ABA et l'éthylène (Sharp and LeNoble 2002). Elle a également un rôle important en cas de déficit hydrique en agissant sur la fermeture des stomates. L'ABA est synthétisée dans les racines et dans les feuilles. (Sauter *et al.*, 2001)

4.2.2. Ethylène

Cette hormone a tout d'abord une action sur les graines en étant capable de lever la dormance. Elle favorise également la maturation des fruits et déclenche l'abscission des feuilles qui est contrôlée par une balance Auxine/Ethylène (Heller *et al.* 1993). La migration de l'auxine dans les tissus serait ralentie par l'éthylène. Son action sur la croissance se traduit par une inhibition de l'élongation racinaire au profit de la croissance radiale (Crozier *et al.* 2000). Sur les racines, l'application d'éthylène induit la formation d'un chevelu racinaire.

Des expériences de transformation génétique permettant de diminuer la teneur en éthylène des plants ont permis de mettre en évidence d'autres propriétés de cette hormone. La diminution de la teneur a pu être réalisée en dégradant le précurseur direct à l'aide de l'ACC désaminase.

Ainsi, une tolérance au nickel a été observée chez des plants d'*Arabidopsis* transformés par ce gène ce qui souligne ses implications dans la réponse aux stress (Stearns *et al.* 2005).

4.2.3. Les auxines

Synthétisées dans les apex des tiges (ou dans les tiges chez certains ligneux comme le Frêne), elles migrent dans la plante jusque dans les racines. Leur action principale est de favoriser la croissance cellulaire en stimulant l'élongation des cellules. Cependant, au niveau racinaire l'action est opposée, avec une inhibition de la croissance. L'action mitogène est particulièrement marquée dans les zones génératrices libéro-ligneuses c'est-à-dire les cellules cambiales. Elles ont également un pouvoir rhizogène fort dans le cas d'une action limitée dans le temps car l'effet inhibiteur sur la croissance racinaire gêne le

développement des jeunes ébauches. Elles interviennent également sur le développement des bourgeons et sont responsables du phénomène de dominance apicale.

L'auxine joue également un rôle de stimulation de la production d'éthylène qui lui-même réduit la migration de l'auxine. L'importance de cette balance Auxine/Ethylène se retrouve au niveau de la zone d'abscission des feuilles des espèces caduques. La chute des feuilles est une des stratégies de réponse au déficit hydrique prononcé. La réduction de la surface foliaire permet de limiter les pertes par évapotranspiration et de réduire les risques de cavitation. La biosynthèse de l'AIA (acide indole-3-acétique) s'effectue à partir du Tryptophane et plusieurs voies sont possibles. La principale passe par la synthèse d'acide indole-pyruvique et d'indole acétaldéhyde. Dans une revue, (Bartel , 1997) reprend en détail la biosynthèse de l'auxine.

4.2.4. La Proline

C'est un acide aminé dont les propriétés biochimiques sont assez voisines de celles des autres aminés, la proline (acide pyrrolidine 2 carboxylique ($C_5H_9O_2N$)), dont la liaison, C-N (Unay, 1988, in Chaib, 1997) fait de la proline un acide aminé rigide, son poids moléculaire est de 115.13 g/mol.

La proline est un acide aminé non polaire caractérisé par un cycle pyrrolidique, il est à noter que la proline contient dans sa molécule une fonction amide, ce qui en fait un aminoacide. Sa fréquence moyenne dans les protéines est de 5.2%.

4.2.4.1. La proline et le stress

L'accumulation des polyamides aliphatiques, dans les plantes supérieures résulte de nombreux stress biotiques et abiotiques, l'augmentation de leur concentration peut donc représenter un marqueur (Bagni, 1994).

- Le taux de proline s'accroît dans les feuilles lorsque la température s'élève (Knu et Chen, 1986 in Bounouar, 2001).
- La proline est un acide aminé particulièrement sensible au stress (Hopkins, 2003).
- La proline est un acide aminé dont la présence est souvent associée à des situations de stress (Richard et al, 2006).

4.2.4.2. Rôle de proline

La proline est un acide aminé indispensable chez les végétaux, elle est considérée comme un indicateur des stress.

La proline semble jouer un rôle important dans la réponse des plantes à la sécheresse son accumulation rapide lors du stress hydrique a été mise en évidence chez de nombreuses

plantes, particulièrement chez l'orge (Lewin et al, 1978) chez l'Eucalyptus (Chunyang, 2003), chez les blés tendres (Tan, 1982 ; Riazi, 1985 ; Monneveux et Nemmar, 1986 in Bezzela, 2005).

- Elle joue un rôle consistant dans l'osmoprotection et la régulation du pH cytoplasmique (Delaney and Verna, 1993 in Delaa, 2003).

- Elle fournit une réserve d'azote pouvant être utilisée en condition de stress comme moyen de réduction de l'acidité ou l'élimination de résidu (Schwakec et al, 1999 in Delaa, 2003).

5. La plante et le stress

L'étude des plantes placées dans ces conditions, appelée physiologie des stress, est un aspect important de l'écophysiologie végétale pour trois raisons. D'abord, les plantes répondent souvent aux stress en modifiant leur physiologie et leurs métabolismes normaux; ensuite, l'étude de la physiologie des stress contribue à la compréhension des facteurs qui limitent la répartition des végétaux; enfin, en agriculture, la capacité des cultures à résister aux stress est un facteur important de la détermination du rendement.

Le mécanisme général grâce auquel les plantes réagissent aux stress environnementaux comprend la réception et l'identification du signal, la transmission du signal dans l'ensemble de la plante, puis la modification de l'expression de gènes et du fonctionnement du métabolisme (Nabors, 2008).

5.1. Réponses d'une plante aux stress abiotiques

La réponse au stress consiste en un renforcement du transport actif par lequel les ions sont à nouveau pompés vers l'extérieur. Simultanément, les ions sont remplacés par des substances organiques de faible poids moléculaire qui sont inoffensives pour la cellule, mais qui maintiennent le potentiel osmotique. (Nultsch, 1998)

On connaît 20 à 30 de ces substances, comme les sucres (saccharose), des alditols (mannitol), des acides aminés (proline), etc. aucune activation de gènes n'est nécessaire pour l'induction de la biosynthèse de ces substances (Nultsch, 1998)

La sécheresse, le froid et la salinité sont les stress les plus fréquents et les plus étudiés. Ils peuvent imposer aux plantes des modifications métaboliques, physiologiques et phénologiques. Le stress peut déclencher plusieurs réponses à plusieurs niveaux de la plante.

5.1.1. Réponse moléculaire

Au niveau moléculaire on note une altération de l'expression des gènes, cas des dommages d'oxydation des bio molécules ou encore le cas de la réponse typique à des

températures élevées qui se manifeste par une réduction dans la synthèse des protéines normales accompagnée d'une accélération de la transcription de nouvelles protéines appelées protéines de choc de fortes températures (HSPs, Heat Shock Proteins) (Zid et Grignon, 1989).

5.1.2. Réponse cellulaire

Au niveau cellulaire, le stress peut causer une modification dans le métabolisme, une perturbation des transports ioniques, une augmentation de la perméabilité membranaire, une inhibition de l'activité de la pompe H⁺, une chute dans le potentiel membranaire et une augmentation de l'absorption du calcium à partir de l'apoplasme (Mclaughlin, 1997).

5.1.3. Réponse au niveau de la plante entière

La réponse au stress se manifeste au niveau de la plante entière par une baisse de la vitesse de la photosynthèse, des dégâts foliaires, une accélération de la senescence et par une réduction de la croissance et une baisse dans la productivité (Monneveux, 1989).

5.2. Réponses des plantes à la sécheresse

Les réponses au déficit hydrique dépendent de l'échelle du temps et de l'objet d'étude: un tissu, un organe, une plante entière (Maseda et Fernandez 2006). Les réponses au déficit hydrique appliqué sont fonction du stade de développement des plantes qui subissent cette contrainte, de la durée du déficit et de son intensité (Bray, 1997).

Diverses classifications des mécanismes de résistances à la sécheresse ont été élaborées et trois grands types ont été décrits par (TURNER et al., 1987).

6. Les modes de réponses

Selon la réponse des plantes à la sécheresse peuvent être divisées en deux catégories (Benghersallah N et Elhadi K, 2013).

6.1. Adaptation

L'adaptation se rapporte à des modifications de structure ou de fonction héréditaires, qui augmentent l'adéquation de l'organisme dans un environnement stressant. Les modifications morphologiques et physiologiques associées au métabolisme acide des crassulacées (CAM) sont des exemples d'adaptation (HOPKINS, 2003).

6.2. L'acclimatation

L'acclimatation, par ailleurs se rapporte à des modifications physiologiques non héréditaires, qui interviennent au cours de la vie d'un individu. Ces modifications se produisent lors d'une exposition graduée au stress, elles permettent à l'individu de vivre et de se reproduire dans un environnement stressant. La capacité de s'acclimater est bien sûr

un caractère génétique, mais les modifications produites en réponse au stress ne sont pas transmises à la génération suivante. Le processus d'acclimatation à un stress est appelé résistance et les plantes qui se sont acclimatées sont dites résistantes (HOPKINS, 2003).

7. Mécanismes de résistance ou de tolérance au stress

Chaque espèce va répondre au stress par des stratégies de résistance différentes lui permettant de survivre. (Chaves et al., 2003) détaillent les mécanismes de résistance à la sécheresse. Ils sont groupés en trois catégories même si ces mécanismes ne sont pas exclusifs et qu'une plante combine toute une gamme de types de réponses :

7.1. Phénomène d'échappement

Les plantes qui fonctionnent ainsi "échappent" à la sécheresse, selon la terminologie d'Oppenheimer (1960).

Concerne les espèces capables d'accomplir leur cycle de vie avant que le déficit physiologique en eau n'intervienne. C'est le cas des plantes des régions arides effectuant leur cycle reproductif après une pluie et dont les graines supportent de longues périodes de sécheresse.

Les plus typiques de ces plantes sont les Thérophytes (Godron, 1984). Selon (Godron ,1984) les Thérophytes sont des plantes qui consistent à effectuer le cycle biologique pendant la période humide, laissant seulement les graines subsister pendant la saison sèche.

Cette stratégie ne s'applique pas aux plantes longévives comme les arbres.

7.2. L'évitement

L'évitement consiste à maintenir le potentiel hydrique et à limiter au maximum les pertes d'eau par transpiration pour se prémunir de l'exposition au stress. Certaines plantes ferment très rapidement leurs stomates, d'autres limitent la masse foliaire, présentent des feuilles modifiées ou conservent les feuilles âgées pour se protéger du rayonnement solaire.

Les feuilles sont aussi parfois munies de cuticules épaisses. Une allocation du carbone privilégiant un système racinaire profond et développé permet également d'optimiser l'accès aux ressources en eau.

Le problème d'adaptation au climat désertique est donc en premier lieu celui de la subsistance pendant ces longues périodes sèches. Cette fin unique est obtenue par des moyens extrêmement variés. Une partie des plantes raccourcissent leurs cycles de développement de manière à supprimer toute leurs parties aériennes pendant la période de

sécheresse, qu'elles traversent alors, soit sous forme de graines, soit sous forme d'organes souterrains tels les bulbes et les rhizomes (Ozenda, 1991).

7.3. La résistance ou la tolérance

Dans le cas du stress hydrique, les premières cellules qui affectées sont les poils absorbants, lorsque le potentiel hydrique de ces cellules ne leurs permet plu d'absorber de l'eau à partir du sol, la transpiration diminue et la plante entière est ainsi informée de cette situation nouvelle. La réponse de la plante consiste à accroître la synthèse d'acide abscissique dans les racines et les feuilles, ce qui a pour conséquence la fermeture des stomates (Nabors, 2008).

Selon (Lemee et Brunel., 1967) les plantes grasses (ou xérophytes succulent ou malacophylles) évitent la déshydratation par la réserve d'eau dans les tissus aquifères qui associées à une bonne protection périphérique, ces réserves sont localisées soit dans les tiges ou bien les feuilles.

Selon Mazliak (1981), deux types des plantes spontanées peuvent résister la à sécheresse, la première est les xérophytes, ce sont des plantes des climats secs et arides, et la deuxième ce sont les plantes halophytes, ont dû différencier des mécanismes physiologiques leurs permettant de pomper de l'eau dans un milieu externe à très forte pression osmotique.

Par ailleurs la pression osmotique interne des cellules des plantes halophiles est beaucoup plus élevée que la pression osmotique des espèces non halophiles (Mazliak, 1981).

1. Localisation et présentation de la zone d'étude

1.1. Présentation du site d'étude : La zone de Mokrane

Notre zone d'étude est implantée à environ 4 km au Nord-Ouest de la ville de Laghouat (N 33° 48' – E 2° 48') dans une zone nommée Mokrane. Elle est limitée à l'Est par Djebel Lahmar (Kaf Mokrane), au Nord par Oued M'ZI, et au Sud par Elkheneq, et à l'Ouest par le Djebel Deloua.

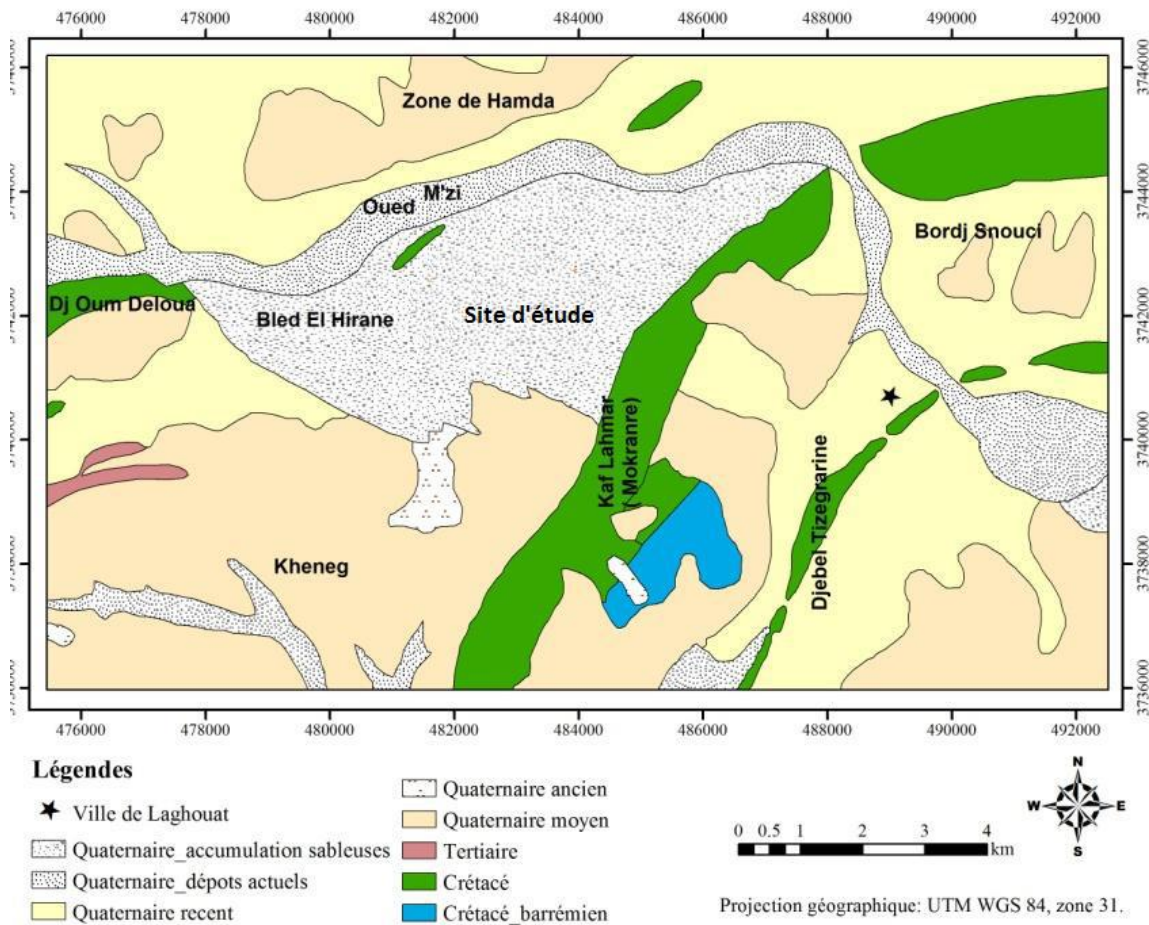


Figure01. Localisation de la zone d'étude.

