

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement
Spécialité : ÉCOLOGIE



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Analyse de l'impact de la dégradation des
sols sur la biodiversité par une approche
géomatique et pédologique: cas de l'antenne
de Chemini (Béjaia).**

Présenté par :

ABDELLI Lilya & BOUGHANEM Merezkane

Soutenu le : 1^{er} juillet 2025

Devant le jury composé de :

M. SIDI Hachemi	MCA	Président
Mme. MESBAH Melilia	MCB	Encadrant
M. RAMDANI Nacer	MCB	Co-encadrant
Mme. KHERFALLAH Tassadit	MAA	Examinatrice

Année universitaire : 2024 / 2025

REMERCIEMENTS

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mme MESBAH Melilia, pour son encadrement éclairé et son engagement sans faille qui ont été le pilier de ce travail. Sa rigueur scientifique, ses conseils avisés et sa disponibilité exceptionnelle ont transformé Chaque défi en opportunité d'apprentissage.

Nos remerciements les plus sincères vont également à Mr RAMDANI Nacer, pour son soutien précieux et son expertise qui ont enrichi notre réflexion méthodologique. Ses remarques constructives et sa vision stratégique ont grandement contribué à la Pertinence des analyses présentées. Et nous lui souhaitons une retraite paisible et une Longue vie en bonne santé

À travers eux, nous avons découvert que la recherche était autant un chemin d'exigence qu'une aventure collective. Leur double guidance technique et humaine restera un modèle inspirant pour notre carrière.

Nos remerciements vont également à tous les membres de jury Mr SIDI Hachemi et Mme KHERFALLAH Tassaadit qui ont bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à L'ensembles des agents forestiers du secteur Chemini ainsi que la Direction de la Conservation des Forêts de la Willaya de Bejaia pour leurs aimable accueil et aides

Pour terminer, nous remercions toute personne qui a participé

De près ou de loin, à la réalisation de ce travail

ABDELLI, L
BOUGHANEM, M

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, pour leur tendresse, leur sacrifice, leur

Patience et leur soutien.

A tous les membres de ma famille, petits et grands.

Que Dieu vous gardes et vous protèges.

A tous mes amis sans exception

*A ma binôme : **Lilya***

A toute l'équipe de de la promo, que j'ai partagé avec eux des

Agréables moments.

A tous ceux qui mon aidé à l'élaboration de ce travail.

Merezkane

DÉDICACES

Dédicaces

A mes parents, piliers de ma vie, dont l'amour, les sacrifices silencieux m'ont portée plus loin que je ne l'aurais cru.

A mon mari, dans le silence de tes gestes et la force tranquille de ta présence, j'ai puisé le courage nécessaire pour aller jusqu'au bout. Ton soutien discret a été le pilier sur lequel j'ai construit chaque pas, et ta constance à mes côtés, un refuge inestimable dans cette aventure.

A mes sœurs et à leurs petites familles, pour leur affection constante et leur présence lumineuse dans chaque étape de mon chemin.

A mon frère et sa petite famille, pour leur soutien discret mais profond, et pour les liens familiaux qui me rappellent où sont mes racines.

A ma meilleure amie Nora, ta présence, même dans les silences, m'a apportée plus que mille discours. Ton écoute, ta bienveillance et ta fidélité ont éclairé ce parcours et je n'oublierai jamais la force tranquille que tu m'as donnée sans rien attendre en retour.

A mes amis et amies, compagnons de route, merci pour les rires partagés, les encouragements et les moments simples qui ont rendu cette aventure plus belle.

A toi Toutou, ta rigueur et ton engagement m'ont portée quand tout semblait lourd.

Tu as su porter l'essentiel, et c'est à jamais gravé dans ce succès que nous partageons.

*A mes encadreurs **Mme MESBAH** et **Mr RAMDANI**, pour leur rigueur, leur disponibilité et la confiance qu'ils m'ont témoignée tout au long de ce travail. Et une pensée particulière à **Mr RAMDANI**, dont l'écoute, la bienveillance et les conseils avisés ont profondément marqué mon chemin et dont ce travail marque aussi les derniers pas dans une belle carrière académique. Que cette retraite soit à la hauteur de votre dévouement.*

A mes enseignants, qui m'ont transmis bien plus que des savoirs.

A vous tous, je dédie avec gratitude et émotion ce travail, fruit d'un parcours nourri par votre présence, vos valeurs et votre confiance.

A vous tous, un grand MERCI.

LILYA

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de végétation du Nord de l'Algérie (image Spot végétation, avril-2011)	4
Figure 2 : images satellites multi-Spectrales à large bande (Landsat-8).....	12
Figure 3 : Architecture du concept opérationnel de mission (Landsat-9).....	12
Figure 4 : Triangle des textures (USDA, 1954)	17
Figure 5 : Quelques exemples de structure du sol	19
Figure 6 : Cartes de situation administrative de la forêt de l'Akfadou-Est.....	23
Figure 7 : Diagramme ombrothermique de la forêt d'Akfadou (Chemini, Bejaïa, 2025)	25
Figure 8 : Situation bioclimatique de la station d'étude sur le Climagramme D'Emberger.....	26
Figure 09 : Images satellitaires situant la zone d'étude	33
Figure 10 : Cartes de végétation NDVI de l'Akfadou de 2013 à 2024.....	42
Figure 11 : Cartes représentatives des feux de forêts de l'Akfadou de 2012 à 2023	43
Figure 12 : Les surfaces affectées par les incendies selon les indices NDVI (2013–2023.....	46
Figure 13 : Profil 1 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 1)	51
Figure 14 : Horizon organique (A ₀ ou O) du profil 1.....	52
Figure 15 : Profil 2 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 2).....	54
Figure 16 : Profil 3 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 3).....	56
Figure 17 : Profil 4 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 4).....	58
Figure 18 : Profil 5 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 5).....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Les différentes classes granulométriques de sol.....	16
Tableau II : Tableau Répartition de surface de la forêt de l'Akfadou-Est par cantons	23
Tableau III : Données météorologiques mensuelles de la forêt d'Akfadou (Chemini, Bejaïa).....	24
Tableau IV : Valeurs du quotient pluviothermique de Stewart pour la forêt de Chemini	26
Tableau V: Classification selon la densité de végétation.....	29
Tableau VI : coordonnées géographiques des relevés floristiques.....	32
Tableau VII: dates et références des images satellites USGS, FIRMS	40
Tableau VIII : Principaux facteurs de dégradation des sols et leurs impacts.....	45
Tableau IX : Résultats des analyses physiques des sols	62
Tableau X : Résultats de l'analyse granulométrique.....	64
Tableau XI : Résultats de l'analyse de la battance.....	65
Tableau XII: Résultats des analyses chimiques des sols	66
Tableau XIII : Résultats de l'analyse des bases échangeable.....	70

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index.....	2
DGF : Direction Générale des Forêts	4
B.N.E.F : Bureau National d’Etude Forestière	5
TOPS : Programme Technical and Operational performance support.....	15
AAF : Académie d'Agriculture de France	69
MAAARO : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario .	71

LISTE DES ABRÉVIATIONS

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Liste des Abréviations	

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1-Les écosystèmes forestiers en Algérie.....	4
2-La forêt d'Akfadou	4
3-Facteurs de dégradation.....	5
4-Feux de forêts	6
5-Impact des feux de forêt sur le sol forestier	7
5-1-Altérations physiques du sol.....	7
5-2-Perturbations chimiques et nutritionnelles	7
5-3-Conséquences biologiques	8
5-4-Effets hydrologiques et érosion	8
5-5-Dynamique de récupération à long terme.....	8
6- Espèces indicatrices au niveau de la forêt d'Akfadou	9
6-1- Espèces indicatrices de feux de forêt.....	9
6-2- Espèces indicatrices de surpâturage	10
7- Images satellitaires et leur fonctionnement (Landsat, Sentinel).....	10
7-1- Généralités.....	10
7-2- Principe de base et fonctionnement	11
7-2-1- Catégories de satellites	11
7-2-2- Résolution des images satellites	11
7-2-3- Traitement des données	12
7-3- Applications des images satellites.....	12
7-3-1- Suivi de la végétation	12
7-3-2- Gestion des catastrophes	12
7-3-3- Urbanisme et aménagement du territoire	12

7-3-4- Changement climatique	12
7-4- Plateformes pour accéder aux images satellites	12
7-5- Acquisition des images satellitaires	13
8-Généralités.....	13
9-Les horizons des sols	14
10-Propriétés physico-chimiques du sol	15
10-1- Texture.....	15
10-1-1- Échelle granulométrique de la texture du.....	15
10-1-2- Le triangle de texture.....	16
10-2- La structure du sol	17
10-2-1-Facteurs influençant la structure.....	17
10-2-2- Impacts fonctionnels de la structure	17
10-2-3-Degradation structurale et conséquences	18
10-2-4-Types de structures	18
10-3- La matière organique	19
10-3-1-Rôle de la matière organique	19
10-3-2-Composition de la fraction organique du sol.....	20
Chapitre II : MATERIEL ET METHODES.....	22
1-Zone d'étude	22
1-1-Présentation de la forêt domaniale de l'Akfadou	22
1-1-1-Situation géographique et administrative.....	22
1-1-2-Analyse Climatique.....	23
1-1-3-Orographie	27
1-1-4-Géologie	27
1-1-5-Hydrographie	27
1-1-6-Pédologie.....	27
2- Etude cartographique de la zone d'étude	27
2-1-Acquisition des images satellitaires	27
2-1-1-Le logiciel utilisé : QGIS 3.16.10	28
2-1-2-Traitement des données.....	29
2-1-3-Calcul de l'indice de végétation NDVI.....	29
2-1-3-1-Comparaison multi-date de la classification de l'NDVI.....	30
2-1-3-2-Calcul des différences de NDVI	30

2-1-3-3-Calcul des Variations de L'NDVI.....	31
2-1-3-4-Vectorisation et calcul des superficies	31
2-2-Etude de la végétation	31
3-Analyse pédologique des sols de l'antenne Chemini	32
3-1-Description morphologique des profils.....	32
3-2-Analyses physico-chimiques des sols	34
3-2-1-Analyses physiques des sols	34
3-2-2-Analyses chimiques des sols	36
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	40
1-Caractéristiques des images choisies	40
2-Cartographie et variation de l'indice de végétation (NDVI) de la forêt antenne de Chemin	41
2-1-Cartographie de la végétation et interprétation des résultats	41
2-2-Variation des NDVI	44
2-3-L'impact des feux de forêts sur la végétation et sur le sol	44
2-4-Estimation des surfaces brûlées durant la période 2013-2023	46
2-5-Etat de la végétation après dégradation.....	48
3-Description morphologique et analyse pédologique des sols.....	51
3-1-Morphologie des profils	51
3-2-Analyse physico-chimiques des sols	62
3-2-1-Analyse Physique des sols	62
3-2-2-Analyse chimiques des sols.....	66
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	74
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	78
ANNEXES	
RÉSUMÉ	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les forêts méditerranéennes, écosystèmes complexes et vulnérables, subissent depuis des siècles une pression anthropique croissante. En région méditerranéenne, la dégradation forestière est un phénomène ancien (**Boudy, 1952**), aggravé par la croissance démographique et des pratiques d'exploitation non durables (**Quézel et Barbéro, 1990**). Ces pressions ont entraîné une régression notable du couvert forestier, accompagnée d'une perte de biodiversité et d'une altération des fonctions écologiques (**Meddour et al., 2020**).

En Algérie, cette dynamique est particulièrement marquée dans les massifs forestiers de Kabylie, notamment dans les zéenaies et afaressaies d'Akfadou, affectées par le défrichement, les constructions illicites, les extractions de matériaux, les incendies récurrents et le vol de liège, des actions qui compromettent la régénération naturelle et l'affaiblissement de la résilience des sols (**Bensaid et al., 2006 ; Meddour et al., 2020**). Cette pression anthropique entraîne une perte de structure, une diminution de la matière organique et une augmentation de l'érosion hydrique, indicateurs d'une dégradation avancée des sols forestiers (**Meghraoui et al., 2025**).

Ces dernières années, les avancées technologiques ont profondément optimisé nos moyens d'expression cartographique, et notre approche de la gestion des données. Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil informatique conçu pour représenter et analyser les éléments présents sur Terre ainsi que les événements qui s'y déroulent (**Hessas, 2005**).

Dans le cadre de ce travail, nous avons porté notre attention sur les principaux processus de dégradation affectant les écosystèmes forestiers en Algérie, en focalisant notre étude sur la forêt de l'antenne Chemini (wilaya de Béjaïa). Elle est dominée par le chêne zéen (*Quercus canariensis*), essence relictuelle typique des forêts humides du Tell, caractérisée par ses besoins élevés en humidité et en sols profonds. Ce feuillu caducifolié, à haute valeur écologique, joue un rôle fondamental dans la conservation des sols, la régulation du microclimat forestier et le maintien de la biodiversité locale (**Quézel et Médail, 2003**).

Afin de cerner les dynamiques anthropiques, ainsi que les perturbations naturelles (incendies) pesant sur cet écosystème forestier, une analyse spatio-temporelle des perturbations a été conduite. Ce travail vise ainsi à mieux comprendre les interactions entre ces facteurs et les dynamiques de dégradation écologique, en vue de proposer des pistes de gestion durable adaptées à ce territoire forestier sensible.

Cette étude est divisée en trois chapitres complémentaires.

- **Chapitre I** : offre un aperçu des principales causes de dégradation de la forêt d'Akfadou, de sa richesse floristique, et de l'état des sols, en s'appuyant sur des données écologiques, pédologiques et cartographiques.
- **Chapitre II** : décrit la zone d'étude de la forêt de l'antenne Chemini, ses caractéristiques climatiques, géologiques et pédologiques. Il détaille ensuite les méthodes utilisées pour l'acquisition et le traitement des données satellitaires (NDVI), ainsi que les analyses physico-chimiques des sols.
- **Chapitre III** : expose les résultats de l'analyse des images satellitaires et ceux des sols de la forêt d'Akfadou. Il met en lumière les dynamiques de la végétation et les propriétés des sols. Une discussion permet d'interpréter ces données en lien avec les objectifs de l'étude.

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

1- Les écosystèmes forestiers en Algérie

La forêt algérienne s'étend sur environ 4 millions d'hectares, représentant moins de 2 % de la superficie totale du pays. Toutefois, la véritable forêt ne constitue que 1,3 million d'hectares, le reste étant composé de maquis. Le déficit forestier s'élève aujourd'hui à environ 3,8 millions d'hectares. Les efforts nationaux visant à accroître la couverture forestière ne suffisent pas à compenser les pertes principalement causées par des facteurs anthropiques, les incendies, le surpâturage et l'exploitation anarchique des ressources forestières, entraînant une régression constante de la végétation forestière (DGF, 2004).

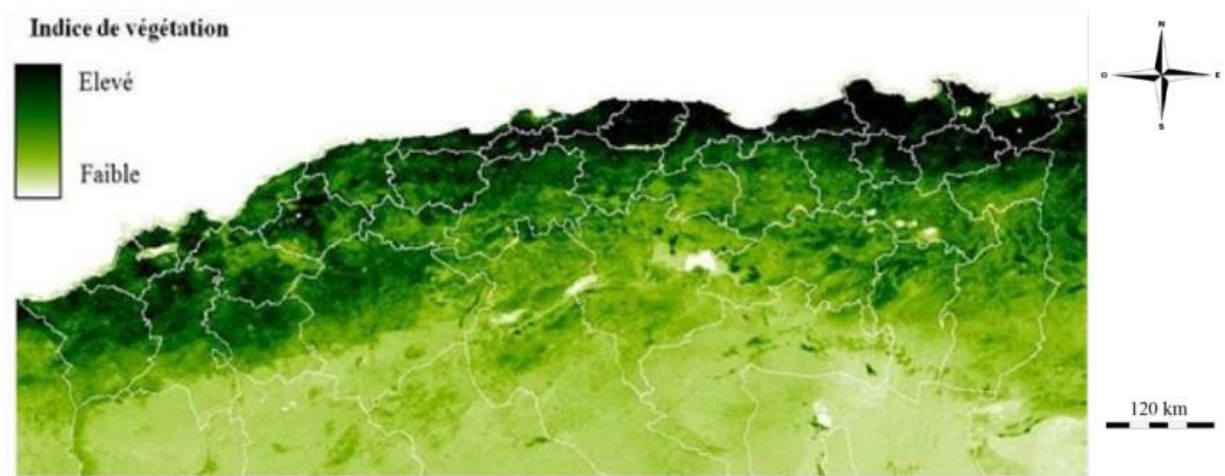


Figure 1: Carte de végétation du Nord de l'Algérie (image Spot végétation, avril-2011)

2- La forêt d'Akfadou

La forêt d'Akfadou est un trésor écologique exceptionnel, étudié par de nombreux chercheurs tels que **Lapie (1909)**, **Quezel (1956)**, **Zeraia (1981)**, **Aime *et al* (1986)**, **Khelifi (1987)**, **Salamani (1991)** et **Meddour (1993)**. Elle se distingue par une mosaïque de peuplements végétaux et une diversité floristique remarquable, abritant 435 espèces recensées), elle se démarque des autres forêts algériennes, par sa densité d'environ 1500 arbres par hectare âgés de 120 ans (**Messaoudene *et al.*, 2007**).

