

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA Vie
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie

Spécialité : Ecologie Végétale et Environnement

*Etude de la phytodiversité de quelques formations steppiques
dans la région de Laghouat ;
Résilience aux changements climatiques.*

Présenté par :

BOUKADA Elhadj Belkasm et BIRANE Ahmed Azeddine.

Soutenue devant le jury composé de :

- **Président : Dr.BENSUILEH Sofiane.**
- **Examineur :Dr.BOUMEDIENNE Abdelmajid.**
- **Promoteur : Dr. BOUNAB Souhila.**
- **Co-Promoteur: Dr . SOUFFI Ibtissam**

2024/2025

Remerciements

Louange au Dieu qui nous a permis d'accomplir cette humble tâche et qui nous a toujours guidés vers le chemin droit.

Nous tenons à remercier Mme. SOUFFI Ibtiçsam et Mme . Bounab Souhila. Sur leur accord pour nous superviser et aussi pour toute l'aide qu'ils nous ont apportée le cadre de ce travail.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements aux agents de protection des forêts de la région d'Aflou, pour nous avoir accueillis et offrir la possibilité de faire des sorties sur le terrain, sans oublier les gardes forestiers qui nous ont aidés.

Nous exprimons notre profonde gratitude à tous nos enseignants qui ont participé à notre formation. tout au long de nos années scolaires.

À tous ceux qui nous ont aidés, nous disons merci. Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé directement ou indirectement à la création de ce document.



Dédicace

*Je remercie avant tout, mon Dieu de ma avoir accordé la
volonté pour finir ce travail.*

À Mes chers parents pour leurs sacrifices et leur dévouement .

À Tous les membres de ma grande famille .

À toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Je dédie ce modeste travail.

Belkasm



Dédicace

Je remercie avant tout, mon Dieu de ma avoir accordé la volonté pour finir ce travail.

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents.

A mon cher Père :

*Pour ses sacrifices, sa patience et ses encouragements tout au long de mes études Je te
serai reconnaissante toute ma vie, que dieu t'accorde une longue vie.*

A ma chère Mère :

*Tu es l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi,
et puisse DIEU*

AHMED

Sommaire

Page

Remerciement

Dédicace

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre 01 Partie Bibliographique

1. Généralités sur le climat	4
1.1. Définitions	4
1.1.1. Climat	4
1.1.2. Temps	4
1.1.3. Météorologie	4
1.1.4. Climatologie	4
2. Les éléments du climat	5
2.1. La température	5
2.2. Les Précipitations	5
2.3. La pression atmosphérique	6
2.4. Le vent	6
2.5. L'ensoleillement ou L'insolation	6
2.6. Humidité	7
3. Changement climatique à l'échelle mondiale	7
3.1. Définition	7
3.1.1. Changement climatique	7
3.1.2. Réchauffement climatique	9
3.2. Changement climatique et réchauffement climatique	9
3.2.1. Augmentation de la température de surface	9

4. Changement climatique à l'échelle régionale	12
4.1. Définition	13
4.1.1. Définition de l'aridité	13
4.1.2. La sécheresse	13
5. Déséquilibre et dégradation de la steppe	14
6. Dynamique des populations des écosystèmes steppique	14

Chapitre 02 Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique	17
2. Cadre Géologique	18
3. Cadre géomorphologique	19
3.1. Les reliefs	19
3.2. Les zones avec des surfaces élevées (Glacis et Terrasses)	19
3.3. La dépression	19
4. Cadre pédologique	20
5. Cadre hydrologique	21
6. Cadre Floristique	21
6.1. Végétation forestière et matorral	21
6.2. Végétation steppique	21
6.3. Végétation saharienne et sub-saharienne	21
7. Cadre Climatique	22

2/2. Etude climatique	23
2.1. Les précipitations annuelles	24
2.2. Précipitations moyennes mensuelles	26
2.3. Régimes saisonniers	28
2.4. Températures	30

2.5.Synthèse climatique	30
2.5.1 L'indice de De Martonne (1927)	31
2.6.Définition et identification de la saison sèche	32
2.6.1. Quotient et climagramme pluviothermique d'Emberger (1955)	34
2.6.2.Le Climagramme d'Emberger	36
3.présentation de la zone d'aflou	39
3.1. Ville d'Aflou	39
3.1.1. Climat	40
3.1.2.Végétation	40
3.1.3. Sol	41
4.Etude climatique de la zone d'aflou	41
4.1. La pluviosité	41
4.2. Températures	42
4.3. Neige	42
4.7.1. Le diagramme ombro-thermique de Gaussen	42
4.1.2Le climagramme d'Emberger	43

Chapitre 03 Résultats et discussions

I. Analyse climatique de la zone d'étude	47
I.1. Températures moyennes mensuelles	47
I.2. Les précipitations	47
II. Analyse floristique	48
II.1. Richesse floristique et contribution au tapis végétal	48
II.2. Indice de Shannon (H') et Équitabilité (E)	49
II.3. Type biologique	50

II.4. Spectres biogéographiques	51
II.5. Analyse des spectres biogéographiques	51

Conclusion

Conclusion	53
-------------------	-----------

Liste des figures :

Figure 01 : Évolution de la température moyenne de la planète entre 1850 et 2019	8
Figure 02 : Cycle simplifié du carbone	10
Figure 03 : Cycle simplifié du carbone au début du XXI	10
Figure 04 : L'état des parcours steppiques en 2005	16
Figure 05 : Carte de situation géographique de la wilaya de Laghouat	17
Figure 06 : Carte des altitudes de la wilaya de Laghouat	18
Figure 07 : carte des sols de la wilaya de Laghouat	20
Figure 08 : Carte bioclimatique de la wilaya de Laghouat	22
Figure 09 : Variations inter annuelles des précipitations des stations d'étude	24
Figure 10 : Régimes pluviométriques saisonniers (2005-2014)	29
Figure 11 . Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de deux stations climatiques de la wilaya de Laghouat (2005-2014)	35
Figure 12 : : Situation des stations d'étude sur le climagramme d'Emberger (1955)	40
Figure 13 : Carte localisation de la région d'Aflou dans la wilaya de Laghouat.	44
Figure 14 : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la station d'Aflou 2001-2022.	45
Figure 15 : Situation d'aflou sur le climagramme d'Emberger	45

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristique des stations météorologique de Laghouat et Aflou. 11

Tableau 02 : Evolution des pluviosités moyennes annuelles de Laghouat et Aflou . 23

Tableau 03 : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations des stations. 25

Tableau 04 : : Indice de De Martonne pour les zones d'étude. 27

Tableau 05 : Durée des périodes sèches et le nombre de mois secs. 32
zone d'étude .

Tableau : 06 : Quotient pluviothermique d'Emberger et de Stewart. 33

Tableau 07 : Quotient pluviothermique et étage Bioclimatique des deux stations Aflou et Laghouat pour les trois périodes. 37

Tableau 08 : Répartition des précipitations moyennes annuelles exprimées en millimètre de la région d'Aflou (2001-2021). 38

Tableau 09 : Températures moyennes mensuelle de la région d'Aflou (2001-2021) 42

Tableau 10 : Répartition des espèces inventoriées et leur contribution spécifique au tapis végétale. 43

Tableau 11 : Indice de diversité spécifique ou indice de Shannon « H' » et l'équitabilité « E » dans le parcours planté. 50

PH	Phanéropytes
TH	Thérophytes
SA	Saharo-sindien
MED	Méditerranéen
END	Endémique
MSA	Méditerano-saharo-arabique
MSS	Méditerano-saharo-Sindienne
S	Saharien
P.R	Plurirégionale
END.SA	Endémique-saharo- arabique
E	Européen

Introduction

Les régions méditerranéennes semi-arides et arides, notamment, sont particulièrement vulnérables aux sécheresses récurrentes et prolongées (Taibi et al., 2013). En Algérie, la variabilité climatique a été largement étudiée, notamment dans les zones semi-arides, et la variabilité des conditions climatiques en Algérie, et plus spécifiquement dans la région steppique, est bien documentée. Les régions steppiques, telles que celle de Laghouat, sont des écosystèmes fragiles, sensibles et vulnérables, représentant un exemple typique de la steppe algérienne (Pouget, 1980). Des anomalies pluviométriques ont été observées dans cette région au cours des dernières années, et ces anomalies ont eu un impact significatif à l'échelle nationale ainsi que dans toute la région méditerranéenne (Meddjet al., 2003).

La région de Laghouat, au cœur de cette zone de transition, se caractérise par une diversité floristique notable, façonnée par des conditions édaphiques et climatiques rigoureuses. Cependant, cette richesse phylogénétique est aujourd'hui menacée par les effets croissants du changement climatique, conjugués à des pressions anthropiques telles que le surpâturage, l'urbanisation et la déforestation.

Dans ce contexte, l'étude de la phytodiversité des formations steppiques locales revêt une importance capitale. Elle permet non seulement de mieux comprendre la structure et la composition floristique des communautés végétales, mais aussi d'évaluer leur résilience face aux perturbations environnementales. La capacité des espèces végétales à résister, s'adapter ou se réorganiser face aux changements climatiques constitue un indicateur clé de la durabilité de ces écosystèmes.

Selon le rapport sur les changements climatiques de 2007, réalisé par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2008), le changement climatique désigne une variation de l'état du climat, détectable, par exemple, à travers des tests statistiques, grâce aux modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés, qui persiste sur de longues périodes, généralement des décennies ou plus. Ce changement peut être attribué à la variabilité naturelle du climat ou à l'activité humaine. En particulier, l'industrialisation excessive à l'échelle mondiale est aujourd'hui devenue un véritable défi pour l'humanité, perturbant l'équilibre du système climatique.

En effet, c'est l'ensemble du système terrestre qui est affecté, car le climat actuel est vulnérable à cause des résidus de ce développement technologique. Le réchauffement climatique, qui est incontestable (GIEC, 2008), a des répercussions sur tous les écosystèmes, induisant un déséquilibre. Ce phénomène touche d'abord les écosystèmes marginaux et fragiles, tels que la steppe, qui présente actuellement des signes de vieillissement et de dégradation (Pouget, 1980). Cette dégradation, exacerbée par l'action humaine et les changements climatiques, pourrait entraîner, à terme, une désertification de la région, transformant la steppe en un Sahara inhabitable (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Ce travail vise ainsi à inventorier et analyser la diversité végétale de quelques formations steppiques caractéristiques de la région de Laghouat, en mettant l'accent sur leur comportement écologique et leur potentiel de résilience. Il s'inscrit dans une perspective de conservation durable des ressources naturelles et d'adaptation aux changements globaux affectant les zones arides.

Dans un premier temps, nous nous concentrerons sur l'étude de la variabilité climatique de la région de Laghouat. Ensuite, nous calculerons des indices climatiques afin d'obtenir des évaluations des tendances de cette variabilité climatique dans la région.

Ce mémoire est divisé en deux parties principales. La première partie présente l'étude bibliographique, comprenant un chapitre sur le changement climatique et ses effets sur la végétation. La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale et est divisée en trois chapitres. Le premier chapitre présente la zone d'étude. Le deuxième chapitre expose les techniques et protocoles expérimentaux utilisés, ainsi que la méthodologie d'analyse et d'échantillonnage. Enfin, le troisième chapitre présente les principaux résultats obtenus et leur interprétation. Le mémoire se conclut par une synthèse des résultats.

À ce stade, plusieurs questions se posent :

- Comment expliquer les anomalies climatiques observées dans la région étudiée ?
- S'agit-il de phénomènes sans grande importance, ou bien ces anomalies sont-elles révélatrices d'un changement climatique durable, capable d'affecter l'ensemble de l'écosystème, et en particulier de détruire le couvert végétal protecteur ?
- La steppe est-elle condamnée à évoluer, à court terme, vers un environnement plus aride ?

Synthèse

bibliographique

Dans ce chapitre, nous aborderons à la définition des concepts clés liés au climat. Nous nous intéresserons particulièrement aux principaux éléments pertinents concernant le changement climatique afin de faire le point sur les connaissances actuelles de ce processus de dégradation environnementale, résultant de différents facteurs tels que les variations climatiques naturelles et l'impact des activités humaines.

1. Généralités sur le climat

1.1. Définitions

1.1.1. Climat

Selon Tabeaud (2000), le climat est défini comme l'ensemble des états habituels et évolutifs de l'atmosphère sur une période donnée, généralement sur plusieurs saisons, et qui caractérise une région spécifique. D'après Baldy et Stigter (1993), la définition du climat repose à la fois sur la durée des phénomènes météorologiques et sur les variations à long terme de ces phénomènes. Cette définition met en évidence l'aspect temporel et dynamique du climat.

1.1.2. Temps

Le "temps" fait référence à l'état actuel de l'atmosphère dans un lieu donné, incluant des variables telles que la température, les précipitations (pluie, neige, etc.), l'humidité, l'ensoleillement, et la force du vent (Emmanuel, 1967). Contrairement au climat, qui concerne des moyennes sur de longues périodes, le temps est une observation instantanée et locale des conditions atmosphériques.

1.1.3. Météorologie

La météorologie est la science qui étudie les phénomènes atmosphériques. Elle a pour objectif de comprendre et d'expliquer les conditions météorologiques, ainsi que de prédire l'évolution de ces phénomènes (Alfred, 2002). L'étude météorologique repose sur l'analyse de l'atmosphère en utilisant des concepts issus de la dynamique des fluides et de la thermodynamique, permettant ainsi de mieux comprendre les phénomènes climatiques au quotidien (Brochet et al., 1990).

1.1.4. Climatologie

La climatologie est définie par Tabeaud (2000) comme la science de l'atmosphère qui cherche à décrire les phénomènes climatiques sans nécessairement en expliquer les causes. En

tant que discipline interdisciplinaire, elle se consacre à l'étude des phénomènes climatiques passés pour anticiper les changements futurs. Selon Leroux (2000) et Gachon (2006), la climatologie étudie les changements climatiques à long terme, généralement sur une période de 30 ans.

Cette discipline scientifique se concentre sur l'observation, la description et l'analyse des processus et variations climatiques à l'échelle globale. L'objectif de la climatologie est de comprendre ces phénomènes afin de pouvoir prédire les changements climatiques à venir. Cette science est d'une importance capitale car les conditions climatiques influencent directement la vie des êtres vivants, y compris des humains.

L'observation de paramètres tels que l'intensité du rayonnement solaire, la température, les précipitations, la pression atmosphérique, l'humidité, la force et la direction du vent, ainsi que les courants océaniques, est essentielle à la climatologie. Toutefois, l'une des principales difficultés réside dans l'observation de ces variables aléatoires à l'échelle mondiale et à tout moment (Georges & Estienne, 2003).

2. Les éléments du climat

Le climat peut être déterminé à travers divers éléments ou paramètres essentiels. Ces éléments sont les suivants :

2.1. La température

La température est une mesure physique qui évalue la chaleur d'un objet ou d'un environnement. Il est important de noter que les termes **température** et **chaleur** ne désignent pas la même chose. La température d'un corps est une caractéristique thermodynamique qui évalue les mouvements moléculaires les plus subtils de la matière, tandis que la chaleur fait référence à l'échange d'énergie thermique entre deux corps (Brochet et al., 1990).

La température d'un objet peut être mesurée par l'observation de variations dans l'une de ses caractéristiques spécifiques, telles que sa résistance électrique. Par exemple, l'expansion d'une colonne de mercure dans un tube capillaire en verre permet de mesurer la température à l'aide d'un thermomètre à mercure, où la hauteur de la colonne est proportionnelle à la température (Brochet et al., 1990).

2.2. Les précipitations

Les précipitations jouent un rôle central dans la détermination du climat d'une région. Elles varient à la fois dans le temps et dans l'espace. La pluviométrie diffère selon les régions, et certains mois sont plus humides que d'autres (Belarbi, 2010).

Les précipitations comprennent toutes les formes d'eau qui tombent de l'atmosphère et se déposent sur la surface terrestre, telles que :

- Les nuages,
- La pluie,
- La neige,
- La grêle.

2.3. La pression atmosphérique

La pression atmosphérique, tout comme la température, les précipitations et le rayonnement, joue un rôle clé dans la régulation du climat. Elle influence divers phénomènes physiques, chimiques et biologiques dans un environnement donné. En dehors des zones de haute altitude, il est généralement admis que la pression reste relativement constante à l'échelle géographique. Selon Péguy (1970), les variations de pression, que ce soit dans le temps ou dans l'espace, n'ont pas de signification observable à l'échelle des fluctuations climatiques ordinaires.

2.4. Le vent

Les vents sont générés par les différences de pression entre différentes zones de l'atmosphère. En particulier, les contrastes entre les zones de haute pression et de basse pression entraînent des mouvements d'air. Lorsque la pression est élevée dans une zone, la masse d'air a tendance à se contracter, tandis que dans une zone de basse pression, la masse d'air se déplace en direction de la zone de haute pression. Ce déplacement de l'air, chargé électriquement, produit un mouvement horizontal appelé vent (Georges & Estienne, 2003).

2.5. L'ensoleillement ou L'insolation

L'ensoleillement fait référence à la durée de l'exposition d'un lieu au rayonnement solaire durant une journée donnée, une durée qui varie en fonction de la latitude du lieu et du jour de l'année (Seltzer, 1946).

D'après Guyot (2001), le terme « lumière solaire » désigne l'exposition au rayonnement solaire et les conditions sous lesquelles il est émis. En termes météorologiques, l'ensoleillement représente la période durant laquelle un lieu est directement exposé aux rayons du soleil.

L'ensoleillement est un facteur essentiel pour le bilan énergétique de la Terre. En théorie, la durée maximale du jour (photopériode) dans un ciel dégagé est le temps qui s'écoule entre le lever et le coucher du soleil. Cependant, dans la réalité, ce temps est toujours inférieur d'au moins une heure, en raison de l'influence de l'atmosphère. Lorsque le rayonnement solaire est faible, on définit le **rayonnement solaire effectif** comme le rapport entre le rayonnement solaire reçu par une surface à un moment donné et le rayonnement solaire maximal possible (Brochet et al., 1990).

2.6. L'humidité

L'humidité de l'air désigne la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. Elle ne peut dépasser une certaine valeur, appelée **saturation**, au-delà de laquelle des phénomènes comme la formation de nuages, de brouillard ou de rosée peuvent se produire. Cette quantité d'humidité peut aussi être exprimée par la pression ou la tension exercée par la vapeur d'eau sur une surface (exprimée en hectopascals) (Brochet et al., 1990).

3. Changement climatique à l'échelle mondiale

3.1. Définition

3.1.1. Changement climatique

La **Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)**, en 1992, a défini le changement climatique comme suit : « Les changements résultant directement ou indirectement des activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère terrestre et qui viennent s'ajouter aux variations naturelles du climat observées sur des périodes de temps comparables ». Cette définition a été largement adoptée par la communauté scientifique, y compris par le **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)**.

Le changement climatique peut ainsi être vu comme l'impact combiné des activités humaines et des variations climatiques naturelles sur le climat de la Terre. Comme le souligne Doukpolo (2014), il s'agit d'un phénomène complexe résultant de l'interaction de plusieurs facteurs, tant naturels qu'anthropiques.

Le changement climatique se traduit par une modification persistante des paramètres statistiques du climat global de la Terre, ou de ses différents climats régionaux, sur des périodes de temps allant de décennies à plusieurs millions d'années. Ces modifications peuvent être dues à des processus géophysiques internes à la Terre, à des influences externes (comme les variations de l'orbite terrestre ou les éruptions volcaniques), ou, plus récemment, à l'influence croissante des activités humaines, telles que la combustion de combustibles fossiles et la déforestation (Yehiaoui, 2015).