1.2. Cadre géologique

Selon (IAP. 1972), la zone de Mokrane est représenté par les formations géologiques représentées par :

- L'ère tertiaire

Elle est formée surtout par le Crétacé qui couvre la majeure partie de la wilaya.

- L'ère quaternaire

Elle est par des dépôts alluviaux et colluviaux récents à anciens, ils occupent quelques dépressions et les terrasses d'oueds.

1.3. Caractéristiques climatiques

Pour caractériser l'état climatique de la région d'étude et mettre en évidence les impacts probables de ces facteurs sur l'activité des êtres vivants, on a pris en considération les observations sur une période de 10 ans (de 2005 à 2015) recueillies au niveau de la station météorologique d'El Kheneg (ONM, 2016) qui est localisé à environ 6 km de notre site d'étude. Ces données concernent les précipitations, les températures, les vents l'humidité relative de l'air.

1.4. Cadre pédologique de la zone d'étude

Selon (Bnerder, 2014) :

Pour la zone étudiée les sols rencontrés sont de deux types :

- Sols peu évolués d'apport alluvial typique
- Sols peu évolués d'apport alluvio-colluvial typique

2.Méthode d'échantillonnage et collecte des données sur le terrain

Nous avons veillé à respecter l'homogénéité dans le lieu lors du choix du site qui va nous permettre d'effectuer notre travail. En nous basons sur les définitions qui leurs ont été attribuées.

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

En écologie, un « site » est un paysage végétal homogène ; "c'est un espace dans lequel les principaux facteurs écologiques, roche mère et sol, microclimat et exposition, végétation ligneuse et herbacée ; sont homogène" (Duchaufour, 1977).

2.1. Pédologie du site d'étude

2.1.1. Echantillonnage sur le terrain

L'étude du sol du site a porté sur un ensemble de trois points échantillonnés aléatoirement. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une tarière. Un prélèvement s'effectue manuellement en 3 phases :

- En foncement de la vrille par rotation.
- Extraction de la vrille
- Vidange de la vrille par rotation, la vidange se fait dans des sacs en plastiques.

Afin de discerner les différents horizons qui peuvent constituer le profil pédologique du point échantillonné, lors des prélèvements nos observations ont porté sur :

La couleur de la terre prélevée, absence ou présence de racines dans la terre prélevée, absence ou présence de cailloux et éventuellement leurs tailles respectives. La terre prélevée a été aussi sujette à un toucher afin de détecter des différences à l'effritement ou de consistances (Duchauffour, 2006).

Les échantillons prélevés sont mis dans des sacs hermétiquement fermés, étiquetés et ramenés aux laboratoires de l'université de Laghouat afin de subir différentes analyses.

2.2. Analyses physico-chimique aux laboratoires

2.2.1. Analyse physique

A. Analyse granulométrique

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.

Une attaque à l'HCl (concentré environ normale) et à l'eau oxygénée (33%).

Le traitement que nous avons fait à notre échantillons, c'est comme suit :

- Une attaque d'HCl pendant 24heurs afin de détruire les carbonates ;
- Un rinçage à l'eau de robinet jusqu'à l'élimination des traces d'HCl ;
- Une attaque à l'eau oxygénée pour but détruire les ciments organiques, on la laisse jusqu'à la terre a pris une couleur claire et que l'échantillon colle au fond du récipient utilisé et lorsque on n'observe pas des réactions (effervescence) entre la solution et le sol ;
- Séchage à l'étuve 105°C jusqu'à stabilisation du poids ;
- Puis on passe à la dernière étape qui est le tamisage à sec.

Nous avons utilisé la série de tamis suivante :

0,05mm,0,1mm,0,2 mm,0,25 mm , 0,5 mm,0,8 mm,1 mm, et2mm. Cette série de tamis appliquée à nos échantillons .Afin de séparer correctement les différentes classes granulométriques. La vibration se fait pendant deux heures.

Des classes granulométrique ont été formées sur base des tamis utilisés(Tableau.1).

Tableau.1. Présente les classes granulométriques. (USDA, 1986)

Classes granulométriques	Sables grossiers	Sables moyens	Sables fins	Argiles et Limons
Abréviations	SG	SMF	SF	AL
ϕ (mm)	$2 > \phi > 0,2$	$0,2 > \phi > 0,1$	$0,1 > \phi > 0,05$	$0,05 >$

2.2.2. Analyses chimiques**A. Mesure du pH**

Le pH désigne l'état d'acidité ou d'alcalinité du sol c'est un facteur qui influence directement sur l'absorption des éléments nutritifs

Cette mesure a pour but de doser la proportion des ions H^+ dans le sol, plus ce rapport est élevé, plus le pH est basique (>7) et plus qu'il est faible, plus le pH est acide (<7).

La mesure se fait avec un pH mètre (mesure électrique) : le pH est mesuré sur une suspension terre /liquide préparée au rapport 1/2,5 (Aubert, 1978). Le liquide utilisé est de l'eau distillée (mesure du pH-eau).

B. Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique (est symbolisée par CE), les mesures ont été effectuées sur un échantillon de sol remanié et homogénéisé avec une dilution de 1/5. Elle dépend de la quantité des sels en solution, mais aussi de la température et de la teneur en eau, la conductivité doit être mesurée dans des conditions standard et à humidité constante (Legros, 2007).

C. Détermination de la matière azotée

Il est déterminé par la méthode de KJELDHAL. Cette méthode permet de transformer l'azote des composés organiques en azote ammoniacal par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. Cette technique se déroule en trois étapes dont la minéralisation des composés organiques, la distillation et le dosage (Afnor, 1999).

D. Le rapport C /N

Une fois, le carbone et l'azote dosés. On peut calculer le rapport C/N qui traduit l'intensité de l'activité microbologique du sol.

Le niveau de décomposition de la matière organique des sols de la région est évalué par le rapport C/N qui exprime l'activité biologique dans le sol (Boyer, 1982).

E. Le dosage des éléments P , Na et K

Le dosage du P, Na et K est réalisé sur filtrat, par une lecture directe au moyen d'un photomètre à flamme (CERAD, 2004).

E.1. Dosage du Phosphore et du Potassium

La détermination du phosphore et du potassium se fait par spectrophotométrie. Une solution du sol (sol /eau) est préparée dans le rapport « 1/5 ».

Le phosphore est mesuré par un spectrophotomètre à absorption atomique, après réaction au sulfate de molybdène.

Le potassium est mesuré par un spectrophotomètre à flamme (MODELS PFP 7& FFP7/C).

E.2. Dosage du sodium (Na⁺)

Concernant l'analyse de cet élément (Na⁺), nous l'avons déterminé par un spectrophotomètre à flamme (MODELS PFP 7& FFP7/C) à partir d'une solution du sol préparé au rapport 1/5.

F. Dosage du calcaire

A l'aide de la méthode de calcimètre de Bernard nous avons dosé le calcaire total dans la terre.

D'après Baize (1988), le taux du calcaire total est donné par biais de la formule suivante :

$$Ca CO_3 \text{ total (\%)} = \frac{V_E}{P_E} \times \frac{P_T}{V_T} \times 100$$

V_E (ml) : Volume de CO₂ produit par X g de CaCO₃ contenu dans un poids P_E de sol.

V_T (ml) : Volume de CO₂ produit par 0,1 g de CaCO₃ pur et sec.

P_E (g) : poids de la prise d'essai de terre en gramme.

P_T (g) : poids pour réaliser le témoin à blanc (0,1g de CaCO₃).

G. Détermination de la teneur en matières organiques (MO) par calcination

La méthode de la calcination est effectuée pour l'estimation de la teneur en matière organique pour l'ensemble des échantillons de sol, le principe consiste à incinérer l'échantillon du sol au four à moufle à 550°C pendant 5 heures.

Cette méthode de dosage permet de déterminer la matière organiques totale dans le sol par soustraction du poids de l'échantillon incinère du poids du sol sec initialement mis au four à moufle.

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

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

La relation entre la teneur en matières organiques et le taux de carbone organique (Corg) est obtenue par la formule suivante :

$$MO\% = Corg \times 1,72$$

Selon Petard (1993), le taux du carbone (CO) est obtenu par la formule suivante :

$$CO\% = \frac{MO\%}{1,72}$$

MO% : Matière organique ;

CO% : Carbone organique.

3. Analyses floristique

Pour faire un inventaire des ressources végétales du milieu, et les d'occupation du sol par des diverses ressources floristiques, nous avons réalisé 17 relevés phytoécologiques durant la saison optimale de la végétation, c'est-à-dire le mois de mars. dans la zone échantillonnée.

3.1. Méthode d'échantillonnage

Nous avons utilisé dans notre travail la méthode d'échantillonnage subjectif qui est définit par Le Floch (2008) comme étant « L'échantillonnage le plus utilisé en phytosociologie, car le plus simple à mettre en œuvre ». 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).

3.2. Relevé phytoécologique

Le relevé phytoécologique est réalisé dans notre cas, il est considéré généralement comme un échantillon, il est en réalité un ensemble de mesures, chacune correspondant à une variable (Aidoud, 1984). Notre objectif est d'étudier la végétation présente dans le lieu, pour cela nous avons procédé dans notre étude à des relevés linéaires par la méthode de la ligne simple.

L'ensemble des relevés ont été réalisés au mois de mars de cette année (10 Mars 2016). Nous avons effectué 17 relevés phytoécologiques pour l'ensemble du milieu.

3.3. Mode opératoire sur le terrain

Matériel utilisé est :

- Un ruban mètre ;
- Un sécateur ;
- Des sacs en plastique ;
- Des piquets.

3.3.1. Emplacement des relevés

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

L'emplacement des relevés dans la zone d'étude, a été choisi en fonction de l'homogénéité, physiologique et géomorphologique dans les sites (Le Floch, 2008).

3.3.2. Relevé linéaire par la méthode de la ligne simple

Le relevé linéaire est considéré comme un moyen efficace pour étudier l'évolution de la couverture végétale lorsqu'il s'agit d'une ligne permanente (Long, 1958 ; Gounot, 1969 ; Aidoud, 1983). La technique de la ligne consiste à placer entre deux piquets un ruban gradué d'un multiple de 30 cm tendu au-dessus de la végétation (Gounot, 1969, Lacoste et Salanon, 1999), les lectures s'effectuent à l'aide d'une règle en bois tous les 30 cm le long de la ligne ; un total de 100 lectures par ligne est réalisé. Les lignes sont orientées par rapport au nord de façon aléatoire les directions ne sont pas mesurées.



(Cliché : Aiouana. H, 10 Mars 2016 ; Kef Mokrane)

Figure02. Site du Prélèvement des échantillons du sol et des végétaux.

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

3.4. Analyses des données du terrain

3.4.1. Identification des espèces

Un herbier a été préparé et l'identification des espèces a été effectuée selon des guides spécialisés tels que la flore : Quezel et Santa(1954) et Ozenda (1954-1994).

3.4.2. Analyse du patrimoine biologique

3.4.2.1. Richesse totale (spécifique, S)

Elle représente en définitif un des paramètres fondamentaux caractéristique d'un peuplement et représente la mesure la plus fréquemment utilisée de sa biodiversité. La

richesse totale S, est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 2003).

Pour classer notre richesse totale, nous avons utilisé 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.

3.4.2.2. Recouvrement global de la végétation

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

$$RG(\%) = \frac{n}{N} \times 100$$

n : Le nombre de point de végétation

N : Le nombre total de points de contacts ou de lecture

3.4.2.3. La fréquence spécifique F_{Si}

Selon Le Floch, (2008), la fréquence spécifique (F_{Si}) est le nombre de points de lecture ou un taxon donné, i est relevé « présent » lors d'un comptage sur les lignes de lecture.

La fréquence d'une espèce i (F_{Si}), est égale au nombre de points ou cette espèce a été observée le long d'une ligne disposée dans la végétation (Nedjraoui, 1981).

$$F_{Si}(\%) = \frac{n_i}{N} \times 100$$

3.4.2.4. La contribution spécifique C_{Si}

La contribution spécifique (C_{Si}) d'une espèce i définit sa participation au tapis végétale. Elle est égale au quotient de la fréquence spécifique centésimale de ce taxon (F_{Si}) par la somme des fréquences spécifique de tous les taxons rencontrés dans le relevé (Daget et Poissonet, 1971 in le Floc'h, 2008).

$$C_{Si}(\%) = \frac{F_{Si}}{\sum F_{Si}} \times 100$$

3.4.2.5. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')

Selon Lacoste (2001) dans l'évaluation de la diversité spécifique ou indice de Shannon, interviennent en principe les abondances (traduisant le nombre d'individus ou effectif) des espèces constitutives de la biocénose (ou de la communauté). Parmi les nombreux indices de diversité proposés, l'indice de Shannon sans doute le plus connu, et se formule ainsi :

$$H' = -\sum P_i \times \log_2 P_i$$

Où :

P_i : Abondance relative de l'espèce de rang i ;

$P_i = n_i/N$, c'est -à-dire l'abondance relative de l'espèce i (effectif i / effectif global). Elle rend compte indirectement de la probabilité de « voisinage » autrement dit la compétition des individus de l'espèce i avec ceux des autres espèces ;

N : Abondance du peuplement, ni Abondance de l'espèce i ;

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

L'indice de Shannon est pratiquement indépendant de la taille de l'échantillon et tient compte de l'abondance de chaque espèce (Dajoz, 1982).

Cet indice varie toujours de 0 à $\log_2 (s)$ dans une fourchette approximative de 0,5 à 5 dans le même sens que la richesse spécifique et en fonction des mêmes paramètres dynamiques environnementaux.

3.4.2.6. Equitabilité (E_Q)

L'équitabilité (E_Q) exprime la régularité de la répartition équitable des individus au sein de la communauté végétale (espèces). Elle permet de comparer la structure des peuplements, elle constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité du peuplement étant donné qu'elle rend compte de la distribution du nombre d'individus par espèce.

C'est le rapport de la diversité d'un peuplement ou d'un échantillon et du nombre N d'espèces présentes dans le lieu. Il est calculé à partir la formule suivante :

$$E_Q = \frac{H'}{\log_2 (N)}$$

Où

H' : Diversité spécifique

N : Abondance du peuplement (Nombre d'espèces présentes)

L'équitabilité varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs appartient à une seule espèce. Par contre elle se rapproche de 1 lorsque chaque espèce est représentée par le même nombre d'individus (Ramade, 1984).

3.4.2.7. Diversité biologique (Le spectre biologique)

Les types biologiques ou formes biologiques désignent le comportement adaptatif de l'espèce. Elle renseigne sur la formation végétale, son origine et ses transformations.