La première carte phytogéographique, établie par le Docteur Maire René en 1926, situe la forêt dans le secteur numidien du domaine mauritanien méditerranéen, correspondant à la zone du Tell algérien. La végétation y est très variée, influencée par les conditions climatiques et édaphiques, avec notamment la présence de (*Quercus suber*) sur des sols siliceux frais et profonds (**Maire, 1926**).

Bien que de superficie modeste, le massif forestier d'Akfadou possède une richesse floristique exceptionnelle, avec 484 taxons végétaux recensés, allant des espèces communes aux plus rares. Il abrite 16,5 % de la flore d'Algérie du Nord, se classant juste derrière le Djurdjura (39 %), mais surpassant les Babors (15,58 %) et le Gouraya (4,91 %). On y trouve 81 familles végétales, dont les plus représentées sont les graminées, les fabacées, les capparidacées et les astéracées (Bellili, 2003).

La forêt d'Akfadou-Est est principalement composée de trois espèces de chênes : le chêne zéen *Quercus canariensis*, le chêne afarès *Quercus afares* et le chêne-liège *Quercus suber*, avec une prédominance du chêne zéen (BNEF, 1988).

Le genre Chêne *Quercus spp* est bien représenté avec trois espèces principales : *Quercus afares*, *Quercus canariensis* et *Quercus suber* (Haddar *et al.*, 2016). À 1646 mètres d'altitude, le chêne zéen domine environ 45 % de la couverture forestière, tandis que le chêne afarès et le chêne-liège occupent respectivement 15% et 25 % (Messaoudene *et al.*, 2007). Les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne afarès, ainsi que de chêne zéen et de chêne-liège, couvrent environ 25% de la zone forestière. Le chêne-liège pur occupe 15% des zones périphériques. Certains individus de chênes zéens et de chêne afarès sont âgés de plus de 500 ans, témoignent l'ancienneté de ces forêts (Messaoudene *et al.*, 2007).

3- Facteurs de dégradation

La dégradation de l'environnement en Algérie est attribuée aux mêmes causes observées dans la plupart des pays maghrébins, à savoir la surexploitation des terres, le surpâturage, la déforestation, la mauvaise gestion de l'irrigation, aggravée par la croissance démographique. La combinaison de ces facteurs favorise le déclenchement et l'accélération de la désertification (Kefifa, 2020).

Les forêts subissent deux types de perturbations, distinctes par leur origine et leur impact: les perturbations naturelles et les perturbations anthropiques. Les perturbations naturelles font partie du cycle de vie des forêts et incluent la sécheresse, la dynamique climatique, les épidémies d'insectes et de maladies, les chablis et les interactions entre espèces (Mezard, 2017).

Les perturbations anthropiques englobent toutes les actions intentionnelles ou involontaires de l'homme, provoquant des dommages similaires à ceux des perturbations

naturelles, mais souvent irréversibles et dévastateurs, car elles ne font pas partie du cycle naturel de la forêt (Mezard, 2017).

4- Les feux de forêt

L'impact environnemental des incendies de végétation est majeur et se manifeste notamment par des altérations significatives des propriétés physico-chimiques des sols. Parmi les composantes les plus affectées figurent la matière organique ainsi que les éléments nutritifs essentiels à la croissance et au développement des végétaux (Martin *et al.*, 2000 ; Certini, 2005 ; Cécillon, 2008 ; Bekdouche, 2010). Sous l'effet des hautes températures générées par le feu, la matière organique est partiellement ou totalement détruite, ce qui entraîne une diminution de la capacité du sol à retenir l'eau et les nutriments. Cette déstructuration rend les sols post-incendie particulièrement sensibles à l'érosion, au lessivage des éléments minéraux, et à une dessiccation plus rapide, en conséquence, les sols brûlés deviennent moins stables et perdent une grande partie de leur fonctionnalité écologique, compromettant ainsi leur capacité à soutenir la régénération de la couverture végétale et à maintenir les équilibres biogéochimiques (Martin et Allée, 2000).

L'absence d'humus, consécutive à des perturbations telles que les incendies ou la déforestation, entraîne des modifications profondes des propriétés physico-chimiques du sol. En effet, la disparition de cette fraction organique influe directement sur la capacité de rétention en eau du sol, modifie son pH, réduit sa teneur en bases échangeables ainsi que sa concentration en carbone organique, éléments essentiels au maintien de la fertilité et de la structure édaphique. Dans les écosystèmes forestiers matures, notamment sous une végétation dense ou dans les fourrés climaciques, se forme un pédoclimax – état d'équilibre entre la végétation, le sol et le climat – qui assure une stabilité écologique à long terme. Toutefois, la destruction de cette couverture végétale entraîne une rupture de cet équilibre, provoquant une dégradation progressive du sol. Cette altération rend ensuite difficile, voire impossible à court terme, la régénération naturelle du couvert forestier, en raison de la perte de conditions édaphiques favorables à l'installation des espèces végétales pionnières et climaciques (Schmitz, 1988).

Selon les observations de Freson, Goffinet et Malaisse (1974), les sols situés sous forêts denses présentent une proportion élevée d'éléments fins (fraction comprise entre 0 et 2 microns), atteignant 60 %, tandis que cette proportion chute à 30 à 50 % dans les zones de forêt

claire, illustrant ainsi l'appauvrissement textural et structurel induit par la dégradation du couvert végétal.

5 -Impact des feux de forêt sur le sol forestier

Les feux de forêts, en tant que perturbations écologiques majeures, entraînent une série de modifications profondes au niveau des sols forestiers, affectant à la fois leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. Ces altérations peuvent avoir des conséquences durables sur la régénération de l'écosystème forestier et sur sa résilience face aux changements climatiques.

5-1. Altérations physiques du sol

L'impact thermique direct du feu modifie la structure physique du sol. Sous l'effet des hautes températures, les agrégats du sol perdent leur cohésion, la porosité diminue, et la densité apparente augmente, ce qui compromet la capacité d'infiltration de l'eau et favorise le ruissellement. Ces changements entraînent souvent une augmentation de l'érosion hydrique post-incendie (**Certini, 2005**).

Par ailleurs, le feu peut induire une hydrophobicité du sol, due à la combustion incomplète de la matière organique. Ce phénomène forme une couche imperméable qui empêche la percolation de l'eau, aggravant le ruissellement de surface. Cette couche est souvent observée après des feux de haute intensité dans les écosystèmes méditerranéens ou tempérés (**DeBano, 2000 ; Doerr et al., 2006**).

5-2. Perturbations chimiques et nutritionnelles

L'un des effets les plus immédiats des incendies sur les sols est la volatilisation des éléments nutritifs, notamment le carbone (C) et l'azote (N). À des températures supérieures à 300 °C, une part importante du C organique est perdue, et les formes volatiles d'azote sont libérées dans l'atmosphère, réduisant considérablement la fertilité du sol (**Neary et al., 1999 ; Johnson et Curtis, 2001**).

En revanche, d'autres nutriments comme le phosphore (P) et le potassium (K), bien qu'en partie volatilisés, sont également libérés sous forme de cendres, ce qui peut temporairement enrichir le sol. Toutefois, cet enrichissement est souvent transitoire, car ces éléments sont

rapidement lessivés en l'absence de couverture végétale (**Kutiel et Naveh, 1987 ; Murphy et al., 2006**).

Les incendies entraînent aussi une augmentation du pH du sol, liée à l'accumulation de cendres basiques, suivie souvent d'une baisse de la capacité d'échange cationique (CEC), en raison de la destruction de la matière organique colloïdale responsable de cette capacité (**Certini, 2005**).

5-3. Conséquences biologiques

Les communautés microbiennes du sol sont fortement affectées par les températures élevées induites par les incendies. Une partie significative de la biomasse microbienne est détruite, et l'activité enzymatique, essentielle aux cycles biogéochimiques, est réduite. La recolonisation microbienne peut prendre plusieurs mois à plusieurs années, selon la sévérité de l'incendie, la nature du sol, et la disponibilité en matière organique (**Mataix-Solera et al., 2009 ; Holden et al., 2016**).

Le feu affecte également les cycles de l'azote, en supprimant les microorganismes fixateurs de N et en diminuant la quantité totale de N disponible. Après un pic de minéralisation dans les semaines suivant le feu, les concentrations retombent souvent à des niveaux inférieurs à ceux antérieurs (**Baird et al., 1999**).

5-4. Effets hydrologiques et érosion

La réduction de la couverture végétale post-incendie expose directement le sol à l'action de la pluie, du vent et du ruissellement. Les sols deviennent ainsi très sensibles à l'érosion, surtout dans les zones à forte pente. L'intensité de cette érosion dépend de la sévérité de l'incendie, de la nature du sol et des conditions météorologiques postérieures (**Wells et al., 1979 ; Shakesby et Doerr, 2006**).

5-5. Dynamique de récupération à long terme

La récupération des sols après un incendie est un processus lent. La régénération des stocks de carbone et d'azote peut prendre plusieurs décennies. Selon les travaux de **Switzer et al. (1979)**, la restitution du carbone organique à ses niveaux pré-incendie peut nécessiter de 20 à 80 ans, et celle de l'azote jusqu'à 75 ans, selon le type d'écosystème. Les conditions

climatiques, la fréquence des incendies et la stratégie de gestion post-feu influencent fortement cette dynamique.

L'installation de végétaux pionniers, notamment des légumineuses fixatrices d'azote, contribue significativement à la restauration de la fertilité du sol, en favorisant l'accumulation progressive de matière organique et en rétablissant les conditions propices au retour des microorganismes du sol (Lucas-Borja *et al.*, 2019).

6- Espèces indicatrices au niveau de la forêt d'Akfadou

6-1- Espèces indicatrices de feux de forêt

La forêt d'Akfadou, qui est parsemée d'arbres autochtones caractéristiques tels que le chêne zen *Quercus canariensis* et le chêne-liège *Quercus suber*, est souvent sujette à des incendies. Les espèces suivantes indiquent fréquemment les traces d'un incendie :

1. **Cistes (*Cistus* spp.)** : Les cistes, en particulier le *Cistus monspeliensis* et le *Cistus salviifolius*, sont des buissons qui s'épanouissent sur les terrains calcinés et se propagent rapidement dans les sols carbonisés. La croissance de ces derniers est favorisée par la forte chaleur des incendies (Boudy, 1952 ; Djebaili, 1984).

2. **Calicotome épineux (*Calicotome spinosa*)** : Cette plante épineuse se rencontre fréquemment dans les régions ravagées d'Akfadou, où elle se régénère en générant de nouvelles tiges à partir de ses racines (Boudy, 1952).

3. **Bruyère arborescente (*Erica arborea*)** : La bruyère arborescente, qui résiste bien au feu, repousse rapidement après un incendie, contribuant ainsi à la restauration des terrains endommagés (Boudy, 1952).

4. **Genêts (*Genista* spp.)** : On observe fréquemment les genêts, tels que *Genista cinerea*, dans les régions incendiées où ils contribuent de manière significative à la stabilisation des sols (Djebaili, 1984).

5. **Fougères (*Pteridium aquilinum*)** : On associe fréquemment cette fougère aux zones incendiées, profitant de l'élimination de la végétation forestière pour se développer (Boudy, 1952).

6-2- Espèces indicatrices de surpâturage

Dans la région d'Akfadou, le pâturage excessif constitue un facteur de perturbation majeur, induisant une forte pression sélective sur la flore autochtone. Cette contrainte favorise la dominance d'espèces pionnières, caractérisées par leur tolérance au piétinement, leur cycle de vie court et leur aptitude à coloniser rapidement les sols appauvris.

1. **Chêne kermès (*Quercus coccifera*)** : Espèce héliophile et xérophile, se montre particulièrement adapté aux milieux ouverts et dégradés grâce à sa résistance au pâturage, marquant ainsi une régression de la végétation à Akfadou (Boudy, 1952 ; Djebaili, 1984).

2. **Asphodèles (*Asphodelus* spp.)** : Les asphodèles, tels que *Asphodelus microcarpus*, sont des plantes pionnières particulièrement résistantes à la pression pastorale et capable de se multiplier rapidement dans les milieux perturbés ou (Boudy, 1952).

3. **Ronce (*Rubus* spp.)** : Les ronces, dotées de leurs épines tranchantes, s'installent confortablement dans les zones dévastées par le surpâturage, formant des barrières vertes infranchissables (Djebaili, 1984).

4. **Plantains (*Plantago* spp.)** : Certaines espèces de plantain, à l'instar de *Plantago lanceolata*, signalent le surpâturage par leur résistance aux piétinements (Boudy, 1952).

5. **Plantes herbacées résistantes (*Poaceae*)** : On retrouve fréquemment des graminées du genre *Brachypodium distachyon* et *Ampelodesmos mauritanicus* dominant les terrains ravagés, tirant avantage de l'effondrement végétal (Djebaili, 1984).

6. **Chardons (*Carduus* spp. et *Onopordum* spp.)** : Les chardons dominent les terrains dégradés par le surpâturage, grâce à leur armure épineuse qui les rend peu attractifs pour le goût du bétail (Boudy, 1952).

7- Images satellitaires et leur fonctionnement (Landsat, Sentinel)

7-1- Généralités

Selon Jensen (1996), les images satellitaires sont des outils essentiels pour l'observation de la Terre, utilisés dans de nombreux domaines tels que l'écologie, la climatologie, l'agriculture, l'urbanisme et la gestion des catastrophes. Elles permettent de collecter des données à grande échelle et sur de longues périodes, offrant une vision globale et détaillée de la surface terrestre.

7-2- Principe de base et fonctionnement

Les satellites d'observation de la Terre capturent des images en utilisant des capteurs qui enregistrent les rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis par la surface terrestre. Ces capteurs fonctionnent dans différentes longueurs d'onde du spectre électromagnétique, notamment (**Richards, 2022**):

- Le visible (Ce que l'humain voit avec son œil).
- L'infrarouge (pour l'évaluation de la chaleur ou de la végétation).
- Les micro-ondes (destinées à l'imagerie radar, utiles lors de conditions nuageuses)

7-2-1. Catégories de satellites :

D'après **Drusch et al. (2012)**, on distingue 3 types de satellites :

Les satellites optiques, comme Landsat (NASA/USGS) et Sentinel-2 (ESA), capturent des images dans le spectre visible et infrarouge, permettant d'analyser la couverture végétale, l'occupation du sol ou encore les zones brûlées. Les satellites radar, à l'image de Sentinel-1 (ESA), utilisent des micro-ondes capables de traverser les nuages et d'opérer de jour comme de nuit, ce qui les rend particulièrement utiles dans des conditions atmosphériques défavorables. Enfin, les satellites météorologiques, tels que Meteosat (EUMETSAT), fournissent des données essentielles sur les nuages, les températures et les précipitations, contribuant ainsi à la surveillance climatique et aux prévisions météorologiques.

7-2-2. Résolution des images satellites

Selon **Drusch et al. (2012)**, la résolution des images satellitaires sont les suivant :

Les caractéristiques des images satellitaires se définissent selon plusieurs résolutions fondamentales. La résolution spatiale correspond à la dimension minimale du détail détectable à la surface terrestre ; par exemple, Sentinel-2 offre une résolution pouvant atteindre 10 mètres, permettant une observation fine des structures paysagères. La résolution spectrale désigne le nombre et la largeur des bandes du spectre électromagnétique enregistrées ; Sentinel-2 en dispose de 13 bandes, couvrant le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge à ondes courtes, ce qui permet une analyse précise de la végétation, des sols et de l'eau. Enfin, la résolution temporelle indique la fréquence à laquelle un satellite revisite une même zone : Sentinel-2 assure un passage tous les 5 jours, facilitant le suivi de l'évolution temporelle des écosystèmes.

7-2-3- Traitement des données

Les images brutes subissent un traitement pour rectifier les distorsions atmosphériques, géométriques et radiométriques. Elles sont par la suite analysées à l'aide de logiciels spécialisés (comme QGIS, ENVI ou Google Earth Engine) afin d'en extraire des données pertinentes (Jensen, 2005).

7-3- Applications des images satellites

7-3-1. Suivi de la végétation

- ✓ Utilisation d'indices tels que le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pour évaluer la condition des plantes
- ✓ Surveillance des forêts, des cultures et des zones dégradées (Rouse *et al.*, 1974).

7-3-2. Gestion des catastrophes :

Détection d'incendies de forêt, d'inondations et de glissements de terrain (Trigg et Flasse, 2001).