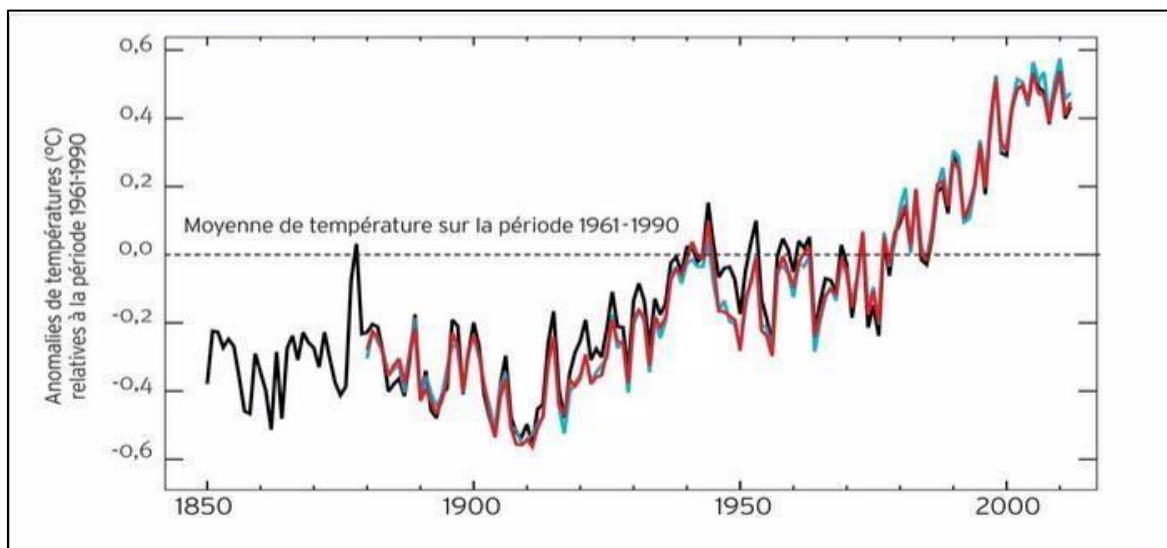


Figure 01 : Evolution de la température moyenne de la planète entre 1850 et 2019
(La température moyenne de la Terre, 2020).

3.2. Changement climatique et réchauffement climatique

3.2.1. Augmentation de la température de surface

Les mesures de température de surface au cours du **XXe siècle** montrent une nette augmentation des températures moyennes (voir Figure 1). Ce réchauffement s'est déroulé en deux grandes phases : la première de **1910 à 1945**, suivie d'une période de refroidissement, et la seconde de **1976 à aujourd'hui**. Ces deux périodes sont séparées par un court intervalle de refroidissement (Sylvie et al., 2007).

Ce réchauffement climatique a également entraîné une forte hausse de la concentration de plusieurs gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tels que le **dioxyde de carbone (CO₂)**, le **méthane (CH₄)** et le **protoxyde d'azote (N₂O)**, tous liés à des activités humaines (Guyot, 2001). La **température moyenne mondiale** au **XXe siècle** a augmenté de **0,6°C**. Cependant, cette tendance a fait l'objet de débats concernant l'efficacité et la précision des mesures de température, certains chercheurs soulignant des variations dans les données (Richard et al., 2007).

3.2.2. Réchauffement climatique

Le réchauffement climatique peut être vu sous deux angles : du point de vue de la **paléoclimatologie**, il s'agit d'un phénomène naturel, marqué par des alternances de **glaciation** et de **déglacage** sur des échelles de temps géologiques (Marc, 2001). Toutefois, l'anomalie réside dans l'intensification de ce phénomène par l'activité humaine, principalement en raison de l'**effet de serre**, un processus amplifié par l'émission de gaz à effet de serre liés aux activités industrielles et agricoles (Richard et al., 2007). Ce phénomène a pour effet d'augmenter les températures mondiales et de perturber les systèmes climatiques à l'échelle globale.

3.2.3. L'impact des activités humaines sur le climat

Depuis le début de l'ère industrielle, soit à partir du **milieu du XIXe siècle**, les activités humaines ont largement contribué à l'augmentation des concentrations de **CO₂** dans l'atmosphère. Cette émission massive de gaz à effet de serre est principalement liée à la combustion d'énergies fossiles, à la déforestation et aux pratiques agricoles, notamment l'exploitation des sols. Ces activités ont libéré des milliards de tonnes de **CO₂** dans l'atmosphère.

De 2000 à 2009, les émissions mondiales de CO_2 ont continué à augmenter, notamment à travers l'utilisation d'énergies fossiles et la production de ciment, avec une émission annuelle de **5,5 tonnes de CO_2 par an** en raison de la déforestation (Coquillaud, 2015). Bien que les océans et la biosphère terrestre absorbent une partie de ces émissions, une grande quantité de CO_2 s'accumule dans l'atmosphère, intensifiant ainsi l'**effet de serre** naturel et contribuant au réchauffement climatique supplémentaire.

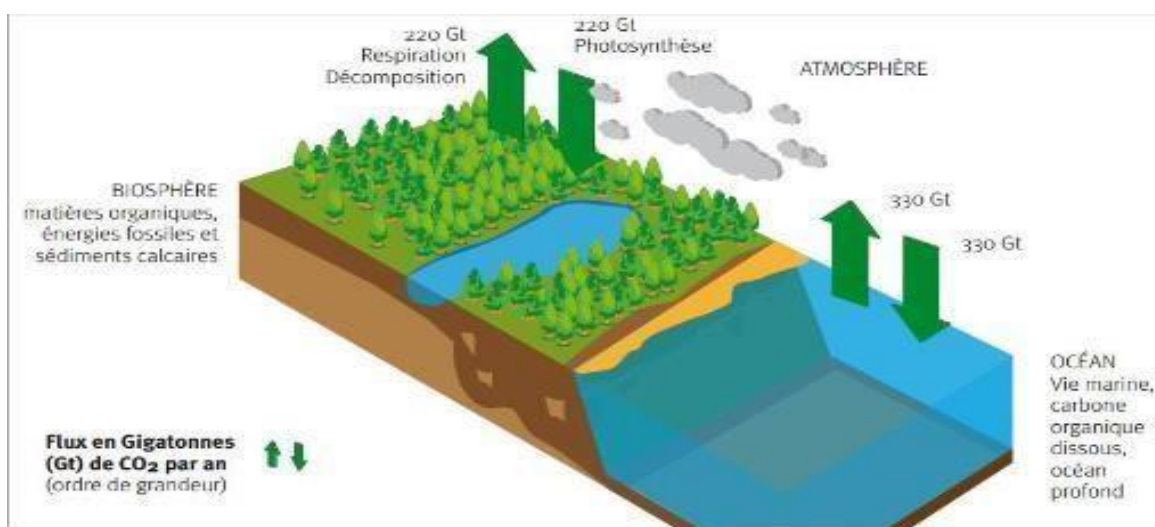


Figure 02 : Cycle simplifié du carbone (Coquillaud, 2015)

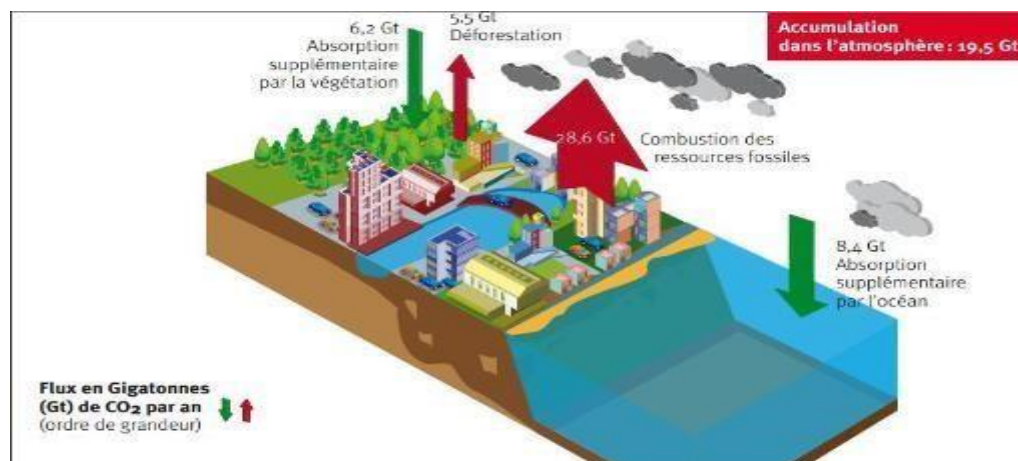


Figure 03 : Cycle simplifié du carbone au début du XXI (Coquillaud, 2015)

3.1. Effets directs et indirects du changement climatique

Les effets du changement climatique sont multiples et variés. Selon Sow et Bathiery (2022), l'analyse des contraintes associées aux changements climatiques permet non seulement de repérer les effets directs, tels que les variations des températures et des précipitations, mais aussi les effets indirects, comme les perturbations sur les écosystèmes et les ressources naturelles. Cette analyse permet également d'évaluer l'impact des changements sur l'environnement, l'agriculture, l'hydrologie et d'autres secteurs clés.

Le **Tableau 01** présente un résumé des impacts du changement climatique sur certains aspects naturels et climatiques, fournissant une vue d'ensemble des répercussions potentielles de ces phénomènes. Ces effets, qu'ils soient immédiats ou différés, ont un impact significatif sur les équilibres écologiques et peuvent entraîner des transformations majeures dans les paysages naturels et les systèmes socio-économiques.

Tableau 01 : Conséquences et impacts des changements climatique (Sow et Bathiery, 2022).

Les évènements observés	Conséquences et impacts
Variabilité pluviométrique	La diminution des revenus entraîne une diminution des maladies et des décès du bétail, une diminution des rendements agricoles, une diminution des productions animales, une réduction des surfaces cultivables, une réduction des activités commerciales, une prolongation de la période de soudure, un exode rural, une déforestation, une instabilité sociale, des inondations et une destruction des habitats.
Vents forts et chauds	La diminution des revenus, l'ensablement des mares, la destruction des habitats, la propagation des maladies respiratoires humaines et animales, le déracinement des arbres, la disparition des bergers et des animaux, la diminution de la mobilité des personnes, la diminution de la fertilité des sols, la diminution des productions végétales, la destruction des cultures, la perturbation des systèmes de production, l'érosion des terres, la diminution des activités agricoles.

Érosions hydriques et Eolienne	La fertilité des terres agricoles diminue, les pistes et les routes sont dégradées, les habitants sont isolés, les bas-fonds sont ensablés.
Feux de forêt et les incendies	La déforestation, la dégradation des sols, la diminution de la phytomasse, la destruction des réserves fourragères et de subsistance, la destruction des forêts et des habitats, l'insécurité alimentaire et la disparition des espèces fauniques sont des causes de la baisse des revenus.
Salinisation des terres et des eaux	La diminution des revenus, la diminution des surfaces cultivables, la destruction de la végétation, la diminution des productions végétales, animales et halieutiques, la détérioration de la qualité des eaux et la destruction d'habitats.
Sécheresse/ Désertification	Les revenus (agricoles, élevages, pêche, etc.) diminuent, l'environnement se détériore, les terres s'érodent, la pluviométrie diminue, la température augmente, la mortalité des cheptels augmente.

4. Changement climatique à l'échelle régionale

À l'échelle régionale, le changement climatique mondial entraînera une **augmentation de l'aridité** dans les zones déjà arides, ce qui pourrait mener à une dégradation progressive de la couverture végétale et, à terme, au processus de **désertification**. Selon **Nedjraoui et al. (2009)**, cette évolution affectera gravement les écosystèmes, notamment dans les régions sensibles comme la steppe, où les phénomènes climatiques exacerberont les pressions sur l'environnement.

Dans le cas de l'Algérie, **Tabet (2002)** indique que les effets du réchauffement climatique se traduiront par une **hausse des températures** et une **baisse des précipitations**. Ces changements auront des conséquences directes sur les ressources en eau, entraînant une diminution des réserves en eau potable, un **stress hydrique** accru pour les cultures et un phénomène de **submersion des terres basses** dû à l'**élévation du niveau de la mer**. Ces impacts affecteront directement l'agriculture et la sécurité alimentaire dans de nombreuses régions.

L'évolution régressive des écosystèmes steppiques est particulièrement marquée par des changements dans le **couvert végétal** et une **érosion de la biodiversité**. Selon **Djellouli (1990)**, plusieurs espèces végétales qui étaient présentes dans les années 1970, comme **l'armoïse blanche** (*Artemisia herba-alba*), ont disparu, remplacées par d'autres formes végétales moins productives, comme **Atractilys serratuloides** et **Peganum harmala**, qui sont des indicateurs de dégradation des écosystèmes. Cette transformation a conduit à une **baisse de la phytomasse** et de la valeur pastorale des terres, avec une diminution notable de la production animale due à la disparition des espèces palatables.

Les **écosystèmes steppiques** jouent un rôle clé dans la régulation de l'environnement, notamment en assurant des services écosystémiques essentiels tels que la régulation de l'eau, la **pollinisation des cultures** et le **pâturage des troupeaux**. En conséquence, la dégradation de ces écosystèmes peut avoir des répercussions socio-économiques considérables, affectant directement **l'agriculture**, **l'élevage** et la **sécurité alimentaire** des communautés locales. Ces écosystèmes sont particulièrement vulnérables en raison de leur caractère **marginal** et **fragile**, accentué par les **activités humaines** (Pouget, 1980 ; Le Houerou, 1969).

Cependant, l'intervention humaine a considérablement accéléré la dégradation de ces environnements, leur principale caractéristique étant **l'aridité**. Cette condition représente un véritable défi pour le développement humain, car elle limite les possibilités d'exploitation durable de ces zones (FAO, 2008). De plus, les **changements climatiques** actuels rendent ces écosystèmes encore plus sensibles aux perturbations. Selon **Jean-Claude (1998)** et **Mélanie et al. (2002)**, toute modification du climat, qu'il s'agisse d'un changement de température, d'une modification des précipitations ou de l'intensification des événements extrêmes, constitue une menace pour ces écosystèmes et peut même conduire à leur **désintégration irréversible**, sans espoir de réhabilitation à court terme.

4.1. Définition

4.1.1. Définition de l'aridité

L'aridité se réfère à l'état d'une région où le **bilan hydrique** est négatif, c'est-à-dire que la quantité de **précipitations** (P) est inférieure aux pertes d'eau dues à **l'évaporation** (E) et à **l'évapotranspiration** des sols et des végétaux (Et) sur une base annuelle. Cette situation se traduit par une déficience en eau, particulièrement marquée dans les zones où la différence entre les apports et les pertes d'eau est constante et significative sur l'année (Tabeaud, 2000 ; Le Floch

et al., 1992). Un climat aride est donc caractérisé par un manque d'humidité suffisant pour maintenir une végétation luxuriante ou des ressources en eau stables.

4.1.2. La sécheresse

La **sécheresse** est un phénomène climatique et écologique qui survient lorsque l'absence prolongée de précipitations entraîne un **déséquilibre hydrique**. Elle affecte profondément l'environnement naturel, les écosystèmes et les sociétés humaines. Les périodes de sécheresse sont particulièrement menaçantes pour la **biodiversité**, qui subit une forte pression en raison de l'absence d'eau. Ces événements peuvent perturber gravement des secteurs essentiels comme l'**agriculture**, la **production d'énergie** et la gestion des **ressources en eau**. En cas de sécheresse extrême, la pénurie d'eau représente également un danger direct pour la **santé publique** et pour la **stabilité économique** des populations, en particulier dans les zones les plus vulnérables (Source web, 01).

5. Déséquilibre et dégradation de la steppe

Autrefois, les **populations humaines** étaient en parfaite harmonie avec leur environnement naturel. Les nomades s'adaptaient aux rythmes saisonniers de la steppe, n'utilisant les **parcours** que pendant certaines périodes de l'année, permettant ainsi à la végétation steppique de se régénérer. Cette relation équilibrée entre l'homme et la nature reposait sur une faible pression démographique et une utilisation des ressources naturelles respectueuse du cycle écologique (Le Houérou, 1969).

Cependant, l'**arrivée des colons** a radicalement changé cette dynamique. Les pratiques agricoles et de labour, introduites dans un environnement steppique fragile, ont perturbé les équilibres écologiques. Les sols de la steppe, peu profonds et aux propriétés physiques fragiles, ne sont pas adaptés à ces formes d'agriculture. La **sédentarisation** prolongée des populations a intensifié la **pression anthropique** sur les sols, particulièrement avec la croissance démographique et l'augmentation du nombre de **cheptels**. Ces facteurs ont provoqué une **dégradation accélérée des parcours** steppiques, qui se manifeste par la **détérioration du couvert végétal**.

Le stress exercé sur la végétation est à la fois **édapho-climatique** (lié aux propriétés des sols et aux conditions climatiques) et **anthropogène** (résultant des activités humaines)

(Chehma, 2008). La **dégradation des parcours** steppiques est donc une réalité inquiétante, avec une tendance régressive clairement observable.

6. Dynamique des populations des écosystèmes steppiques

Les écosystèmes steppiques présentent une grande diversité végétale, qui se reflète dans la composition végétale et la densité de la végétation. Selon une estimation de Nedjraoui D. (2002) et Houérou H. N. (2001), environ 15 millions d'hectares de végétation steppique persistent aujourd'hui, dont les principales espèces sont :

- **Alfa** (*Macrochloa tenacissima*) : 4 millions d'hectares
- **Chih** (*Artemisia herba alba*) : 3 millions d'hectares
- **Sennagh** (*Lygeum spartum*) : 2 millions d'hectares
- **Guettaf** (*Atriplex halimus*) : 1 million d'hectares

Les autres zones sont dominées par des associations végétales telles que **Aristida pungens**, **Thymelaea microphylla**, **Retama retam**, **Artemisia campestris**, **Arthrophytum scoparium**, et **Peganum harmala**.

Selon **Djebali (1984)**, la répartition spatiale de la végétation steppique peut être classée en trois types principaux :

1. **Steppe à graminées** : dominée par l'**Alfa** et le **Sparte**, trouvée sur des sols argileux à texture fine.
2. **Steppe à Drinn** : présente sur des sols sableux, où l'on trouve principalement **Aristida pungens**.
3. **Steppe à chamephytes** : constituée de l'**armoise blanche** (*Artemisia herba alba*), qui occupe des sols à texture fine. Il existe également des steppes halophytes (adaptées aux sols salins) dominées par **Atriplex halimus**, **Salsola vermiculata** et **Suaeda fruticosa**.

Les signes de **dégradation** des ressources végétales dans ces écosystèmes sont nombreux. La dégradation se manifeste par une **réduction des taux de récupération végétale** et des **modifications du développement floral**, avec une **réduction des espèces pérennes** à haut rendement et une dominance croissante des **espèces annuelles** à faible biomasse. Cette évolution indique clairement un déséquilibre dans la dynamique naturelle des écosystèmes steppiques.

Etat des parcours	Superficie (millions d'ha)	(%)	Production (UF/ha)
Dégradés	6,5	43,3	30
Moy. dégradés	5,5	26,7	70
Bons	3	20	120
Total	15	100	220

Figure 04 : L'état des parcours steppiques en 2005 (H.C.D.S 2005)

Il convient de souligner que la majorité des terres steppiques ont subi une dégradation ou se trouvent dans un état de dégradation avancée. Selon les statistiques officielles, seulement 20 % des prairies restent dans un état relativement bon. Cette dégradation résulte d'une combinaison de facteurs naturels et anthropiques (Djebali, 1984).

Présentation de La zone d'étude

ce chapitre, nous présenterons les propriétés physiques de la zone d'étude. Nous analyserons ainsi la situation géographique ainsi que les caractéristiques géologiques, géomorphologiques, pédologiques et bioclimatiques de la région en question.

PARTIE 1 : Présentation du cadre physique de la wilaya de Laghouat.

1. Situation géographique

Suite à la réorganisation administrative, la wilaya de Laghouat se trouve à une position centrale en Algérie, servant de lien entre les hauts plateaux et le Sahara. En raison de sa localisation géographique et de ses conditions climatiques spécifiques, Laghouat couvre une superficie de 25 052 km² et fait partie des 12 wilayas pastorales du pays. Son territoire se divise en deux zones distinctes : une zone steppique et une zone présaharienne (Amrani, 2021). La wilaya est délimitée comme suit :

- **Au nord** : par les régions de Djelfa et Tiaret.
- **À l'est** : par la wilaya de Djelfa.
- **Au sud** : par la wilaya de Ghardaïa.
- **À l'ouest** : par la wilaya d'El Bayadh.