Ces types ont été établis par Raunkiaer pour les végétaux des régions tempérées où la saison défavorable est la saison froide. Mais ils peuvent être appliqués aux végétaux des régions où la saison défavorable est la saison sèche.

- Phanérophytes (Ph) : végétaux supérieurs dont les bourgeons de rénovation sont situés à plus de 50 cm du sol qui ne sont pas protégés ; se sont des arbres, des arbustes ou de ligneuses.
- Chaméphytes (Ch) : Espèces ligneuses ou suffrutescentes pérennes dont les bourgeons de rénovation sont situés à 50 cm du sol au maximum.
- Hémicryptophytes (H) : plantes pérennes dont les bourgeons de rénovation affleurent à la surface du sol.
- Géophytes : plantes dont les bourgeons de rénovation sont enfouis dans le sol.
- Thérophytes (T) : Ce sont des plantes annuelles qui forment leurs spores ou graines au cours d'une seule période de vie.

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).

3.4.2.8. Diversité phytogéographique

La phytogéographie est l'étude de la répartition des espèces végétales à la surface du globe. Le fait qu'une espèce ne dépasse pas les limites de son aire de répartition dépend de plusieurs facteurs dont le climat, le sol, l'histoire ou l'isolement par des obstacles naturels (Lacoste et *al.*, 1969 in Mahamane, 2005).

La détermination des affinités chorologiques des différentes espèces a été faite à l'aide des subdivisions chorologiques proposées par (Maire, 1926 ; Monod, 1957 ; Quezel, 1965).

Les types phytogéographiques retenus sont :

- ❖ Sah-Sind : Sahara-Sindien.
- ❖ S-A : Saharo-Arabique.
- ❖ Méd : Méditerranéen.
- ❖ Méd-Sah : Méditerranéo-Saharien
- ❖ Méd-Sind : Méditerranéo-Sindien

- ❖ End : Endémique
- ❖ Méd-Irano-Tour : Méditerranéen.Irano-Touranien.

4. Analyses de la matière fraîche de la communauté végétale relevée

4.1. Détermination de l'eau, de la matière minérale et organique de végétation

La teneur en eau est mesurée, pour chaque échantillon récolté immédiatement après la récolte.

Un échantillon de la plante est pesé et mis dans une étuve à 105 °c pendant 24 heures. Après dessiccation ; l'échantillon est pesé de nouveau et remis à l'étuve jusqu' à avoir un poids constant.

La teneur en eau est donnée par la formule :

$$w(\%) = \frac{y - x}{x} \times 100$$

Y : Poids humide de l'échantillon.

X : Poids de l'échantillon après dessiccation.

4.2. Dosage de la proline

La proline ou acide pyrrolidine2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993). La méthode suivie est celle de Trolls et Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio *et al.*, (1987).

5. Analyse statistique

Nos données ont subi une analyse de la classification hiérarchique ascendante afin de pouvoir observer la distribution des espèces dans la zone d'étude. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel MINITAB 17 qui nous a permis de tracer le dendrogramme de la distribution des espèces identifiées.

En tant que technique de classification, elle chercha à regrouper par similitude les individus d'un ensemble de données. La CAH bien utilisée permet la détection de la délimitation efficace de classe « homogène » (Briane *et al.*, 1974 *In* Bouchneb, 1999).

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats des données de nos travaux de terrain réalisés dans la zone d'étude (Site de Mokrane). Les résultats sont ceux des analyses de sols, du climat et d'autres relatifs à la végétation.

1. Climatologie de la zone d'étude

1.1. Climogramme d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique Q_2 est calculé pour une moyenne de 10 ans allant de 2005 jusqu'à 2015 par la formule modifier de Stewart, 1969 :

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{P}{M - m}$$

P : pluviométrie annuelle en mm ;

M : température moyenne maximale de mois le plus chaud en °C ;

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en °C ;

Le quotient pluviothermique est d'autant plus élevé que le climat est plus humide (Dajoz, 2003).

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{166,32}{(33,5 - 5,10)} = 20,08$$

D'après la Figure (03), la station de Laghouat se situe sous un étage bioclimatique **aride** à **hiver tempéré**.

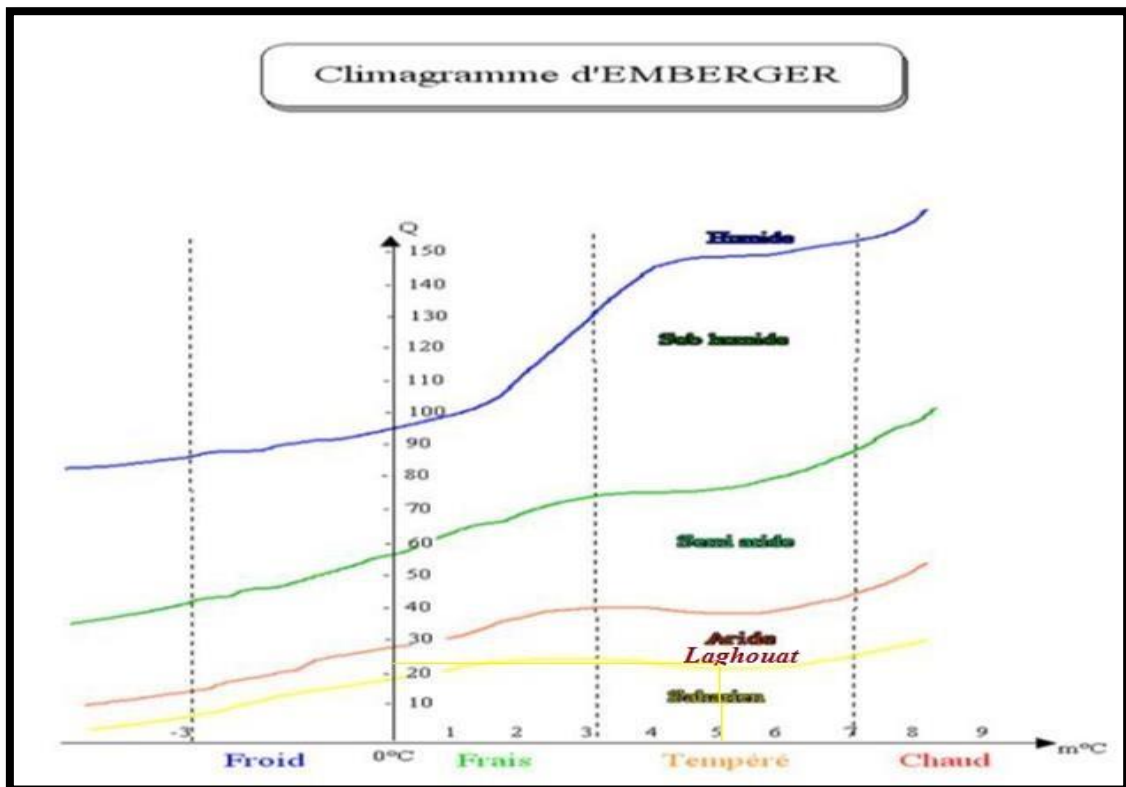
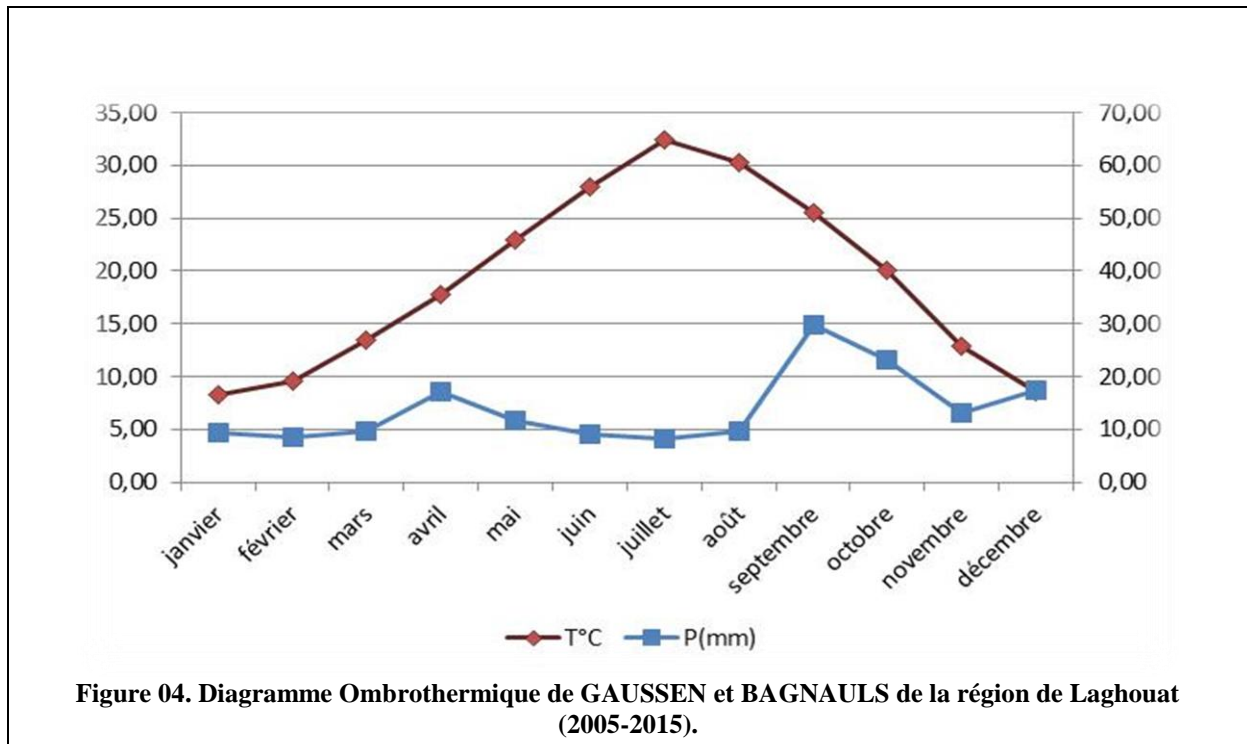


Figure03. Climogramme pluviothermique d'Emberger pour la station de Laghouat (2005-2015).

1.2. Le diagramme Ombrothermique

Pour localiser les périodes humides et sèches de site d'étude, nous avons tracé un diagramme Ombrothermique pour les périodes allant de 2005-2015 pour la station de Laghouat.

Le diagramme Ombrothermique de la région d'étude (Figure.04) pour la période allant de 2005 à 2015, fait apparaître une seule période sèche s'étalant sur les 12 mois de l'année.



1.3. Humidité relative de l'air

La figure (05) montre que la variation de l'humidité de la région de Laghouat entre 2005 et 2015. Elle oscille entre 27,58% et 67,40% durant cette dernière décennie avec une variation entre ces deux valeurs.

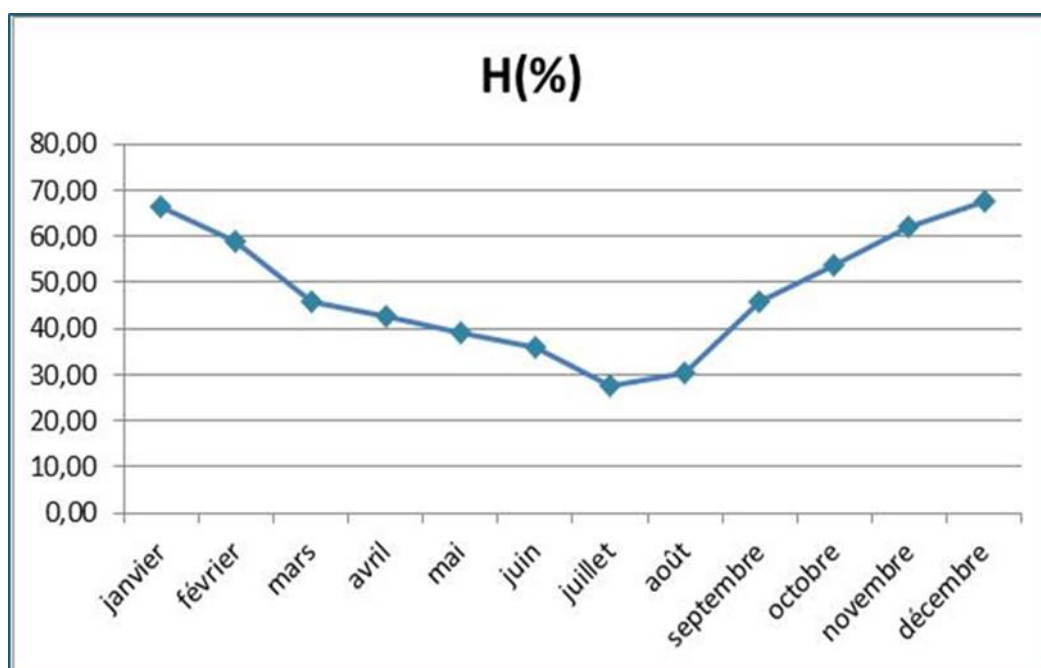


Figure 05. Variation de l’Humidité de la région de Laghouat (2005-2015).

1.4. Le vent

Le Tableau (2) : indique la variation dans la vitesse du vent durant la période 2005-2015. Nous remarquons une variation dans la vitesse du vent qui enregistre une vitesse minimale de 2,81 m/s en mois de octobre et une vitesse maximale de plus de 4,68 m/s en mois de avril, il est plus violent entre les mois du Février jusqu’au Juillet.

Tableau02. Vitesse des vents moyens mensuels de la région de Laghouat.

Période	2005-2015												
Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
V.v (m/s)	3,34	4,34	4,60	<u>4,68</u>	4,29	4,23	3,77	3,42	3,51	<u>2,81</u>	3,28	3,13	3,78

(Source : ONM et nos calculs; Laghouat, 2016).

1.5. La Gelée

Dans notre région, la gelée n’apparaît que pendant la saison hivernale et le début de printemps avec un nombre de jour le plus élevé durant le mois de janvier.

Tableau 03. Moyennes de nombre de jours de gelée de la région de Laghouat (2005-2015).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Ann
Nbre de jrs de gelée	<u>7,6</u>	3,6	0,3	0	0	1,2	0,7	0,7	0,2	0,1	0,1	5,4	19,9

(Source : ONM et nos calculs ; Laghouat, 2016).

1.6. L'indice d'aridité de DeMartonne

D'après Ozenda 1982, l'indice d'aridité de De Martonne est présenté par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{(T + 10)}$$

P : total des précipitations annuelles en (mm). ($P_{Laghouat} = 166,32$).

Le calcul de l'indice d'aridité de De Martonne pour la région de Laghouat a permis d'avoir une valeur de **05,71** ce qui classe cette région comme région à climat **très sec**.

2. Pédologie de la zone d'étude

Les relevés à la tarière et les descriptions morphologiques de la terre extraite ont montré selon (Duchauffour ; 2006), que le sol du site étudié est composé de 2 horizons :

- Un horizon superficiel H₁ : 0- 2 cm d'épaisseur ;
- Un horizon profond H₂ : d'épaisseur > 2 cm.

Les échantillons prélevés ont subi des analyses physico-chimiques aux laboratoires.

3. Analyses physico-chimiques du sol

Les analyses des paramètres physiques et chimiques du sol de la station de Mokrane indiquent que :

3.1. Granulométrie

La méthode sèche nous a permis d'obtenir les fractions des classes granulométriques pour les échantillons de sol représentés dans la figure (06). Elle montre une dominance des sables moyennement fin dans la composition physique du sol étudié. Les argiles et les limons sont relativement faiblement présents.