7-3-3. Urbanisme et aménagement du territoire :

Suivi de l'extension urbaine et de l'utilisation des sols (Jensen, 2005).

7-3-4. Changement climatique :

Observation des glaciers, de l'élévation du niveau des mers et des émissions de gaz à effet de serre (Vincent *et al.*, 2019).

7-4-Plateformes pour accéder aux images satellites :

1. USGS Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov>
2. Google Earth Engine: <https://earthengine.google.com>
3. Copernicus : <https://s2gm.land.copernicus.eu/mosaic-hu>

7-5-Acquisition des images satellitaires



Figure 2 : images satellites multi-Spectrales à large bande (Landsat-8)
(NASA, 2021)



Figure 3 : Architecture du concept opérationnel de mission (Landsat-9)
(USGS, 2023)

Les satellites Landsat 8 (2013) et Landsat 9 (2021) sont les dernières générations du programme Landsat, conçues pour assurer la continuité et l'amélioration de l'observation de la Terre. Ils évoluent sur une orbite héliosynchrone à 705 km d'altitude, avec un cycle de revisite de 16 jours (réduit à 8 jours en fonctionnement conjoint). Équipés des capteurs OLI/OLI-2 pour l'imagerie multispectrale (11 bandes, dont les bandes rouges et proche infrarouge essentielles au suivi de la végétation) et TIRS/TIRS-2 pour les données thermiques, ils offrent une résolution radiométrique de 12 bits, améliorant la qualité des images même en milieux nuageux ou humides. La largeur de fauchée est d'environ 185 km, permettant une large couverture à chaque passage. Ces satellites pèsent environ 2 600 kg au lancement. Landsat 9 reprend l'architecture de Landsat 8 avec des améliorations en calibration thermique, garantissant une parfaite interopérabilité et une continuité homogène des séries temporelles, indispensables à la surveillance environnementale (Earth.esa.int, 2023).

8- Généralités sur le sol

Le sol est la couche superficielle de la Terre, formée par la fragmentation des roches et la transformation de la matière organique sous les actions combinées de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la biosphère au contact de la lithosphère (Jenny, 1930).

Il s'agit d'un système naturel complexe, composé de particules minérales (sable, limon, argile), de matière organique (débris végétaux et animaux), d'eau et d'air. Sa structure meuble

et son épaisseur variable dépendent de l'altération de la roche mère (sous-jacente) et des processus d'érosion (**Burrow, 2015**).

Le sol joue un rôle clé pour la vie : il stocke l'eau et les nutriments, abrite une activité biologique intense (micro-organismes, racines), et sa phase gazeuse est riche en CO₂ du fait de cette activité (**Antoni, 2011**). Cependant, c'est une ressource fragile et non renouvelable à l'échelle humaine, menacée par la dégradation et les activités humaines (**Baize et Girard, 1995**).

9- Les horizons des sols

Le sol est un écosystème vivant et dynamique, structuré en couches distinctes appelées horizons (**Girard et al., 2011**). Cette « couverture pédologique » se forme grâce à l'interaction prolongée du climat, des organismes vivants, du relief, de l'eau et des roches. Chaque horizon du sol possède des propriétés uniques, façonnées par ces processus naturels au fil du temps. Par exemple, certains horizons sont riches en racines et en micro-organismes, tandis que d'autres contiennent davantage de minéraux ou de débris organiques. Bien que le sol soit une ressource essentielle pour l'agriculture et la biodiversité, sa formation prend des siècles, ce qui en fait un patrimoine fragile à préserver (**Baize et Girard, 1995**).

Les horizons majeurs, notés O, A, E, B et C, ne sont pas tous systématiquement présents dans un sol donné, leur présence et leur épaisseur dépendant du degré de développement pédologique. Voici une description des principaux horizons :

- ✓ **Horizon A** : Horizon de surface riche en matières organiques, il est soumis à un lessivage intense qui entraîne l'appauvrissement en éléments fins (argiles) et en oxydes de fer.
- ✓ **Horizon B** : Horizon d'accumulation (illuviation) caractérisé par un enrichissement en éléments fins (argiles), en oxydes de fer et d'aluminium, ainsi qu'en humus. Souvent qualifié d'horizon structural ou d'altération, il se distingue de la roche mère par un degré d'altération plus avancé, marqué par la présence de Fe₂O₃ libre (**Feller, 1998**).
- ✓ **Horizon C** : Horizon correspondant au matériau originel peu altéré, à partir duquel se forment les horizons A et B sous-jacents. Il est souvent proche de l'horizon RM (roche mère non altérée).
- ✓ **Horizon G** : Horizon typique des sols hydromorphes, de couleur gris verdâtre en raison de la présence de fer ferreux (Fe²⁺). Des taches rouille (fer ferrique, Fe³⁺) apparaissent

au contact de l'oxygène dans la zone de battance de la nappe phréatique (**Girard et al., 2005**).

- ✓ **Horizon RM** : Roche mère dure et non altérée, située sous les horizons pédologiques.

10- Propriétés physico-chimiques du sol

10-1- Texture

La texture du sol, définie comme la répartition proportionnelle des particules minérales (sable, limon, argile), classées de la plus grossière à la plus fine (sable > limon > argile). Elle tient compte du taux de la matière organiques (humus) et du calcaire (**Soltner, 1988 ; Musy et Soutter, 1991**). Elle constitue un indicateur clé de ses propriétés agronomiques. Elle influence directement la rétention en eau, la fertilité et la résistance à l'érosion (**Burrow, 2015**).

Les sols sablonneux se caractérisent par un drainage rapide et une faible capacité à retenir les nutriments, les rendant sensibles à l'érosion éolienne. À l'inverse, les sols argileux, riches en particules fines, retiennent efficacement l'eau et les éléments nutritifs, mais sont sujets au compactage et à l'engorgement. Les sols limoneux, intermédiaires en texture, offrent une fertilité accrue comparativement aux sols sableux ou argileux, mais restent vulnérables à l'érosion hydrique. Enfin, les sols mixtes, combinant des proportions variables des trois fractions, présentent un équilibre optimal entre drainage, rétention hydrique et fertilité, ce qui en fait des supports privilégiés pour le développement des plantes (**Burrow, 2015 ; TOPS, 2017**).

La texture reflète non seulement la composition minérale du sol (**Gobat et al., 2010**), mais aussi son potentiel de structuration et sa teneur en matière organique, jouant ainsi un rôle central dans les processus pédogénétiques (**Morel, 1989**). Par exemple, la présence dominante d'argile favorise la formation de complexes organo-minéraux, tandis qu'un excès de sable limite la cohésion du sol et sa capacité à stocker les nutriments.

10-1- 1- Échelle granulométrique de la texture du sol

La texture est évaluée par une analyse granulométrique au laboratoire ou par une estimation tactile lors de l'étude pédologique sur le terrain. Elle a pour objectif de classer les particules par leur taille selon l'échelle **d'Atteberg** (Tableau I) et de quantifier la proportion de chaque fraction minérale (sable, limon, argile). Cette méthode permet de déterminer la texture globale du sol en évaluant systématiquement la répartition des classes granulométriques, offrant

ainsi une base scientifique pour caractériser ses propriétés physiques (Soltner, 1988 ; Pasquier, 2010).

La texture globale d'un sol est déterminée à l'aide d'un diagramme textural tel que celui de l'USDA (1954). Cette classification texturale regroupe les sols en différentes classes ayant des comportements et des propriétés similaires. En définissant la texture d'un sol, on lui attribue les propriétés spécifiques à cette classe de sols. Selon **Baize (2000)** (le tableau I) nous renseigne sur les différentes classes granulométriques de sol

Tableau I : les différentes classes granulométriques de sol selon **Baize (2000)**.

	Terre fine					Terre grossière	
Classes	Fraction Argileuse	Fraction limoneuse		Fraction sableuse		Graviers	Cailloux
	Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers		
Diamètre des particules	<2 μm	2 - 20 μm	20 – 50 μm	50 – 200 μm	0,2–2 mm	2 – 20 mm	>20 mm

10-1- 2- Le triangle de texture

Le triangle des textures représente la composition granulométrique d'un sol, qui se divise en trois fractions principales : argile, limon et sable, totalisant toujours 100%. Divers modèles de représentation triangulaire existent, mais le principe reste identique, pour que le triangle soit équilatéral (**Baize, 2000**).

La composition granulométrique est positionnée en fonction de deux des trois fractions, la troisième étant le complément pour atteindre 100%. Chaque point du triangle indique une répartition granulométrique précise des composants du sol (**Richer De Forges et al., 2008**).

La texture du sol détermine directement sa structure, influençant ainsi la porosité et la dynamique hydrique. Une proportion élevée d'argile favorise la formation de complexes argilo-humiques, améliore la capacité d'échange cationique (CEC), optimise la fertilité chimique et conditionne la profondeur d'enracinement des végétaux. Stable à long terme, cette propriété pédologique évolue peu sous l'effet de processus naturels, ce qui en fait un indicateur fiable des caractéristiques intrinsèques du sol (**Gobat et al., 2010**).

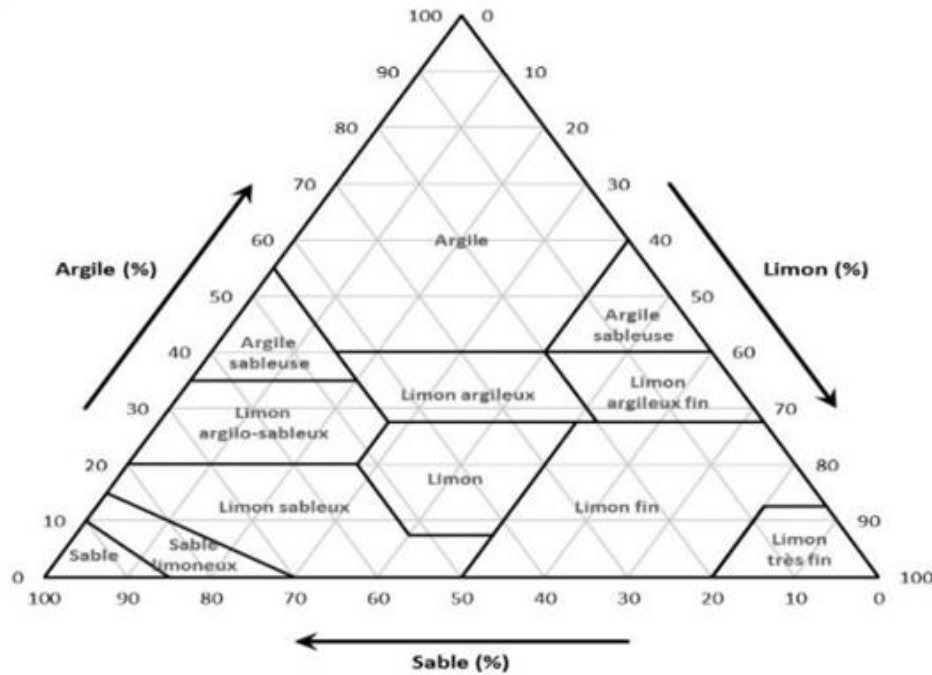


Figure 4 : Triangle des textures (USDA, 1954)

10-2- La structure du sol

La structure du sol désigne l'organisation spatiale des constituants solides (agrégats, micro-agrégats, particules élémentaires) au sein d'un horizon pédologique. Elle résulte des interactions entre ces éléments, caractérisées par leur disposition, leur nature et l'intensité des liaisons physico-chimiques qui les unissent (Girard *et al.*, 2011).

10-2-1- Facteurs influençant la structure

- ✓ **Texture** : Agit directement via les propriétés des fractions minérales (argile, limon, sable) et indirectement en favorisant la formation de complexes organo-minéraux, clés pour l'agrégation (Morel, 1989).
- ✓ **Matière organique** : Stabilise les agrégats et améliore la cohésion structurale, notamment par la formation de complexes argilo-humiques. (Achour, 2008).

10-2-2- Impacts fonctionnels de la structure

La structure conditionne

- La porosité et dynamique hydraulique

- ✓ Détermine la répartition des macropores (drainage) et micropores (rétention), influençant la perméabilité et la disponibilité en eau ;

- ✓ À saturation, la circulation de l'eau dépend à la fois de la texture et de la matière organique (**Malaya et Sreedeeep, 2012**).

- Stabilité mécanique

- ✓ Une structure bien développée résiste à l'érosion et au compactage, préservant la fonctionnalité des pores.

10-2-3- Dégradation structurale et conséquences

Le compactage, principal facteur de dégradation, entraîne :

- ✓ Une réduction de la porosité : Augmentation de la densité apparente et diminution de la circulation de l'eau dans le sol (**Richard et al., 2001**).
- ✓ Une perturbation des flux air-eau : Même un faible compactage altère les échanges gazeux et hydriques, limitant la croissance racinaire (**Mueller & Thompson, 2009**).
- ✓ Une perte de résilience : Les sols compactés deviennent moins aptes à supporter des perturbations mécaniques (trafic agricole, précipitations intenses) (**Ayetan, 2025**).

10-2-4- Types de structures

Selon **Gauthier (1991)**, la structure du sol, définie par l'agencement de ses constituants, se classe en trois catégories principales:

- ✓ **Structure particulaire** : Les éléments (sable, limon, gravier) restent indépendants, faute de colloïdes liants ou en raison d'une absence de floculation. Une variante « cohérente » existe lorsque des colloïdes relient partiellement les particules ;
- ✓ **Structure continue ou massive** : Le sol forme un bloc compact sans fissures (ex. masse argileuse dense). Elle est dite « fragile » si elle se fragmente sous pression. Ces structures, peu poreuses, limitent l'aération et la pénétration racinaire, les rendant peu propices à l'agriculture ;
- ✓ **Structure fragmentaire** : Le sol est organisé en agrégats de formes variées (feuilles, prismes, sphères), séparables mécaniquement. Ces structures évoluent souvent avec la profondeur, passant d'agrégats fins en surface à des fragments plus grossiers près de la roche mère.

La structure influence directement les flux hydriques et biogéochimiques : elle détermine la taille des pores, régulant ainsi la conductivité hydraulique et la rétention d'eau. Par ailleurs,

l'activité microbienne module cette structure : en agrégeant les particules, les micro-organismes créent des habitats poreux diversifiés, favorisant la biodiversité du sol (Gobat *et al.*, 2010).

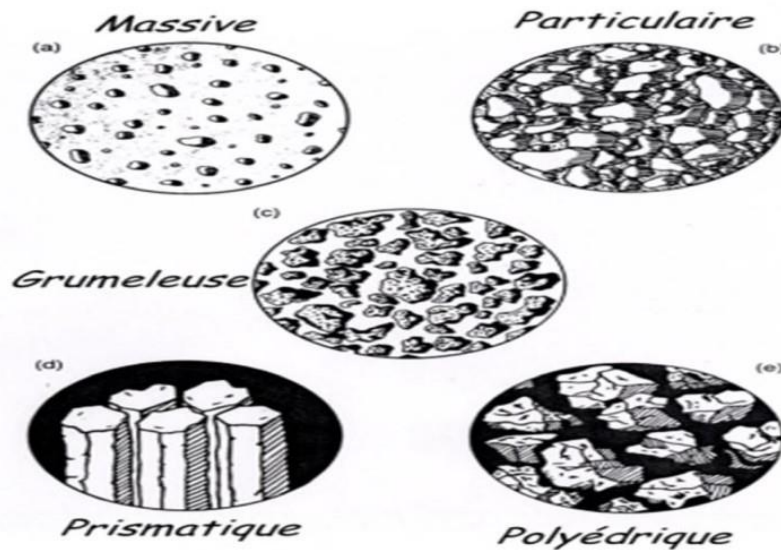


Figure 5 : Quelques exemples de structure du sol (Gobat *et al.*, 2010).

10-3- La matière organique

Les matières organiques du sol (MOS) englobent l'ensemble des composants vivants ou issus du vivant : résidus végétaux et animaux en décomposition, micro-organismes (flore bactérienne, fongique), faune édaphique (vers de terre, acariens) et racines. Elles incluent également les exsudats racinaires (sucres, acides organiques, mucilage) libérés continuellement par les plantes durant leur croissance, un processus nommé rhizodéposition, contribuant significativement à l'apport organique (Gregorich *et al.*, 2003).

Après dégradation par l'activité biologique, ces matières se transforment en humus une substance brun foncé, spongieuse et poreuse, caractérisée par une odeur caractéristique de terre fraîche. L'humus, stable à moyen terme, joue un rôle clé dans la fertilité des sols en améliorant la rétention d'eau, la structure et la capacité d'échange cationique. (Duchaufour, 2025).