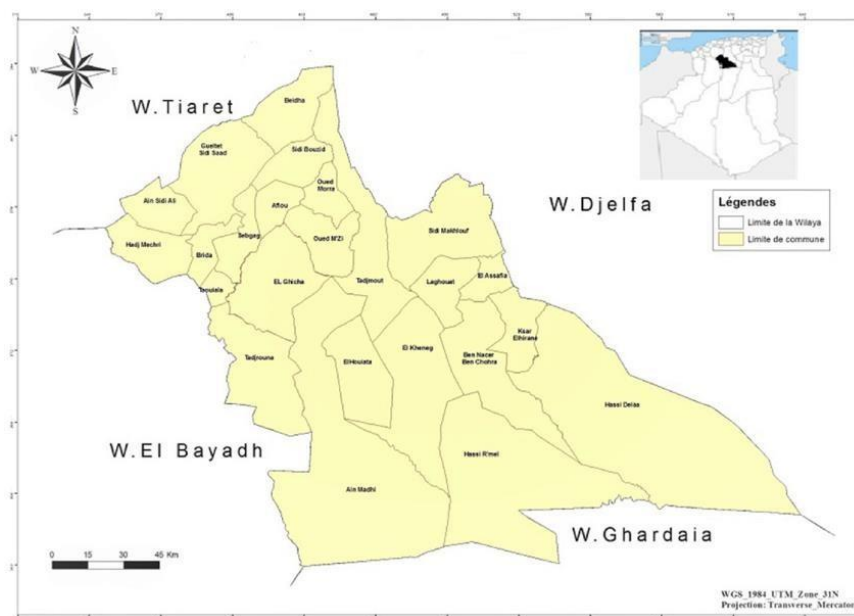


Figure 05 : Carte de situation géographique de la wilaya de Laghouat

2. Cadre géologique

La wilaya de Laghouat présente deux zones géologiques distinctes en termes de structure et d'évolution (Emberger, 1960 ; IAP, 1972 ; Hannachi, 1981). Dans la partie nord, on trouve l'Atlas du Sahel, qui est constitué des Monts des Amours et des Monts des Ouled Nail. En revanche, au sud, la plateforme du Sahel se compose de plateaux subtabulaires, présentant une grande variété en termes de structure, de position et de composition rocheuse. Ces plateaux sont désignés par les termes arabes "Hmada" et "Reg".

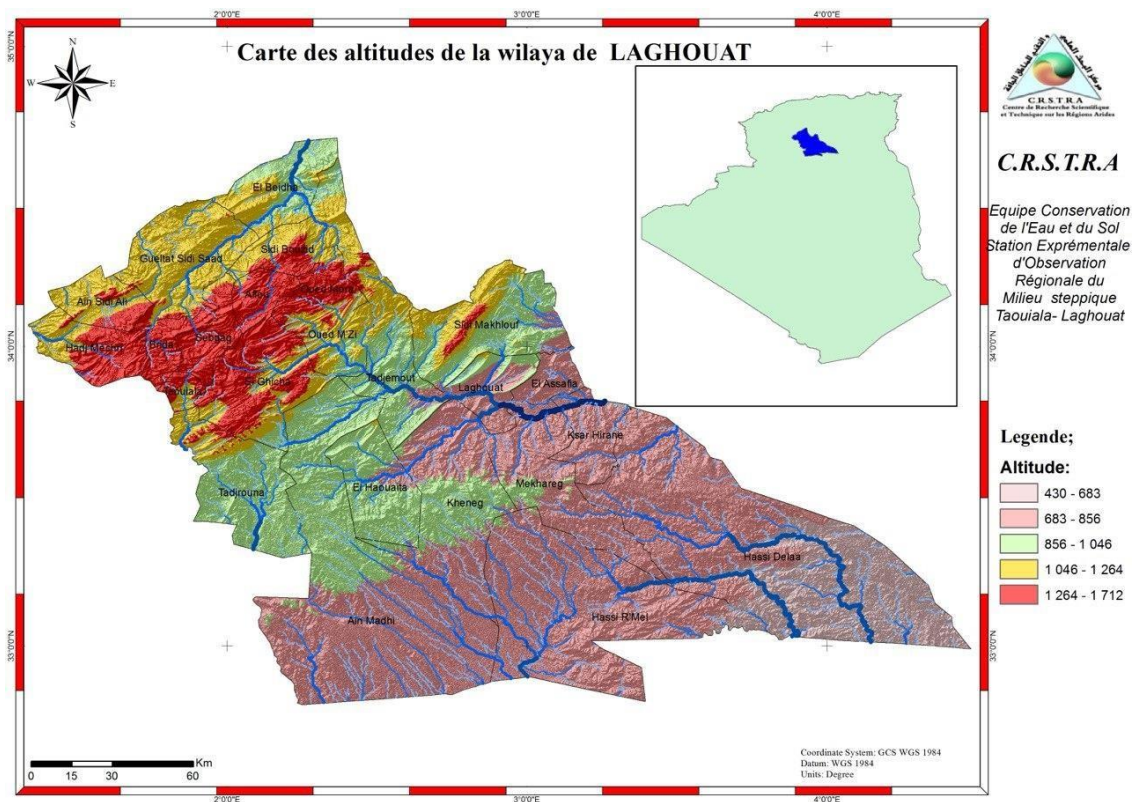


Figure 06 : Carte des altitudes de la wilaya de Laghouat (Source : CRSTRA, Biskra 2016).

3. Cadre géomorphologique

Les paysages de la wilaya de Laghouat sont caractérisés par une topographie propre aux régions sèches, avec des reliefs souvent abrupts. Ces reliefs, typiques de l'Atlas Saharien, illustrent l'interaction complexe entre les facteurs climatiques et géologiques. Les vastes surfaces subhorizontales de la région présentent des caractéristiques morphologiques variées (Pouget, 1980 ; Djebaili, 1984 ; Aidoud, 1984). Les géo-formes de la région peuvent être résumées comme suit :

3.1. Les reliefs

Le relief de la wilaya est marqué par des disparités liées aux formations géologiques de l'Atlas Saharien, qui se divisent en reliefs gris et calcaires. À Laghouat, trois types de reliefs peuvent être distingués : les montagnes du Djebel Amour, les pentes et les vastes surfaces subhorizontales, appelées "**zone des Dayas**", qui sont principalement constituées d'un plateau ondulé (Pouget, 1980).

3.2. Les zones à surfaces élevées (Glacis et Terrasses)

L'Atlas Saharien, situé sur la dorsale entre le compartiment Saharien et les hautes plaines, se déploie dans des zones semi-arides, avec une surface molle ponctuée de glaciers, de terrasses, de chenaux alluviaux et de zones d'expansion (Pouget, 1980).

3.3. Les dépressions

Les dépressions dans la région présentent des bords peu inclinés et des formes circulaires, parfois elliptiques, mais généralement arrondies. Elles peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres de profondeur, notamment dans les montagnes de Laghouat (Monjauze, 1968).

4. Cadre pédologique

La description des sols dans les zones arides a été largement étudiée par plusieurs auteurs. En règle générale, ces sols sont pauvres en humus, fragiles et peu profonds. Ils sont formés par des précipitations insuffisantes et une évaporation élevée.

D'après Houyou (2015), la présentation des domaines pédologiques de la wilaya de Laghouat est relativement complexe. Il est crucial de noter l'étendue de la superficie totale de

la région. Cependant, les informations disponibles sur les sols de la wilaya sont limitées et proviennent essentiellement d'une étude de prospection pédologique réalisée dans cette zone.

Pouget (1980) indique que Laghouat est l'une des régions les plus fertiles sur le plan pédologique, car elle recouvre presque tous les types de sols du Sud algérois mentionnés par cet auteur. Sur la carte pédologique, cinq types de sols sont répertoriés dans la wilaya de Laghouat :

- Sols minéraux bruts
- Sols peu évolués
- Sols calcimagnésiques
- Sols iso-humiques
- Sols des Dayas.

Ces types de sols forment une mosaïque qui couvre la région de Laghouat.

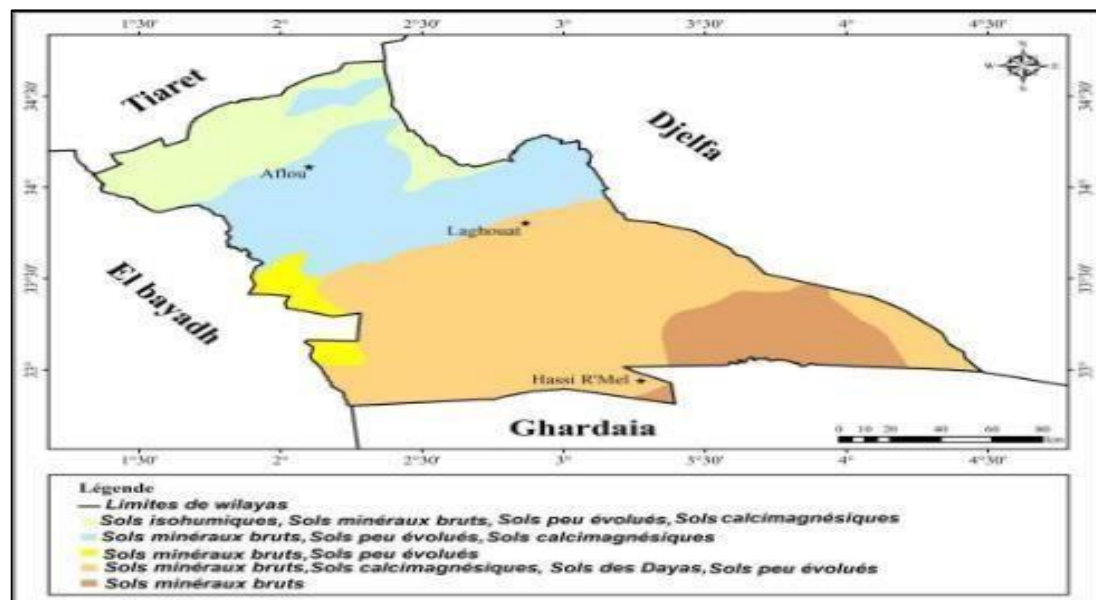


Figure 07 : carte des sols de la wilaya de Laghouat (Dérivée de CCTA ; 1963)

5. Cadre hydrologique

Le potentiel en eau de la région de Laghouat est limité. On peut distinguer trois principaux systèmes aquifères : la nappe phréatique du Quaternaire, le complexe terminal et le continental intercalaire. La présence de ressources en eau de surface dans l'Atlas Saharien est contrainte par l'instabilité du régime pluviométrique et la forte évaporation. Les principaux cours d'eau traversant les deux zones de la wilaya sont l'Oued M'zi, l'Oued Touil et l'Oued Medsous. Parmi ceux-ci, l'Oued M'zi est le plus important, son cours s'étendant du Nord-Ouest au Sud-Est (C.D.F., 2012).

6. Cadre floristique

La végétation de la wilaya de Laghouat est diversifiée en fonction des caractéristiques bioclimatiques et pédologiques. Elle bénéficie d'un climat aride et semi-aride qui favorise l'apparition de plantes telles que **Macrochloa tenacissima**, **Lygeum spartum** et **Hamada scoparia**. La végétation forestière et le matorral dominant la partie supérieure de la zone semi-aride, particulièrement sur les reliefs de l'Atlas Saharien. Dans les zones semi-arides et arides, les formations végétales du Quaternaire sont steppiques (Quézel, 2002 ; Ozenda, 1983).

6.1. Végétation forestière et matorral

Cette végétation forme un ensemble forestier hétérogène, constitué de vastes clairières. Ce sont des forêts claires dominées par le **chêne vert** (*Quercus ilex*), souvent en association avec le **genévrier rouge** (*Juniperus phoenicea*), formant ainsi des éléments arborés caractéristiques (Quézel, 2002 ; Ozenda, 1983).

6.2. Végétation steppique

Les formations steppiques occupent la majeure partie de la wilaya et sont constituées de groupements herbacés. Ce sont des formations basses, bien couvertes, dominées par des graminées comme **Macrochloa tenacissima** et **Lygeum spartum**, ainsi que des chamephytes vivaces tels que **Artemisia herba alba**, **Artemisia campestris**, et **Helianthemum lipii**.

6.3. Végétation saharienne et sub-saharienne

Les espèces sahariennes et sub-sahariennes, adaptées à la sécheresse et aux températures élevées, dominent dans la région de Laghouat. Parmi ces espèces, on trouve *Calligonum spp.*, *Genista saharae*, *Cornulaca spp.*, *Moltkiopsis spp.*, *Salsola spp.*, *Hammada spp.*, *Anabasis spp.*, *Artemisia spp.*, *Stipagrostis pungens*, *Retama raetam*, *Ziziphus lotus*, *Acacia raddiana*, et *Pistacia atlantica* (Le Houérou, 1995 ; Houyou, 2015).

7. Cadre climatique

Le climat joue un rôle essentiel dans le suivi écologique des écosystèmes. Plusieurs recherches ont montré que les changements climatiques influencent divers aspects, tels que les fluctuations de la phytomasse, la production primaire, la richesse floristique, la phénologie des espèces et l'occupation du sol. La région est divisée en douze zones climatiques distinctes, en fonction d'indicateurs spécifiques (Djebaili, 1978, et al.).

Selon Gaussen (1957), la wilaya de Laghouat se répartit en deux zones climatiques majeures : la partie nord de la wilaya est influencée par des valeurs des indices caractéristiques du climat méditerranéen, tandis que la partie sud est située dans la zone climatique désertique.

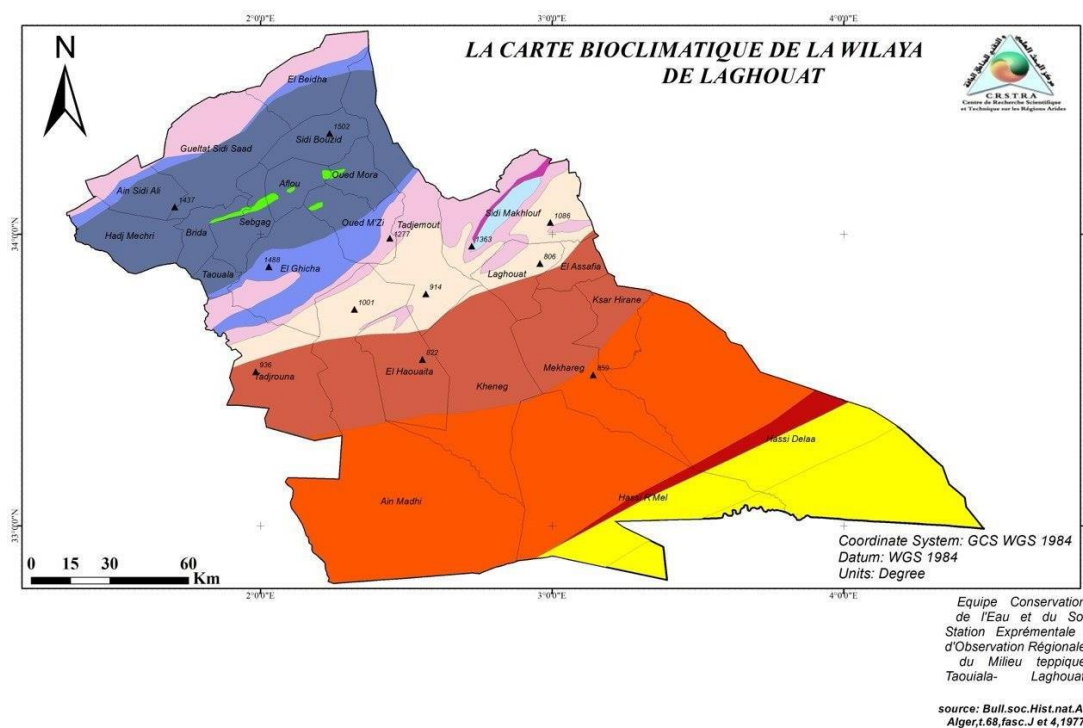


Figure 08: Carte bioclimatique de la wilaya de Laghouat (Source : CRSTRA, Biskra,2016).

Étude climatique et bioclimatique de la région de Laghouat

Le climat joue un rôle fondamental dans l'équilibre et la dynamique des écosystèmes, notamment dans le suivi de leur évolution écologique. De nombreuses recherches ont mis en évidence que les variations des paramètres climatiques influencent directement la phytomasse, la productivité primaire, la richesse floristique, la phénologie des espèces ainsi que l'occupation du sol (Djebaili, 1978 ; Aidoud, 1983–1989 ; Benrbiha, 1984 ; Le Houérou, 2005 ; Aidoud et al., 2006 ; Hirche et al., 2010 ; Nedjraoui et Hirche, 2016).

Dans le contexte méditerranéen, le climat représente une zone de transition entre les climats tempérés et tropicaux. Il se caractérise par un été très chaud et sec — modérément tempéré uniquement sur le littoral — et un hiver frais à froid, accompagné de précipitations relativement abondantes (Estienne et Godard, 1970). Les précipitations, bien qu'irrégulières, présentent une forte variabilité interannuelle et intermensuelle, influençant la disponibilité des ressources hydriques et la dynamique végétale.

En revanche, le domaine désertique, qui s'étend au sud, se distingue par un hiver frais et faiblement pluvieux, avec une durée de sécheresse pouvant atteindre 8 à 12 mois par an. Cette aridité structure profondément les paysages, la biodiversité, ainsi que les pratiques agropastorales.

Selon la classification climatique de Gaussen (1957), qui divise le globe en douze grandes zones climatiques en fonction d'indices thermo-pluviométriques, la wilaya de Laghouat se situe à la frontière de deux grandes unités bioclimatiques. Sa partie nord relève du domaine climatique méditerranéen, tandis que sa partie sud est classée dans le domaine désertique. Cette transition climatique se manifeste clairement dans la composition floristique, la couverture végétale et les potentialités agricoles.

Le climat demeure, de ce fait, un facteur prépondérant conditionnant les dynamiques naturelles et humaines, particulièrement dans les zones méditerranéennes et steppiques. Pour l'analyse bioclimatique de la région, les données météorologiques des stations de **Laghouat** (au centre de la wilaya) et **Aflou** (au nord) sont utilisées comme références, car elles reflètent les principales caractéristiques climatiques locales (voir Tableau 2).

Tableau 02: Caractéristique des stations météorologique de Laghouat et Aflou.

statio	Altitude(m)	Latitude	Longitude
Laghouat	765	33° 53°N	02° 31° E
Aflou	1425	34° 07° N	02° 06° E

L'étude climatique sera axée sur une période de 10 ans (2005-2014) pour l'ensemble des paramètres climatiques.

1. Les précipitations

1.1. Les précipitations annuelles Les données pluviométriques enregistrées au niveau des stations d'Aflou et de Laghouat indiquent une pluviosité globalement faible sur la période 2005–2014. La moyenne annuelle des précipitations s'établit à 324,38 mm pour la station d'Aflou, située en zone plus élevée et plus humide, contre seulement 163,05 mm pour celle de Laghouat, située plus au sud dans un contexte plus aride.

L'analyse des tendances pluviométriques, illustrée par la figure 4, met en évidence une diminution progressive des précipitations au cours de cette période. Cette évolution est marquée par la survenue d'années successives de sécheresse, témoignant de la variabilité climatique interannuelle qui caractérise cette région. Ce déficit hydrique chronique constitue un facteur de pression important sur les ressources naturelles et les systèmes agraires locaux.