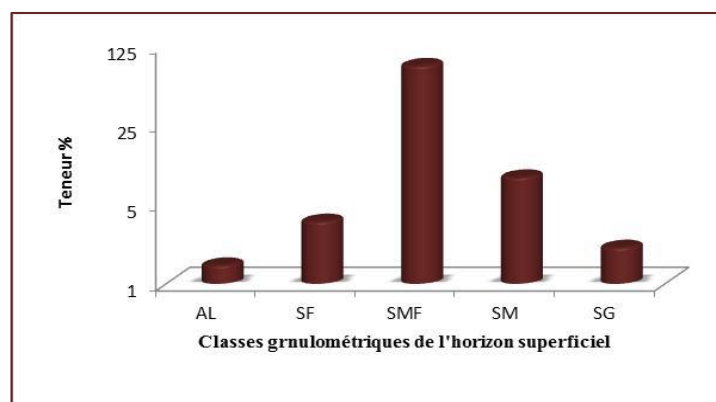


Figure 06. Pourcentage % des fractions granulométriques de l'échantillon globale en différentes classes en mm de (10 Mars 2016).

3.2. Le pH du sol

Le pH de la zone d'étude est variable d'un horizon à un autre. Les résultats sont présentés dans le Tableau (04), Le pH obtenu varient entre 7,86 et 8,5 pour les deux horizons étudiés, sont donc à tendance alcalines.

Tableau 04. Le pH du sol.

pH	H_1	H_2
		7,86

3.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique de la zone d'étude est variable d'un horizon à un autre, L'horizon (H_2) enregistre la valeur la plus élevée (1,4 ms/cm) par rapport à l'horizon (H_1) (0,096 ms/cm), (Figure7). A partir de ce résultat qui classe notre sol dans la classe à faible salinité.

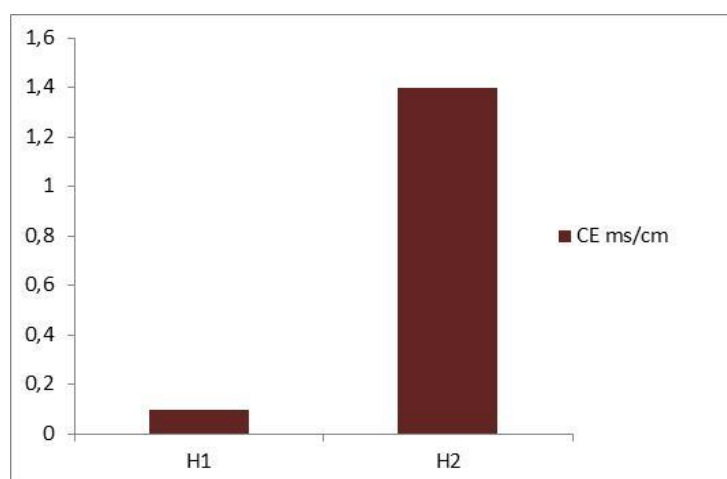


Figure 07. La conductivité électrique.

3.4. Eléments chimiques du sol de la zone d'étude

La quantité des éléments nutritifs (NPK) et Na^+ sont estimées en g/kg de sol, et la quantité de $CaCO_3$ en pourcentage (%).

▪ La teneur en azote total (N)

L'azote total dans le sol de zone d'étude est variable selon l'horizon. La teneur en azote dans l'horizon H_1 (0,024 g/kg sol) plus élevée que l'horizon H_2 (0,016 g/kg sol) (Tableau05).

▪ Potassium (K)

Le potassium dans le sol de la zone d'étude est variable, dans l'horizon H_1 (0,0048 g/kg) plus élevé que dans l'horizon H_2 (0,001g/kg).

▪ **Le Sodium(Na) et le phosphore (P)**

Le sol étudié contient des traces de sodium, La teneur du sol en phosphore. L'horizon H₁ enregistre la valeur (0,0444 g/kg) par rapport l'horizon H₂ des traces.

Tableau 05. Évolution du N, P, K, Na⁺ éléments chimiques dans les échantillons du sol (g/kg) et de calcaire en (%).

Teneurs Echantillon	Eléments chimiques (g/kg) et <i>Caco</i> ₃ (%)				
	Na	P	K	N	<i>Caco</i> ₃
H ₁	Traces	0,0444	0,0048	0,024	1,97
H ₂	Traces	Traces	0,001	0,016	5

3.5. Dosage du carbone organique et la matière organique

Les résultats du dosage du carbone organique et la matière organique sont lus dans le tableau(06).

La matière organique dans le sol de la station de Mokrane, est variable d'un horizon à un autre .L'horizon H₁enregistre la valeur le plus élevée (0,75 %) par rapport l'horizon H₂ (0,68 %).

Selon Belkeiri (2000) (Annexe.03) qui permettent de classer les sols à la classe pauvre en matière organique.

La teneur en carbone dans le sol de la station de Kef Mokrane, est variable selon l'horizon, La teneur en carbone dans l'horizon H₁ (0,44%) plus élevé que l'horizon H₂ (0,39 %).

Tableau 06. Le carbone organique et la matière organique des sols en (%).

Fraction en % Echantillon	Carbone organique	Matière organique
	H ₁	0,44
H ₂	0,39	0,68

3.6. Le rapport C/N

Le rapport C/N c'est un indicateur de l'activité biologique des sols, et aussi un indicateur du plus ou moins bon fonctionnement du sol. Il renseigne sur :

- Le degré d'évolution de la matière organique ;
- L'activité biologique ;
- Le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation).

Dans notre cas, le rapport C/N dans le sol est variable, Le rapport C/N dans l'horizon H₂ (24,75 %) plus élevé que l'horizon H₁ (18,33 %), (Tableau07).

Tableau07. Rapport C/N en (%).

C/N	H ₁	H ₂
		18,33

4. Analyses floristique

4.1. Richesse totale (spécifique,S)

Les relevés de végétation nous ont permis de recenser 25 espèces divisées en 9 pérennes (36%) et 16 annuelles (64%), réparties en 22 genres et 10 familles.

Les familles les mieux représentées sont les Asteraceae, les Fabaceae et les Brassicaceae, avec respectivement 32%, 20%, 12%, et le reste des familles ne sont représentées que par un faible taux chacune (Tableau.08).

Tableau 08. Les espèces inventoriées dans le site étudié et l'importance des familles.

Famille	Genre	Espèce	Pourcentages des familles (%)
Asteraceae	<i>Anacyclus</i>	<i>Anacyclus radiatus.</i>	32%
	<i>Atractylis</i>	<i>Atractylis serratuloides Sieb.</i>	
	<i>Echinops</i>	<i>Echinops spinosus L</i>	
	<i>Ifloga</i>	<i>Ifloga spicata (Forsk.)Sch.Bip.</i>	
	<i>Koelipinia</i>	<i>Koelipinia linearis pall</i>	
	<i>Launaea</i>	<i>Launaea pumila (Cav.)O.Kuntze</i>	
		<i>Launaea resedifolia O.K.</i>	
<i>Micropus</i>	<i>Micropus bombicinus</i>		
Brassicaceae	<i>Didesmus</i>	<i>Didesmus bipinnatus</i>	12%
	<i>Henophyton</i>	<i>Henophyton deserti Coss.</i>	
	<i>Malcomia</i>	<i>Malcomia aegyptiaca Spr</i>	
Capparidaceae	<i>Cleome</i>	<i>Cleome arabica</i>	4%
Cistaceae	<i>Helianthemum</i>	<i>Helianthemum ellipticum (Desf.).</i>	4%
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>Euphorbia guyaniana Bois.</i>	4%
Fabaceae	<i>Argyrolobium</i>	<i>Argyrolobium uniflorum</i>	20%
	<i>Astragalus</i>	<i>Astragalus armatus Willd</i>	
		<i>Astragalus cruciatus Link.</i>	
	<i>Retama</i>	<i>Retama raetam Webb.</i>	
<i>Trigonella</i>	<i>Trigonella stellata (Forsk.)</i>		
Géraniaceae	<i>Erodium</i>	<i>Erodium triangulare (Forsk.)</i>	4%
Plantaginaceae	<i>Plantago</i>	<i>Plantago albicans L.</i>	8%
		<i>Plantago ciliata Desf.</i>	
Poaceae	<i>Aristida</i>	<i>Aristida pungens Desf.</i>	8%
	<i>Schismus</i>	<i>Schismus barbatus (L.)Thell.</i>	
Thymelaeaceae	<i>Thymelaea</i>	<i>Thymelaea microphylla Coss.et Dur.</i>	4%

4.2. Recouvrement global

Le parcours de Mokrane présente d'après (Figure.08) une occupation du sol de 48,88% par la communauté végétale et présente aussi un taux de recouvrement de 51,12% d'espace non végétalisé.

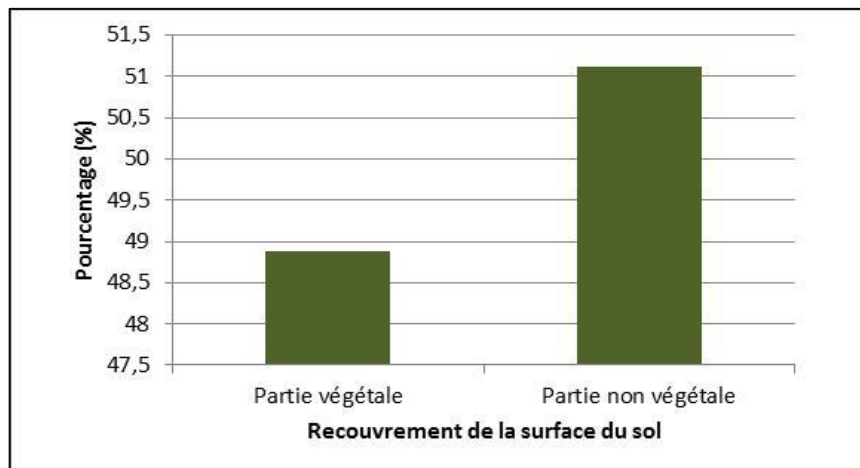


Figure08. Recouvrement global de végétation et éléments de surface du sol dans la zone d'étude(%).

Les éléments de la surface du sol (Le sable, Les cailloux, Les débris) sont autant des paramètres écologiques qui influent sur la qualité et la quantité de végétation (LEMEE, 1978 et MELZI, 1986).dans la zone d'étude le sable représente une grande proportion avec 28,29% ce qui indique la nature géomorphologique de la région. Nos résultats sont similaires à ceux signalé par CHEHMA(2005) ou les éléments de la surface du sol occupent une grande importance avec 51,12%.

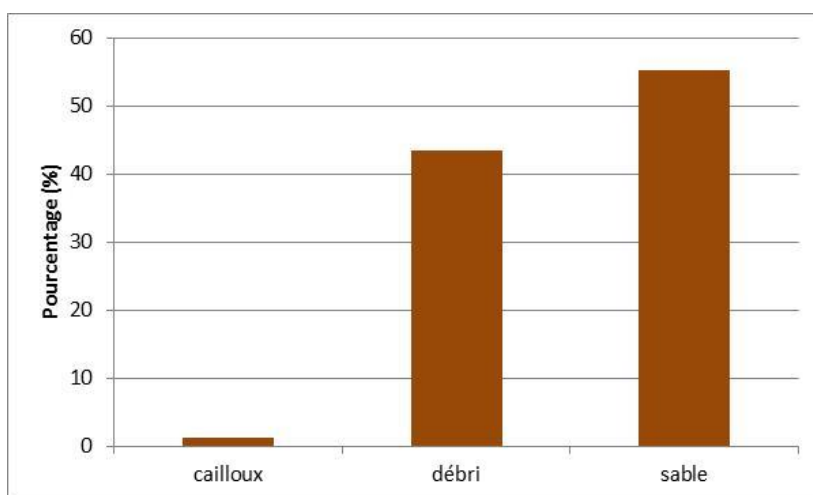


Figure 09 .Taux de recouvrement global d'élément de surface de sol dans la zone d'étude.

4.3. La fréquence spécifique F_{Si} et La contribution spécifique C_{Si}

Dans la zone d'étude (Tableau 8) montrent que, la fréquence spécifique (F_{Si}) et la contribution spécifique (C_{Si}) sont élevées respectivement pour les espèces *Aristida pungens*, *Astragalus armatus*, *Schismus barbatus*, l'*Aristida pungens* est dominante dans le milieu. Pour les classes non végétales le (F_{Si}) est élevé pour la classe de sable.

Tableau09. Fréquence spécifique et contribution spécifique des espèces végétales dans la zone d'étude.

Les espèces	C_{Si}	F_{Si}
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	0,24	0,1176
<i>Aristida pungens</i> Desf.	54,87	26,82
<i>Astragalus armatus</i> Willd	11,31	5,529
<i>Atractylis serratuloides</i> Sieb.	0,36	0,176
<i>Cleome arabica</i>	2,406	1,176
<i>Didesmus bipinnatus</i>	0,601	0,294
<i>Echinops spinosus</i> L	1,925	0,941
<i>Erodium triangulare</i> (Forsk.)	2,767	1,3529
<i>Euphorbia guyaniana</i> Bois.	0,601	0,294
<i>Helianthemum ellipticum</i> (Desf.).	2,286	1,1176
<i>Ifloga spicata</i> (Forsk.)Sch.Bip.	2,406	1,176
<i>Koelpinia linearis</i> pall	2,406	1,176
<i>Launaea pumila</i> (Cav.)O.Kuntze	1,805	0,88
<i>Launaea resedifolia</i> O.K.	4,091	2
<i>Malcomia aegyptiaca</i> Spr	0,72	0,35
<i>Micropus bombicinus</i>	0,48	0,235
<i>Plantago albicans</i> L.	0,246	0,117
<i>Schismus barbatus</i> (L.)Thell.	6,137	3
<i>Thymelaea microphylla</i> Coss.et Dur.	1,083	0,529
<i>Trigonella stellata</i> (Forsk.)	3,249	1,588
Cailloux	0,0115	
Débris	0,434	
Sable	0,553	

Source : Nos calculs

4.4. Indice de diversité spécifique de Shannon-Weaver (H') et L'Équitabilité (E_Q)

Les valeurs de la diversité de Shannon-Weaver et l'équitabilité des espèces échantillonnées dans la région d'étude sont représentées dans le (Tableau.10).

Dans notre échantillonnage, la valeur de la diversité de Shannon-Weaver est de 2,59 bits. Concernant l'équitabilité (0,60) nous remarquons la même position que celle de la diversité de Shannon.

Tableau10. Diversité spécifique (H') et L'Equitabilité (E_Q).

E_Q	H' (bits)
0,60	2,59

Source : Nos calculs.

4.5. Diversité biologique (Le spectre biologique)

La répartition de la flore. Inventoriée dans la zone d'étude selon les types biologiques est illustrée dans la (Figure.10).

L'analyse des spectres biologiques montre que les Thérophytes sont les plus représentées dans la zone d'étude avec 13 espèces soit (52%). En seconde position, arrivent les Chaméphytes avec 6 espèces (24%), puis les Hémicryptophytes (20%) avec 5 espèces. En fin les Phanérophytes sont représentées seulement par une espèce (4%).