10-3-1- Rôle de la matière organique

La matière organique (MO) joue un rôle central dans la rétention hydrique des sols, agissant à la fois directement (en augmentant la capacité de stockage de l'eau) et indirectement (en améliorant la structure et la porosité via la stabilisation des agrégats et l'accroissement de la capacité d'échange cationique). Des études montrent qu'une teneur élevée en MO améliore

significativement la réserve en eau disponible, et ce, indépendamment de la texture du sol (**Ohu et al., 1987 ; Hudson, 1994 ; Saxton et Rawls, 2006**).

L'interaction entre texture et MO est déterminante : si leur effet varie selon le type de sol et le potentiel hydrique, il est établi qu'une augmentation de 1 % de MO entraîne une hausse de 1,5 à 2 % de l'eau disponible, avec des gains atteignant 4 % dans les sols limoneux (**Hudson, 1994**). Cet impact s'explique par la capacité de la MO à modifier la porosité : elle favorise la formation de macropores (drainage) et de mésopores (rétention), optimisant ainsi les flux hydriques. En pratique, la MO agit comme un « régulateur » de la dynamique eau-sol, atténuant les limites imposées par une texture défavorable (sableuse ou argileuse) (**Lal et al., 1994 ; Schjonning et al., 1994**).

10-3-2- Composition de la fraction organique du sol

Selon **Gobat et al., (2010)**, La fraction organique du sol est excessivement complexe et comporte :

- ✓ **Débris végétaux peu transformés**, à structure encore organisée ; l'appellation "*matière organique fraîche*" est consacrée à cette fraction qui peut comprendre des feuilles, des tiges, des racines mortes, des résidus de récolte, des exsudats foliaires et racinaires, mais aussi des cellules microbiennes mortes.
- ✓ **Matière organique fortement transformée**, d'origine végétale, animale ou microbienne; il s'agit de substances humifiées regroupées fréquemment sous le terme "*humus*" (au sens strict) ou *matière organique humifiée*. C'est la composante principale du carbone du sol (60 à 70 % du C total du sol, sauf dans certains horizons holorganiques).
- ✓ **Produits de composition intermédiaire** entre 1 et 2, c'est-à-dire encore plus ou moins proches de la matière organique peu transformée.
- ✓ **Composés organiques hydrosolubles**, généralement de structure "simple" ou tout au moins de composition chimique déterminée : acides aminés, acides organiques, glucides, polyphénols, etc. Ensemble de substances carbonées parfois regroupées sous le vocable de "*substances non humiques*".
- ✓ **Biomasse du sol** : pédofaune (à l'exclusion de la macrofaune), mais surtout microorganismes (bactéries, champignons, actinomycètes, *fungi imperfecti*). Dans les terres arables, la biomasse microbienne peut représenter de 1 à 3 % du carbone total du sol.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1- Zone d'étude

1-1- Présentation de la forêt domaniale de l'Akfadou

1.1.1. Situation géographique et administrative

La forêt de l'Akfadou, située dans l'Atlas Tellien à environ 160 km à l'est d'Alger et à seulement 20 km de la mer Méditerranée, s'étend sur une superficie de 10000 hectares, représentant 18 % des forêts de chênes caducifoliés d'Algérie. Ce massif forestier culmine entre 800 et 1646 mètres d'altitude (**Messaoudene et al., 2007**).

Géographiquement, elle se trouve entre les coordonnées 4° 33' et 4° 41' de longitude Est et 36° 30' et 36° 86' de latitude Nord, couvrant les wilayas de Tizi Ouzou et de Bejaïa (**Messaoudene et al., 2007**). Elle est limitée au Nord par la route nationale n°12 reliant Tizi Ouzou à Bejaïa ; à l'Ouest par la ligne de crête qui délimite la forêt d'Ath Ghobri du col de l'Akfadou ; au Sud-ouest elle est limitée par oued Acif ; au Sud par oued Cheria et à l'Est par les limites naturelles des peuplements forestiers (**B.N.E.F, 1988**).

La forêt d'Akfadou constitue un véritable atout touristique, tout en assurant une production ligneuse et subéricole significative (**Messaoudene, 1991**). Elle se différencie des autres massifs forestiers algériens par la densité exceptionnelle de ses peuplements, atteignant 1500 arbres par hectare âgés de 120 ans, ainsi que par la spécificité de ses groupements végétaux, sa richesse floristique, son climat distinctif, son relief accidenté et sa position géographique remarquable (**Meddour et al., 2020**).

Administrativement, ce massif est subdivisé en deux parties : la partie Est, (Figure 6) d'une superficie de plus de 5400 hectares, relevant des daïras d'Adekar, Sidi Aich et Chemini, dans la wilaya de Bejaïa (Tableau II); et la partie Ouest, couvrant 4600 hectares, rattachée aux daïras d'Azazga et de Bouzeguène, dans la wilaya de Tizi Ouzou (**Messaoudene, 1989**).

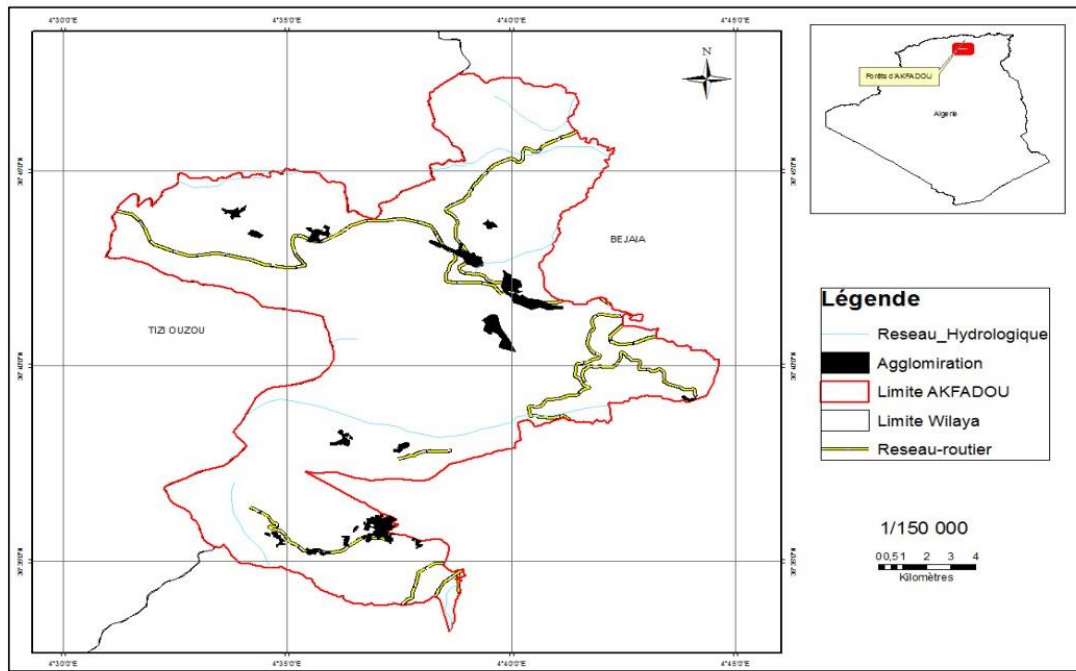


Figure 6 : Cartes de situation administrative de la forêt de l’Akfadou-Est (Mazi, 2015).

Tableau II : Tableau Répartition de surface de la forêt de l’Akfadou-Est par cantons
(Circonscription d’Adekar, 2015).

Commune	Cantons	Superficies (ha)
Chemini	Tamesguida	197,5
	Abtel	256,875
	Tamadart	21,8775

1-1-2. Analyse climatique

Le massif de l'Akfadou figure parmi les régions les plus arrosées d'Algérie, avec des précipitations dépassant les 1000 mm/an à moyenne altitude (Salamani, 1991).

Selon (Messaoudene ,1989), le climat de l'Akfadou est humide avec des variantes tempérées et un régime saisonnier « HAPE » (Haddar *et al.*, 2016). Les chutes de neige, atteignant fréquemment 50 à 60 cm, sont également notables (Salamani, 1991).

Nous avons également mobilisé des données climatiques issues de la plateforme POWER Data Access Viewer (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>), développée par la

NASA. Cet outil met à disposition des séries temporelles quotidiennes et mensuelles couvrant divers paramètres climatiques tels que la température, les précipitations, l'humidité relative, ou encore le rayonnement solaire. Ces données sont particulièrement utiles pour analyser les facteurs abiotiques susceptibles d'influencer les dynamiques environnementales de la zone d'étude. Dans le cadre de notre travail, nous avons collecté les données climatiques sur une période allant de l'année 1990 à 2024, afin de disposer d'un historique suffisamment long pour observer les tendances et variations interannuelles (Stackhouse *et al.*, 2004).

✓ Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Dans une approche de synthèse climatique, **Bagnouls et Gaussen (1953)** ont développé un graphique dans le but d'évaluer le degré de sécheresse d'un mois. Selon cette méthode, un mois est défini comme sec lorsque la somme des précipitations mensuelles (P) est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle (T), soit la condition : $P \leq 2T$.

En étudiant le lien entre précipitations et températures, on comprend mieux comment le climat varie au cours de l'année. Cette relation nous aide notamment à savoir si la végétation aura assez d'eau pour pousser. En plus, elle permet de repérer les moments où il risque de manquer d'eau (sécheresses) dans une région précise.

Le tableau III regroupe l'ensemble des données météorologique mensuelles de la zone d'études de (1990 -2024)

Tableau III : Données météorologiques mensuelles de la forêt d'Akfadou (Chemini, Bejaïa) (1990-2024). Source :(<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

/////	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Tc° Max	18,01	19,75	23,95	27,17	32	38,37	41,62	41,35	36,92	32,16	24,79	18,91	29,58
Tc° Min	-1,61	-1,36	-0,36	2,21	5,71	10,14	14,16	15,36	11,64	7,53	2,17	-0,56	5,42
Tc° Moy	8,2	9,19	11,8	14,69	18,85	24,25	27,89	28,35	24,28	19,84	13,48	9,17	17,5
P (mm)	122,73	95,2	88,36	84,66	64,15	20,99	8,24	20,27	54,6	64,68	117,89	111,41	853,20

Les données précédentes nous ont permis de réaliser le diagramme ombrothermique de la zone d'étude illustré dans la figure 7.

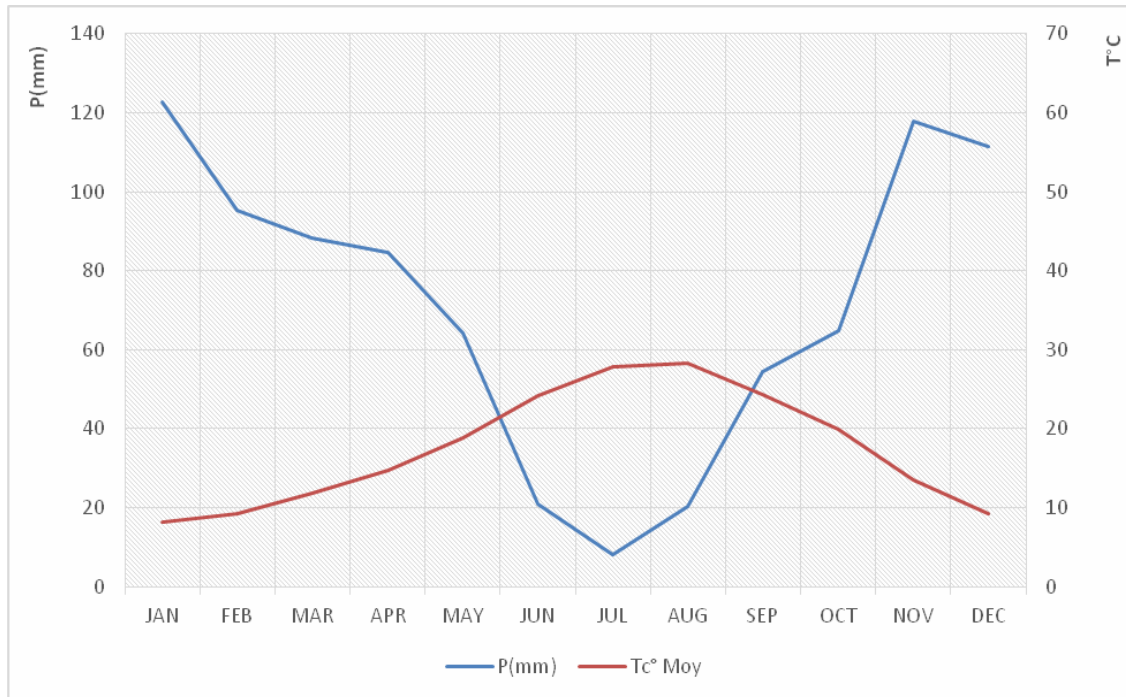


Figure 7 : Diagramme ombrothermique de la forêt d'Akfadou (Chemini, Bejaïa, 2025)

Ce diagramme ombrothermique (Figure 7), met en évidence un climat méditerranéen, caractérisé par une forte pluviométrie hivernale (80 % des précipitations entre octobre et avril) et une sécheresse estivale de trois mois (juin à août), selon le critère $P \leq 2T$. Ces résultats sont en cohérence avec les travaux de **Messaoudene (1989)** et **Salamani (1991)**, qui décrivent une saison des pluies de 8 mois et une saison sèche courte, oscillant entre 2,5 et 3,3 mois. L'amplitude thermique annuelle (20,15 °C) et la pluviométrie élevée (1200–2000 mm) confirment l'humidité de la région au sein du nord algérien.

✓ Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique d'Emberger est un indice bioclimatique utilisé pour caractériser le climat méditerranéen dont l'interprétation a été affinée par Stewart en 1969. L'approche est basée sur :

1. Un modèle visuel : qui montre comment les climats sont distribués selon :

- En abscisse : la valeur du quotient pluviothermique (Q)
- En ordonnée : la température minimale du mois le plus froid (m)

2. La formule mathématique : $Q_2 = 3,43 * P / (M - m)$

Où :

P : quantité moyenne de pluie par an en mm

M : température maximale moyenne du mois le plus chaud

m : température minimale moyenne du mois le plus froid

A partir des valeurs des données du tableau IV, nous avons situé l'étage bioclimatique de la zone d'étude.

Tableau IV : Valeurs du quotient pluviothermique de Stewart pour la forêt de Chemini

Région	P (mm)	M(C°)	m(C°)	Quotient
Akfadou (Chemini)	853,18	41,62	-1,61	67,7

Le Climagramme nous indique que la zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique Subhumide à hiver froid selon la Figure 8. Cette valeur se trouve à la limite supérieure de l'étage semi-aride, ce qui est cohérent avec les observations de **Messaoudene, (1989)** pour les massifs forestiers d'Akfadou.

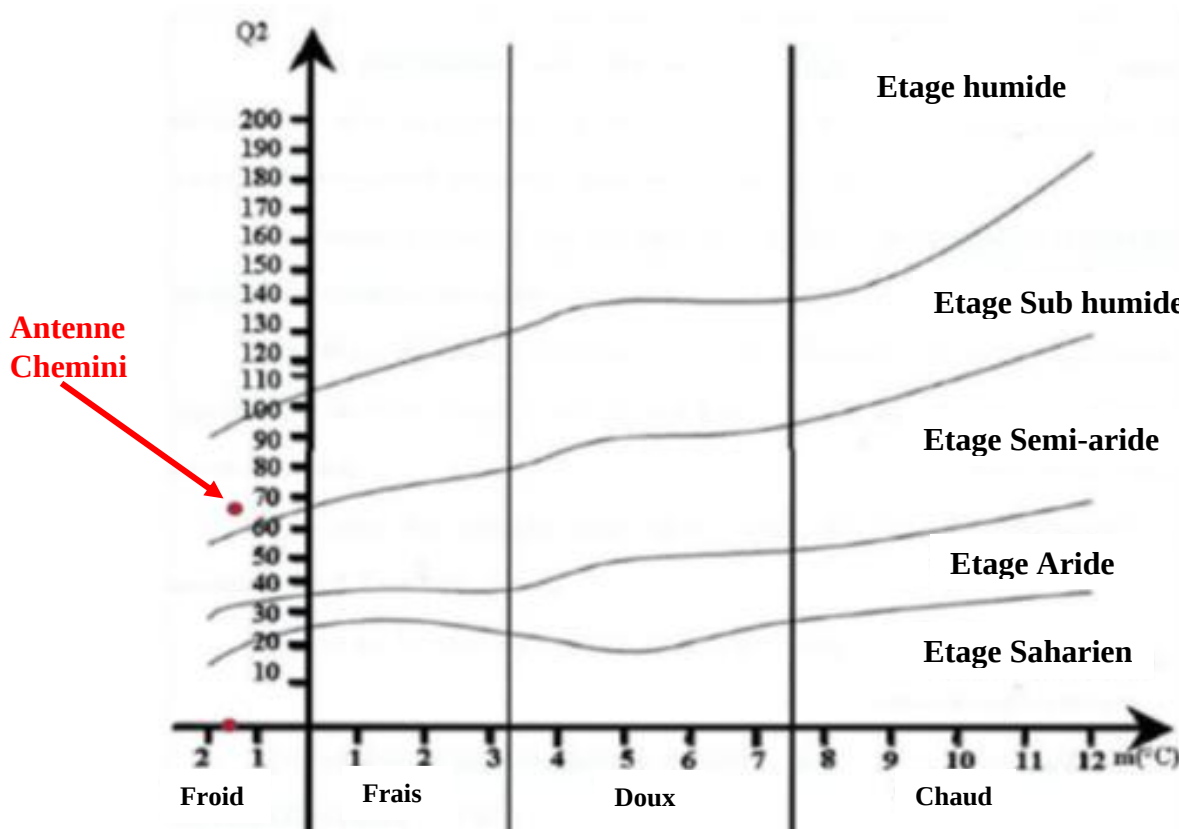


Figure 8 : Situation bioclimatique de la station d'étude sur le Climagramme D'Emberger modifié par Stewart (1969).