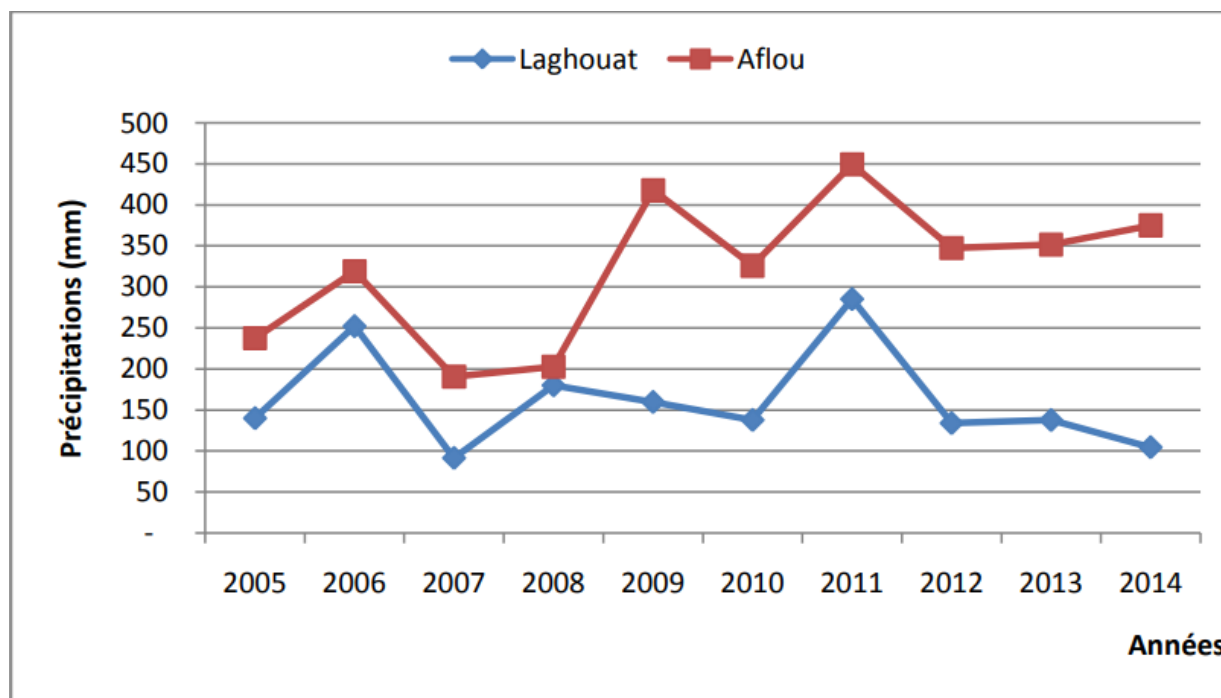


Figure 9: Variations inter annuelles des précipitations des stations d'étude

La variabilité interannuelle des précipitations dans les stations étudiées est particulièrement marquée. Elle est quantifiée à l'aide du **coefficient de variation (CV)**, défini comme le rapport entre l'écart type et la moyenne des précipitations annuelles, exprimé en pourcentage. Pour la période 2005–2014, ce coefficient est estimé à **25 % à Aflou** et **38 % à Laghouat**, ce qui reflète une instabilité pluviométrique plus accentuée dans les zones méridionales.

Ces résultats s'inscrivent dans la tendance observée par plusieurs auteurs ayant mené des travaux en zones arides. Baldy (1965) rapporte des coefficients de variation compris entre 30 et 40 %, tandis que Le Houérou (1992) indique une variabilité atteignant jusqu'à 49 % en Algérie pour des zones recevant entre 100 et 200 mm de précipitations annuelles. Pour les steppes algériennes, Hammouda et Mataam (2003), cités par Hammouda (2009), estiment le CV entre 28 % et 33 %.

Ainsi, la forte variabilité interannuelle de la pluviosité dans la région de Laghouat constitue une contrainte climatique majeure, avec des répercussions importantes sur la régularité des cycles biologiques, la recharge des nappes phréatiques et la résilience des systèmes agricoles locaux.

Le **tableau 3** présente les valeurs moyennes annuelles des précipitations enregistrées pour chaque station d'observation, telles que rapportées par divers auteurs et institutions au cours de la période **1913 à 2014**. Ces données historiques permettent d'apprécier l'évolution du régime pluviométrique à l'échelle de plusieurs décennies, et de situer les tendances actuelles dans une perspective diachronique.

Tableau 3 : Evolution des pluviosités moyennes annuelles de Laghouat et Aflou

	Laghouat	Aflou
SELZER 1913-1938	167	342
DUBIEF 1926-1950	171.4	332
CHAUMONT et PAQUIN 1913-1963	184	330
E.N.E.M.A 1950-1975	174.5	376.5
O.N.M 1971-2004	143.7	318.3
1967-1987		
2005-2014	163.05	324.38
Moyenne (mm)	167.27	337.19
Diminution(%)	7-14	5-7

Etablissement National pour l'Exploitation mètéorologique et aèronautique.

Office national de la mètéorologie.

Les **steppes algériennes** sont soumises à une dynamique climatique marquée par une baisse significative des précipitations, accompagnée de périodes prolongées de sécheresse. Selon Djellouli et Nedjraoui (1995), ainsi que Hammouda et Mataam (2003, in Hammouda, 2009), la pluviosité moyenne annuelle dans les steppes a enregistré une diminution estimée entre **17 % et 27 %** au cours du siècle dernier. À l'échelle locale, la baisse des précipitations est évaluée entre **5 % et 7 % à Aflou**, et entre **7 % et 14 % à Laghouat**.

Hammouda (2009), sur la base d'une série chronologique de **63 années d'observations** pour la station de Laghouat, met en évidence une **alternance irrégulière** entre années sèches et années humides. Cette succession n'obéit à aucune périodicité définie, les cycles ne dépassant généralement pas **4 à 5 années**. Ces observations rejoignent celles de Rognon (1976), qui souligne l'existence de phases sèches et humides successives, sans qu'elles n'impliquent nécessairement une tendance générale à l'aridification du climat.

Cependant, l'analyse des données de la station de Laghouat sur une période de **60 ans** révèle une distribution inégale des années humides et sèches. Les **années sèches sont non seulement plus fréquentes**, mais aussi **plus marquées**, notamment au cours des **deux dernières décennies**. Cette tendance a fortement contribué à la **régression des ressources végétales**, accentuant les phénomènes de dégradation des écosystèmes (Hammouda, 2009).

Enfin, il convient de distinguer l'impact écologique d'une **année sèche isolée**, souvent compensée rapidement par un retour des précipitations, de celui d'une **sécheresse persistante** s'étendant sur plusieurs années (5, 10 ans ou plus). Ce second type, lié à la variabilité pluviométrique pluriannuelle, exerce une pression beaucoup plus forte sur les milieux naturels, et constitue un facteur majeur de **désertification**.

1.2. Précipitations moyennes mensuelles

L'analyse des précipitations mensuelles moyennes met en évidence une **variation marquée** de la distribution des pluies au cours de l'année, ce qui a une incidence directe sur les cycles biologiques et le développement des végétaux. La répartition saisonnière des précipitations revêt ainsi une importance écologique majeure.

Selon Celles (1975), la moyenne mensuelle demeure **moins représentative** que la moyenne annuelle dans le contexte des climats méditerranéens. En effet, un mois donné peut être totalement sec une année, et recevoir, l'année suivante, une part significative—parfois jusqu'à la

moitié—des précipitations annuelles. Cette forte **variabilité intra-annuelle** reflète l'irrégularité typique de ces régimes climatiques.

Les données pluviométriques analysées sur une période de **60 années** (Hammouda, 2009) indiquent que **juillet est systématiquement le mois le plus sec** dans les deux stations d'étude (Laghout et Aflou). En revanche, **les mois de septembre, octobre et novembre** se distinguent par des précipitations plus importantes, correspondant à une reprise de l'activité biologique après la sécheresse estivale.

Le **tableau 04** synthétise les valeurs mensuelles et annuelles moyennes des précipitations enregistrées dans les deux stations, fournissant ainsi un aperçu global du régime pluviométrique de la zone d'étude.

Le Tableau 04: Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations des stations.

Station	laghouat			aflou		
	Période	1913-1938	1971-2001	2005-2014	1913-1938	1967-1987
S	23	15.5	30.54	24	23.8	24.59
O	17	17.9	25.24	45	30.9	26.07
N	18	15.6	12.02	30	28.8	35.43
D	14	6.8	11.77	33	30.9	24.68
J	12	11.1	10	31	31	28
F	12	12.5	8.96	33	31.9	32.61
M	16	14.8	10.44	38	37.6	30.61
A	12	14.7	18.79	32	30.5	36.66
M	19	19.2	10.52	28	25	28.8
J	12	9.2	8.35	28	24.6	13.63
JT	5	1.2	6.21	9	11.1	15.68
AT	7	5.2	10.21	11	12.2	7.62
Annuel	167	143.7	163	342	318.3	324.38

L'analyse des données pluviométriques mensuelles pour la période **2005–2014** révèle une **saisonnalité marquée des précipitations**, caractéristique du régime méditerranéen. Une période **pluvieuse s'étend de septembre à mars**, avec des **maximums observés en automne et au printemps**. À Aflou, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au **mois de septembre (44,59 mm)** et en **avril (36,66 mm)**, tandis qu'à Laghouat, le maximum est également atteint en septembre avec **30,54 mm**.

En revanche, les **mois d'été se distinguent par des minimums pluviométriques significatifs**, en particulier **juillet**, qui constitue systématiquement le **mois le plus sec** dans les deux stations. Cette période est également marquée par une **quasi-absence de jours de pluie**, parfois nulle selon les années, ce qui reflète un trait fondamental du climat méditerranéen : une **saisonnalité forte des précipitations**, concentrées hors saison estivale.

Ces observations confirment la dominance d'un **régime climatique bi-saisonnier**, avec un été sec et un automne-printemps humide, influençant profondément le fonctionnement écologique et hydrologique de la région d'étude.

1.3. Régimes saisonniers

L'étude des **régimes saisonniers des précipitations** permet de mieux appréhender la **répartition des pluies au cours des quatre saisons de l'année**, aspect fondamental dans la compréhension du fonctionnement des écosystèmes, notamment en milieu aride et semi-aride. En effet, la **croissance de la végétation** est intimement liée au **rythme saisonnier des apports hydriques**, qui conditionne les différentes phases du cycle biologique des espèces végétales (Nahal, 1981 in Meddour, 2011).

Selon Aidoud (1994), la **répartition temporelle des précipitations** constitue un paramètre plus déterminant pour la dynamique végétale que la quantité annuelle totale. Il souligne que **l'eau réellement utile aux plantes** est celle qui est **disponible au moment précis de leur cycle de développement**. Ainsi, une précipitation abondante hors de cette période a peu d'effet sur la productivité végétale, tandis qu'un apport modéré mais bien synchronisé peut s'avérer beaucoup plus bénéfique.

Ces observations soulignent l'importance d'une analyse saisonnière dans l'évaluation de la disponibilité en eau pour la végétation, et justifient une approche bioclimatique fine dans les études de dynamique des milieux naturels.

Dans le cadre de notre analyse, quatre saisons de trois mois chacune ont été retenues afin d'évaluer la répartition saisonnière des précipitations. En procédant à un classement décroissant des cumuls pluviométriques saisonniers, il est possible de dégager un profil saisonnier typique, appelé indicatif saisonnier « type », qui reflète l'importance relative de chaque saison en termes d'apports hydriques.

Ce classement permet de mettre en évidence les saisons les plus favorables **au** développement de la végétation, ainsi que celles présentant un déficit hydrique marqué, caractéristiques essentielles pour comprendre les dynamiques écologiques régionales.

Les résultats obtenus pour les stations étudiées (Aflou et Laghouat) sont présentés et synthétisés dans la **figure 10**, laquelle illustre la hiérarchie des saisons selon leur contribution pluviométrique.

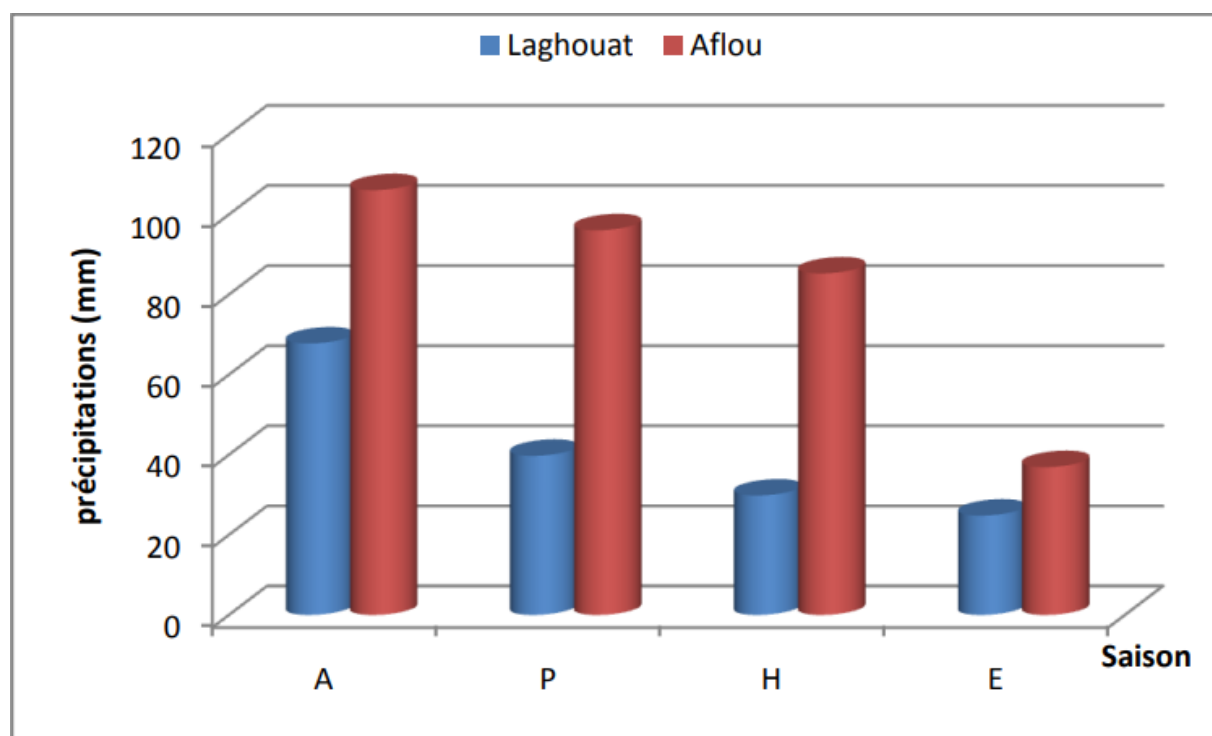


Figure 10: Régimes pluviométriques saisonniers (2005-2014)

L'analyse diachronique du **régime saisonnier des précipitations** à la station d'**Aflou** met en évidence une **évolution notable au cours du siècle écoulé**. En effet, les données montrent que ce régime a subi **trois modifications distinctes** au cours des cent dernières années, reflétant ainsi une instabilité dans la distribution saisonnière des précipitations.

- La **première séquence temporelle** est caractérisée par un régime de type : **Automne > Printemps > Hiver > Été**, où l'automne concentrait la majorité des précipitations.
- Lors de la **deuxième séquence**, un renversement est observé, avec un régime de type : **Printemps > Hiver > Automne > Été**, traduisant un déplacement du maximum pluviométrique vers la saison printanière.
- Enfin, la **troisième séquence** correspond à un régime de type : **Printemps > Automne > Hiver > Été**, consolidant la dominance du printemps tout en maintenant une forte contribution automnale.

Ces variations, documentées en **annexe 1**, traduisent une réponse probable aux dynamiques climatiques régionales, voire aux effets du changement climatique global.

À l'inverse, la station de **Laghouat** présente une **stabilité remarquable** de son régime saisonnier sur l'ensemble de la période d'observation. Ce régime, de type **Automne > Printemps > Hiver > Été**, est demeuré **constant**, illustrant une relative résilience du régime pluviométrique local aux fluctuations interannuelles et inter-décennales (annexe 1).

1.4 Températures

Les températures constituent un facteur écologique déterminant, notamment en ce qui concerne la **croissance et la répartition des espèces végétales**. Leur importance réside principalement dans les **valeurs extrêmes**, en particulier les températures **minimales hivernales** et **maximales estivales**, qui peuvent représenter des **facteurs limitants biologiques**. En écologie, ces extrêmes thermiques sont considérés comme des **indicateurs des seuils létaux** pour les organismes vivants (Sauvage, 1963 ; Djellouli et Djebaili, 1984). Djellouli (1981) souligne, à ce titre, que les températures minimales « *m* » et maximales « *M* » permettent de mieux cerner les **limites de tolérance physiologique** des plantes.

Les données recueillies (annexe 1) montrent que, pour la période d'étude, le **mois de janvier** est généralement le plus froid. À Aflou, les températures minimales enregistrées durant ce mois oscillent entre **+2,3 °C et -3,65 °C**, ce qui s'explique par l'altitude élevée de cette station, située dans l'**Atlas saharien**. À Laghouat, cette température minimale atteint **1,48 °C**, traduisant un climat légèrement moins rigoureux.

En contraste, le **mois de juillet** est le plus chaud de l'année. Les températures maximales mensuelles moyennes (*M*) atteignent **34,37 °C à Aflou**, tandis qu'elles peuvent s'élever jusqu'à

39,74 °C à Laghouat, en lien avec la **position géographique plus méridionale** de cette dernière, située en **zone saharienne septentrionale**.

La **température moyenne annuelle** est également révélatrice de l'ambiance thermique générale : elle est de **13,42 °C à Aflou** et de **18,83 °C à Laghouat**. Cette différence s'explique par l'altitude et les conditions géographiques contrastées entre les deux stations. Les températures maximales estivales (M) ont, tout autant que les minimales hivernales (m), une incidence directe sur le **comportement adaptatif des espèces végétales**. Certaines espèces autochtones montrent une grande résilience face aux fortes chaleurs, comme en témoignent leurs **systèmes racinaires profonds** et la **réduction de leur surface foliaire**, adaptations destinées à **minimiser les pertes hydriques** (Djebaili, 1978 ; Nedjraoui, 1990).

1.5. Synthèse climatique

Les interactions entre les **paramètres climatiques** et la **végétation** ont fait l'objet de nombreuses recherches en bioclimatologie. Plusieurs auteurs s'accordent à dire que, **quelle que soit la composition floristique**, les **groupements végétaux issus de zones isoclimatiques** présentent des caractéristiques **homologues et fonctionnellement équivalentes**. Autrement dit, le **climat détermine la physionomie et la structure de la végétation**, cette dernière représentant ainsi une **expression biologique des conditions du milieu** (Emberger, 1955 ; Le Houérou et al., 1979).

Dans l'objectif d'obtenir une **représentation synthétique** du climat de la région étudiée, plusieurs **indices climatiques** ont été proposés dans la littérature. Ces indices permettent d'intégrer les composantes climatiques les plus influentes, en particulier les **températures** et les **précipitations**, pour caractériser le **type de climat** et en déduire les **implications écologiques**.

Dans cette optique, nous nous proposons d'analyser l'**évolution de quelques indices climatiques majeurs**, afin de mieux cerner les dynamiques bioclimatiques régionales et leur influence sur les écosystèmes steppiques et sahariens.

1.5.1. L'indice de De Martonne (1927)

Cet indice est une expression très simple, qui permet de classer les stations selon leurs degrés de xéricité.

$$A_a = \frac{P}{T + 10}$$

P : Pluviosité moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

$0 < Aa < 5$ climat aride.

$5 < Aa < 20$ climat semi-aride.

$20 < Aa < 30$ climat sub-humide.

$30 < Aa < 55$ climat humide.

L'indice est d'autant plus grand que le climat est plus humide.

Les résultats sont rapportés sur le tableau 5 :

Tableau 05 : Indice de De Martonne pour les zones d'étude

	1913 -1938		1971 – 2001		2004-2014	
	Aa	Classe climatique	Aa	Classe climatique	Aa	Classe climatique
Laghouat	6,12	Semi-aride	5,09	Semi-aride	5,65	Semi-aride
Aflou	14,83	Semi-aride	12,21	Semi-aride	13,85	Semi-aride

Analyse des résultats des indices climatiques

L'analyse comparative des valeurs des indices climatiques sur les différentes périodes de référence met en évidence des variations notables des paramètres climatiques. Toutefois, ces fluctuations ne sont pas suffisamment marquées pour entraîner un changement de classification bioclimatique des stations étudiées.