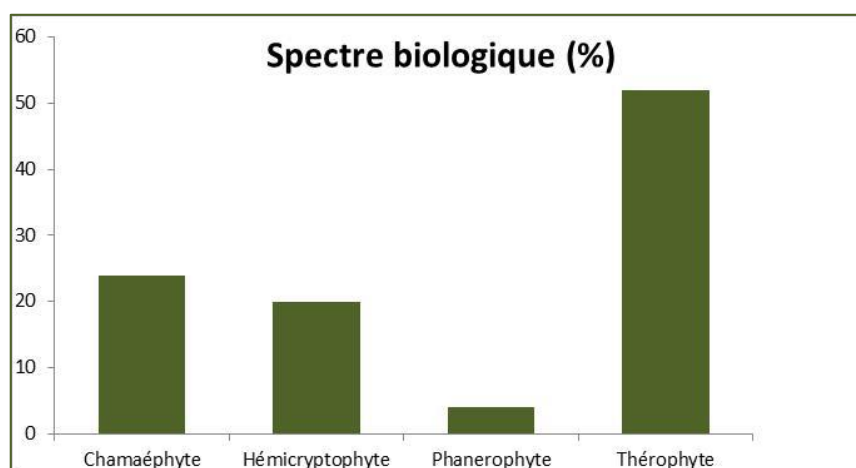


Figure 10. Spectre biologique de la zone d'étude (%).

4.6. Diversité phytogéographique

L'examen de la figure (11), nous a donné la succession suivante :

Il ressort de l'analyse de la figure 10, une dominance de l'élément Saharo-Sindien avec 32%, suivi par les espèces Méditerranée 28%, ensuite les espèces Endémiques 16%, les espèces Saharo-Arabique avec 8%, et les autres éléments ont une seule espèce soit 4% pour chaque.

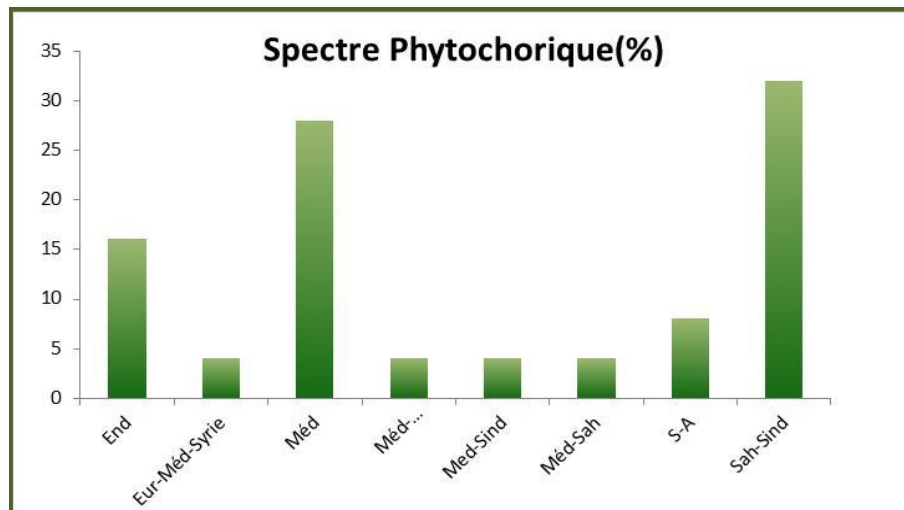


Figure11. Spectre phytogéographique de la zone d'étude (%).

5. Analyse de la matière fraîche de la communauté végétale

5.1. Détermination de l'eau, de la matière minérale et organique

Le taux de la teneur en eau, la matière minérale et organique dans les différents espèces étudiée oscille entre 0,81 et 0,46% pour la teneur en eau, et pour la matière minérale et organique varie entre 0,53 et 0,1%.

L'analyse de (figure.12) Montre que *Cleome arabica* et *Launaea resedifolia O.K.* sont représentées la teneur en eau le plus élevée avec 0,81% et 0,76%, ensuite *Anacyclus radiatus*, *Echinops spinosus L*, *Henophyton deserti* et *Koelpinia linearis pall*, *Argyrolobium uniflorum* avec respectivement 0,73%, 0,72%, 0,71%, 0,72%, 0,69%.

On remarquer chez *Koelpinia linearis pall* et *Echinops spinosus L*, Ils ont la même proportion des composantes nutritifs, et le reste des espèces ne sont représentées que par un faible teneur.

Pour la matière organique et minérale nous remarquons le taux le plus élevé chez *Aristida pungens* 0,54% et enregistrée le faible taux chez *Cleome arabica* 0,18% ils ont une relation inverse avec la teneur en eau dans la plante.

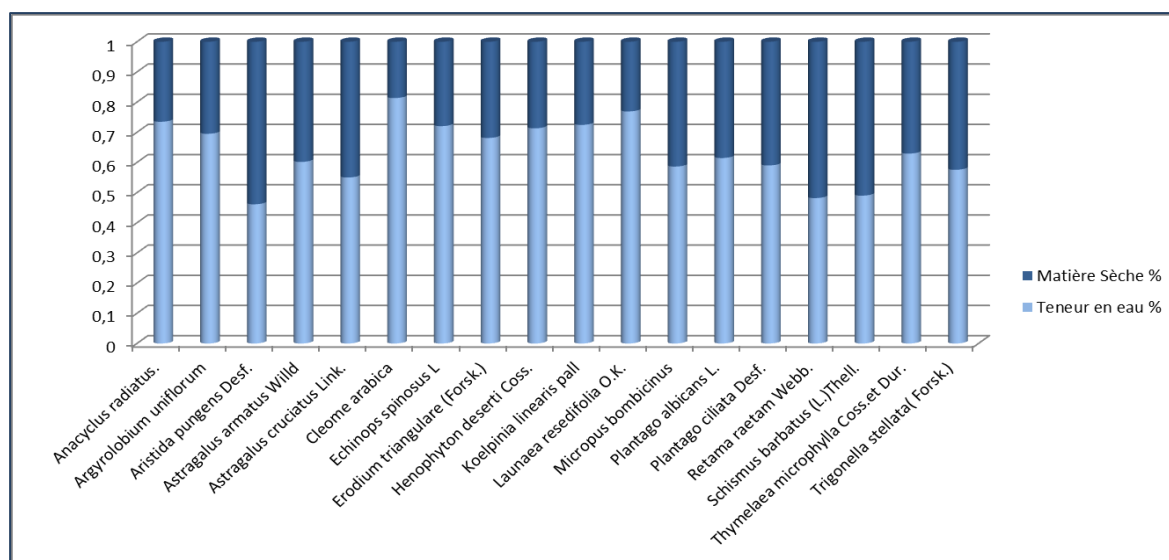


Figure12. Détermination de l'eau, de la matière minérale et organique des espèces végétale.

5.2. La proline

D'après la (figure.13), on remarque que *Thymelaea microphylla Coss.et Dur.*, avec une teneur de proline de $(1,14 \cdot 10^{-3} \text{ m mol/kg de MF})$, suivie par *Henophyton deserti Coss.* *Astragalus cruciatus Link.*, *Launaea resedifolia O.K.*, *Plantago albicans L.* avec respectivement $8,42 - 8,33-8,07-7,5 (10^{-4} \text{ m mol/kg})$, et pour les deux espèces *Plantago ciliata Desf.*, et *Retama raetam Webb.*, nous avons trouvé une convergence des teneurs en proline avec respectivement $6,88- 6,78 (10^{-4} \text{ m mol/kg})$,

Et le reste des espèces ne sont représentées que par un faible teneur en proline par rapport les autres espèces.

La plus faible valeur de teneur en proline est obtenue dans l'espèce *Trigonelle Stellata (Forsk.)* $2,55 \cdot 10^{-5} \text{ m mol/kg}$

Alors on peut dire que espèce *Thymelaea microphylla Coss.*, c'est l'espèce la plus résistance ou la sensibilité au stress parce qu'elle accumule plus de la proline.

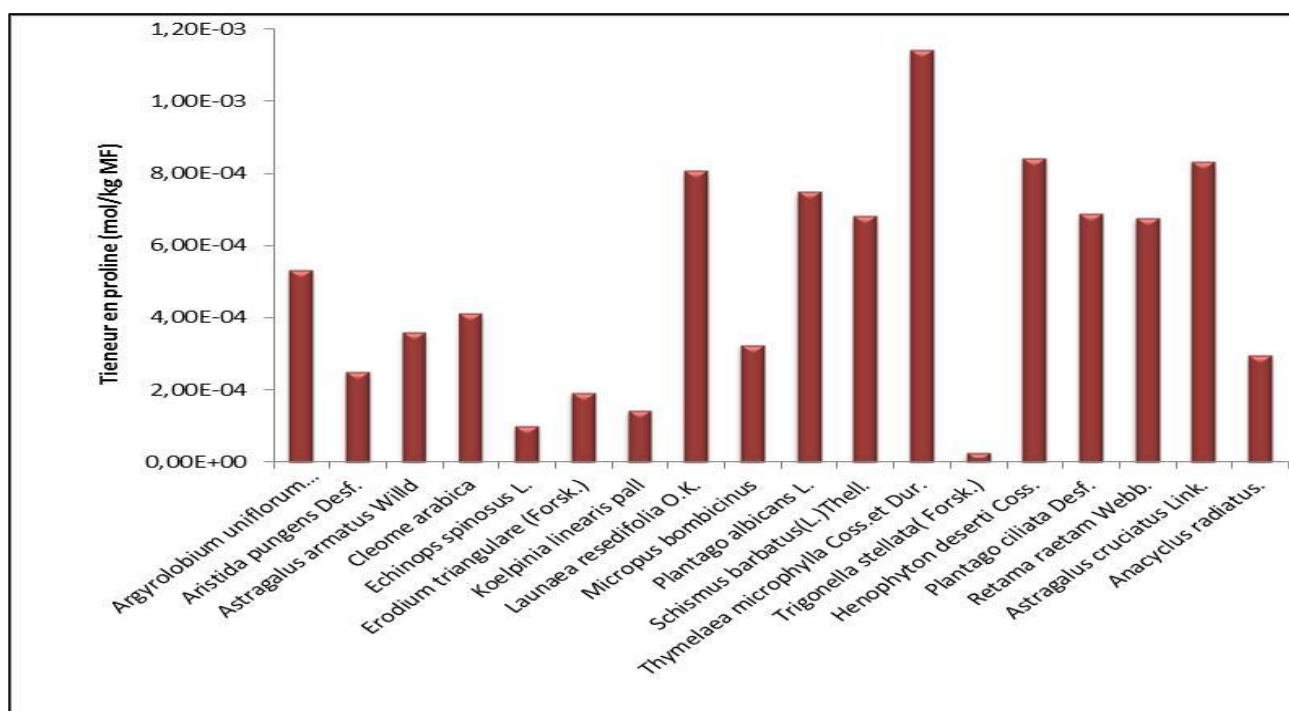


Figure13.Evolution de la teneur en proline dans les feuilles fraîches des espèces relevées.

6. Analyses statistiques des données

▪ Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

Les résultats de la CHA sont présentés sous forme de dendrogramme regroupant les relevés selon leur degré de similitude.

6.1. Degré de similarité entre les espèces relevées pour les paramètres (Csi et la proline)

La classification hiérarchique ascendante (CHA) fournit le résultat sous la forme d'un arbre ou dendrogramme, Ce dendrogramme permet de distinguer deux groupes principaux (Figure14):

Groupe 1 : réunit 4 classe (sept espèces)

- La classe 1 est formée par les deux espèces (*Argyrobium uniflorum* et *Plantago albicans L.*) avec une similarité de 95 %.
- La deuxième classe formée par les deux espèces *Cleome arabica* et *Micropus borbicinus* présentent un niveau desimilarité de 97%.
- La troisième classe renferme 2 espèces *Launaea resedifolia O.K* et *Schismus barbatus*, sont similaire à 94%.

- La quatrième classe renferme seule espèce *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur. Avec une similarité de 89% entre tous les espèces précédente.

Groupe2 : est réuni quatre espèces *Echinops spinosus* L et *Koelpinia linearis* pall, *Erodium triangulare* (Forsk.), *Trigonella stellata* (Forsk.), avec 96% de similarité. Entre ces espèces et *Astragalus armatus* Willd, il existe une similarité de 83%.

Remarque :

- Echinops spinosus* L et *Koelpinia linearis* pall ., sont similaires à 99%.
- Aristida pungens* ne présente aucun niveau de similarité avec les autres espèces.

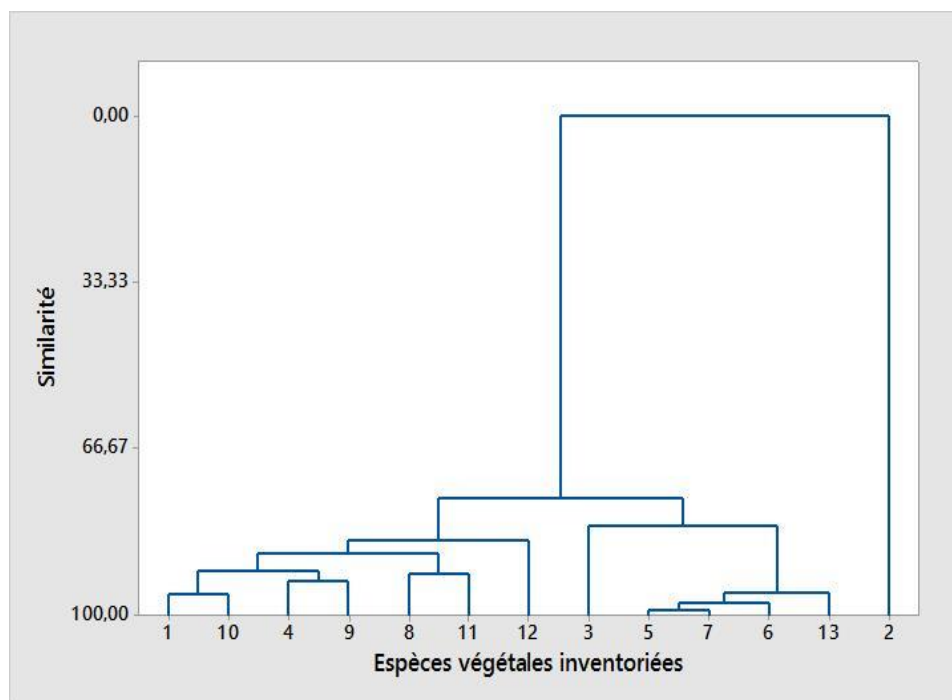


Figure 14. Dendrogramme de la CHA de la contribution spécifique des espèces dans la zone d'étude.

6.2. Degré de similarité entre les espèces relevées pour les paramètres proline et teneur en eau dans la matière végétale.

L'analyse du dendrogramme des espèces (Figure.15) nous permet de distinguer deux grands groupes principales est subdivisés en sous-groupes et ainsi de suite.

Ainsi, en prenant en considération toutes les valeurs des trois paramètres, nous relevons quatre différents groupes en fonction de la résistance ou tolérance au stress abiotique et le métabolisme des plantes.

Groupe 1 : Il se compose deux sous-groupe

- Sous-groupe 1 : *Echinops spinosus* et *Koelpinia linearis* il existe une similarité de (99%), et cette partie présente des similitudes de (97%) avec *Henophyton deserti*, toutes ces espèces ont similarité de (96%) avec *Anacyclus radiatus*.
- Sous- groupe 2 : *Argyrolobium uniflorum* et *Erodium triangulare*, ils présentent des similitudes entre eux par (97%)

Entre les deux sous-groupes il existe une similarité de (82%)

Groupe 2 : Il se compose de deux espèces, *Cleome arabica* et *Launaea resedifolia*, il existe une similarité de (80%) entre les deux espèces.

Entre le premier groupe et la deuxième présente une similarité de 64%.

Groupe 3 : Il se compose de trois espèces *Aristida pungens*, *Retama raetam*, *Schismus barbatus*.

La similitude entre *Retama raetam* et *Schismus barbatus* 98%, et cette partie présente une similitude de 90% avec *l'Aristida pungens*.