1-1-3. Orographie

La région d'Akfadou, à relief montagneux et accidenté, est structurée autour de crêtes orientées nord-est/sud-ouest, prolongeant les chaînes du Djurdjura et du littoral (**Salamani, 1991**). L'altitude varie entre 870 et 1646 m, avec des pentes de 15 à 45 % (**Khammes-Talbi, 2014 ; Messaoudene et al., 2007**). Le relief influence directement la répartition de la flore selon les affinités écologiques (**Lerond, 1981**).

1-1-4. Géologie

Située à l'extrémité du socle métamorphique kabyle, la zone est dominée par un synclinorium oligocène composé de grès et marnes, notamment du faciès numidien (**Amzal et Boudjellouah, 2022**).

1-1-5. Hydrographie

Le massif est drainé par un réseau hydrographique dense à régime torrentiel, alimentant des oueds comme l'oued Soummam, l'oued Rmila ou Acif Yahia (**Larbi, 1999 ; Alik et Arezki, 2002**). Plusieurs lacs temporaires se forment en période pluvieuse, tels que le lac Noir ou la lagune de Tamelaht (**Dahmana et al., 2006**).

1-1-6. Pédologie

Les sols développés sur grès numidiens, acides et pauvres en bases, sont des sols bruns lessivés présentant un horizon argileux dont l'épaisseur varie selon la pente. Sur fortes pentes, l'érosion appauvrit les profils, tandis que sur pentes modérées, le lessivage favorise l'accumulation d'argiles en profondeur, influençant la structure, la rétention en eau et la stabilité végétale (**Larbi et al., 2000 ; Durand, 1951 ; Quezel, 1956**). Quatre types principaux sont recensés : sols minéraux bruts, peu évolués, brunifiés et à sesquioxydes de fer (**BNEF, 1988 ; Mazi, 2015**). On y trouve aussi des sols podzoliques et forestiers à humus de type Mull ou Moder (**Bouzelha & Boucek, 1989 ; Messaoudene, 1989**).

2- Etude cartographique de la zone d'étude

2-1- Acquisition des images satellitaires

Notre étude repose principalement sur l'exploitation des images satellitaires, raison pour laquelle nous avons opté pour les données mises à disposition par l'Institut d'études

géologiques des États-Unis (**Imprimerie du gouvernement des États-Unis.**), accessibles via la plateforme Earth Explorer (**U.S.Geographical Survey, 2020**). Cette interface constitue une source complète, libre d'accès et gratuite, offrant un large éventail de données satellitaires et géospatiales. Elle permet notamment l'acquisition d'images issues des missions Landsat, Sentinel, entre autres, reconnues pour leur qualité et leur résolution. Ces données constituent une ressource précieuse pour les analyses en systèmes d'information géographique (SIG), la surveillance environnementale, ainsi que pour diverses applications scientifiques et opérationnelles (**Anad et Yassin, 2025**).

Les images utilisées dans notre étude (collecte de 1997 à 2024) ont une résolution de 30m et un niveau de prétraitement L1TP et SR (L2), ce qui signifie que les images L1TP sont géométriquement précises, tandis que les images SR (L2) incluent en plus une correction atmosphérique pour obtenir la réflectance réelle de surface (**Nassar *et al.*, Brainard, 2020**).

Par ailleurs, la plateforme FIRMS (Fire Information for Resource Management System) accessible via <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>, a été utilisée pour localiser et suivre les feux de forêts dans la zone d'étude. Cette interface fournit des données en temps réel sur les foyers d'incendie détectés par les capteurs MODIS et VIIRS, ce qui permet de cartographier et quantifier l'impact des incendies sur la végétation et les sols (**Bhattacharya *et al.*, 2025**).

2-1-1- Le logiciel utilisé : QGIS 3.16.10

Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé QGIS 3.16.10, un logiciel libre et open-source de Système d'Information Géographique (SIG), reconnu pour sa robustesse et sa large communauté d'utilisateurs. Cette version s'inscrit dans la série **QGIS 3.16 "Hannover"**, classée comme Long Term Release (LTR), officiellement publiée le 23 octobre 2020, ce qui garantit une stabilité accrue ainsi qu'un support à long terme, particulièrement apprécié dans les environnements professionnels et scientifiques (**Congedo, 2021**).

QGIS 3.16.10 met à disposition une vaste gamme de fonctionnalités et d'extensions modulaires permettant l'analyse spatiale avancée. Il permet notamment la superposition et la gestion de multiples couches d'informations géographiques, facilitant l'intégration et la visualisation de données hétérogènes. Parmi les outils mobilisés, nous avons utilisé l'extension GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), et plus précisément la fonction "Vector to Raster" (Rasterize), qui permet de convertir des fichiers au format "shapefile" vectoriel en

raster, en vue de leur exploitation dans des analyses spatiales et thématiques plus poussées (Rosas-Chavoya, 2022).

2-1-2-Traitement des données

Avant le traitement des données, nous avons procédé à la sélection des images satellitaire des mois de juin, car ces mois représentent une importante évolution de la végétation et une meilleure visibilité des images satellitaires (absence de neige et des nuages).

2-1-3- Calcul de l'indice de végétation NDVI

L'indice de végétation par différence normalisée, ou NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), constitue l'un des indicateurs les plus anciens, les plus répandus et les plus fiables pour l'analyse de la couverture végétale. Il permet de quantifier l'activité photosynthétique des plantes à chlorophylle et de distinguer efficacement les zones végétalisées des surfaces non végétales. L'NDVI est calculé à partir des valeurs de réflectance mesurées dans deux bandes spectrales : le rouge (bande 4), où la végétation absorbe fortement l'énergie, et le proche infrarouge (bande 5), où la végétation saine réfléchit fortement. La formule utilisée pour les images Landsat 8 et 9 est donc la suivante : (Wirawan et Chernovita, 2023)

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B4 + B5)}$$

Avec : **B4** : bande rouge ; **B5** : bande proche infrarouge

L'indice NDVI est particulièrement sensible à la densité et à la vigueur de la végétation. Ses valeurs s'étendent de -1 à +1. Les valeurs négatives traduisent généralement la présence de surfaces non végétalisées telles que l'eau, la neige ou les nuages, où la réflectance dans le rouge dépasse celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, dont les niveaux de réflectance dans ces deux bandes spectrales sont relativement similaires, l'indice tend à se rapprocher de zéro. En revanche, les formations végétales présentent des valeurs positives, généralement situées entre 0,2 et 0,8, les valeurs les plus élevées étant caractéristiques des couverts les plus denses et les plus sains (Sellers, 1985). La densité de la végétation est classée selon le tableau V.

Tableau V: classification selon la densité de végétation **Erten et al., (2004)**

Paramètres	Classe	Code	Classe de risque
La végétation	[-1 ; 0]	1	Très faible (milieux aquatiques)
	[0 ; 0,1]	1	Très faible (sols nus)
	[0,1 ; 0,2]	2	Faible
	[0,2 ; 0,3]	3	Moyen
	[0,3 ; 0,4]	4	Elevé
	[0,4 ; 1]	5	Très élevé

Pour le calcul de cet indice, nous avons utilisé l'outil "Calculatrice Raster" dans QGIS 3.16.10, en appliquant la formule ci-dessus à chaque pixel des images prétraitées (niveau SR - Surface Réflectance). Cette opération a permis de générer des cartes continues de l'NDVI, exprimant la vigueur et la densité de la végétation.

Afin d'analyser l'évolution spatio-temporelle de la couverture végétale, nous avons ensuite procédé à un calcul différentiel du NDVI entre plusieurs dates (par exemple NDVI2013 - NDVI2024), toujours à l'aide de la calculatrice raster (Figure 9). Cette méthode met en évidence les variations positives ou négatives de l'indice, traduisant respectivement une augmentation ou une diminution de la biomasse végétale au cours de la période considérée. Ainsi, l'utilisation combinée du NDVI et des outils SIG permet une évaluation fine de la dynamique de la végétation, tant en termes de spatialisation que de tendance temporelle.

2-1-3-1- Comparaison multi-date de la classification de l'NDVI

Dans le cadre de notre analyse diachronique, nous avons adopté une approche comparative en prenant l'année 2013 comme année de référence pour l'ensemble de la série temporelle. Ce choix s'explique par le fait que 2013 représente un maximum de vigueur de la couverture végétale, caractérisé par des valeurs de NDVI particulièrement élevées, traduisant une densité et une vitalité végétales optimales. Toutes les années ultérieures ont donc été évaluées par rapport à cette base de référence, afin d'identifier les dynamiques de changement survenues au fil du temps.

2-1-3-2- Calcul des différences de NDVI :

Pour objectiver ces évolutions, nous avons procédé à une soustraction pixel à pixel entre le raster NDVI ancien et celui de l'NDVI récent, selon la formule suivante par la calculatrice raster. (Wirawan et Chernovita, 2023) $Diff_NDVI = (NDVI_{ancien} - NDVI_{récent})$

Cette opération a permis de générer des cartes différentielles de NDVI (Diff_NDVI), exprimant la variation nette de l'indice de végétation pour chaque pixel du territoire étudié.

2-1-3-3- Calcul des Variations de L'NDVI

La variation des NDVI nous permettra de suivre l'évolution de la végétation au cours des années. La méthode consiste à définir 3 classes dans un intervalle $[-0,1 ; 0,1]$ qui déterminent la perte, le neutre, le gain de végétation. Cet indice est calculé à partir des différences des NDVI en appliquant la formule suivante dans la calculatrice raster : (Wirawan et Chernovita, 2023)

$$(NDVI_Diff @ 1 < -0.1) \times 1 + (NDVI_Diff @ 1 \geq -0.1 \text{ AND } NDVI_Diff @ 1 \leq 0.1) \times 2 + (NDVI_Diff @ 1 > 0.1) \times 3$$

2-1-3-4 - Vectorisation et calcul des superficies

Afin de procéder à une analyse quantitative des dynamiques de végétation observées, le raster reclassé, résultant de la différence NDVI entre les différentes années et l'année de référence (2013), a été converti en entités vectorielles à travers un processus de polygonisation. Cette étape, réalisée à l'aide des outils de traitement raster de QGIS, permet de transformer chaque classe de variation (gain, neutre, perte) en polygones distincts, facilitant ainsi leur individualisation et le calcul de la superficie. Une fois la conversion effectuée, un champ a été généré pour calculer la superficie de chaque entité en kilomètres carrés, en se basant sur la géométrie des polygones. Cette approche a permis de quantifier avec précision l'étendue de chaque classe de changement, fournissant ainsi une base solide pour l'interprétation des résultats et la mise en évidence des dynamiques écologiques à l'échelle spatiale du territoire étudié.

La mise au point de la méthodologie adoptée a permis de produire une série de cartes de la couverture végétale à partir de l'année 2013, en s'appuyant sur les images satellitaires décrites dans le chapitre précédent.

2-2-Etude de la végétation

Afin d'évaluer le niveau et l'état de dégradation de la forêt de chêne zéen, une approche phytoécologique a été adoptée. Onze relevés floristiques ont été réalisés (annexe 07) durant la période d'avril à juin 2025, correspondant à la période optimale de développement végétatif. Ces relevés ont été effectués dans différents stades de régénération forestière afin d'obtenir une représentation exhaustive de la dynamique de la végétation.

Les sites d'étude (Tableau VI) ont été sélectionnés selon un gradient de dégradation, permettant de couvrir différents faciès de la forêt de chêne zéen, depuis les peuplements les mieux conservés jusqu'aux zones les plus perturbées.

Tableau VI : coordonnées géographiques des relevés floristiques de la forêt de l'antenne Chemini.

relevés	Coordonnées Géographique	altitude	Formation végétale
01	36°,629078 N 4°,568233 E	1582m	Pelouse dégradée
02	36°,631435 N 4°,569094 E	1600m	Forêt chêne zéen
03	36°,621276 N 4°,582486 E	1469m	Forêt jeune en phase de régénération
04	36°,620917 N 4°,582193 E	1434m	Forêt jeune en phase de régénération
05	36°,620569 N 4°,581722 E	1444m	Forêt mixte de chêne liège et chêne zéen
06	36°,631562 N 4°,570304 E	1570m	Forêt de chêne zéen
07	36°,630217 N 4°,565980 E	1575m	Pelouse dégradée
08	36°,630273 N 4°,567137 E	1587m	Pelouse dégradée
09	36°,616667 N 4°,567778 E	1585m	maquis
10	36°,627778 N 4°,572778 E	1579m	maquis

Un inventaire des espèces présentes a été effectué. Une attention particulière a été portée à l'identification et au recensement des plantes indicatrices de dégradation, considérées comme des bio-indicateurs de l'état écologique du milieu. Des échantillons d'herbier ont été prélevés pour les espèces nécessitant une détermination précise en laboratoire à l'aide de la flore de (Quezel et Santa, 1961,1962).

3- Analyse pédologique des sols de l'antenne Chemini

3-1- Description morphologique des profils

Dans une démarche méthodique, l'étude des sols menée sur le terrain au niveau de l'antenne Chemini, a permis de dresser un panorama détaillé des caractéristiques de leurs profils. Le choix des sites d'études a été guidé par deux critères fondamentaux. D'une part, chaque site devait présenter une certaine homogénéité en termes de densité végétale et, d'autre part, s'inscrire dans un contexte écologique spécifique selon le principe "d'ambiance forestière" adapté ici aux différents types de milieux (Rathgeber, 2004). Ainsi, nous avons sélectionné des sites représentatifs (figure 09) de la diversité écologique de la région de l'Akfadou. Les milieux retenus, à savoir de la forêt de chêne zéen à la rocaïlle, au maquis dégradé à *Genista tricuspidata*, *Crataegus laciniata* et pelouse dégradée à *Asphodelus ramosus* (L.), répondent également à un second impératif : ils peuvent être considérés comme des unités écologiques cohérentes, relativement homogène sur les plans climatiques, édaphiques, topographiques ; représentant une

dynamique de production comparable sur une même période d'observation. Les profils de sols étudiés sont numérotés P1, P2, P3, P4 et P5.

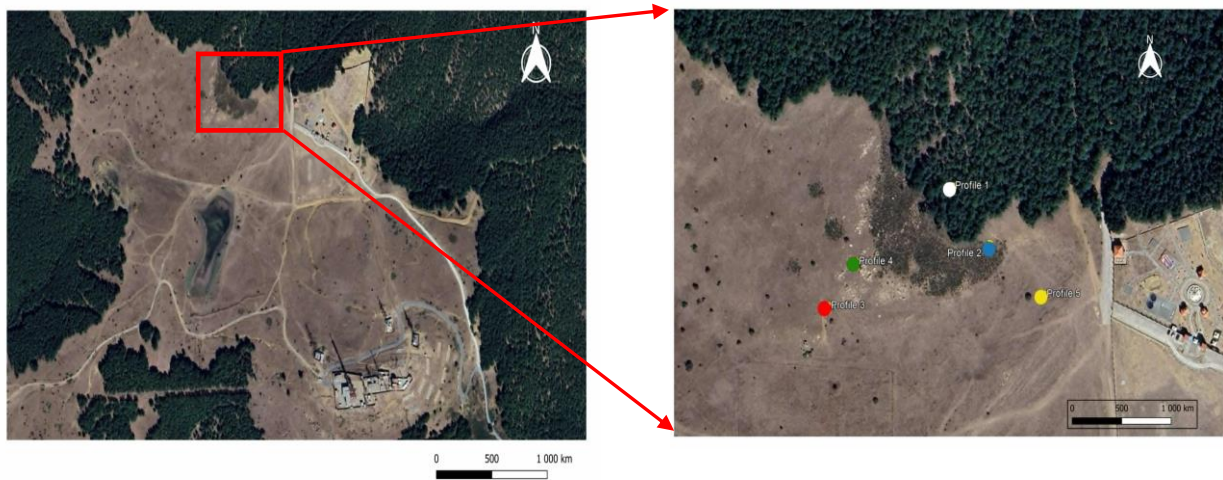


Figure 09 : Images satellitaires situant la zone d'étude

(Avec : **Blanc** : Profil 1 ; **Bleu** : Profil 2 ; **Rouge** : Profil 3 ; **Vert** : Profil 4 ; **Jaune** : Profil 5)

Chaque profil a été creusé avec précision visant à préserver l'intégrité des horizons, garantissant ainsi des échantillons représentatifs de la diversité pédologique du milieu.