En effet, malgré l'évolution des valeurs absolues des indices considérés (notamment l'indice de Gaussen ou celui d'Emberger), les stations de Laghouat et d'Aflou restent toutes deux rattachées à l'étage climatique semi-aride pour l'ensemble des périodes analysées.

Cette stabilité apparente de la classification traduit la résilience du cadre bioclimatique régional, bien que les tendances à la baisse des précipitations et les hausse des températures puissent

suggérer une vulnérabilité croissante des écosystèmes locaux, notamment en ce qui concerne la végétation steppique.

2.1. Définition et identification de la saison sèche

Selon les travaux de Bagnouls et Gaussen (1953), un mois est considéré comme sec lorsque la quantité moyenne mensuelle de précipitations, exprimée en millimètres (P), est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle, exprimée en degrés Celsius (T), soit lorsque $P \leq 2T$.

Cette relation, à la fois simple et opérationnelle, permet de représenter conjointement sur un même graphique les précipitations et les températures mensuelles moyennes (diagramme ombrothermique de Gaussen). L'analyse de ce type de graphique permet d'identifier visuellement la durée de la saison sèche à travers l'intersection des courbes ombrique (précipitations) et thermique (températures).

La période pendant laquelle la courbe des températures est au-dessus de la courbe des précipitations doublées (2T) correspond à la saison sèche, une variable déterminante dans l'évaluation des contraintes climatiques pesant sur les écosystèmes, en particulier dans les zones à vocation agro-pastorale ou steppique.

Les résultats des observations des périodes sèches et le nombre des mois secs sont rassemblés dans le tableau 06

Tableau 06 : Durée des périodes sèches et le nombre de mois secs

Station	1913 – 1938		1970-2001/ 1995-2004*		2005-2014	
	Période sèche	Nombre de mois Sec	Période sèche	Nombre de mois Sec	Période sèche	Nombre de mois sec
Aflou*	Fin Avril Mi septembre	4 mois et demi	Fin Avril Mi Octobre	6 mois et demi	4 mois et demi	Fin Avril Mi Septembre
Laghouat	Janvier décembre	12 mois	Janvier décembre	12 mois	Janvier décembre	12 mois

Les observations climatiques montrent que la saison sèche peut varier fortement en durée, allant de quelques mois à une quasi-totalité de l'année, comme c'est le cas dans la station de Laghouat . Cette variabilité reflète les caractéristiques climatiques contrastées entre les zones de l'Atlas saharien et le piémont nord du Sahara.

L'analyse comparative des données entre les différentes périodes d'observation met en évidence **une prolongation notable de la saison sèche** au cours du temps. En particulier, pour la station d'**Aflou**, la durée de la saison sèche **a augmenté de deux mois** durant la deuxième période d'étude. Cette tendance s'inscrit dans le contexte général d'**aridification progressive** des régions steppiques.

Ces résultats corroborent les travaux de **Hammouda (2009)**, qui rapporte une **augmentation de deux mois de la durée de la saison sèche dans les steppes algériennes entre 1913 et 2003**, ce qui souligne les effets persistants du changement climatique sur la dynamique hydrique et la productivité des écosystèmes semi-arides.

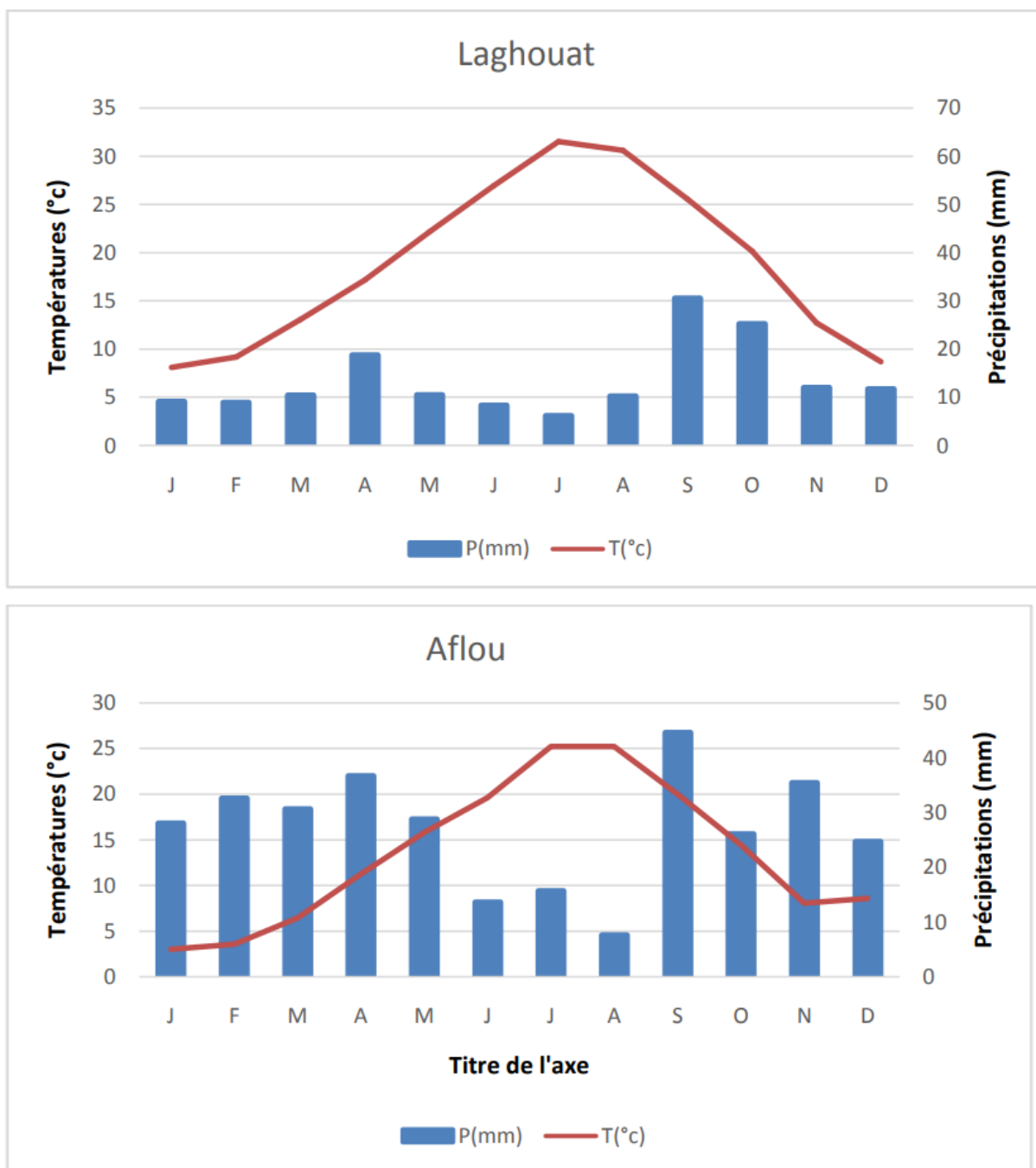


Figure 11. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de deux stations climatiques de la wilaya de Laghouat (2005-2014)

2.1.1. Quotient et climagramme pluviothermique d'Emberger (1955)

Dans le but d'**identifier et de classer les zones homo-climatiques** de la région méditerranéenne, **Emberger (1955)** a élaboré un **quotient pluviothermique**, couramment utilisé dans les études bioclimatiques. Ce quotient permet de caractériser le **caractère xérique** (sec) d'un biotope en prenant simultanément en compte **les précipitations** et **les températures extrêmes**.

Le **quotient pluviothermique d'Emberger (Q)** s'exprime par la formule suivante :

$$Q_2 = 2000P / M^2 - m^2$$

Q₂ : Quotient pluviothermique

P : Pluviosité moyenne annuelle (mm)

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (°Kelvin)

m : Moyenne des minima du mois le plus froid (°Kelvin)

La valeur du quotient pluviothermique varie en fonction inverse du caractère xérique d'un lieu, plus la sécheresse annuelle est grande, moins la valeur du quotient est élevée.

De sa part, Stewart (1969) montre que la formule peut s'écrire :

$$Q_3 = 3.43 P / M - m \quad \text{avec M et m en } ^\circ\text{C}$$

Cette valeur est très peu différente de la valeur calculée avec la formule originelle, l'erreur maximum est inférieur à 2%, l'erreur est négligeable si l'on considère que les imprécisions de mesures des précipitations et des températures entraînent une erreur relative du quotient de l'ordre de 10% (Sauvage, 1963).

Dans le tableau 10, sont réunis les quotients pluviothermique des deux stations calculés d'après la formule d'Emberger, Stewart. Durant trios périodes d'observation.

Tableau 07 : Quotient pluviothermique d'Emberger et de Stewart

	1913 - 1938		1971 - 2001		2005 – 2014	
	Q ₂	Q ₃	Q ₂	Q ₃	Q ₂	Q ₃
Aflou 1967-1987	34,78	34,2	31,92	31,51	30,37	29,26
Laghouat	16.81	16,99	14,34	14,41	14,56	14.54

Nous observons une diminution des valeurs Q₂ et Q₃ entre les trois périodes dans les stations. Pour Q₂ elle varie entre 13,38% pour Laghouat, et 12,67 % pour Aflou. Ce qui signifie une accentuation de la sécheresse durant les deux dernières décennies.

2.1.2. Le Climagramme d'Emberger

La **classification bioclimatique d'Emberger**, largement utilisée dans l'étude des zones méditerranéennes, repose sur les **paramètres climatiques les plus déterminants pour la vie végétale**, notamment les précipitations annuelles et les températures extrêmes (Emberger, 1955).

Le **climagramme pluviothermique d'Emberger** constitue un outil graphique permettant de **localiser une station climatique** dans un espace bioclimatique défini. Il est construit en croisant :

- En ordonnée, le **quotient pluviothermique Emberger (Q₂)**

Ce climagramme permet donc d'identifier l'étage bioclimatique auquel appartient chaque station, qu'il soit aride, semi-aride, subhumide ou humide, en tenant compte à la fois de la pluviométrie et de la rigueur thermique hivernale.

Les différents étages bioclimatiques correspondant aux deux stations étudiées (Aflou et Laghouat), et ce pour les trois périodes d'observation, sont synthétisés dans le Tableau 11. La Figure 7 illustre la position des stations sur le climagramme pour la période 2004-2014.

Tableau 08: Quotient pluviothermique et étage Bioclimatique des deux stations Aflou et Laghouat pour les trois périodes

Période	Stations	Q ₂	m	Bioclimat	Variante
1ère période Seltzer (1946) (1913_1938)	Aflou	34.31	-1.3	Semi-aride moyen	Hiver froid
	Laghouat	17.02	2.3	Aride inférieur	Hiver frais
2ème période 2005-2014	Aflou	30,37	-3,65	Semi-aride inférieur	Hiver froid
	Laghouat	14,56	1,48	Saharien	Hiver tempéré

L'analyse comparative des données climatiques historiques et récentes montre une tendance significative vers une **aridification progressive du climat**, notamment dans les zones steppiques et présahariennes.

Concernant la **station d'Aflou**, la **durée de la saison sèche** est passée de **4 mois et 3 semaines** (selon les données anciennes de Seltzer, 1946) à **5 mois et 3 semaines** d'après les relevés plus récents de l'Office National de la Météorologie (O.N.M., 2014). Cette extension de la saison sèche reflète une accentuation du **déficit hydrique**, avec des conséquences notables sur la dynamique des écosystèmes végétaux.

La position des stations d'Aflou et de Laghouat sur le **climagramme d'Emberger** confirme cette évolution :

- **Aflou**, classée autrefois dans l'**étage bioclimatique semi-aride moyen** (Seltzer, 1946), est désormais rattachée à l'**étage semi-aride inférieur**, selon les données de l'O.N.M. pour les années 2004 et 2014.
- **Laghouat**, auparavant située dans l'**étage bioclimatique aride inférieur** (Seltzer, 1946), est actuellement intégrée à l'**étage saharien**, d'après les récentes observations de l'O.N.M.

Ces changements traduisent une **tendance marquée à l'aridification**, compatible avec les observations d'allongement des périodes sèches et de diminution des précipitations dans les régions steppiques et sahariennes d'Algérie. Cette évolution a des implications écologiques majeures, notamment sur la productivité primaire, la répartition floristique et la résilience des formations végétales naturelles.

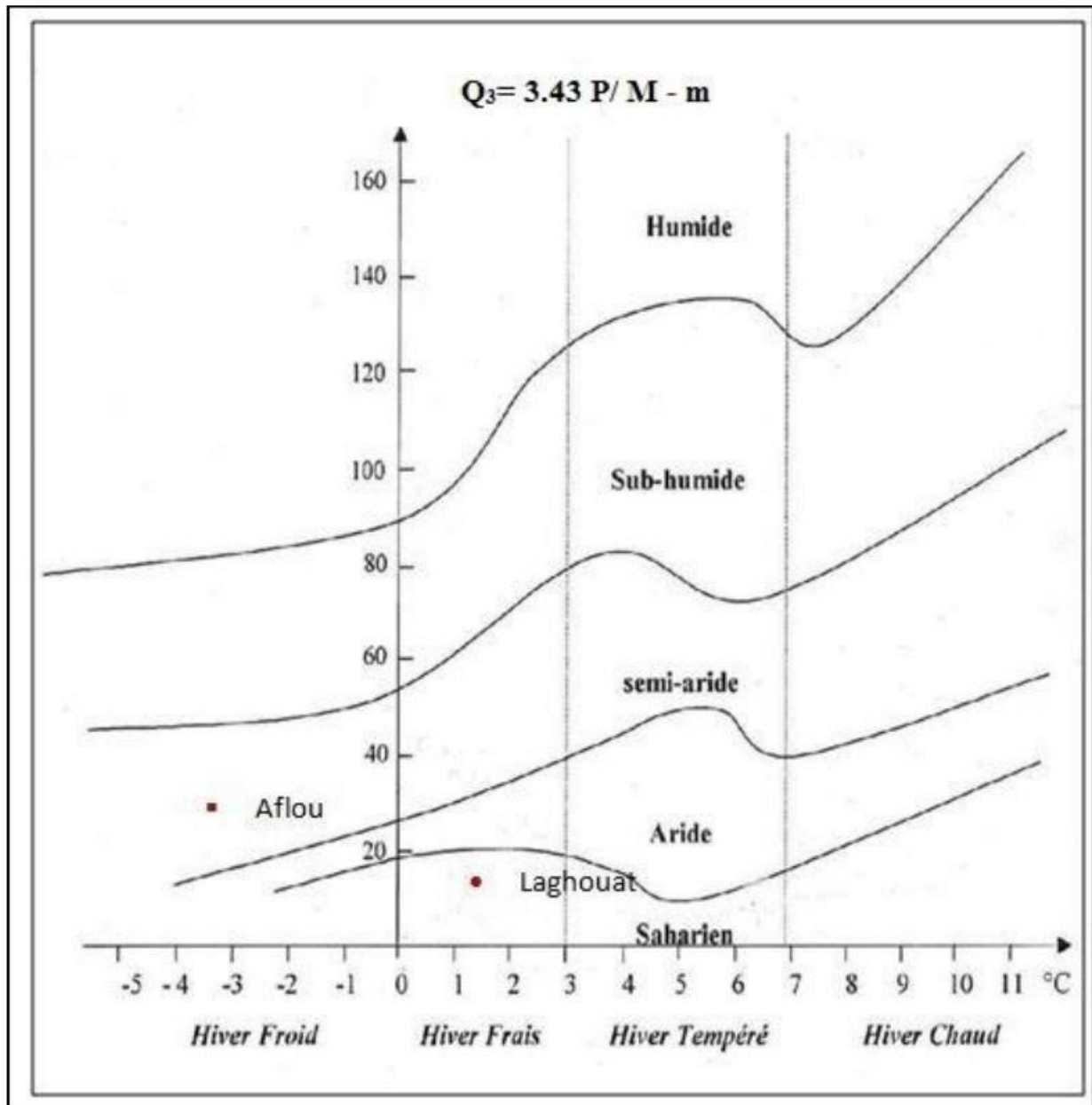


Figure 12 : Situation des stations d'étude sur le climagramme d'Emberger (1955)

3. présentation de la zone d'aflou

3.1. Ville d'Aflou

Aflou est une commune située à l'ouest de la wilaya de Laghouat, en Algérie. Elle se trouve à une altitude supérieure à 1 400 mètres, ce qui en fait l'une des villes les plus élevées du pays. Elle appartient à la zone steppique des hauts plateaux et se caractérise par un climat semi-aride, avec des hivers froids et des étés modérés à chauds.

Le couvert végétal de la région est dominé par des espèces steppiques comme le *Stipa tenacissima* (alfa), l'*Artemisia herba-alba* (armoise blanche) et le *Retama retam* (genêt), qui démontrent une forte capacité d'adaptation aux conditions climatiques extrêmes, notamment le stress hydrique et les variations thermiques.



Figure 13: Carte localisation de la region d'Aflou dans la wilaya de Laghouat.

3.1.1. Climat

L'influence du Sahara imprime à cette zone, un climat sec et chaud, à amplitudes importantes par suite du relief et des barrières naturelles constituées par l'Atlas tellien vis-à-vis des influences maritimes provenant du Nord et du Nord Ouest. Ces montagnes et ces hautes plaines sont parcourues en hivers par des courants de vent glaciaux et en été par des courants secs et chauds.

La zone est caractérisée par la faiblesse des précipitations annuelles qui oscillent entre 100 et 400 millimètres par an. Elles tombent le plus souvent sous forme d'averses orageuses et torrentielles, quelquefois mêlées à la grêle.

L'amplitude thermique saisonnière est élevée, elle dépasse 32°C. Le climat est donc caractérisé par sa continentalité. La moyenne des minima du mois le plus froid se situe entre 1.7 et +1.8 °C, celle des maxima du mois le plus chaud entre 33 et 41°C. Cependant des températures de -12 et +45°C peuvent être atteintes. Le nombre de gelées peut s'élever jusqu'à 40 jours par an et, à cela, il faut ajouter le sirocco qui peut se manifester entre 20 et 30 jours par an. L'influence du Sahara se traduit, dans cette zone, par un climat sec et chaud.

Sur le plan bioclimatique et biogéographique les zones soumises à la désertification sont comprises dans les bioclimats suivants : Aride inférieur froid, Semi-aride inférieur froid et Semi-aride inférieur frais.

3.1.2. Végétation

La couverture végétale étant la réplique du climat et dans une moindre mesure celle de sol, les formations végétales qui caractérisent le milieu peuvent être schématisées comme suit :

-la végétation forestière : ce sont surtout des forêts matorrals arborés de pin d'Alep (*pinus halepensis*), de genévrier de phénicie (*juniperus phoenicea*) et de chêne vert (*quercus ilex*), les dayas (dépression alluvionnaires) à texture limoneuse comportent des formations à pistachier de l'Atlas (*pistacia atlantica*) et jujubier sauvage (*zezeplus lotus*).

-la végétation steppique : elle est divisée comme en trois types

* la steppe graminéenne essentiellement à base d'Alfa (*stipa tonacissir*).

*la steppe à armoise blanche (*artemisia herba alba*) occupe les sols à texture fine.

*la steppe à halophytes : occupe les terrains salés à proximité des chotts ou des dépressions salées peuplés surtout de *Sueda sp*, *Salsola sp* et également *Atriplex sp*.

3.1.3. Sol

Les sols de la zone d'aflou sont essentiellement caractérisés par une faible profondeur, un taux élevé de calcaire actif dû à la présence d'une dalle calcaire et à l'accumulation de calcaire de différents types qui s'opposent à la pénétration du système racinaire. La grande majorité des sols se range dans la classe des sols calcimagnésiques avec un pH basique (supérieur à 7,5). Il s'agit donc de sols particulièrement sensibles à l'érosion.