Groupe 4 : Il se compose deux sous-groupes

- Sous-groupe 1 : *Astragalus armatus* et *Plantago albicans*, ils présentent des similitudes entre eux par (95%), et cette partie présente une similitude de 90% avec *Thymelaea microphylla*.
- Sous- groupe 2 : *Micropus bombicinus* et *Plantago ciliata* il existe une similarité de (99,99%), et cette partie présente une similitude de 97% avec *Trigonella stellata*, et présente une similitude de 85% avec *Astragalus cruciatus*.

Entre le premier groupe et la deuxième présente une similarité de 72%.

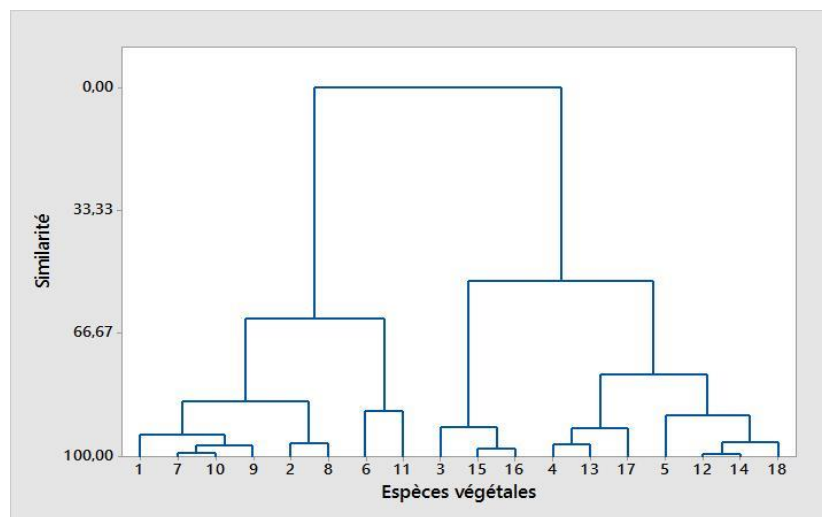


Figure 15. Dendrogramme de la CHA de la physiologie des espèces.

1. Climatologie de la zone d'étude

Les températures et les précipitations constituent les deux groupes de paramètres climatiques fondamentaux qui caractérisent les milieux continentaux. On peut distinguer parmi les facteurs climatiques un ensemble de facteurs énergétiques, constitués par la lumière et les températures, de facteurs hydrologiques (précipitations) et de facteurs mécaniques (vent), l'étude de chacun de ces facteurs représente certes une approche indispensable pour la compréhension des phénomènes écologiques (Ramade, 2003).

Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition et le développement des plantes et la nature du sol son analyse à l'échelle d'une région se base sur des données fournies par des stations météorologiques, Les principaux paramètres climatiques retenus sont la température de l'air, la précipitation, humidité, l'évapotranspiration, le vent,etc. (Madani, 2008).

L'écosystème steppique, est un écosystème où s'exacerbent l'ensemble des contraintes édapho-climatiques par le déficit hydrique, et par la pression anthropique qui est, dans la plupart des cas, de plus en plus intense. Cette pression se traduit par une exploitation humaine plurimillénaire, sous forme de pratiques diverses, variant en intensité en fonction de la densité des populations et de l'histoire locale des usages (Noumi, 2010).

Selon Dajoz (2000), L'eau représente de 70 à 90% des tissus de beaucoup d'espèces en état de vie active. L'approvisionnement en eau et la réduction des pertes constituent donc des problèmes écologiques et physiologiques fondamentaux. En fonction de leurs besoins en eau, et par conséquent de leurs répartitions dans les divers milieux.

Le développement des végétaux est lié à la répartition de la pluviosité durant l'année. Il est également nécessaire de connaître la pluviosité mensuelle, le nombre de jours de pluie ainsi que le régime pluvial, pour pouvoir comprendre la croissance et le développement des végétaux (Hammouda, 2009). La caractéristique première de l'écosystème méditerranéen est climatique. Le climat méditerranéen est défini par un été sec et chaud et imposant à la végétation en place un stress hydrique de durée variable (Daget *et al.*, 2003).

Alors que les données climatiques de la période allant de 2005 à 2015, nous pouvons ressortir que la moyenne annuelle est de $P=166,32\text{mm}$ et $T=19,13^{\circ}\text{C}$, le climat et le bioclimat, on a peu remarqué que notre région d'étude jouit d'un étage bioclimatique aride à hiver tempéré, l'analyse bioclimatique montre une grande variation entre la période ancienne où $Q_2=12$ en (1950) (Rapport d'Emberger, 1950) sous un étage bioclimatique aride à hiver frais, et la période récente. Cette dernière est remarquable par une diminution remarquable de la pluviosité et une augmentation des températures cela se traduit par la prolongation et l'intensité de la saison sèche.

2. Les paramètres physico-chimiques du sol

Ozenda, (1982), indique que la composition des groupements des végétaux est essentiellement influencée par la nature du substrat, on peut citer le caractère physique du sol qui se traduit par la liaison entre certaines plantes et type donné de texture ou structure.

2.1. Analyses granulométriques

A partir des résultats obtenus pour l'analyse granulométrique on a vu des variations entre le taux du sable. Est dominée par le sable Moyennement fine.

Nos résultats sont confirmés par Goffin (2009), Chorana (2012) et Khelifi (2013), Taibi (2015).

2.2. Le pH du sol

Le pH du sol de la zone étudiée varie entre 7,86 et 8,5, ce qui indique la nature alcaline de notre sol, peut être dépend à la diminution ou la disparition de recouvrement végétal. Et aussi à la présence des minéraux au niveau de sable, les travaux de Chorana (2012), Khelifi (2013), Djekidel (2014), Taibi (2015) confirment nos résultats.

D'après D'OUCKET.R (2006), la plupart des plantes se développent très bien dans un sol à pH 6,5 et qui est un pH le plus favorable à l'activité biologique (donc aux processus de minéralisation et d'humidification) et à l'assimilation des éléments nutritifs.

2.3. La conductivité électrique

Selon Aubert (1978), un sol est considéré comme salé, lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieure ou égale à 2 ds/m (Annexe.02).

La (CE) obtenus varie entre 0,096 et 1,4 ms/cm, qui classe notre sol dans la classe d'un sol à faible salinité, certains auteurs ont montré qu'à très faible concentration, certains sels présent à l'état naturel dans le sol sont absorbés comme élément nutritifs par les végétaux (Wiebe et *al.*, 2001).

D'après Halitim (1998), les sols dans la zone aride d'Algérie. Sont généralement hydromorphes, des minéraux bruts, ou halomorphes. Ces derniers sont classés en sols sans accumulation de sels.

2.4. Carbone organique et la matière organique et C/N

Un sol prend naissance dès lors que la vie végétale et animale vient s'installer dans les débris de la décomposition d'une roche mère. A la mort de ces êtres vivants, leur matière s'incorpore au sol, se mélangeant aux substances minérales. Ils représentent alors les « constituants organiques » ou « matières organiques » (Soltner, 1982).

D'après Pouget (1977) ; les processus d'évolution de la M.O, minéralisation et humification, sont régis par l'action conjugué du climat, de la végétation et de la nature du matériau. Selon, nos résultats on peut en déduire que le sol de notre zone d'étude est pauvre (Annexe.03) en matière organique dont nous avons enregistré des valeurs varie entre 0,75% et 0,68% Selon Pouget (1992), La texture du sol influe sur pourcentage de M.O présente dans le sol, si les autres facteurs sont constant, un sol sableux contient moins d'humus qu'un sol argileux, nos résultats sont confirmés par Pouget (1977), Hatimi et Tahrouch (2007), Goufin (2009), Chorana (2012), Khelifi (2013) et Taibi (2015).

Selon Khadraoui (2004), la région de Laghouat est caractérisée par un sol peu évolué, à texture légère à teneur faible en matière organique. Ce sol fait partie d'un groupe à faible teneur en matières organiques (C.D.F., 1998).

La matière organique est peu abondante avec absence de complexes organo- minéraux (Amghar, 2003).

Le niveau de décomposition de la matière organique des sols de la région est évalué par le rapport C/N qui exprime l'activité biologique dans le sol (Boyer, 1982 in Latrache et Othmani, 2012). Le rapport révèle le taux de minéralisation (rapide – lente) de la matière organique du sol.

Selon les normes d'interprétation du rapport (C/N), proposés par LCA (2008), pour les deux horizons du notre sol il existe une décomposition lente de la matière organique, et le rapport C/N plus élevée dans l'horizon profond par rapport à l'horizon superficielle.

2.5. Eléments chimiques du sol (Na, P, K, N) et CaCO₃

Les sols dunaires sont généralement pauvres en éléments nutritifs et en eau (Fisher et Turner 1978). La teneur en azote dans le sol étudiée très pauvre en azote

D'azote organique passent à l'état nitrique disponible pour la plante c'est la minéralisation qui intervient quand la température du sol est suffisamment élevée. et volatilisation Perte d'azote, à partir du sol ou d'une matière fertilisante, par dégagement direct dans l'atmosphère de N₂, d'oxyde d'azote ou d'ammoniac.

(Toutain 1979 ; Prévost, 1999), « la forte teneur minérales dans le sol se reflète sur la végétation ».

Les sols calcaires sont répartis dans le monde entier, ils sont répandus aussi bien dans les régions arides que dans les régions humides et subhumides. Ces sols se caractérisent par le CaCO₃ libre en quantité suffisante, pour présenter une effervescence visible sous l'action d'HCl dilué à froid (Belouam, 1976).

D'après Halitim (1998), les sols dans la zone aride d'Algérie sont généralement des sols calcaires. 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).

Le calcaire possède une place très importante dans le sol et peut se trouver sous trois formes principales : diffuse, en concentration discontinues et en concentrations continues. Les sols calcaires sont différents, surtout par leur texture, leur morphologie, le mode d'évolution pedogénétique, par le niveau et le mode de salinisation. Leur extension spatiale est très variable. Se répartissent dans les zones arides de manière séquentielle.

3. Analyses floristique

Dans le cadre de l'étude des parcours steppiques de la région de Laghouat et l'évaluation des états de dégradation, l'analyse phytoécologique nous a permis d'avoir des résultats importants dans ce cadre.

3.1. Richesse totale (spécifique, S)

Monod (1992) indique que dans la flore désertique, il y'a à peu près partout la dominance des Asteraceae, des Poaceae et des Fabaceae.

Ces résultats sont faibles par rapport à d'autres parcours steppiques qui sont étudiés par Melzi (1990), Sadjji(2004), Khlifi (2008), Rahmoun(2009) et Graa (2010) et Djoubar (2011) et Azizi (2012).

Mais elles sont presque similaires à ceux de signalés par Chehma (2005), dans plusieurs types de parcours arides. La richesse totale dans la steppe aride du Nord de l'Afrique peut aussi diminuer selon un transect Nord-Sud (Le Houérou, 1995).

Selon Good 1974, Les Astéracées, Les Poacées, et les Fabacées ont une répartition presque cosmopolite ou Sub-cosmopolite alors que l'importance des autres familles serait en fonction des conditions climatiques (Aidoud-Lounis, 1997).

3.2. Recouvrement global

La diminution du couvert végétal et le changement de la composition floristique sont les éléments qui caractérisent l'évolution régressive de la steppe.

Est en relation étroite avec la qualité du milieu. d'une part et des conditions climatiques d'autres part (Pouget, 1980 ; Djebaili et *al.*, 1982 ; Amghar et Kadi-Hanifi, 1998).

Les éléments de la surface du sol (Le sable, Les cailloux, Les débris) sont autant des paramètres écologiques qui influent sur la qualité et la quantité de végétation (Lemée, 1978 et MELZI, 1986).dans la zone d'étude le sable représente une grande proportion avec 28,29% ce qui indique la nature géomorphologique de la région. Nos résultats sont similaires à ceux

signalé par CHEHMA(2005) ou les éléments de la surface du sol occupent une grande importance avec 51,12%.

Généralement les régions steppiques ont un faible taux de recouvrement de végétation mais constituent une ressource naturelle de grande importance notamment dans la protection du sol contre le phénomène de l'érosion éolienne et dans la structuration des horizons superficiels du sol (Bensaid, 2006). Nos résultats sont confirmés par Azizi(2012) et Saadaoui (2014).

3.3. La fréquence spécifique F_{Si} et La contribution spécifique C_{Si}

La dominance d'*Aristida pungens* dans le milieu. Témoin de la nature sableuse du sol (Djebaili et al., 1982).

Les espèces psammophyles sont les plantes pionnières qui s'installent naturellement sur les dunes lorsque les conditions s'y prêtent. Ces plantes constituent la première série de l'évolution de la végétation (Berkhane, 2005) Les espèces psammophyles tel que : *Aristida pungens*.

3.4. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et L'Équitabilité (E_Q)

Selon JAUFFRET (2011), l'indice de Shannon & Weaver est utilisé pour caractériser la diversité des systèmes écologiques étudiés, est sensible à la fois au nombre d'espèces (richesse spécifique) et à leur répartition.

C'est pourquoi il convient de calculer l'équitabilité qui renseigne sur l'équi-répartition des effectifs entre les différentes espèces. Elle est toujours comprise entre zéro et un. Elle tend vers le zéro quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce et elle est de l'ordre de un lorsque toutes les espèces ont même fréquence. (Daget, 1976. Magguran, 1988. Barbault, 1995).

La valeur de l'indice de Shannon pour la zone d'étude est moyenne 2,59 bit indiquant la faiblesse du patrimoine écologique représentant la zone étudiée (Mokrane). (milieu non homogène). La valeur de l'équitabilité aux espèces échantillonnées au niveau de site est 0,60.

3.5. Diversité biologique (Le spectre biologique)

La Thérophytisation est une caractéristique des zones arides (Daget, 1980 ; Barbero et al., 1990, Madon et al., 1996 In Dahmani 1998), elle est due essentiellement à la quantité d'eau disponible et retenue dans le sol surtout en saison de croissance ; selon Negre 1966 et Daget 1980, la thérophytie est une stratégie d'adaptation vis-à-vis des conditions défavorables et une forme de résistance aux rigueurs climatiques, d'après les travaux de Orshan et al.,

1988 ; Danin et Orshan, 1990 ; Floret et *al.*, 1990 ; il ressort que les Thérophytes parmi les éphémères qui marquent une bonne adaptation à la sécheresse.

On note également l'apparition des Chaméphytes en deuxième position ; qui indique une amélioration du terrain et d'après (Orshan et *al.*, 1988 ; Danin et Orshan, 1990 ; Floret et *al.*, 1990) qui montrent que les Chaméphytes parmi les espèces persistantes qui ont une bonne adaptation à la sécheresse, mais ces espèces sont rejetées par le cheptel (Boularak et *al.*, 2009).

Les Hémicryptophytes sont moins représentées. Elles sont considérées par Monod(1992) comme des plantes vivaces arido-passives pour résister à la sécheresse en limitant leur croissance ou en la supprimant temporairement. Les Hémicryptophytes préfèrent en général les milieux humides riches en matière organique (Barbero et *al.*, 1989), ce qui indique une amélioration du milieu.

Concernant la rareté des Phanérophytes (présente par une seule espèce). OZENDA (1964) Signale que la strate arborée de la zone aride est très disséminée et dispersée dans l'espace. Et s'explique par une faible précipitation qui caractérise le climat aride. MONOD (1973), note que le caractère commun à l'ensemble des déserts. Est bien la rareté des arbres.