Une description morphologique des profils a été notée sur le terrain selon une fiche descriptive simplifiée (**Annexe 1**). Ainsi, chaque horizon d'un profil a été décrit en fonction de son épaisseur, de sa composition granulométrique (argiles, limons, sables, cailloux, graviers), de son degré d'altération de la roche-mère, de sa structure, de son acidité, de sa couleur, de sa porosité, de ses éléments grossiers, de sa richesse en matière organique (vivante ou morte), de sa consistance, de sa réaction à l'HCl ...etc.

Après avoir terminé la description des profils, des échantillons de sol ont été prélevés. Ainsi, pour chaque horizon, environ un kilogramme de terre a été prélevé sur plusieurs points tout au long des horizons en veillant à procéder du bas vers le haut afin d'éviter toute contamination des couches inférieures, ensuite acheminés dans des sacs en plastique au laboratoire pour analyse.

Une fois au laboratoire, les sols sont pesés pour déterminer leur humidité, puis laissés sécher pendant une semaine à l'air libre sur du papier journal. Ensuite, les agrégats des sols ont été émiettés et les débris organiques éliminés, puis tamisés à travers un tamis de 2mm de diamètre. La terre fine obtenue de chaque sol est conservée dans des pots en plastique étiquetés. C'est sur ces fractions fines que les analyses pédologiques sont effectuées.

3-2- Analyses physico-chimiques des sols

Les échantillons de sol sont étalés sur des journaux et laisser sécher à l'air libre pendant sept jours. Une fois secs, ils sont tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre. Les fractions fines ainsi obtenues sont ensuite soumises à une série d'analyses physico-chimiques, dans le but de déterminer leurs principales caractéristiques pédologiques. L'ensemble des analyses a été réalisé conformément aux méthodes préconisées par **Sakar et Haldar (2005)**.

3-2-1- Analyses physiques des sols

✓ L'humidité

L'humidité du sol est évaluée par une méthode gravimétrique consistant à peser une quantité déterminée de sol avant et après son passage dans une étuve réglée à une température constante de 105°C. Cette technique repose sur le principe de l'évaporation complète de l'eau à cette température, tout en préservant la structure des particules solides du sol. La diminution de poids observée correspond à la masse d'eau évaporée lors du processus de séchage, permettant ainsi de quantifier précisément la teneur en eau du sol, selon la formule suivante :

Avec ;

H : humidité

P1 : poids de la terre humide

P2 : poids du sol sec

P3 : poids de la boîte à tare avec couvercle à vide.

$$H(\%) = \frac{P1 - P2}{P2 - P3} \times 100$$

✓ Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la composition centésimale des particules minérales (sables, limons et argiles) constituant la terre fine et définir sa texture. Elle est déterminée selon la méthode internationale modifiée par l'emploi de la pipette Robinson.

Dans un premier temps, la matière organique est éliminée par oxydation à l'eau oxygénée, garantissant une neutralité chimique dans les étapes ultérieures. Par la suite, les ions flocculant, responsables de l'agglomération des particules, sont dispersés grâce au pyrophosphate de sodium, permettant une désagrégation efficace des particules du sol. Les fractions les plus fines, constituées d'argiles et de limons fins, sont ensuite prélevées à l'aide de la pipette Robinson dans des colonnes à sédimentation. Les prélèvements sont réalisés à des profondeurs et des intervalles de temps spécifiques, déterminés par l'application de la loi de Stokes, assurant une répartition précise en fonction de la vitesse de sédimentation (**Aubert, 1978**). Les fractions plus grossières, comprenant les sables grossiers, sables fins et limons grossiers, sont quantifiées par

tamissage après l'élimination préalable des fractions fines par une série de siphonages. Enfin, la détermination de la texture se fait par la projection des pourcentages des différentes fractions sur le triangle des textures (U.S.D.A).

✓ Le pH

L'acidité du sol a été déterminée à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une électrode combinée en verre, plongée dans une suspension aqueuse de sol préparée avec un rapport massique sol/eau de 1/2,5. Cette suspension a été soumise à une agitation pendant une heure, suivie d'une décantation. Deux types de mesures de pH ont été réalisées ;

- ✓ L'acidité actuelle (pH_{eau}), mesurée directement dans la suspension aqueuse.
- ✓ L'acidité potentielle (pH_{KCl}), évaluée après l'ajout d'une solution de chlorure de potassium (KCl, 1M), ce qui permet de mettre en évidence les ions hydrogène échangeables du sol.

Cette méthode permet d'obtenir des informations précises sur les propriétés acido-basiques du sol, tant en conditions naturelles qu'après désorption des cations échangeables.

✓ La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est déterminée à l'aide d'un conductimètre sur des extraits de sols préparés selon un rapport sol/eau de 1/5. (Annexe 2) Elle est exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette mesure constitue un indicateur de la concentration en électrolytes présents dans la solution du sol. Elle reflète non seulement l'état chimique des solutions interstitielles, mais également le niveau de salinisation des sols (**Aubert, 1978**).

✓ Indice de battance

La battance est le signe de risque d'érosion et d'une structure fragile, sensible au tassement. En effet, les sols riches en limons ont tendance à se tasser en surface sous l'effet de la pluie et à former une croûte imperméable à l'air et à l'eau. La battance se développe surtout dans les horizons de surface renfermant moins de 3% de matière organique (**Boiffin, 1986**).

Le calcul de l'indice de battance (I.B.) permet d'évaluer la sensibilité du sol à la battance. Il prend en compte les proportions de limons fins, limons grossiers, argiles et matière organique. Il se calcule selon la formule suivante :

$$I.B. = \frac{(1,5 * \%LF) + (0,75 * \%LG)}{(\%A) + (10 * \%MO)}$$

Avec : LF : Limon fin ; LG : Limon grossier ; A : Argile ; MO : Matière organique

L'argile et la matière organique figurent au dénominateur, ce qui signifie que plus leur teneur est élevée, plus l'indice diminue, traduisant une meilleure stabilité structurale du sol et une moindre sensibilité à la battance. L'argile, lorsqu'elle est présente en quantité modérée, contribue à la cohésion des particules, tandis que la matière organique améliore la formation d'agrégats résistants à l'impact des gouttes de pluie. Leur effet combiné permet donc de limiter la formation de croûtes superficielles et de préserver la porosité du sol (Boiffin *et al.*, 1981).

3-2-2- Analyses chimiques des sols

✓ Dosage du carbone total :

Le carbone organique contenu dans le sol est quantifié à l'aide de la méthode d'Anne modifiée (Dabin, 1971). Cette technique repose sur une oxydation à chaud effectuée par le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu sulfurique (H_2SO_4), garantissant une réaction complète. L'excès de bichromate de potassium, non consommé lors du processus d'oxydation, est ensuite titré à l'aide d'une solution de sel de Mohr $[Fe (NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O]$ de normalité connue, en présence de diphénylamine utilisé comme indicateur de fin de réaction. Ce dosage précis permet de déterminer la teneur en carbone organique.

Les teneurs du sol en carbone organique total ont été calculées suivant la formule :

$$C(\%) = \frac{(V_e - V_t) \times 0,615 \times 100}{P}$$

Avec :

$C(\%)$: la teneur en carbone total exprimée en (%) ;

V_e : volume du sel de Mohr (0,2N) lu lors de titrage de l'échantillon (ml) ;

V_t : volume du sel de Mohr (0,2N) lu lors de titrage du témoin (ml) ;

P : prise d'essai en gramme.

Par ailleurs, la matière organique du sol est calculée à partir du pourcentage de carbone organique ($C\%$) en appliquant la formule suivante : $MO(\%) = C\% * 1,72$

✓ Dosage de l'azote total

La méthode de Kjeldahl constitue une technique de référence pour la quantification de l'azote contenu dans les composés organiques. Ce procédé repose sur la conversion de l'azote organique en azote ammoniacal, par l'action de l'acide sulfurique concentré porté à ébullition. L'acide sulfurique agit en tant qu'agent oxydant, détruisant les matières organiques tout en libérant l'azote sous forme ammoniacale. Pour accélérer cette transformation, un catalyseur composé de sulfate de cuivre, de sulfate de potassium et de sélénium est ajouté à la réaction, favorisant une oxydation complète de la matière organique. Une fois cette étape achevée, la solution obtenue, riche en sulfate d'ammonium, est récupérée pour procéder au dosage de

l'ammoniac. L'ammoniac est ensuite libéré par déplacement à l'aide de soude, puis distillé grâce à un appareil de distillation type VELP (UDK 412), avant d'être recueilli dans une solution d'acide borique. Enfin, cette solution d'acide borique est titrée à l'aide d'une solution d'acide sulfurique de normalité connue (N/50), en présence d'un indicateur coloré : le réactif de Tashiro, permettant une détermination précise de la teneur en azote.

L'azote est calculé à partir de la formule suivante :

$$N(\%) = \frac{(Ve - Vt) \times 2,8}{v \times p}$$

Avec :

$N(\%)$: la teneur en azote total exprimée en (%) ;

V_e : volume de l'acide sulfurique (N/50) lu lors de titrage de l'échantillon (ml) ;

V_t : volume de l'acide sulfurique (N/50) lu lors de titrage du témoin (ml) ;

v : volume de la prise d'essai (20 ml) ;

p : poids du sol utilisé

✓ Dosage du phosphore assimilable

Le phosphore assimilable (P_2O_5) du sol est déterminé par méthode de **Joret- Hébert (1955)**, qui consiste à extraire le phosphore disponible dans l'échantillon du sol à l'aide d'une solution d'oxalate d'ammonium $[(NH_4)_2C_2O_4, (0,2N) \text{ à pH } 7]$, ensuite, on dose directement le phosphore par colorimétrie. Ainsi, l'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour former un complexe phosphomolybdique qui, en présence de l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique à une longueur d'onde $\lambda=650\text{mm}$.

Les concentrations en phosphore assimilable sont déterminées à l'aide d'une courbe d'étalonnage construit à partir de solutions étalons de concentrations connues (annexe 3), et sont calculées selon la formule suivante:

$$P_2O_5(ppm) = X \times \frac{U}{v} \times \frac{V}{P}$$

Avec :

X : concentration du phosphore assimilable en (ppm), lue sur le graphique.

U : volume colorimétrique (10ml).

v : volume de la prise d'essai (1,5ml).

V : volume de la solution d'extraction (250ml).

P : poids du sol (10g).

✓ Dosage des bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+)

Les bases échangeables sont d'abord extraites par une solution d'acétate d'ammonium (1N, pH 7), suivie d'une filtration. L'acétate d'ammonium permet de solubiliser les cations échangeables tout en maintenant la structure et les propriétés naturelles des composants du sol.

Les percolâts ainsi obtenus, contenant les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} et K^{+} sous forme soluble, sont soumis à une analyse pour doser les bases échangeables.

Les concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} ont été déterminées par complexométrie impliquant l'EDTA (Ethylenediaminetétraacétique) qui agit comme agent complexant. Cette molécule forme des complexes stables avec les cations métalliques garantissant une quantification précise de ces éléments. Les teneurs de Na^{+} et K^{+} ont été déterminés par photométrie de flamme (Jenway), calibré à l'aide de solutions standards respectives à chaque élément (**Annexe 4 et 5**).

En comparant les résultats obtenus avec des solutions étalons de concentration connue, il devient possible de quantifier avec précision les concentrations en potassium et sodium. Cette méthode, à la fois rigoureuse et élégante, est essentielle pour la compréhension de la composition chimique des sols et des solutions, tout en permettant une analyse scientifique fiable et reproductible.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1- Caractéristiques des images choisies

L'analyse de la dynamique de la végétation forestière dans la région de l'Antenne Chemini a été réalisée à partir d'une série temporelle d'images satellitaires issues de la base de données de l'USGS (**Imprimerie du gouvernement des États-Unis.**).

Cette approche repose sur l'exploitation d'images acquises sur une période couvrant l'intervalle 1997–2024. Toutefois, en raison d'une forte couverture nuageuse affectant la majorité des sites (taux supérieur à 50 %), seule une sélection rigoureuse de 14 images, couvrant la période de 2013 à 2024, et répondant à des critères de qualité atmosphérique adéquats, a pu être retenue (tableau VII)

Tableau VII : dates et références des images satellites USGS, FIRMS

Dates	Références
2012	FIRMS_2012[@4.65,36.67,11.85z]
21/06/2013	LC08_L2SP_195035_20130621_20200912_02_T1_SR_B4 LC08_L2SP_195035_20130621_20200912_02_T1_SR_B5
2014	FIRMS_2014[@4.65,36.67,11.85z]
27/06/2015	LC08_L2SP_195035_20150627_20200909_02_T1_SR_B4 LC08_L2SP_195035_20150627_20200909_02_T1_SR_B5
2016	FIRMS_2016[@4.65,36.67,11.85z]
16/06/2017	LC08_L2SP_195034_20170616_20200903_02_T1_SR_B4 LC08_L2SP_195034_20170616_20200903_02_T1_SR_B5
2018	FIRMS_2018[@4.65,36.67,11.85z]
22/06/2019	LC08_L2SP_195035_20190622_20200827_02_T1_SR_B4 LC08_L2SP_195035_20190622_20200827_02_T1_SR_B5
2020	FIRMS_2020[@4.65,36.67,11.85z]
11/06/2021	LC08_L2SP_195035_20210611_20210622_02_T1_SR_B4 LC08_L2SP_195035_20210611_20210622_02_T1_SR_B5
2022	FIRMS_2022[@4.65,36.67,11.85z]
17/06/2023	LC08_L2SP_195035_20230617_20230623_02_T1_SR_B4 LC08_L2SP_195035_20230617_20230623_02_T1_SR_B5
2023	FIRMS_2023[@4.65,36.67,11.85z]
27/06/2024	LC09_L2SP_195035_20240627_20240628_02_T1_SR_B4 LC09_L2SP_195035_20240627_20240628_02_T1_SR_B5

2- Cartographie et variation de l'indice de végétation (NDVI) de la forêt antenne de Chemin

2-1- Cartographie de la végétation et interprétation des résultats

Ce chapitre présente l'évolution spatio-temporelle de la couverture végétale entre 2013 et 2024, analysée à travers l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) selon la méthode de **Rouse *et al.* (1974)**. Les cartes générées ont permis de visualiser les dynamiques de la végétation et de détecter les zones de régression écologique.

Ces pressions cumulées qu'elles soient d'origine anthropique, comme le surpâturage, le défrichement ou l'exploitation abusive du chêne zéen, ou d'origine naturelle, telles que les contraintes topographiques ou les incendies, altèrent profondément la stabilité et la résilience des communautés végétales. L'évolution spatio-temporelle de la couverture végétale après les feux constitue ainsi un indicateur pertinent de la réponse de l'écosystème face à ces perturbations (**Keeley, 2009**).

À cet égard, l'analyse diachronique postérieure aux incendies de 2012 (Figure 11.A) met en évidence une dynamique de régénération initialement prometteuse en 2013 (Figure 10.A), avant d'être brutalement compromise par une nouvelle vague de perturbations enregistrée en 2015 (Figure 10.B) et en 2017 (Figure 10.C), en étroite relation avec la survenue de multiples incendies successifs en 2014 et 2016 (Figure 11.B, 11.C).

Une reprise temporaire de la couverture végétale est constatée en 2019 (Figure 10. D), probablement favorisée par une accalmie des pressions, notamment l'absence d'incendies en 2018 (Figure 11. D). Cependant, les feux de 2020 (Figure 11. E) ont de nouveau altéré les structures végétales, entraînant une détérioration visible en 2021 (Figure 10. E). Les incendies de 2022 (Figure 11. F) ont accentué ce déclin, avec un impact prononcé sur la végétation en 2023 (Figure 10. F). Enfin, les feux de 2023 (Figure 11. G) ont eu des répercussions sévères, se traduisant par une dégradation significative de la couverture végétale en 2024 (Figure 10.G).

L'analyse des changements (perte, stabilité, gain) confirme une extension des zones de régression écologique, traduisant une fragilisation continue de la végétation naturelle. Ces résultats soulignent l'impact synergique des facteurs naturels et anthropiques sur la dynamique de l'écosystème forestier (**Verbesselt *et al.*, 2010**).