2. Etude climatique de la zone d'aflou

4.1. La pluviosité

Dans le cadre de la croissance végétale, l'eau réellement utile est celle disponible durant les différentes phases du cycle de développement des plantes. Ainsi, la distribution saisonnière des précipitations revêt une importance plus grande que leur quantité annuelle totale (Djebaili, 1984).

L'analyse des données pluviométriques indique que les mois les plus arrosés sont novembre, avec une moyenne de 34,91 mm, et septembre, avec 31,61 mm. Le cumul annuel des précipitations s'élève à environ 286,32 mm (voir tableau 9), ce qui souligne un régime pluviométrique relativement modeste, nécessitant une gestion optimale des ressources hydriques pour assurer un développement végétal adéquat.

Tableau 09 : Répartition des précipitations moyennes annuelles exprimées en millimètre de la région d'Aflou (2001-2021).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
P (mm)	29.54	28.94	26.25	31.42	24.49	12.05	12.18	8.37	31.61	22.99	34.91	23.59

(ONM : 2022)

4.2. Températures

La température constitue un facteur écologique limitant majeur, dans la mesure où elle influence l'ensemble des processus métaboliques des êtres vivants. De ce fait, elle joue un rôle déterminant dans la répartition des espèces et des communautés biologiques à l'échelle de la biosphère (Ramade, 1984).

Dans la région étudiée, la température moyenne annuelle est de 12,42 °C. Les extrêmes saisonniers se manifestent par un maximum de 24,15 °C enregistré en juillet et un minimum de 2,63 °C observé en janvier (voir tableau 10). Cette variation thermique annuelle reflète un climat contrasté, dont les implications écologiques doivent être prises en compte dans toute démarche de planification environnementale ou agricole.

Tableau 10: Températures moyennes mensuelle de la région d'Aflou (2001-2021)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
T (°C)	2.63	3.55	6.81	10.42	14.66	20.25	24.15	23.52	19.03	13.73	6.93	3.38

(ONM : 2022)

4.3. Neige

La neige constitue un apport hydrique non négligeable, notamment en contribuant à l'alimentation des nappes phréatiques par le biais d'une infiltration progressive et durable (Seltzer, 1946).

Dans la wilaya étudiée, l'enneigement est principalement observé dans les zones septentrionales, notamment sur les hauteurs des monts du Djebel Amour. La région d'Aflou enregistre en moyenne entre 10 et 15 jours de neige par an. Cette occurrence reste toutefois variable et tend à diminuer naturellement en direction du sud, en lien avec les gradients altitudinaux et climatiques.

4.4.1 Le diagramme ombro-thermique de Gaussen :

Le diagramme ombro-thermique de Gaussen constitue un outil graphique permettant de comparer l'évolution conjointe des températures et des précipitations au cours de l'année. Il offre une représentation claire des périodes de déficit hydrique, en mettant en évidence les mois au cours desquels l'évapotranspiration potentielle dépasse les apports pluviométriques.

Cet outil est particulièrement pertinent pour les zones à climat sec, car il permet de visualiser de manière synthétique la durée et l'intensité des périodes de sécheresse, éléments déterminants pour l'évaluation de la contrainte climatique sur les écosystèmes et les activités agricoles.

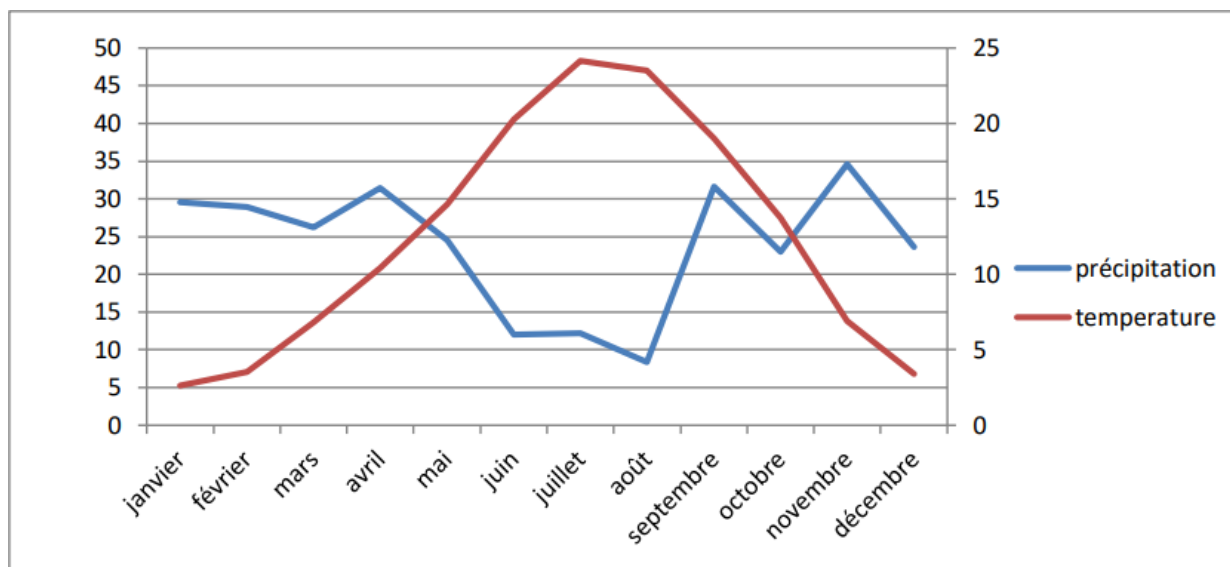


Figure 14 : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la station d'Aflou 2001-2022.

4.2. Le climagramme d'Emberger :

Le climagramme d'Emberger est un indice bioclimatique permettant de caractériser les étages climatiques, notamment dans les régions à climat méditerranéen ou aride. Il repose sur trois paramètres essentiels : la précipitation annuelle moyenne (P, exprimée en mm), la moyenne des températures minimales du mois le plus froid de l'année (m), et la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M).

L'indice est calculé selon la formule suivante :

$$Q = 3,43 \cdot P / M - m$$

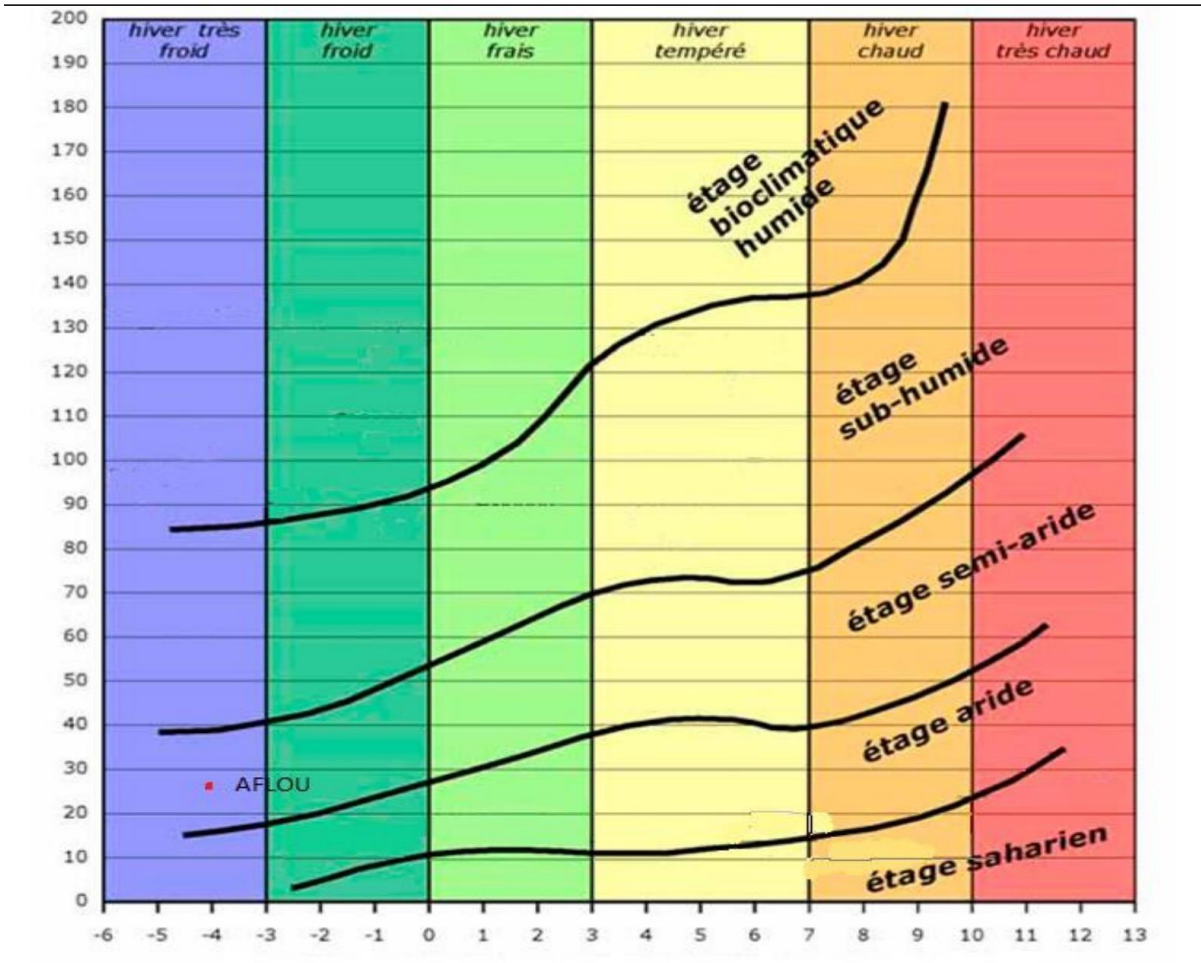


Figure 15 : Situation d’aflou sur le climagramme d’Emberger .

La valeur quotient pluviométrique d’Emberger de la région d’Aflou $Q=25.61$ et une variante thermiques (m) de $-4.24^{\circ} C$. Donc on peut classer Aflou dans l’étage semi-aride inferieur avec un hiver très froid.

Étude climatique de djbel amour dans deux 2008 et 2025

Le Djebel Amour, situé dans l'Atlas saharien en Algérie, a connu des évolutions climatiques notables entre 2008 et 2025, reflétant les tendances générales observées dans le pays.

Climat en 2008 : En 2008, le Djebel Amour bénéficiait d'un climat semi-aride. Les précipitations annuelles variaient entre 300 et 500 mm, avec des maxima enregistrés dans la partie centrale du massif. Les hivers étaient froids, avec des températures pouvant descendre jusqu'à

-10°C, tandis que les étés étaient modérés, atteignant parfois 38°C. Cette pluviométrie relativement élevée pour la région favorisait une couverture végétale composée de forêts claires de chênes verts, de pins d'Alep et de genévriers.

Évolution climatique jusqu'en 2025 : Selon des études et projections réalisées au cours des années suivantes, l'Algérie, y compris la région du Djebel Amour, a été confrontée à des changements climatiques significatifs. Les prévisions indiquaient une augmentation des températures moyennes d'environ 1°C par décennie, entraînant une avancée du climat désertique vers le nord.

Cette tendance s'est traduite par une diminution des précipitations de 15%, correspondant à une perte de 2 milliards de m³ d'eau, exacerbant ainsi les phénomènes de désertification.

Climat en 2025 :

En 2025, les effets de ces changements sont devenus plus perceptibles dans la région du Djebel Amour. Les températures estivales ont atteint des niveaux records, avec des nuits particulièrement chaudes, reflétant une tendance générale d'augmentation des températures nocturnes. Les précipitations ont continué à diminuer, accentuant la sécheresse et impactant négativement l'agriculture locale et les ressources en eau.

Matériel et méthodes

I- Echantillonnage et Collecte des données sur le terrain :

Dans le cadre de notre étude, une attention particulière a été accordée à l'homogénéité des conditions écologiques lors du choix du site d'étude, afin d'assurer la validité et la représentativité des données collectées. Selon Le Foch (2008), un site d'étude se définit comme une surface caractérisée par des conditions écologiques homogènes et/ou une végétation uniforme. Ainsi, nous avons sélectionné un site répondant à ces critères pour garantir la fiabilité des résultats obtenus. Cette approche permet d'éviter les biais liés à la variabilité environnementale, assurant ainsi une collecte de données pertinente et cohérente pour l'analyse des phénomènes étudiés.

I.1. Analyse floristique :

Sur la base de 17 relevés phytoécologiques ont été effectués dans le cadre de l'inventaire des ressources végétales du milieu étudié ainsi que de l'évaluation de l'occupation du sol par les différentes formations floristiques, un total de 17 relevés phytoécologiques a été effectué. Ces relevés ont été réalisés durant la période optimale de développement de la végétation, à savoir le mois de mars, afin de garantir la représentativité floristique maximale. Chaque unité écologique homogène a fait l'objet de trois relevés distincts, permettant ainsi une caractérisation précise de ses composantes floristiques et de sa structure écologique.

I.1.2. Méthode d'échantillonnage :

Nous avons adopté la méthode d'échantillonnage subjectif, largement utilisée en phytosociologie en raison de sa simplicité de mise en œuvre. Selon Le Floc'h (2008), cette méthode représente « l'approche la plus couramment utilisée en phytosociologie, car la plus aisée à appliquer ». Elle repose sur la sélection ciblée d'unités d'observation jugées représentatives, dans le but de recueillir des données objectives et scientifiquement exploitables sur l'ensemble de la végétation étudiée (Gounot, 1969).

I.1.3. Relevé phytoécologique :

Les relevés phytoécologiques ont été réalisés conformément aux principes de la phytosociologie, où chaque relevé est généralement considéré comme un échantillon

représentatif du milieu. Toutefois, selon Aidoud (1984), le relevé constitue en réalité un ensemble de mesures, chacune correspondant à une variable écologique ou floristique.

L'objectif principal de ces relevés est d'analyser la composition floristique et la structure de la végétation sur le terrain. Pour ce faire, nous avons adopté la méthode de la ligne simple, reposant sur un transect linéaire, permettant une couverture représentative de la végétation en place.

I.2. Travail sur le terrain

I.2.1. Matériel utilisé :

Afin de mener à bien les opérations de relevé sur le terrain, un ensemble de matériel a été mobilisé pour garantir la précision des mesures et la collecte efficace des données. Le matériel utilisé comprend :

- **Un ruban métrique**, pour délimiter avec exactitude les unités d'échantillonnage sur le terrain ;
- **Un sécateur**, destiné à la coupe des échantillons végétaux nécessaires à l'identification et à l'herborisation ;
- **Des sacs en plastique**, servant à la collecte et à la conservation temporaire des échantillons floristiques ;
- **Des piquets**, utilisés pour marquer les limites des relevés et maintenir la disposition des transects.

I.2.2. Emplacement des relevés :

Le **choix de l'emplacement des relevés** constitue une étape cruciale dans l'observation et l'étude d'un milieu naturel, dans la mesure où il conditionne la **représentativité des données collectées** (Prévost, 1999). Dans cette étude, les emplacements des relevés ont été sélectionnés avec soin, en tenant compte de l'**homogénéité phytosociologique et géomorphologique** des sites investigués. Cette démarche vise à garantir que chaque relevé reflète fidèlement les caractéristiques écologiques du milieu (Le Floch, 2008).

I.2.3. Relevé linéaire par la méthode de la ligne simple:

Le relevé linéaire (**Figure 16**) 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.

Cette méthode est couramment employée pour l'évaluation du **couvert végétal** dans les zones steppiques, notamment en Australie et en Afrique du Sud (Daget et Poissonnet, 1971).

II. Analyses des données du terrain

II.1. Identification des espèces :

Dans cette étude, un herbier a été constitué afin de conserver les échantillons végétaux collectés sur le terrain. L'identification des espèces a été réalisée en se référant à des ouvrages de référence spécialisés, notamment la flore de Quezel et Santa (1954) ainsi que les travaux d'Ozenda (1954-1994). Ces guides ont permis une détermination rigoureuse et fiable des taxons présents dans la zone d'étude.

II.2. Analyse de la Phytodiversité :

II.2.1. Richesse totale :

La richesse totale constitue l'un des paramètres fondamentaux caractérisant un peuplement végétal et représente la mesure la plus couramment utilisée pour évaluer sa biodiversité. Elle correspond au nombre total d'espèces présentes dans le peuplement considéré au sein d'un écosystème donné (Ramade, 2003).

Pour classifier la richesse totale observée dans notre étude, nous avons adopté l'échelle proposée par Daget et Poissonnet (1991), qui se décline comme suit :

- **Raréfiée** : moins 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 riche** : de 61 à 75 espèces

Cette classification permet d'apprécier la diversité spécifique du milieu étudié en la situant dans une échelle standardisée.



Figure 17 : Méthode de la ligne pour l'inventaire de la végétation. (photo originale 2025)

II.2.2. Recouvrement global de la végétation :

Le recouvrement global de la végétation est défini comme le pourcentage de la surface du sol qui est effectivement recouverte par la biomasse végétale (Gounot, 1969). Ce paramètre constitue un indicateur clé permettant d'estimer la densité et la distribution spatiale de la végétation dans un écosystème donné. L'évaluation du recouvrement végétal offre des informations précieuses sur la structure écologique, la productivité ainsi que la dynamique des interactions entre les composantes biotiques et abiotiques du milieu étudié.

n : Le nombre de point de végétation ;

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

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

II.2.3. La fréquence spécifique (fsi) :

La fréquence spécifique (F_{Si}) correspond, selon Le Floc'h (2008), au nombre de points d'observation où un taxon donné iii est relevé comme étant « présent » lors d'un comptage effectué le long des transects de lecture. Plus précisément, la fréquence spécifique d'une espèce iii est définie comme le nombre de points où cette espèce a été observée sur une ligne d'échantillonnage disposée dans la végétation (Nedjraoui, 1981).

Cette mesure permet d'évaluer la distribution spatiale et l'abondance relative des espèces dans le peuplement étudié, constituant ainsi un indicateur clé dans l'analyse floristique.

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

II.2.4. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H') :

L'indice de diversité de Shannon-Weaver, souvent simplement appelé indice de Shannon, est largement utilisé pour évaluer la diversité spécifique au sein d'une communauté biologique. Selon Lacoste (2001), cet indice intègre principalement les abondances des espèces, c'est-à-dire le nombre d'individus de chaque espèce constituant la biocénose étudiée.

Parmi les nombreux indices de diversité existants, l'indice de Shannon est sans doute le plus reconnu et est calculé selon la formule suivante :

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

où P_i représente la proportion relative de l'espèce i dans l'ensemble des individus observés, et S est le nombre total d'espèces dans la communauté.

Cet indice permet d'apprécier à la fois la richesse spécifique et l'équitabilité des espèces dans un écosystème donné.

IV.2.5. Équitabilité (EQ) :

L'équitabilité (EQ) exprime la régularité de la répartition des individus entre les différentes espèces au sein d'une communauté végétale. Elle constitue une dimension essentielle de la diversité écologique, car elle renseigne sur la structure des peuplements en termes de distribution relative des effectifs par espèce.

Cet indice permet de comparer la structure des communautés en évaluant à quel point les individus sont répartis de manière homogène entre les espèces présentes. L'équitabilité est calculée comme le rapport entre la diversité d'un peuplement, mesurée par un indice de diversité (tel que l'indice de Shannon), et le nombre total NNN d'espèces observées dans la zone étudiée.

La formule utilisée est la suivante :

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

H' : Diversité spécifique

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

L'équitabilité (EQ) exprime la régularité de la répartition des individus entre les différentes espèces au sein d'une communauté végétale. Elle constitue une dimension fondamentale de la diversité écologique, en complément de la richesse spécifique, car elle permet d'apprécier la structure interne du peuplement en tenant compte de la distribution relative des effectifs.

II.3. Le spectre biologique :

Le spectre biologique repose sur la classification des espèces végétales en types biologiques (ou formes biologiques), lesquels traduisent le comportement adaptatif des espèces face aux conditions écologiques du milieu. Cette classification permet de mieux comprendre la structure des formations végétales, leur origine ainsi que leur dynamique évolutive.

Les types biologiques ont été initialement définis par Raunkiaer(1939), principalement pour les végétaux des régions tempérées où la saison défavorable est l'hiver. Toutefois, cette typologie s'applique également aux milieux arides ou semi-arides, où la saison sèche constitue la principale contrainte écologique.