3.6. Diversité phytogéographique

Le spectre phytogéographique montrent que les éléments Saharo-sindiens est le plus représenté avec un pourcentage de 32%. Selon OZENDA (1983), l'élément Saharo-Sindien est toujours nettement prédominant, il représente plus de trois quarts de la flore au sahara septentrional, suivi de l'élément Méditerranéennes, la localisation biogéographique de notre zone d'étude dans la région méditerranéenne Quezel 1995, fait remarquer : « les éléments strictement méditerranéens représentent une part très importante de la flore de la région méditerranéenne » .

(Le Houerou, 1995) a signalé que l'élément Saharo-Arabique augmentent avec l'aridité.

4. La matière fraîche de la communauté végétale

Parmi les composés organiques et minéraux qui interviennent dans l'ajustement osmotique, on évoque fréquemment les nitrates, le potassium, les acides organiques, les sucres solubles et la proline (Monneveux, 1991). L'accumulation des solutés organique varie d'un organe à l'autre et d'une espèce à l'autre selon la nature et l'intensité du stress. (BENTAMER et BENNADIR)

Chez les plantes supérieures, la proline est accumulée en cas de stress, aussi biensuite à une augmentation de sa synthèse que par une réduction de sa dégradation(Nakashima *et al.*, 1998).

D'autres facteurs influent sur l'accumulation de la proline tel que l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers le phloème (Carceller, 1995). Elle constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance hydrique (Dib *et al.*, 1992).

La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (Yancey *et al.*, 1982).

En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (Hong *et al.*, 2000; Kocsy *et al.*, 2005) et la stabilisation des protéines (Ashraf et Foolad 2007; Majumder *et al.*, 2010), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (Mansour 1998) et constituerait une source de carbone et d'azote (Ahmad et Hellebust 1988; Peng *et al.*, 1996; Sairam et Tyagi 2004). Selon Hare et Cress (1997).

L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad 2007).

Selon (Batanouny *et al.*, 1985) dans le *Rtama reatam* la teneur en proline varie de 78 à 123,13 $\mu\text{mol/g}$, alors qu'elle varie de 74 à 20,359 $\mu\text{mol/g}$ dans le *Zea mays*. Cela montre que les plantes ne peuvent pas être classés en groupes en fonction de leur teneur en proline ou la quantité de contenu de proline accumulée en raison du stress, dans le cas de stress hydrique.

En cas de stress salin selon Townsend, il faudrait en effet de (100 à 150 mM) de NaCl pour induire une accumulation de la proline.

Un autre point de vue, l'accumulation de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt la signe d'une perturbation métabolique (Dix et Pearce, 1981).

Absence d'accumulation de proline dans l'espèce *Trigonilla stellata* est adapté à l'environnement et les caractéristiques de notre zone, et pour *Aristida pungens*, *Retama raetam*, *Schismus barbatus* obtenu des teneurs faible en eau avec respectivement 0,46-0,48-0,49 (%) et matière minérale et organique plus élevée probablement l'accumulation de la proline a cause de stress hydrique.

L'apport exogène de proline permet dans certains cas d'améliorer le comportement des plantes vis-à-vis du stress (Ashraf et Foolad 2007), mais des concentrations élevées entraînent l'effet inverse (Hare *et al.* 2002; Nanjo *et al.* 2003).

Conclusion

Afin d'atteindre notre objectif la collecte de données et des mesures sur le terrain ont été réalisées. Les données climatiques rangent notre zone d'étude dans l'étage bioclimatique aride à hiver tempérée. La période sèche s'étale de janvier à novembre (11 mois), durant cette période le couvert végétal est soumis à un manque d'eau. En dehors de cette période le mois le plus pluvieux est le mois de décembre. Les températures maximales sont observées durant ce mois de juillet qui atteignent $33,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ le minimum et observé au cours du mois de janvier et peuvent atteindre une valeur de $5,10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le sol de Mokrane est formé de deux horizons majoritairement de sable moyennement fin dont la fraction argileuse domine avec plus de 84,06%.

Les paramètres abiotiques ont été révélés à travers des relevés de végétation la présence de psammophiles avec un taux de 60%. Aussi bien cette couverture végétale dominée par la famille des Astéracées est indicatrice d'une adaptation morphologique de la végétation au milieu dans lequel elle évolue. Cette végétation permet une équitabilité assez approximative de 0,60 indicatrice d'un comportement de partage du lieu entre les espèces présentes.

D'un autre côté le recouvrement indique que les éléments de la surface du sol élevée par rapport à la végétation ce qui s'explique par le manque des précipitations.

Durant le moment de nos relevés aussi par la période de nos relevés ou les éphémères prenaient une part de plus de 64%.

Le spectre biologique indique que les espèces en majorité sont d'origine saharo-sindienne. Ceci explique le manque des précipitations dans la région, le type biologique dominant est les thérophytes.

D'un autre côté le dosage de la proline a montré que les espèces végétales n'auraient le même comportement physiologique vis-à-vis de leur adaptation au milieu dans lequel elles évoluent.

Les Astéracées dominent en (Csi) montrant une faible teneur en acide aminé.

Alors que les poacées secrètent relativement peu de proline, ceci est révélateur que la morphologie de la plante intervient dans son comportement physiologique.

Notre étude est un premier réalisé dans la steppe algérienne sur une végétation naturelle.

D'autres études permettront de bien établir une classification pouvant contribuer au choix des espèces dans les plantations.

- **Abrol Y. P., Ingram K. T., 1997** –Effets directs et indirects du changement des processus hydrologiques, pédagogiques et physiologiques des végétaux. FAO ; 1997, ch. 6, p, 110-119.
- **Afnor, 1999.** Qualité des sols. Ed. AFNOR, Vol.1 et 2, Paris, 973 p.
- **Ahmad, I., et Hellebust, J.A. 1988.** The relationship between inorganic nitrogen metabolism and proline accumulation.
- **Aidoud A. et Touffet J., 1996.-** La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, vol. 7, n°3: 187-193.
- **Aidoud A., 1983.** Contribution à l'étude des écosystèmes steppique sud Oranais : phytomasse, productivité énergétique, productivité primaire et application pastorale. Thèse de Doctorat 3ème cycle : USTHB, Alger. 255 p.
- **Aidoud-Lounis, F.1984.** Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais ; étude phyto-écologique et syntaxonomique., Thèse de Doctorat 3ème cycle : USTHB, Alger, 253 p.
- **Albin M., (1999)** -Encyclopédie Universlis Dictionnaires d'écologie, pp 336-345.
- **Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ.
- **Ashref M., 2004:** Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plant. Flora. 199: 361-376.
- **Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191 p.
- **Baize, D.1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. Paris: Editeur INRA.172p.
- **Baldy Ch (1986)** -Agro-météorologie et développement des régions arides et semi-arides, INRA Paris114p.
- **Barbault R, (2000)** -Ecologie générale structure et fonctionnement de la biosphère, 5ème édition.326p.
- **Batanouny K. H., Hassan A. H et Zayed K. M. 1985.** Proline accumulation in plants of different ecological groups as a response to water deficit.
- **Belhassen E., This D., et Monneveux P., 1995** –L'absorption génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers agricultures ; 4, p. 251-61.
- **Benabadji N., Bouazza M., Metge G.et Loisel R., 1996.-** Description et aspects des sols en région du semi-aride et aride au sud de Sebdo (Oranie-Algérie). Bull. Inst. Sci. Rabat, n°20: 77-96.

- **Benghersallah Net Elhadi K, 2013.** Réponse anatomique à la sécheresse de quelques plantes spontanées du Sahara septentrional : Mémoire Master Académique ; Ecologie et environnement ; 114P.
- **Besford, R.T., 1978.** Effect of replacing nutrient potassium by sodium in uptake and distribution of sodium in tomato plants. *Plant Soil*. 50: 399-409.
- **Bneder (2006).** Identification et cartographie des zones potentielles à l'agriculture en steppe. Etude diachronique du climat et bioclimat de la steppe algérienne .Bneder Alger.47p+annexes.
- **Blum A, 1974-** Genotypic responses of sorghum to drought stress. Vol. II, Leaf tissues water relations. *Corp. Sci.* 14(5), p.691-693.
- **Bouaouina S., Zid E et Hadji M ., 2000** – Tolérance à la salinité, transport ionique et fluorescences chlorophylliennes chez le blé dur (*Triticum durum* L.). *Option Méditerranéennes* N° 40, 239-243.
- **Bouazza M., 1995** – Etude phytoécologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et à *Lygeum spartum* L. au Sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Thèse. Doct. Es-Sci. Univ. Tlemcen. 115 p + annexes.
- **Boucheneb N., 1999.** Contribution à l'étude de la végétation de la région de TAMENRASSET AHAGAR. Thèse Magister. Univ. Sci. Tech. H. Boumediene . Alger, 103 p.+ ann.
- **Boudjellal L., (2009)-** Rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides « Cas de l'oasis de Chetma -Biskra -Algérie », Thèse de Magister, 145p.
- **Bounouar J. (2001)** Effet d'une contrainte abiotique (stress hydrique sur la plante et les composants de la graine de *Vicia faba* L. Thèse de magister.
- **Bousmaha N., Boulebene F. Z., 1991** –Les protéines du choc thermique chez *Pennisetum thyphoides* L. à l'état juvénile. Mémoire D.E.S. Inst. Biol. Univ. Oran, p36.
- **Boyer J S (1970)** Leaf Enlargement and Metabolic Rates in Corn, Soybean, and Sunflower at Various Leaf Water Potentials. *Plant Physiol*. 46: 233-235.
- **Boyer JS (1976)** Water deficit and photosynthesis. In Kozlowski TT (ed) *Water deficit and plant growth*, pp 153-190. Academic Press, London.
- **Bray EA (2002)** Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. *Annals of Botany* 89, 803-811.
- **Brugnoli E., Lauteri M., 1991:** Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt tolerant (*Gossypium hirsutum* L) and salt sensitive (*Phaseolus vulgaris* L) C3 non halophytes. *Plant physiol.* 95: 628-635.

- **Brunel J-P., Binet P., 1967-** Biologie végétale. Ed. DOIN. 8, place de l'Odéon – PARIS(VIe).
- **C. D. F. 1998.** Présentation du sous-secteur des forêts. Laghouat, 35 p.
- **Chaffei C., Pageau K., Suzuki A., Gouia H., Ghorbel Mh., Masclaux Daubresse C., 2004:** Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiol.* 45:1681–1693.
- **Chaib G. (1997)** Teneur en proline des différents organes du blé dur, essai d'exploitation de conditions d'accumulation sous manque d'eau. 20 p.
- **Chaillou, S., Lamaze, T., 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes. Jean-Francois Morot-Gaudry (ed). p. 67–83.
- **Chaves M.M., Maroco J.P. et Pereira J.S., 2003.** Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 239-264.
- **Cheesman, J.M., 1988.** Mechanism of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* 87: 547-550.
- **Chehma A., (2005).** Etude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du sud-est Algérien. *Sécheresse.*, 16 (4) : 275-85.
- **Clarkson, D.T. et Hanson, J.B., 1980.** The mineral nutrition of higher plants. *Annu Rev. Plant Physiol.* 31: 239-298.
- **Crozier, A., Kamiya, Y., Bishop, G. and Yokota, T. (2000).** Biosynthesis of Hormones and Elicitor Molecules. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants.* B. B. Buchanan, W., Gruissem and L. J. Russell. Berkeley, American Society of Plant Physiologists: 850-929.
- **Daget P. Et Poissonet J., 1991.** Prairies et pâturages, méthodes d'étude. Montpellier, France, Institut de Botanique. 354 p.
- **Daget, PH. et Poissonet, J. 1971.** Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critère d'application. *Ann. Agron.*, vol.22, n.1.p.5-41.
- **Dajoz R., 1982.** Précis d'écologie. Ed. Gautier- Villars, Paris, 503 p.
- **Dajoz R., 2006 -** *Précis d'écologie.* Ed Dunod, Paris, 630 p.
- **Dajoz R. 2000.** Précis d'écologie. 7ème Ed. Paris : DUNOD. 614p.
- **Dajoz, 1971.** Précis d'écologie. Ed. lib. Larose, I, Paris, 450p.
- des espèces végétales cultivées. Edit. INRA. Paris, pp. 13 (1989) 21.
- **Dib T.A., Monneveux P et Arous J.L., 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dure. II : caractères physiologiques, *Agronomie*, 12, 381-393.

- **Dix P.J., Pearce P.S., 1981** –Proline accumulation in Nacl –resistant and sensitive cell lines of *Nicotiana sylvestris*. *Z. Pflanzenphysiol Bd* ; 102s :243-248.
- **Djellouli Y., (1990)**- Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. *Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. Technol., Alger*.
- **Doucet, R. 2006**. Le climat et les sols agricoles. Berger, Eastman, Québec. 443 p.
- **Dreux P., 1980** – *Précis d'écologie*. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231p.
- **Duchauffour, 2006**. livre : Introduction du la science d'étude ;
- **Duchauffour Ph., 1977**. Pédologie, Pédogenèse et classification. Tome I, Edition: Masson, Paris, 477p.
- **Dutuit P., Pourrat Y., Dutuit J M., 1994**: La notion de stress de la cellule à l'écosystème. Sécheresse, Vol. 5, N°. 1: 23- 31.Edit. De Boeck, pp. 38-58 (2003) 458.
- **Elmsehli, S. (2009)** Les plantes et la perception des changements environnementaux, Compte rendu de la session 4 : Biotic and abiotic stresses. 8ème Colloque National de la SFBV, 8-10 Juillet 2009, Strasbourg, France, pp. 20-25.
- **El Jaafari S., 1993**. Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sècheresse chez le blé.Thèse de doctorat.Univ.Gembloux.Belgique: 214p.
- **Fisher, R-A. Turner N, C. 1978**. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Ann Reveue Plant Pyusiol. Volume 29. P. 277-317*.
- **Flowers, T.J. Et Lauchli, A., 1983**. Sodium versus potassium: substitution and compartmentation. *Inorg; Plant Nut. 15: 651-681*.
- **Ghozlene I. 2013**. statut nutritionnel et plasticite de reponses aux stress chez un modele vegetal : *triticum durum* desf.Universite badji mokhtar – annaba, these de doctourat, 140 p.
- **Godron M., 1984**-Ecologie de la végétation terrestre .Ed.Masson. PP 113-114.
- **GOLDHIRS A.G., HANKAMER B et LIRS S.H., 1990** –Hydroxy-proline and praline content and cell wall of Sunflower, Peanut and cotton growth under salt stress *Plant. Sci., 69, p27 32*.
- **Gounot M., 1969**. Méthode d'étude quantitative de la végétation. Editeur Masson et Cie, Paris.314p.
- **Grime J P., 1979**: Plant strategies and vegetation processes. New York: John Wiley and Sons. 222 P.
- **Guerrier G., 1983**-Capacité germinative de semences en fonction des doses graduelles en Nacl et importance des transferts sur milieux sodés ou témoins. 90p.
- **Guyot G., (1999)** -Climatologie de l'environnement. Ed : DUNOD ; Paris. 507p.
- **Halitim A., 1988**. Sols des régions arides. OPU, Alger, 384p

- **Hammouda R. 2009.** Contribution à élaboration d'un modèle de gestion durable d'un parcours steppique dans la commune de Hadj Mechri Wilaya de Laghouat, *Mém. de mag.*, D'université des sciences et de la technologie Houari Boumediene *U.S.T.H.B* : Alger. 114p.
- **Hare, 2002.** Metabolic implications of stress.
- **Hare P.D. & Cress W.A. 1997.** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress.
- **Harper, J.E., 1994.** Nitrogen metabolism. Physiology and determination of crop yield, Boote K.J. (Eds). 285-302.
- **Heller, R., Esnault, R. et Lance, C. (1993).** Physiologie Végétale - 1 - Nutrition., Paris, MASSON.294.
- **Henia L., 1993-** Climat et bilans de l'eau en Tunisie, assai de régionalisations climatiques par les bilans hydriques. Tunis : Publications de la faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 391p.
- **Hopkins W.G., 1999** – Introduction to plant physiology. Second Edition. The University of Westem Ontario. Edit. John Wilay and Sons., Ins, 512p.
- **Hopkins, G.W., 2003** : Physiologie végétale/ traduit de l'anglais par RAMBOUR S. Edit. De Boeck, pp. 38-58 (2003) 458.
- **Hopkins. (2003)** Physiologie végétale. 2eme édition américaine. traduction en français (Serge Rambour)., Paris.514p.
- **Jones H G., Flowers T J., Jones M B., 1989:** Plants under stress. Cambridge Cambridge University Press.
- **Jabnoute M., 2008.** Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz, Thèse doctorat en biologie intégrative des plantes : 289P.
- **Kaye, J.P., Hart, S.C., 1997.** Competition for nitrogen between plants andsoilmicroorganisms.Trends in ecology and evolution12 : 139-143.
- **Khadraoui, A. 2004.** Eaux et sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement).
- **Khasirikani Mbakwiravyo, 2009.** Notes d'écologie générale. Université de conservation de la nature et de développement de Kasugho.
- **Koslowski T., 1968-**Water deficits and plant growth. Vol. II. Academic Press, New.
- **Kouassi A.M., Kouamé K.F., Goula B.T.A., Lasm T., Paturel J.E., Biémi J., 2008,** « Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, vol. 11, 207-229.