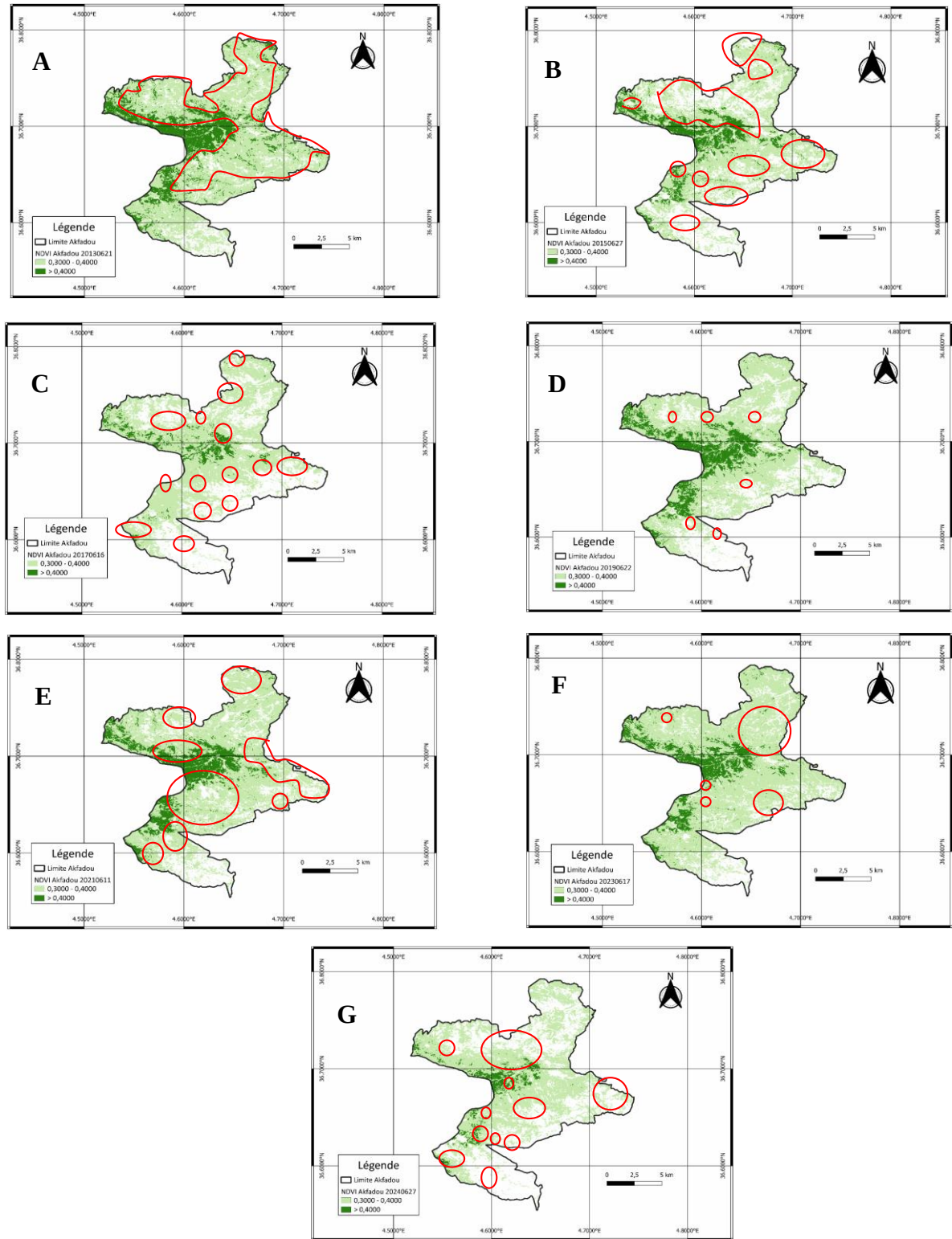
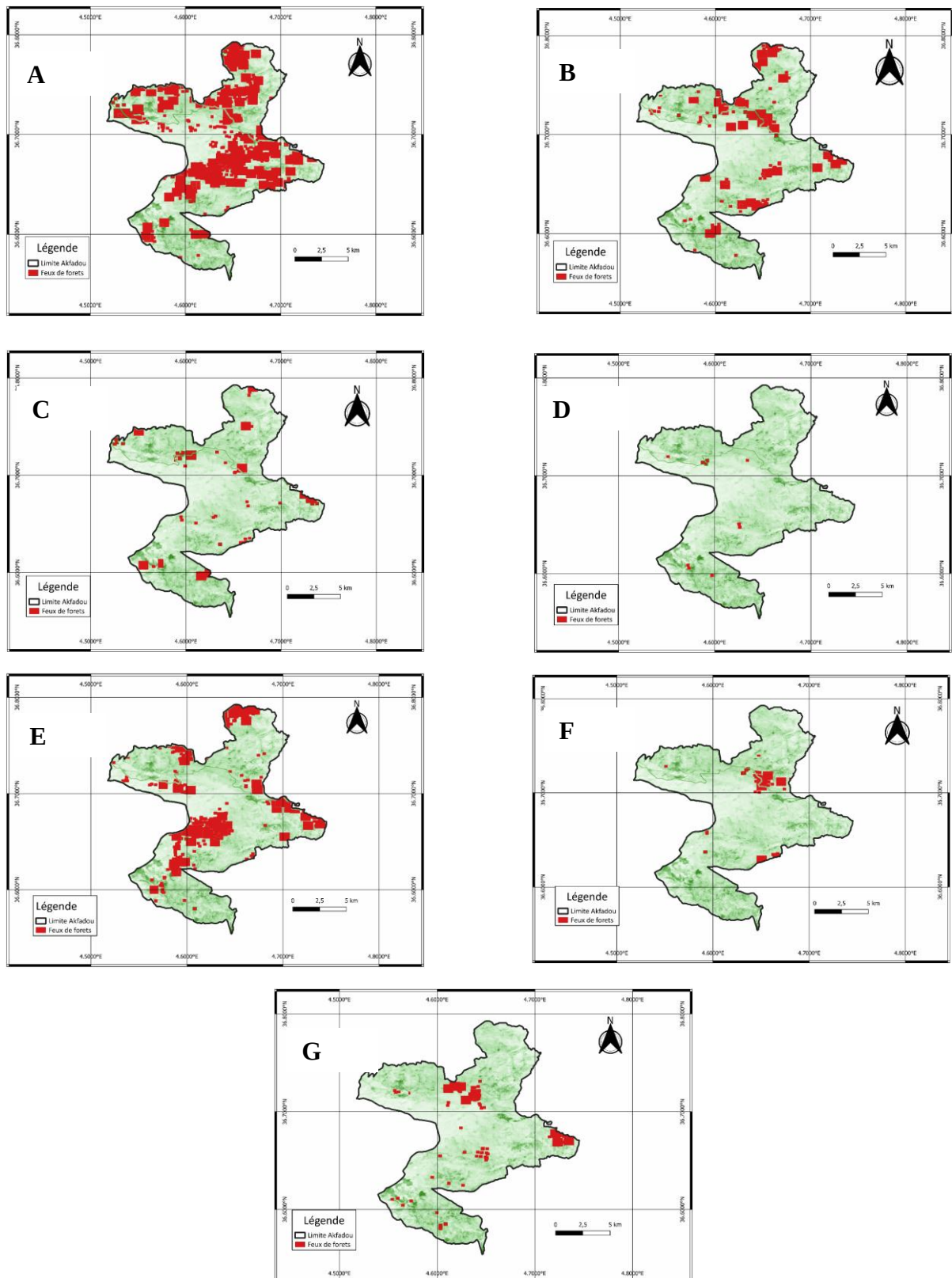


Figure 10 : Cartes de végétation NDVI de l'Akfadou de 2013 à 2024

(Avec : A : 2013 ; B : 2015 ; C : 2017 ; D : 2019 ; E : 2021 ; F : 2023 ; G : 2024)

(○ : Feux de forêts)



2-2- Variation des NDVI

Le constat de la dégradation observée à partir de 2015 et aggravée en 2017, s'accorde avec les travaux montrant que la fréquence élevée des incendies induit une baisse durable de l'NDVI ; En zone méditerranéenne, il a été observé que la récupération du couvert végétal peut nécessiter entre 2 et 4 ans, selon le degré et la répétition des brûlures (**Hernández-Clément et al., 2009**).

2-3- L'impact des feux de forêts sur la végétation et sur le sol

La carte (Figure 10.C) illustre un impact modéré mais diffus des feux de forêt sur la végétation, avec une dispersion marquée des foyers en périphérie et en zones de moyenne altitude. Les zones encadrées en rouge témoignent d'une baisse locale du NDVI, traduisant une dégradation partielle du couvert végétal et une recolonisation par des espèces rudérales. Cette perturbation engendre une fragmentation écologique, réduisant la résilience des milieux. À l'inverse, les zones centrales, plus denses et sombres, semblent préservées, traduisant une stabilité écologique relative, probablement due à une moindre pression anthropique.

La récurrence des incendies agit comme un facteur de perturbation majeure, compromettant la résilience écologique des écosystèmes forestiers, elle entraîne une dégradation progressive de la couverture végétale (Figure 10.C), l'appauvrissement des semenciers, et favorise l'installation d'espèces pionnières ou pyrophytes au détriment des espèces climaciques (**Pausas et Keeley, 2014**). Cette dynamique est clairement observable sur la carte C, où les zones à faible NDVI traduisent une récupération végétale incomplète. La répétition des feux accentue également la fragmentation du paysage, réduisant la connectivité écologique, et aggrave l'érosion des sols par la destruction des horizons riches en matière organique (**Moreira et al., 2011**). Ainsi, l'analyse croisée des relevés floristiques, des profils pédologiques et des cartes spatiales associées met en évidence que les incendies récurrents n'agissent pas comme de simples perturbations ponctuelles, mais induisent une rupture durable dans la dynamique écologique. En modifiant profondément la composition floristique, la structure du sol et les conditions microclimatiques, ces événements entraînent une déviation de la trajectoire de succession naturelle. On observe alors le passage d'écosystèmes forestiers résilients à des formations régressives dominées par des espèces pionnières ou pyrophytes, installées sur des sols déstructurés, appauvris en matière organique et sujets à l'érosion. Cette dynamique régressive, bien visible sur les cartes de végétation et les diagnostics pédologiques,

tend à se stabiliser dans un état dégradé, difficilement réversible sans intervention écologique ciblée, comme le décrit **Certini (2005)**

Le tableau suivant nous renseigne sur l'ensemble des principaux facteurs de dégradation des sols et leurs impacts,

Tableau VIII : Principaux facteurs de dégradation des sols et leurs impacts

Relevés floristiques et/ou profils des sols	Facteur	Processus affectés	Références
P2 et P3	Feux de forêt	- Perte de fertilité	Certini, (2005)
P5	Surpâturage	- Battance - Appauvrissement	FAO, 2015 ; Le Houérou, (1987)
P1	Déforestation	- Érosion	Lal, (2001)
P4	Précipitations / pente	- Érosion hydrique - Appauvrissement des horizons	Morgan, (2005)

Les relevés floristiques et pédologiques effectués aux points P1 à P5 révèlent une dégradation marquée des sols et de la végétation, directement liée à divers facteurs anthropiques et abiotiques. Les incendies de forêt (P2 et P3) ont entraîné une perte significative de fertilité par volatilisation des éléments nutritifs et destruction de la matière organique, confirmant les observations de **Certini (2005)**. Le surpâturage (P5) a provoqué un compactage du sol, une battance accrue et un appauvrissement floristique, comme le décrivent la **FAO (2015)** et **Le Houérou (1987)**. La déforestation observée à P1 a accentué l'érosion des horizons superficiels, en accord avec les travaux de **Lal (2001)**, tandis que l'érosion hydrique liée à la pente et aux précipitations (P4) a entraîné un appauvrissement des horizons, conformément aux conclusions de **Morgan (2005)**. L'ensemble de ces facteurs a provoqué une simplification des cortèges floristiques et une altération de la structure et de la fertilité des sols, traduisant une perte progressive de la résilience écologique des milieux étudiés (**Chapin et al., 2002**).

2-4- Estimation des surfaces brûlées durant la période 2013-2023

La superposition et l'analyse comparative des images issues de la classification de l'NDVI ont permis d'identifier et de caractériser les surfaces affectées par les incendies de forêt survenus entre 2013 et 2023 dans la région de l'Antenne Chemini. Le résultat de cette analyse est illustré dans le graphique (figure 12)

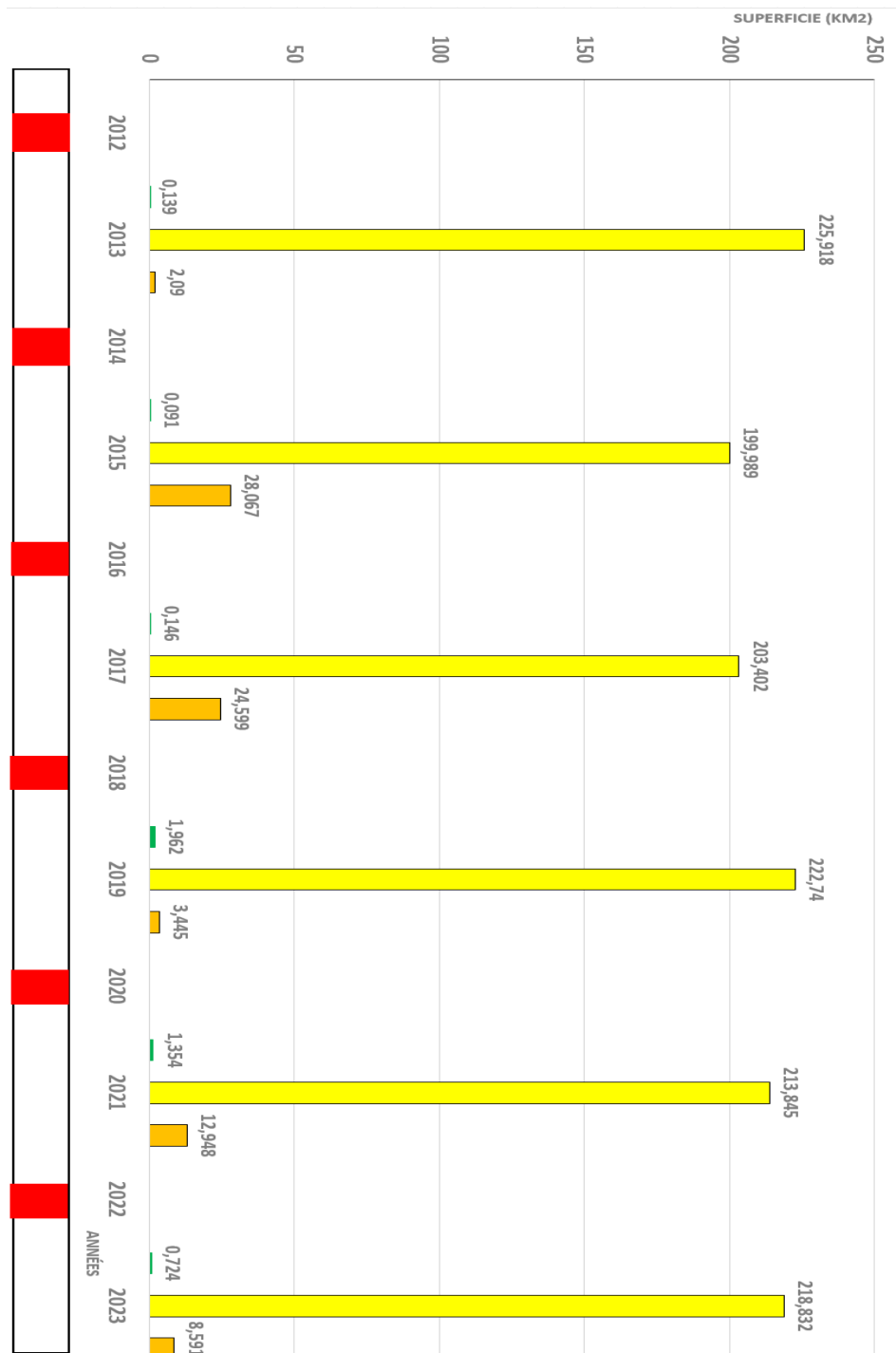


Figure 12 : Les surfaces affectées par les incendies selon les indices NDVI (2013–2023)

Avec :

Vert = : Gain de végétation (régénération, croissance,)

Orange : Perte de végétation (dégradation, feux, déforestation,)

Jaune : Neutre (stabilité, pas de changement significatif).

Rouge : Feux de forêts

L'analyse diachronique des surfaces affectées par les incendies, fondée sur l'évolution des indices NDVI entre 2013 et 2023, révèle une dynamique végétale marquée par une alternance de phases de résilience et de dégradation, en étroite relation avec la fréquence et l'intensité des feux.

Après le violent incendie de 2012, les données de 2013 traduisent un potentiel de régénération naturelle, avec une surface de couverture végétale maximale estimée à 0,139km² sur une superficie totale de 228,147Km². Cette réponse rapide témoigne de la résilience des formations méditerranéennes, notamment celles dominées par des espèces pyrophytes comme *Quercus canariensis* ou *Erica arborea*, capables de régénération par rejets ou par graines résistantes au feu (Keeley *et al.*, 2011 ; Pausas et Keeley, 2014).