Les principaux types biologiques sont les suivants :

- **Phanérophytes (Ph)** : Végétaux ligneux (arbres, arbustes) dont les bourgeons de régénération sont situés à plus de 50 cm du sol et exposés aux conditions extérieures.
- **Chaméphytes (Ch)** : Espèces pérennes, ligneuses ou suffrutescentes, dont les bourgeons de rénovation se trouvent à une hauteur inférieure ou égale à 50 cm du sol.
- **Hémicryptophytes (H)** : Plantes vivaces dont les bourgeons de régénération sont au niveau de la surface du sol, souvent protégés par la litière ou la neige.
- **Géophytes** : Espèces dont les organes de survie (bourgeons de régénération) sont enfouis sous terre, à l'abri des conditions climatiques défavorables.
- **Thérophytes (T)** : Plantes annuelles qui complètent leur cycle de vie (croissance, floraison, fructification) en une seule saison, généralement courte, formant des graines ou spores avant la période défavorable.

L'analyse du spectre biologique d'un peuplement permet ainsi d'évaluer les stratégies adaptatives des espèces face aux conditions environnementales et aux perturbations locales (Aidoud, 1983).

II.4. L'élément phytogéographique:

La diversité phytogéographique concerne l'étude de la répartition des espèces végétales à travers les différentes régions du globe. Cette discipline, connue sous le nom de phytogéographie, vise à comprendre les facteurs qui déterminent les limites de distribution des espèces végétales. En effet, la présence ou l'absence d'une espèce dans une région donnée dépend de plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, les caractéristiques édaphiques (du sol), l'histoire biogéographique, ainsi que les obstacles naturels pouvant entraîner l'isolement de certains taxons (Lacoste et al., 1969 in Mahamane, 2005).

Dans le cadre de cette étude, la détermination des affinités chorologiques des espèces recensées a été effectuée en se basant sur les subdivisions chorologiques proposées par Maire (1926), Monod (1957) et Quézel (1965).

II.5. Indice de perturbation du milieu:

L'indice de perturbation du milieu (IP) constitue un indicateur écologique permettant d'évaluer le niveau de dégradation ou de perturbation d'un écosystème végétal. Il repose sur la proportion de formes biologiques indicatrices de milieux instables ou anthropisés, en particulier les chaméphytes et les thérophytes, souvent associées à des conditions écologiques défavorables ou à des pressions anthropiques.

$$IP = (\text{Chaméphytes} + \text{Thérophytes}) / (\text{Nombre total des espèces})$$

Un indice élevé traduit généralement un milieu fortement perturbé, dominé par des espèces pionnières ou opportunistes, tandis qu'un indice faible indique un écosystème relativement stable, avec une végétation plus structurée et pérenne.

II.6. Mesure du biovolume (BV) des espèces inventoriées:

Dans le cadre de cette étude, l'estimation du biovolume (BV) des espèces végétales inventoriées a été réalisée en considérant que la forme générale de chaque plante peut être assimilée à celle d'un cylindre. Cette approximation permet une évaluation simple et cohérente du volume occupé par chaque individu dans l'espace.

Pour chaque espèce, deux paramètres morphologiques ont été mesurés sur le terrain :

- Le diamètre maximal (en mètres), représentant l'envergure horizontale de la plante ;
- La hauteur maximale (en mètres), correspondant à la hauteur verticale totale de l'individu.

Sur la base de ces mesures, la **surface (S)** de la base cylindrique est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Surface (m}^2\text{)} = (3,14 * (\text{diamètre})^2) / 4$$

Puis, le **biovolume (BV)** est obtenu par :

$$\text{Biovolume (BV)} = \text{Surface} * \text{Hauteur (m}^3\text{)}$$

où **D** est le diamètre maximal et **H** est la hauteur maximale.

Cette méthode permet d'estimer le volume tridimensionnel occupé par chaque espèce, offrant ainsi un indicateur quantitatif utile pour analyser la structure verticale et spatiale de la végétation.

Résultats et discussions

I. Analyse climatique de la zone d'étude

Le climat représente l'un des facteurs écologiques les plus influents dans la structuration et le développement du couvert végétal. Il conditionne la répartition des espèces, leur phénologie, ainsi que leur capacité d'adaptation aux contraintes du milieu.

I.1. Températures moyennes mensuelles

Au cours de la période correspondant à notre étude, les températures moyennes mensuelles relevées dans la région de Sebgag présentent une variation notable. La température maximale moyenne a été enregistrée au mois d'avril 2022, atteignant environ 14°C , tandis que la température minimale moyenne a été observée en janvier, avec une valeur de 2°C (Fig. 18). Ces données témoignent d'un climat caractérisé par une variabilité thermique saisonnière, susceptible d'influencer directement le cycle de vie des espèces végétales présentes dans la zone.

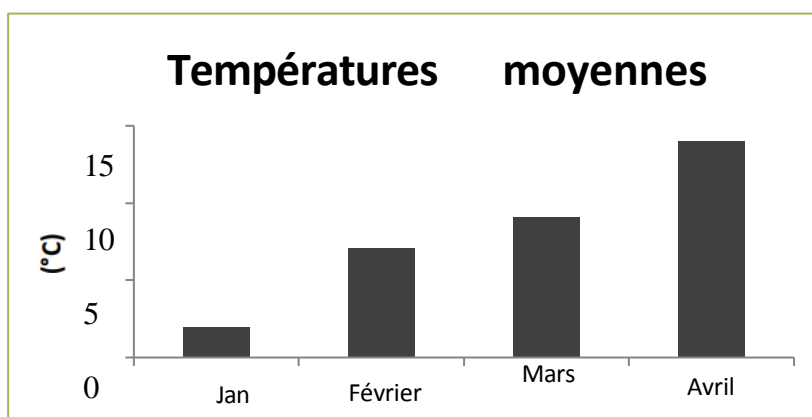


Figure N°16 : Présentation des températures moyennes mensuelles dans la région d'étude 2025.

I.2. Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur climatique déterminant dans le fonctionnement des écosystèmes, en particulier dans les régions semi-arides telles que celle d'Aflou. Pour l'année 2022, le cumul pluviométrique enregistré dans cette région s'élève à 39,1 mm.

Comme l'indique la Figure 19, le mois le plus arrosé de l'année a été le mois de janvier, avec une hauteur de précipitations atteignant 17 mm, ce qui représente une part significative du total annuel. Cette distribution irrégulière et concentrée des précipitations reflète les caractéristiques climatiques arides à semi-arides de la zone, influençant fortement la disponibilité en eau pour la végétation et, par conséquent, la dynamique des espèces végétales locales.

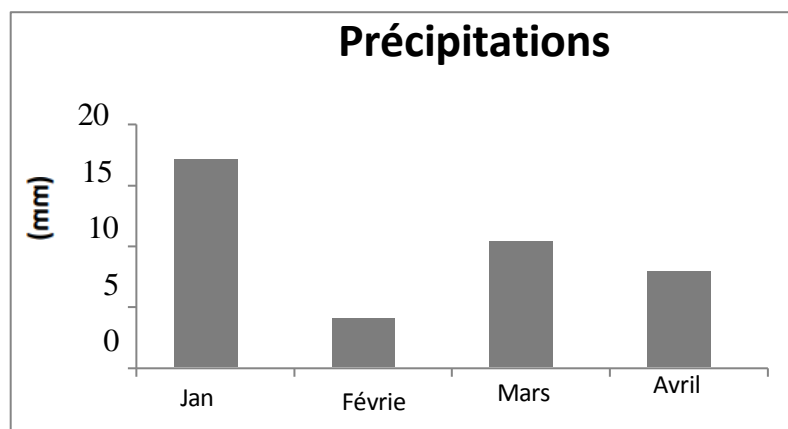


Figure N°17 : Répartition des précipitations de la région d'étude 2025.

II. Analyse floristique :

II.1. Richesse floristique et contribution au tapis végétal:

Au sein de la station plantée, un total de 7 espèces végétales appartenant à 6 familles botaniques a été recensé (Tableau 11). La flore locale est nettement dominée par la famille des *Amaranthaceae*, qui représente 80,91 % du peuplement total, avec une seule espèce largement prédominante : *Atriplex canescens*. Cette forte dominance est directement liée à l'introduction volontaire de cette espèce dans le cadre de programmes de plantation.

Les autres familles sont représentées comme suit :

- *Poaceae* : 11,45 %
- *Fabaceae* : 2,79 %
- *Amaryllidaceae* : 2,54 %
- *Asteraceae* : 2,03 %
- *Lamiaceae* : 0,25 %

La richesse floristique en milieu aride dépend en grande partie de la présence d'espèces annuelles adaptées, ainsi que des conditions environnementales locales. Cette richesse est fortement influencée par l'interaction complexe entre le climat, les caractéristiques édaphiques (du sol) et les modes d'exploitation du territoire (Aidoud, 1989).

Tableau N°10 : Répartition des espèces inventoriées et leur contribution spécifique au tapis végétale.

Nom de l'espèce	Genre	Famille	Csi (%)
<i>Atriplex canescens</i>	<i>Atriplex</i>	Amaranthaceae	80.9160305
<i>Retama raetam</i>	<i>Retama</i>	Fabaceae	2.79898219
<i>Stipa tenacissima</i>	<i>Stipa</i>	Poaceae	11.4503817
<i>Artemisia alba turra</i>	<i>Artemisia</i>	Asteraceae	1.27226463
<i>Salvia verbenaca</i>	<i>Salvia</i>	Lamiaceae	0.25445293
<i>Echinops spinosus</i>	<i>Echinops</i>	Asteraceae	0.76335878
<i>Allium vineale</i>	<i>Allium</i>	Amaryllidaceae	2.54452926

II.2. Indice de Shannon (H') et Équitabilité (E)

L'indice de Shannon constitue l'un des outils les plus utilisés pour évaluer la diversité spécifique d'un peuplement végétal. Cet indice est généralement accompagné de l'indice d'équitabilité, qui permet d'apprécier la répartition relative des individus entre les différentes espèces. Ensemble, ces deux indices offrent une vision synthétique de la structure écologique d'un peuplement et sont particulièrement utiles pour suivre ses évolutions temporelles.

Dans le cadre de notre étude, les calculs réalisés pour ces deux indices sont présentés dans le Tableau N°12. L'indice de Shannon (H') a été estimé à 1,04, ce qui reflète une faible diversité et un peuplement relativement homogène, caractérisé par la dominance marquée de l'espèce *Atriplex canescens*.

Quant à l'équitabilité (E), sa valeur a été estimée à 37 %, indiquant un déséquilibre important dans la répartition des individus, avec une prépondérance nette d'une seule espèce sur l'ensemble du peuplement. En effet, *Atriplex canescens* représente à elle seule plus de 80 % de la contribution spécifique, confirmant ainsi son rôle dominant dans la structure floristique de la station étudiée.

Tableau N°11 : Indice de diversité spécifique ou indice de Shannon « H' » et l'équitabilité « E » dans le parcours planté.

(H')	(E)
1,044	0,372

II.3. Type biologique

L'analyse des types biologiques des espèces recensées dans la station de plantation révèle une forte dominance des chaméphytes, représentant 82 % du total. Cette prédominance est directement liée à la présence massive de *Atriplex canescens*, espèce introduite dans le cadre des actions de plantation. Par ailleurs, le pâturage joue également un rôle important dans le maintien de cette dominance, dans la mesure où les chaméphytes sont généralement moins consommés par les troupeaux, ce qui leur confère un avantage sélectif.

Les cryptophytes sont représentés dans la station avec une proportion de 11 %, tandis que les hémicryptophytes apparaissent de manière très limitée, avec seulement 3 %. La présence des phanérophytes a également été enregistrée à hauteur de 3 %, représentée essentiellement par l'espèce *Retama raetam*.

Cette structure biologique du peuplement végétal reflète les conditions écologiques spécifiques du site, ainsi que l'influence des pratiques anthropiques telles que les plantations et le pâturage.

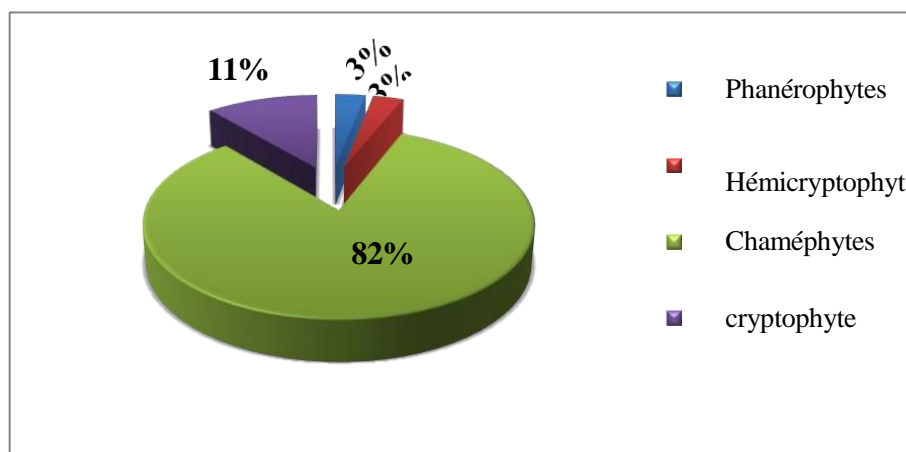


Figure N°18: Spectres biologiques de la zone d'étude.

II.4. Spectres biogéographiques

L'analyse des spectres biogéographiques des deux stations étudiées révèle une richesse notable en éléments chorologiques. Cette diversité témoigne d'une composition floristique variée dont la répartition reste hétérogène. Les différents types chorologiques identifiés ainsi que leur fréquence respective sont présentés dans les figures ci-après.

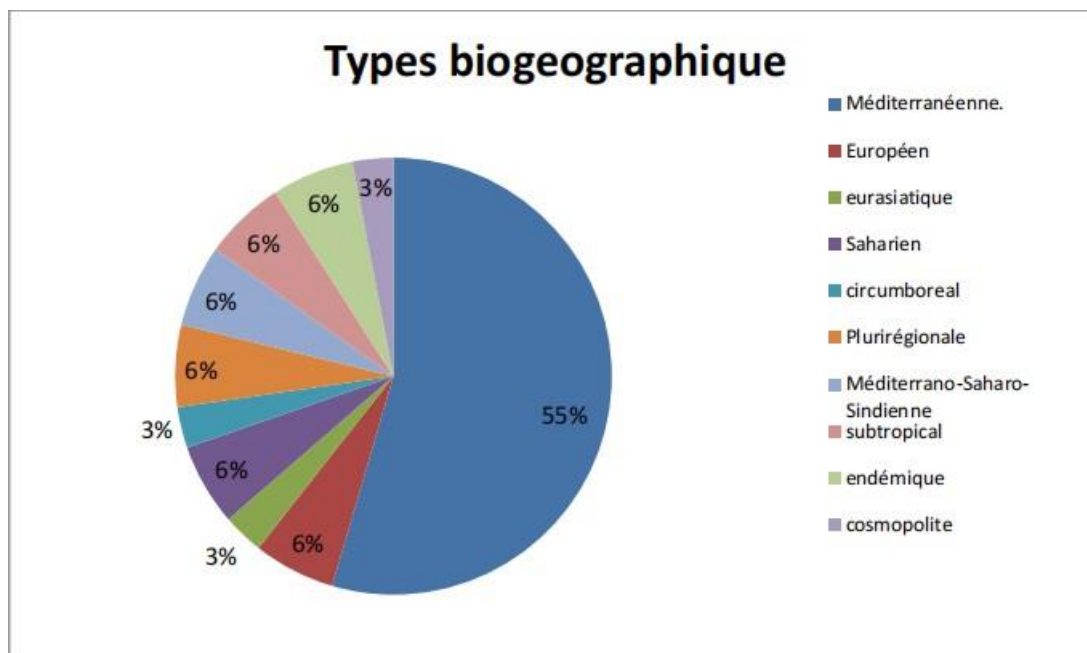


Figure 19 : Spectre biogéographique des espèces recensées à la station d'Aflou.

II.5. Analyse des spectres biogéographiques

L'analyse des données graphiques met en évidence une diversité floristique notable, caractérisée par une prédominance marquée de l'élément méditerranéen, qui représente environ 55 % de la flore recensée au niveau de la station d'Aflou. Cette dominance s'illustre par rapport aux autres types biogéographiques, qui apparaissent en proportions moindres et variables. Certains types, tels que l'élément plurirégional et l'élément méditerranéo-saharo-sindien, affichent des fréquences équivalentes avoisinant les 6 %. En revanche, les formes endémiques sont faiblement représentées, avec une proportion inférieure à 3 %.

Cette forte représentation de l'élément méditerranéen dans les stations étudiées s'inscrit dans la continuité des observations réalisées dans d'autres régions d'Algérie, comme le confirment les travaux de Quézel (1995) et Le Houérou (1995). Ces derniers soulignent le rôle prépondérant de l'élément méditerranéen dans la composition actuelle de la flore méditerranéenne nord-africaine.

L'élément plurirégional désigne les espèces à large répartition géographique, s'étendant sur plusieurs zones biogéographiques. Selon Aidoud (1997), la présence notable de ces espèces pourrait être attribuée à l'impact croissant de l'anthropisation, laquelle tend à homogénéiser les communautés végétales. Ce processus entraîne également une thérophytisation progressive de la flore, marquée par une augmentation des espèces annuelles opportunistes, souvent mieux adaptées aux milieux perturbés.

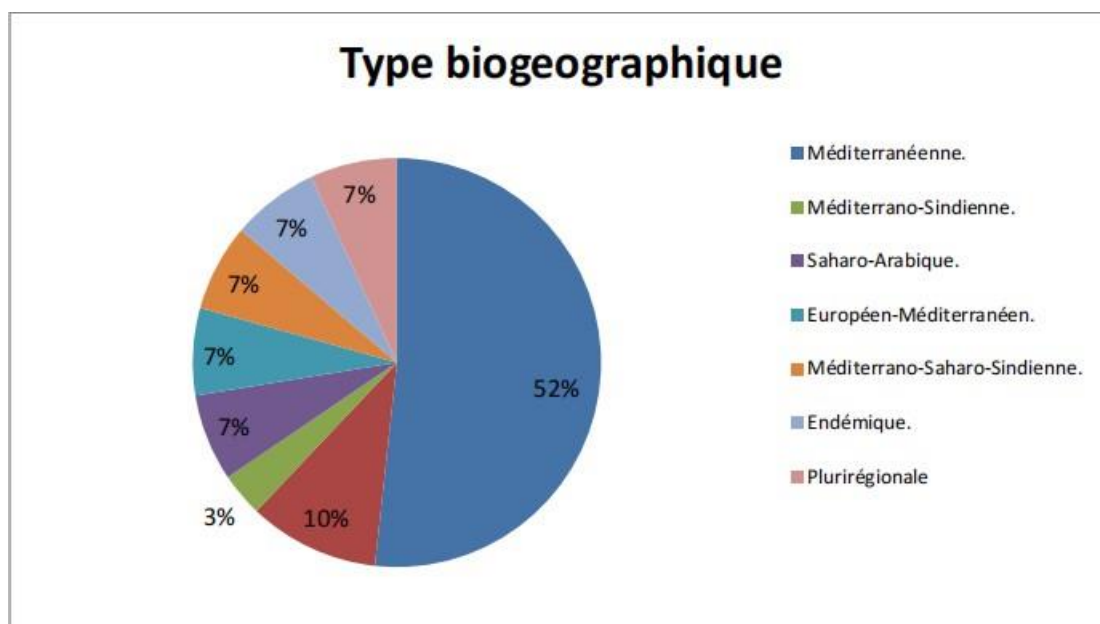


Figure 20 : Spectre biogéographique des espèces recensées à Laghouat.