- **Kylin A., Quatrano R S., 1975:** Metabolic and biochemical aspects of salt tolerance., In: Poljakoff-mayber and J. Gale, Eds. Plants in saline environments. Springer-verlag, New York: 147-167.
- **Lacoste A., Salanon R.1999.** Eléments de biogéographie et d'écologie. Paris : Nathan, 300p.
- **Latreche A et Othmani R. 2012.** Contribution à la caractérisation morpho-analytiques des sols du quelque dayas dans la région de Laghouat. Mémoire d'ingénieur : Université de Laghouat.
- **Le Floc'h E. 2008.** Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation. Montpellier. Roselt/OSS. 174 p.
- **Le Houérou H. N., 1996.** Climate change, drought and desertification. J. Arid Environm, (34):pp 133-185.
- **Le Hourérou H-N. 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Options méditerranéennes, Ed. Ciheam. Montpellier, Série B : n. 10, 396p.
- **Lemee G., (1978)** -Précis d'écologie végétale ; Ed-Masson Paris.285p.
- **Leveque Ch., (2001)** -Ecologie de l'écosystème à la biosphère Ed : DUNOD.502p.
- **Levigneron A., Lopez F, Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F., 1995** – Les plantes face au stress salin. Cahiers agriculture, 4,p. 263-273.
- **Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. I-Chilling, freezing and high temperature. Academic Press., New York, USA, 607 pages.
- **Long, R., 1954.** Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. Annales de service botanique et agronomique de Tunisie 27 (1), 308 p.
- **Madani DJ. 2008.** Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique, Mém. Mag. En Sciences Agronomiques, d'université, El Hadj Lakhdar-Batna-Faculté des sciences Département d'agronomie : Alger. 165 p.
- **Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. 2006.** Printed in the
- **Mahrouz F 2013.** Effet du stress salin sur la croissance et la composition chimique de l'Atriplex canescens. Université kasdi merbah – ouargla – these d'ingénieur 45p.
- **Maire R., 1926 :** Principaux groupements végétaux d'Algérie. Alger, MARA, 12p.
- **Marschner, H., 1993.** Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press Ltd., Harcourt Brace. 341-362.
- **Mazliak P., 1981-** physiologie végétale (nutrition et métabolisme).Ed.1974 HERMANN, 293, rue Lecourbe, 75015 paris., P575.

- **Medjber Teguig T., 2015.** Contribution de l'étude du climat et son influence sur la végétation dans les palmeraies de Ouargla (Cas Hassi Ben Abdallah et Touggourt) : Université Kasdi Merbah-Ouargla Master Académique, 102P.
- **Mengel, K. et Kirkby, E.A., 1982.** Principles of plant Nutrition, 3rd edn. Worblaufen-Bern, Switzerland: International Potash Institute. 425-426.
- **Monneveux D. (1997)** La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. Cahiers" sécheresse". V, 8; N°1.p29-37.
- **Monneveux P., This D. 1997.** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés : Sécheresse n°1, vol 8, 29-37.
- **Monneveux, P., 1989 :** Les céréales à paille : présentation générale in Amélioration
- **Monneveux, P.H; Nemmar, M; 1986** "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre. Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement" Agronomie 6, p.17.
- **Monod T., 1957 :** Les grandes divisions chorologiques de l'Afrique. 145 p., 2pl., Conseil scientifique pour l'Afrique au sud du Sahara, Pub 1,N°24, Londres.
- **Nabors M., 2008**-biologie végétale (structure, fonctionnement, écologie et biotechnologies).Ed. Pearson education France. P 614.
- **Nanjo et al. 1999, 2003,** Antisense suppression of proline degradation improves tolerance to freezing and salinity in *Arabidopsis thaliana*. Osmoregulatory responses of two euryhaline microalgae. Plant Physiol.
- **Nedjraoui D., 1981.** Evolution des éléments biogènes et valeurs nutritives dans les principaux faciès de végétation des Hautes Plaines steppiques de la wilaya de Saida. Thèse 3ème cycle. USTHB, Alger. 156p.
- **Nedjraoui, D. 2002.** Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres U.R.B.T BP 295 ALGER – GARE ALGERIE.15P.
- Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer:1-14p.
- **Noumi Z. 2010.** *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan en Tunisie pré-saharienne : structure du peuplement, réponses et effets biologiques et environnementaux. Thèse Dr. D'université, De Bordeaux : France. P.125.
- **O.N.M. 2016.** Bulletin d'information climatique. Centre climatique national. Kheneg, Laghouat. 3p.

- **Omberger, 1950.** Rapport sur les régions arides et semis arides de l'Afrique du Nord. Union internationale des sciences agronomique, Montpellier, 12p.
- **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 : 189-224 pp.
- **Ozenda P., 1991-** flore de Sahara 3eme édition mise à jour augmentée. Ed. C.N.R.S., paris.P662.p.
- **Parida Ak., Das Ab., 2005:** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review., Ecotoxicol. Environ. Saf. 60: 324-349.
- **Passioura, J. 2007.** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12 pages.
- **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. 89 p.
- **Pouget, M. 1992.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Thèse doctora : Université D'Aix-Marseille. 3ème édition. Paris : O.R.S.T.O.M. 289 p.
- **Prévost, P. 1999.** *Les bases de l'agriculture.* Paris : Technique et documentation. 243 p. Plant cell and environment. 21: 535 - 553 p.
- **Quézel P et Barbéro M. 1990.** Les forêts méditerranéennes : problèmes posés par leur signification, écologique et leur conservation. Acta Botanica Malacianata (15): 145-178.
- **Quezel P. et 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 : 55-67p.
- **Ramade F. 1983.** Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Mc GrawHill, Paris, 397 p.
- **Ramade F., 1984.** Elément d'écologie. Ecologie fondamentale. Ed. mc graw-hill, paris, 379p.
- **Ramade, F. 2003.** Eléments d'écologie (Ecologie fondamentale). Paris : DUNOD. 690p.
- **Rasio A., Sorrentinio G., Cedola M.C., Pastore D. & Wittner G., 1987.** Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions. Genetic Agr. 41: 427 - 436
- **Rathinasabapathi B., Sigua C., Ho J., Gage Da., 2000:** Osmoprotectant B-alanine betaine synthesis in the Plumbaginaceae: S-adenosyl-L-methionine dependent N-methylation of b-alanine to its betaine is via N-methyl and N,N-diemethyl b-alanines., Physiologia Plantarum 109: 225-231.
- **Rehder, H., Schafer, A., 1978.** Nutrient turnover studies in alpine ecosystems. IV. , Communities of the Central Alps and comparative survey. Oecologia 34 : 309-327.

- **Rognon P., 1996-** Sécheresse aridité, leur impact sur la désertification au Maghreb. Rev., Sécheresse 287-97.
- **Sairam, R.K, et Tyagi, A. 2004.** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants.
- **Salsac, L., S. Chaillou, J.F. Morot-Gaudry, C. Lesaint, et Jolivet, E., 1987.** Nitrate and ammonium nutrition in plants. Plant Physiol. Biochem. 25:805–812.
- **Santoro M. M., Liu Y., Khan S. M. A., Hou L. X. et Bolen D. W., 1992** Increased thermal stability of proteins in the presence of naturally occurring osmolytes. Biochemistry, 31, p. 5278-5283.
- **Sauter, A., Davies, W.J. et Hartung, W. (2001).** "The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot." J. Exp. Bot., 52(363): 1991-1997.
- **Schoffl F., Baugmann G., Raschke et Bevan M.W., 1986-** The Expression of heat shock genes in higher plants. Philosophical transactions of the Royal Society. London. B 314 : 453-468. Leaves in the dark. Plant Physiol., 51, 508-511.
- **Sharp, R.E. et LeNoble, M.E. (2002).** "ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress." J. Exp. Bot. 53(366): 33-37.
- **Shilpi & Narendra., 2005 :** cold salinity and drought stress.
- **Soltner D., 1999 -** Les bases de la production végétale, Tome III, Collection sciences et techniques agricoles ,8eme édition.320p.
- **Soltner D., 1982.** Alimentation des animaux domestiques.14^{ème} Ed. Sciences et techniques agricoles, Paris, 392 p.
- **Stearns, J.C., Shah, S., Greenberg, B.M., Dixon, D.G. et Glick, B.R. (2005).** "Tolerance of transgenic canola expressing 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase to growth inhibition by nickel." Plant Physiol. Bioch. 43(7): 701-708.
- **Stephanopoulos G., 1999:** Metabolic fluxes and metabolic engineering .Metabolic Studies. Analysis and Synthesis (Poljakoff-Mayber, A. and Gale, J., eds), Vol. 15: 147-167., Springer, Berlin.
- **Stewart, P. 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. Bull. Int. Nati. Agro. El Harrach : p. 24-25.
- **Tafforeau, M.2002.** Etude des phases précoces de la transduction des signaux environnementaux chez le lin : une approche protéomique ; Thèse de Doctorat de l'Université de Rouen : 255P.
- **Toutain, G. 1979.** Eléments d'agronomie Sahariennes. Marrakech: INRA. p. 40.

- **Townsend A.M., 1980.** Response of selected tree species to sodium chloride, J. Am. Soc., Hortic. Sci. 105 (6) 878–883.
- **Tremblin G., 2000:** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. Sécheresse.11 (2): 109-116.
- **Trinchant, J.C., Drevon, J.J., Rigaud, J., 1997.** Fixation symbiotique de l'azote ., In Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspects physiologique, biochimique et moléculaire, Morot-Gaudry J.F. (Ed), Inra Editions. 133-147.
- **Troll, W. et Lindesly, J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. J., Biol. Chem. (215): 655-660.
- **Tsimilli-Michael M. M., Pêcheux R.J. & Strasser. 1998.** Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed in hospite by the fluorescence kinetics O-J-I-P. Archs. Sci. Genève.51: 205 - 240p.
- **Turner, R.M., Alcorn, S.M., Olin, G., Booth, J.A., 1966.** The influence of shade, soil and water on saguaro seedling establishment. Botanical Gazette 127, 95-102.
- **Ungar I A., 1996-** Effect of salinity on seed germination, growth and ion accumulation of *Atriplex patula*. (Chenopodiaceae). Ann. Bot ; 83, p04-07.
- **Vigneau J P., 1996-** L'eau atmosphérique et continentale. Paris ; SEDES, 192p.
- **Wood T Ch., 2003-** Impact. Vitale article on science /creation. Ed. ICR. All Rights Reserved. P4.
- **Yancey, P.H. 1994.** Compatible and counteracting solutes. Dans Cellular and molecular physiology of cell volume regulation. Sous la direction de K. Strange.
- **Zeguouane O., 1989** –Situation de la culture de Fève en Algérie. Doc. RONEO. ITGC Alger.
- **Zid E ; Grignon C., 1991:** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91- 108.
- **Zid E., 1982** – Relations hydriques dans les feuilles de *Citrus aurantium* : effets de l'âge et de la salinité. Rev. FAC. Sc. Tunis, 2, p195-205.

Annexes

Annexe 01

Tableau 01. Classification des sols suivant leur pH.

pH eau	Nature du sol
$6,75 \leq pH \leq 7,25$	Neutre
$7,25 \leq pH \leq 8,5$	alcalin
$> 8,5$	Très alcalin

Source : Aubert, 1978.

Tableau 02. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilue1/5(AUBERT ,1978).

CE (mmhos/cm a 25°C)	Nature du sol
$\leq 0,6$	Sol non salé
$0,6 < C.E. \leq 2$	Sol peu salé
$2 < C.E. \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < C.E. \leq 6$	Sol très salé
> 6	Sol extrêmement salé

Source : AUBERT ,1978.

Tableau 03. Les classes de la matière organique.

M.O. (%)	Nature du sol
$< 0,5$	Très pauvre en M.O
0,5 à 1,5	Pauvre en M.O
1,5 à 2,5	Moyennement pourvu en M.O
2,5 à 6	Riche en M.O
6 à 15	Très riche en M.O

Source : Belkheiri, 2000.

Tableau 04. Classement des sols en fonction de leur rapport C/N.

6	8	9	10	11	12	14	
Très faible	Faible		Normal		Légèrement élevé	élevé	Très élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique.	

Source : LCA, 2008.

Annexes

Tableau 05. Classification des sols suivant leur teneur en azote.

Azote (%) KJELDAHL	Nature du sol
< 0,05	Très pauvre
0,05 – 0,1	Pauvre
0,1 – 0,15	Moyen
0,15 -0,25	Riche
>0,25	Très riche

Tableau 06. Dosage du calcaire total (BAIZE, 1988).

$CaCO_3$ (%)	Horizons
<1	Non calcaire
1 à 5	Peu calcaire
5 à 25	Modérément calcaire
25 à 50	Fortement calcaire
50 à 80	Très fortement calcaire
>80	Excessivement calcaire

Source : Baize, 1988.

Tableau 07. Répartition des classes de phosphore assimilable (P₂O₅) des sols

Classe du sol	P ₂ O ₅
Très faible	< 15
Faible	15 - 30
Bien pourvu	30 - 45
Elevé	45 - 100
Très élevé	>100

Source : Delaunois (2008).

Annexes

Annexe 02

Date de relevé :

N° (de relevé) :

Relevé linéaire

N-Lect	Observation	N-Lect	Observation	N-Lect	Observation	N-Lect	Observation
01		27		53		80	
02		28		54		81	
03		29		55		82	
04		30		56		83	
05		31		57		84	
06		32		59		85	
07		33		60		86	
08		34		61		87	
09		35		62		88	
10		36		63		89	
11		37		64		90	
12		38		65		91	
13		39		66		92	
14		40		67		93	
15		41		68		94	
16		42		69		95	
17		43		70		96	
18		44		71		97	
19		45		72		98	
20		46		73		99	
21		47		74		100	
22		48		75			
23		49		76			
24		50		77			
25		51		78			
26		52		79			