Interprétation du spectre biogéographique :

L'analyse du spectre biogéographique établi pour la zone d'étude (figure 20) révèle une nette prédominance de l'élément méditerranéen, qui constitue 52 % des espèces recensées. Il est suivi par l'élément saharien, représentant 17 % de l'ensemble. Cette prépondérance de la composante méditerranéenne s'explique par l'appartenance biogéographique de la région au bassin méditerranéen, ce qui est en accord avec les observations de Hanifi (2008).

Quézel (1995) souligne que les lignées saharo-arabes demeurent très peu fréquentes au sein du domaine méditerranéen. Par ailleurs, Quézel (1999) indique que le faible taux d'éléments endémiques à l'échelle régionale résulte principalement de la dégradation croissante des habitats naturels, entraînant la disparition progressive de nombreuses espèces. Dans notre étude, les espèces endémiques ne représentent que 8 % de la flore totale identifiée.

La rareté relative de ces éléments endémiques pourrait être attribuée à une combinaison de facteurs, notamment les effets des changements climatiques, la pression anthropique croissante, ainsi que les exigences écologiques particulières de ces espèces, liées à la spécificité de leurs biotopes. Les autres éléments chorologiques sont présents à des proportions marginales, ne dépassant pas 4 %.

III.

Analyse floristique :

III.1. Richesse floristique et contribution au tapis végétale :

Dans la station plantée, nous avons enregistré 7 espèces appartenant à 6 familles (Tableau 12), Avec la dominance de la famille des Amaranthaceae qui occupe (80.91 %) du peuplement avec 1 espèce *Atriplex canescens* (Due à plantation de l'*Atriplex canescens*), suivi par les Poaceae (11.45%), les Fabaceae (2.79%), les Amaryllidaceae (2.54%), les Asteraceae (2.03 %) et les Lamiaceae (0.25). La richesse floristique en zone aride dépend essentiellement des espèces annuelles, des conditions du milieu et de la corrélation de l'ensemble de ces variables (climat – édaphisme – exploitation) **Aidoud., 1989.**

Tableau N°12: Répartition des espèces inventoriées et leur contribution spécifique au tapis végétale.

Nom de l'espèce	Genre	Famille	Csi (%)
<i>Atriplex canescens</i>	Atriplex	Amaranthaceae	80.9160305
<i>Retama raetam</i>	Retama	Fabaceae	2.79898219
<i>Stipa tenacissima</i>	Stipa	Poaceae	11.4503817
<i>Artemisia alba turra</i>	Artemisia	Asteraceae	1.27226463
<i>Salvia verbenaca</i>	Salvia	Lamiaceae	0.25445293
<i>Echinops spinosus</i>	Echinops	Asteraceae	0.76335878
<i>Allium vineale</i>	Allium	Amaryllidaceae	2.54452926

Conclusion

Conclusion

La région de Laghouat, localisée dans le sud des montagnes de l'Atlas Saharien, présente un climat saharien caractérisé par des hivers frais, des précipitations annuelles faibles et une évaporation potentielle élevée. La végétation naturelle de cette région est principalement de type steppique, composée d'espèces végétales adaptées aux conditions climatiques arides. Toutefois, les effets du changement climatique, notamment l'augmentation des températures et les modifications du régime pluviométrique, mettent en péril la pérennité de cette végétation.

Notre étude a été menée dans le but d'évaluer l'impact du changement climatique sur la végétation des régions de Laghouat et d'Aflou. Les résultats obtenus révèlent que ce phénomène exerce déjà des influences notables sur la flore locale, comme en témoignent les observations suivantes :

- **Diminution de la couverture végétale** : L'élévation des températures et la progression de la sécheresse entraînent une réduction significative de la couverture végétale, en particulier dans les zones les plus arides.
- **Modification de la composition floristique** : Il existe une disparition progressive des espèces les plus vulnérables aux variations climatiques, tandis que des espèces plus résistantes à la sécheresse tendent à se multiplier.
- **Dégradation des sols par l'érosion** : L'érosion des sols s'intensifie, marquée par une augmentation des éléments de sol dénudés et une diminution de la couverture végétale protectrice.
- **Variation des paramètres climatiques** : La température moyenne annuelle a connu une hausse significative au cours des dernières années, parallèlement à une diminution des précipitations annuelles.
- **Disparition ou délocalisation des espèces végétales** : Plusieurs espèces ont disparu de la région, tandis que d'autres ont vu leur aire de distribution géographique se modifier.

- **Différences entre Laghouat et Aflou** : Aflou, en raison de son altitude plus élevée, présente une végétation plus diversifiée, incluant des espèces forestières. Cependant, le changement climatique pourrait avoir des répercussions plus graves sur la végétation forestière de Laghouat, entraînant une perte de biodiversité et une fragilisation accrue des sols.
- **Impact de la sécheresse à Laghouat** : Laghouat, déjà fortement affectée par la sécheresse, pourrait voir cette dernière se renforcer sous l'effet du changement climatique, avec un risque accru de désertification.

Le changement climatique constitue ainsi une menace sérieuse pour la végétation de la région de Laghouat. Les effets négatifs sont déjà visibles et devraient se renforcer dans les décennies à venir. Il devient donc impératif de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation afin de préserver cette végétation, ainsi que les services écosystémiques qu'elle procure.

Résumé :

Cette étude examine les effets du changement climatique sur la végétation dans les régions de Laghouat et Aflou. Les résultats révèlent une transformation radicale du climat au niveau des stations d'observation. Concernant les paramètres climatiques, une augmentation des températures et une réduction des précipitations ont été observées. La station d'Aflou a connu une transition du climat sub-humide au climat semi-aride, tandis que la station de Laghouat est passée d'un climat semi-aride à un climat saharien. Ce changement a eu des répercussions sur la composition floristique de chaque étage bioclimatique, avec une dominance de Phanérophytes et de Thérophytes dans l'étage semi-aride supérieur, et une prédominance de Chaméphytes et de Thérophytes dans l'étage saharien. Le type biogéographique dominant pour les deux stations est méditerranéen. Ces évolutions ont un impact notable sur la richesse spécifique des stations, comme en témoigne l'indice de Shannon, qui est de 2.06 pour la station d'Aflou et de 1.06 pour celle de Laghouat.

Mots-clés : climat, végétation, Laghouat, Aflou, changement climatique.

Summary:

This dissertation investigates the impact of climate change on vegetation in the Laghouat and Aflou regions. The study reveals a radical shift in climate at the observation stations. In terms of climate elements, there has been an increase in temperature and a decrease in precipitation. The Aflou station transitioned from a sub-humid climate to a semi-arid one, while the Laghouat station shifted from a semi-arid climate to a Saharan bioclimatic stage. This change has significantly affected the floristic composition of each bioclimatic stage. In the upper semi-arid stage, Phanerophytes and Therophytes dominate, whereas in the Saharan stage, Chamephytes and Therophytes prevail. The dominant biogeographical type for both stations is Mediterranean. These changes have had a marked impact on the species richness of the stations, as reflected in the Shannon index, which is 2.06 for the Aflou station and 1.06 for the Laghouat station.

Key words: climate, vegetation, Laghouat, Aflou, climate change.

المخلص:

تستعرض هذه الأطروحة تأثير تغير المناخ على الغطاء النباتي في منطقتي الأغواط وأفلو. تكشف الدراسة عن تغير جذري في المناخ في محطات الدراسة. فيما يتعلق بالعناصر المناخية، تم ملاحظة ارتفاع في درجات الحرارة وانخفاض في معدلات الهطول المطري. انتقلت محطة أفلو من مناخ شبه رطب إلى مناخ شبه جاف، بينما انتقلت محطة الأغواط من مناخ شبه جاف إلى مناخ صحراوي حيوي. هذا التغير كان له تأثير مباشر على التركيبة الزهرية لكل مرحلة من المراحل المناخية الحيوية. في المرحلة شبه القاحلة العليا، تهيمن النباتات الفانيروفيتية والنباتات الثيروفية، بينما في المرحلة الصحراوية، تهيمن النباتات الشامية والنباتات الثيروفية. النوع الجغرافي الحيوي السائد في كلا المحطتين هو البحر الأبيض المتوسط. أثرت هذه التغيرات بشكل كبير على الغنى النوعي للمحطات، كما يتضح من مؤشر شانون، الذي بلغ 2.06 في محطة أفلو و1.06 في محطة الأغواط.

الكلمات المفتاحية: المناخ، الغطاء النباتي، الأغواط، أفلو، تغير المناخ.

Références bibliographiques

- **Aidoud L F., (1984)** : Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais ; étude phyto-écologique et syntaxonomique. Thèse Doctorat 3ème Cycle. USTHB, Alger, 253 p. + Ann.
- **Alfred A. (2002)** : Météorologie. L'INRP-France, 23p.
- **Baldy C. et Stigter C.J. (2000)** : Agro météorologie des régions chaudes. Première édition, Armand Colin, France, 246p.
- **Baldy, M., & Stigter, E. (1993)** : Le climat de la Terre : Passé, présent, avenir. Éditions Armand Colin.
- **Belarbi, (2010)** : Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA. Mémoire de Magister Université Abou BekrBelkaid.
- **Brochet P., Payen D. et De Parcevaux S. (1990)** : Dictionnaire encyclopédique de l'agro climatologie. INRA, France, 319p.
- **Chehma A., Faye B., Djebbar M. A., (2008)** : Productivité fourragère et capacité de charge des parcours camelins du Sahara septentrional Algérien. Sécheresse., 19 (2) : 115-21.
- **Daget Ph., 1977** : Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, méthodes de classification, Vegetation, 34 1 : 1-20.
- **Daget Ph., Gaston A. et Forgiarini G. (2003)** : Comparer des relevés de dates différentes au même emplacement. Exemple du Tchad. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. 56 (3-4) : 163-166.
- **Daget, P., et Poissonet, J., 2010.** Prairies et pâturages, méthodes d'études et interprétations. Association Française de pastoralisme, CNRS, CIRAD ,955p
- **Djebaili S., (1984)** : Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppique et de l'Atlas saharien. O.P.U Alger, 177p. +Ann.
- **Djebaili S., (1978)** : Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algériens. Thèse Doct. Etat, Univ. Sei. Techn. Languedoc, Montpellier, 220p.
- **DJEDIA S,2016** : L'effet de type d'aménagement sur la flore desparcours steppiques de la wilaya de Laghouat. Mémoire Master. UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
- **Djellouli Y., (1990)** : Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct. Sciences, USTHB., Alger, 210
- **Doukpolo, (2014)** : dynamique des systèmes climatiques et développement (agro climatologie) climatiques et productions agricoles dans l'ouest de la république centrafricaine. Mémoire de docteur de l'université d'abomey-calavi.
- **Emberger J., (1960)** : Esquisse géologique de la partie orientale des monts d'Ouled Nails. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin 27. Nouvelle série.399p.

- **Emmanuel. Le Roy Ladurie. (1967)** : Histoire du climat depuis l'an mil, | Nouvelle Bibliothèque Scientifique France. pp. 882-889
- **Faci, M. (2021)**. Impacts du changement climatique sur le cycle phénologique du palmier dattier (Cas de Deglet Nour aux Ziban) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider de Biskra.
- **FAO (2008)** : Développement des terres arides et lutte contre la désertification (département des forêts), 21p.
- **Floret Ch., Galan, M.J., Le Floc, h., Orshan, G., Romane, F., (1990)**: Growth forms and Phen morphology traits along an environmental gradient: tools for study vegetation. Journal of Végétation Science 1, 71- 80
- **Gachon P. (2006)** : Variabilité, extrêmes et changements climatiques au Québec : de l'observation à la modélisation. 74eme congrès de l'ACFAS /université Mc Gill Montréal, 124p.
- **Gausson H., (1957)** : Les climats biologiques et leur classification, In : Annales de Géographie. 1957, t. 66, n°355. pp. 193-220.
- **Georges, F., & Estienne, P. (2003)**. **Climatologie** : Approche physique et mathématique. Éditions Dunod
- **GIEC (2008)** : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse 103 p.
- **Gounot M., 1969**. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson éd., Paris, 314 p.
- **Guellouza M., Mekanzia Meriem., (2021)** Inventaire et caractérisation de la biodiversité floristique au niveau d'EL- Gheicha wilaya de Laghouat. UNIVERSITE AMAR TELIDJI-LAGHOAT.
- **Guyot G. (2001)**: Climatologie de l'environnement. Deuxième édition, DUNOD, paris, France, 525p.
- **Haddad., A. (2011)** : Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée de la région de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider de Biskra, Département des Science).
- **Halitim A. (1988)** : Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger,
- **Hammouda R., (2009)** : Contribution à l'élaboration d'un modèle de gestion durable d'un parcours steppique dans la commune de Hadj Mechri Wilaya de Laghouat. Thèse Magister, USTHB, Alger. 142 p.
- **Hannachi A., (1981)** : Relation entre aquifères superficiels et profonds : Hydrogéologie de la vallée d'oued M'zi à l'Est de Laghouat. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 121p.

- **Houyou Z., (2015) :** Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat). Thèse Doctorat, USTHB, Alger. 168p.
- **I.A.P., (1972) :** Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 de Laghouat. Institut du pétrole Algérien. Rapport collectif dirigé par le professeur J.Guillemot. 110 p.
- **Ihaddadene A., 2016.** Les relations sol-végétation de la série dynamique du chêne vert : évaluation de la diversité floristique et édaphique. Thèse Doctorat, USTHB, Alger, 152 p. + Ann...
- **Isabelle B. et Alain L. (2008):** climat et effet de serre (Enquête sur le réchauffement de la planète). La revue en ligne de (Science actualité), 28p.
- **Jean-Claude Gall., (1998) :** paléoclimatologie, paysages et environnements disparus, deuxième édition, Paris, Milan, Barcelone, 238p.
- **Krebs C.J., 1999.** Ecological Methodology. 2e Edition. Benjamin Cummings, Menlo Park, 620p
- **Le Floch E et al., (1992):** L'aridité une contrainte au développement. Première édition, ORSTOM Paris, 597p.
- **Le Houérou H. N., (2001):** Biogeography of the arid steppe land north of the Sahara. J. Arid Environ., 48 : 103-128.
- **Le Houérou H. N., (1969) :** La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc. Institut Natimral Recherche Agronomique Tunisie, 42, 624 pp +- 1carte couleur U500 000.
- **Le Houérou H. N., (1995):** Bioclimatology and biogeography of arid steppes in North Africa, Mediterranean Options, Ciheam, Montpellier, 408 p.
- **Le Floch E., (2008) :** Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation, Collection Roselt /OSS, C.T N° 1, Tunis, 175p.
- **Leroux M. (2000) :** La dynamique du temps et du climat. Deuxième édition, Masson science, DUNOD, Paris, 367p.
- Magister en biologie. Université d'Oran.
- **Magurran A.E. (2004):** Measuring biological diversity. Black well, Oxford, 256 p
- **Marc M. (2001):** Les évolutions du climat. IRD et l'AGROPOLIS, MontpellierFrance, 46p.
- **Meddour r. (2010) :** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie : exemple des groupements forestiers et préforestier de la Kabylie Djurdjurenne. Thèse de Doct., Univ. Mouloud Mammeri, Tizi Ouezou, 397 p + annexes.
- **Mélanie R. D. et Marc B.C. (2002):** Désertification et environnement mondial (de projets de développement localisés à la notion de biens publics mondiaux). Résumé exclusif de l'étude réalisé dans le cadre du contrat AFD n° 2002/dpe/fem/rg/vf/141p.

- **Monjauze A., (1968)** : Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* en Algérie, Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord. Tome 56- 2. 128 p.
- **Nedjraoui D. et Bédrani, S., 2008.** „La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte, VertigO: la revue électronique en science de l'environnement, Vol. 6, No. 1
- **Nedjraoui D., (2002)** : Les ressources pastorales en Algérie. Doc FAO en ligne : www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm
- **Olden J., Rooney T., (2006)** : On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecol. Biogeogr.*, 15, 113-120.
- **Ozenda P. (1983)** : Flore du Sahara. 2e édition. Ed. CNRS, Paris, 622 p.
- **Péguy C.P., (1970)** : Précis de Climatologie. Paris,. Masson, 2ème édition, p468
- **Pouget M. (1980)**: Les relations sol végétation dans les steppes sud algérois, O.R.S.T.O.M. - Paris -569p.
- **Quézel P., (2002)** : Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. IBISPRESS : 112 p
- **Ramade F. (2003)**. Eléments d'écologie, écologie fondamentale. DUNOD, Paris.
- **Raunkiaer C. (1934)** : **The life forms of plants and statistical plant geography.** Clarendon Press, Oxford, 632 p.
- **Richard Alley (2007)**: Climate change 2007 (The physical science basis). 10th session of working group1 of IPCC, Paris ,79p.
- **Seltzer P., (1946)** : Le climat de l'Algérie. Alger, Algérie, Institut de météorologie et physique du globe, 219 p.
- **Sow et Bathiery. (2022)** : Vulnérabilité de la commune de Djilor (Fatick, Sénégal) aux changements climatiques et stratégies d'adaptation des communautés.
- **Stambouli-Meziane H , Bouazza M, Thinon M.** La diversité floristique de la végétation psammophile de la région de Tlemcen (nord-ouest Algérie). *C. R. Biologies.* 2007 [cité le 9 juin 2009] ; volume 332, 711–719. [Doi:10.1016/j.crv.2009.03.007](https://doi.org/10.1016/j.crv.2009.03.007).
- **Sylvie J. (2007)**: Climate change research in France 2007. INSU- France, 20p.
- **Tabeaud M. (2000)**: La climatologie générale. Faculté de géographie, première édition, ARMAND COLIN Paris, 96p.
- **Tarhouni M., Ouled Belgacem A., Neffati M. and Henchi B., 2007.** Qualification o rangeland degradation using plant life history strategies around watering points in

southern Tunisia. Pakistan Journal of Biological Science 10 (8) : 1229-1235.

- **Whittaker R.H. 1977.** Evolution of species diversity in land communities. In: Hecht, M.K. and Steere, B.W.N.C. Eds., Evolutionary Biology, Plenum Press, New York, 10, 1-67.
- **Yahiaoui D. (2015)** : Impact des variations climatiques sur l'agriculture en Oran. Thèse de
- **Youcefi M. (2021)** : Études écologique et biogéographique des formations forestières et pré-forestières de la région de Djebel Amour, Atlas saharien. Thèse Doct. Université Kasdi Merbah – Ouargla –Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- **LE FLOC'H (2008).** Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation. *Collection Roselt/OSS*, C.T N° 1, Tunis. 175p.
- **Merabta S, Zerafa Ch, Benlaribi M.** Y A-T-II Une Relation Entre Teneur En Chlorophylle Et Accumulation De La Proline Chez Les Céréales À Paille Sous Déficit Hydrique. European Scientific Journal. May 2018 ; v14n15p234.
[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p234.](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p234)
- **Marcel Pouget.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud algéroises. TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S. T. O.M – PARIS. 1980 ; p 134.
- **Mehani M, Bissati S, Djeroudi O.** Effet d'eau de mer sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'Atriplex canescens (Effect of seawater on two water parameters (turgescence and transpiration) of young plants of Atriplex canescens) 2012 ; p844.
- **Mouri Ch , Benhassaini H , Bendimered FZ, Belkhodja M.** Variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*Ammophila Arenaria* (L.) Link) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'Algérie, Acta Botanica Gallica. (2012), 159:1, 127-135. DOI: 10.1080/12538078.2012.673822.
- **NEDJRAOUi D, BÉDRANI S.** La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1, avril 2008.
- **NEDJIMI B, GUIT B.** LES STEPPES ALGÉRIENNES: CAUSES DE DÉSÉQUILIBRE. Algerian journal of arid environment. 2012 [cité en Décembre 2012] ; vol. 2, n° 2: 50-61.
- **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.

- **Nedjimi B., 2006.** Problématique des zones steppiques algériennes et perspectives d'avenir. Revue du chercheur, 4 :13-19p.
- **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.
- **Pouget M.(1980).** Les relations sol-vegetation dans les steppes sud-Algéroises. doc.
- **Prévost, P. 1999.** *Les bases de l'agriculture.* Paris : Technique et documentation. 243 p.
Plant cell and environment. 21: 535 - 553 p.