Cependant, cette dynamique positive est rapidement inversée à partir de 2015, année au cours de laquelle les données indiquent un pic de surface supplémentaire brûlée estimé à 28,067Km². Cette régression s'explique par une recrudescence des incendies (comme l'indique la bande rouge inférieure), traduisant une pression récurrente sur les écosystèmes, empêchant leur stabilisation et favorisant une spirale de dégradation (FAO, 2020). La réduction significative de la productivité végétale en 2015 et 2017 est indicatrice de stress écologique (Chuvienco *et al.*, 2019).

L'année 2019 constitue un nouveau tournant, avec une hausse notable de la végétation, probablement liée à une accalmie relative des feux et à des conditions climatiques plus favorables. Toutefois, la résilience demeure fragile et partielle, comme en témoignent les nouvelles baisses de surfaces végétales en 2021 estimée à 12,948Km², correspondant à de nouvelles superficies touchées par les incendies.

En 2023, malgré un léger retour de la végétation, l'écosystème semble s'inscrire dans une résilience sous contrainte, marquée par une végétation qui ne retrouve pas ses niveaux initiaux, serait dû à l'épuisement des stocks de semences, à l'érosion des sols et à la perte de biodiversité fonctionnelle (Pausas et Verdú, 2005).

Ces résultats illustrent parfaitement les limites de la résilience dans les écosystèmes méditerranéens soumis à des perturbations répétées. Ils confirment les observations de nombreux auteurs (**Lloret et al., 2009 ; Pausas, 2015**) qui soulignent que la fréquence croissante des incendies, liée souvent à des facteurs anthropiques (défrichement, surpâturage), altère profondément la trajectoire écologique de ces milieux, favorisant parfois des transitions vers des états dégradés irréversibles.

2-5- Etat de la végétation après dégradation

✓ La forêt dense

La forêt dense étudiée, bien qu'ayant retrouvé une canopée fermée dominée par *Quercus canariensis*, présente une structure écologiquement incomplète comparée à la chênaie climacique décrite par **Maire (1926)**. La présence d'espèces sciaphiles et hygrophiles telles que *Cyclamen africanum*, *Viola odorata* et *Hyacinthoides hispanica* atteste d'un microclimat humide et ombragé, typique des forêts des montagnes matures sur substrat siliceux (**Anderson et al., 1992 ; Quézel et Médail, 2003**). Toutefois, l'absence de strate arbustive et muscinale développée, ainsi que la présence persistante d'*Asphodelus microcarpus* – espèce pionnière et pyrophyte indicatrice de perturbations (surpâturage) (**Pausas et Keeley, 2014**) – révèlent une perturbation historique encore active. En contraste, la forêt décrite par **Maire** abrite une diversité arborée plus riche (*Acer obtusatum*, *Sorbus torminalis*) et une strate herbacée et épiphytique mieux développée, reflet d'une stabilité écosystémique complète. L'écosystème actuel se situe donc dans une phase de résilience, probablement en transition vers un état climacique mais encore marqué par un déficit de complexité verticale (stratification de la végétation) et fonctionnelle (**Dutoit et Alard, 1995 ; Decocq et al., 2004**).

✓ La forêt claire

La forêt claire examinée représente un stade transitoire de succession écologique, en voie de maturation mais encore marqué par des perturbations récentes, notamment les incendies et le surpâturage. La canopée ouverte, dominée par des espèces comme *Rubus ulmifolius*, *Evax pygmaea*, *Geranium atlanticum* et *Hyacinthoides aristidis*, laisse filtrer la lumière, favorisant le développement d'un cortège héliophile à mésophile, typique d'un milieu en régénération post-crise (**Blondel et Aronson, 1999 ; Quézel et Médail, 2003**).

En comparaison, la forêt décrite par **Maire (1926)** est climacique, à canopée fermée, dominée par un assemblage forestier diversifié incluant *Quercus canariensis*, *Q. afares*, *Q.*

suber, *Acer campestre* ou *Sorbus torminalis*, associé à une strate herbacée sciaphile et une riche strate épiphyte (*Polypodium vulgare*, *Cotyledon umbilicus*). Ces éléments sont absents dans la forêt claire, traduisant l'absence d'un microclimat humide stabilisé (**Anderson et al., 1992 ; Lumley et al., 2001**).

La stratégie de recolonisation actuelle est visible dans la dominance de *Rubus ulmifolius*, espèce pionnière structurant un sous-bois post-perturbation, et dans la présence de *Teucrium kabylicum*, taxon endémique indicateur de reforestation montante. Toutefois, l'absence d'espèces exigeantes comme *Geum sylvaticum* ou *Dryopteris affinis* confirme que la forêt claire n'a pas encore atteint un stade climacique complet (**Lavorel et al., 1998 ; Pausas et Keeley, 2014**).

✓ Le maquis

Le maquis étudié correspond à un stade intermédiaire de succession dans les milieux méditerranéens post-perturbation, où des espèces ligneuses héliophiles et xérophiles telles que *Genista tricuspidata*, *Juniperus oxycedrus*, *Erica arborea* et *Rubus ulmifolius* traduisent une résilience partielle du couvert végétal, mais encore marquée par une stratification simplifiée (**Blondel et Aronson, 1999 ; Quézel et Médail, 2003**).

Comparé à la forêt climacique à *Quercus canariensis* décrite par **Maire (1926)** caractérisée par une futaie fermée, un microclimat humide et stable, et une riche flore sciaphile (*Geum sylvaticum*, *Cyclamen africanum*, *Dryopteris affinis*) notre maquis montre un écart écologique prononcé. Toutefois, la présence persistante d'espèces issues du cortège forestier du chêne zen (*Erica arborea*, *Rubus ulmifolius*, *Genista tricuspidata*, *Genista numidica*, *Crataegus laciniata*, *Teucrium polium*) constitue un témoignage floristique fort de la naturalité ancienne du site (**Peterken, 1996**), confirmant qu'il s'agit d'une ancienne station forestière dégradée.

L'absence actuelle de *Q. canariensis* et d'espèces forestières exigeantes (*Asplenium onopteris*, *Polypodium vulgare*, *Geum urbanum*) reflète une rupture du climax forestier, tandis que la dominance des espèces pionnières comme *Filago gallica* indique une recolonisation précoce post-crise (**Pausas et Keeley, 2014**). Ce constat, soutenu par des études sur les reliques floristiques et les traces de forêts anciennes (**Dupouey et al., 2002 ; Decocq et al., 2004**),

confirme que le maquis actuel porte la mémoire écologique d'une chênaie zen disparue, en voie de reconstruction lente.

✓ La pelouse dégradée

Plusieurs travaux ont montré que la pelouse dégradée représente le stade le plus régressif de la dynamique de succession végétale en milieu méditerranéen, résultant d'une perturbation anthropique intense et prolongée (surpâturage, incendies répétés, déforestation), et caractérisée par une végétation clairsemée à base d'espèces pionnières rudérales, telles que *Asphodelus microcarpus*, *Evax pygmaea*, *Pilosella officinarum* ou *Carthamus lanatus* (Grime, 1977 ; Papanastasis *et al.*, 1998). Ces espèces signalent un milieu fortement appauvri, acide, instable sur le plan édaphique et bloqué sur le plan fonctionnel (Anderson *et al.*, 1992 ; Dutoit et Alard, 1995).

En comparaison, la forêt climacique à *Quercus canariensis* décrite par Maire (1926) se distingue par une structure verticale complète, une futaie dense composée de *Q. canariensis*, *Q. suber*, *Acer obtusatum*, *Sorbus torminalis*, et un sous-bois riche en espèces sciaphiles, hygrophiles et relictuelles (*Geum sylvaticum*, *Polypodium vulgare*, *Cyclamen africanum*), caractéristiques d'un écosystème stable, ombragé et humide.

Malgré la régression observée sur l'écosystème étudié, certaines espèces relictuelles comme *Galium lucidum*, *Moehringia pentandra* ou *Parentucellia latifolia* subsistent au sein de la pelouse dégradée. Selon Peterken (1996) et Dupouey *et al.* (2002), ces taxons, typiques des forêts matures, sont des indicateurs paléoécologiques fiables, révélant l'ancienne présence d'une formation forestière. Leur persistance dans un contexte ouvert témoigne d'un héritage floristique post-forestier. Ainsi, la pelouse de l'antenne Chemini ne constitue pas une végétation originelle, mais bien le vestige fortement dégradé d'une chênaie humide préexistante, probablement dominée par *Quercus canariensis*. Le cortège mixte d'espèces pionnières et forestières observé traduit une trajectoire écologique régressive, et met en évidence le potentiel de résilience de l'écosystème (Decocq *et al.*, 2004 ; Maestre *et al.*, 2009 ; Pausas et Keeley, 2014).

3- Description morphologique et analyse pédologique des sols

3-1- Morphologie des profils

Les profils pédologiques sont une représentation verticale des sols, révélant leur organisation naturelle et leur structure stratifiée (horizons). Chaque horizon reflète des processus écologiques spécifiques, tels que la décomposition de la matière organique, la minéralisation ou l'érosion, qui façonnent la santé et la résilience des sols (pédogenèse).

Dans ce qui suit, nous examinerons en détail chaque profil et ses horizons, afin de mieux comprendre leur rôle écologique et leur potentiel durable, sous l'influence du substrat géologique, de la topographie, du régime hydrique, de la répartition de la végétation et la sensibilité aux effets anthropiques et du changement climatique.

➤ Description du Profil 1 :

- **Localisation :** Antenne du lac, commune de Chemini, situé à 72 Km de Béjaia
- **Coordonnées Lambert :**
X : 4°34'07" et Y : 36°37'52"
- **Altitude :** 1595,86m
- **Exposition :** NE
- **Pente :** 25%
- **Types de formation :** Forêt de chêne zéen « *Quercus canariensis* »
- **Taux de recouvrement :** 80%
- **Roche mère :** grès non calcaire, numidien.
- **Drainage :** bon.
- **Érosion :** faible. Quelques blocs apparaissent en surface

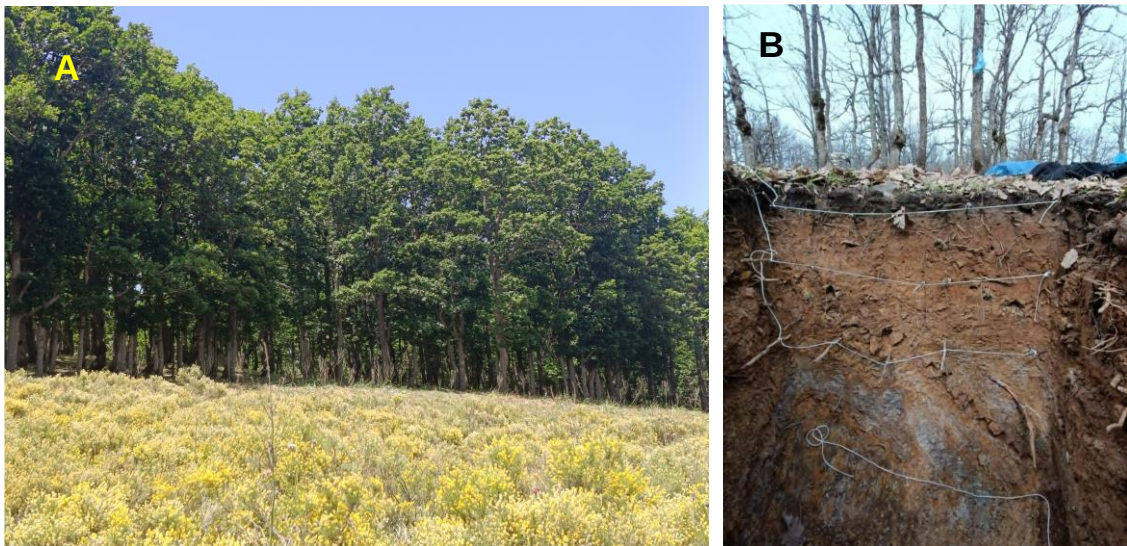


Figure 13 : Profil 1 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 1)

Ce profil pédologique (figure 13) représente une niche écologique riche et complexe. L'action anthropique observée exerce une influence sur cet écosystème, potentiellement à travers les activités comme le surpâturage, ce qui pourrait perturber l'équilibre écologique. Ce profil met en évidence une stratification pédologique bien différenciée, traduisant l'influence de processus

de formation distincts à différentes profondeurs. Les couches superficielles révèlent une accumulation de matière organique liée à l'activité biologique, tandis que les horizons plus profonds montrent des signes de migration de particules fines et de minéraux, résultant d'interactions prolongées entre les conditions climatiques, la végétation et la nature du sol. Cette organisation verticale illustre l'évolution du sol sous l'effet combiné des facteurs biotiques et abiotiques.

En plus de l'horizon AO ou horizon O ce profil est subdivisé en 4 horizons :

- **Horizon Ao ou horizon O : (0-4cm)**

Cet horizon, appelé horizon organique, présente une transition régulière avec un niveau élevé d'humidité et une présence d'une litière avec prédominance de feuilles de chêne zéen en surface non décomposées (figure14). Il est dépourvu d'éléments grossiers. Sa couleur noire intense (2,5Y2,5 /1, selon le code de Munsell) témoigne de sa richesse en matière organique. Très forte présence de champignons sous la litière, produisant la pourriture blanche sur des feuilles en décomposition. Il est caractérisé par un humus doux de type "Mull forestier", témoignant d'une activité biologique intense des décomposeurs (représentés par les vers de terre) et une dynamique de décomposition rapide sous l'influence du couvert végétal acidophiles.



Figure 14 : Horizon organique (Ao ou O) du profil 1

A- Poudre blanche fongique à la surface de l'horizon organique, signe d'une décomposition active de la matière organique par des champignons.

B- présence de vers de terre sous la litière, indicateurs d'une bonne activité biologique et d'un sol en bon état écologique

- **Horizon A ou (P1H1) : (4cm-9,5cm)**

Cet horizon présente une transition régulière, avec une humidité élevée et une couleur brun rougeâtre (5YR 4/4). Très peu de graviers et de cailloux de nature gréseuse très altérés. La matière organique est bien représentée mais difficilement décelable, avec un réseau racinaire abondant de taille moyenne à fine et uniformément réparties, favorisant une activité biologique intense. Il montre une texture humo-sableuse avec une structure grumeleuse et une grande porosité, pas d'effervescence avec HCl. Il ne montre ni tâche, ni cavité, ni fente et il reste chimiquement stable sans oxydation.

- **Horizon B1 ou (P1H2) : (9,5cm-18,5cm)**

Cet horizon présente une transition régulière, une humidité bien exprimée et une couleur brun jaunâtre (10YR 5/4). Il contient une abondance de cailloux irréguliers de nature gréseuse.

La matière organique est présente mais non directement décelable ; il est dépourvu d'oxydes de fer. Sa texture est limoneuse-argileuse avec une structure polyédrique et une consistance marquée.

Il ne réagit pas à l'acide chlorhydrique, ne montre aucune tâche ni cavité, et reste homogène. Relativement poreux, il contient des racines fines, uniformément réparties en présence diffuse. L'activité biologique est réduite par rapport aux horizons supérieurs.

- **Horizon B2 ou (P1H3) : (18,5cm-29cm)**

Cet horizon présente une transition irrégulière, une humidité persistante et une couleur grise (7,5YR 6/1). Il contient une quantité variable de cailloux irréguliers et de nature gréseuse. Présence d'oxydes de fer et de racines, de tailles variées, mais leur répartition est irrégulière. Sa texture est argileuse, avec une structure polyédrique et présente une grande consistance.

Il ne réagit pas à l'acide chlorhydrique ; des tâches orange et jaune, attribuées aux dépôts ferreux, sont visibles. Il est dépourvu de cavités, de fentes ou de porosité, reflétant une forte compaction. L'activité biologique est faible.

- **Horizon C ou (P1H4) : (29cm – > 40,5cm)**

Cet horizon argileux présente une transition irrégulière, marquée par une forte cohésion et une humidité persistante, reflétant sa grande capacité à retenir l'eau. Il est de couleur grise (7,5YR 6/1). Il contient une proportion variable de cailloux irréguliers de nature gréseuse, avec une présence quasi-inexistante de racines. Sa texture argileuse confère une structure polyédrique et une grande consistance. Cet horizon ne réagit pas à l'acide chlorhydrique ; il présente des oxydes de

fer sous forme de taches orange ou jaune et rouge, attribuées aux dépôts ferreux. .Il est dépourvu de cavités, de fentes et de porosité, traduisant une compaction marquée.

Enfin, l'activité biologique est très faible, limitant les processus de dégradation et de recyclage organique.

Description du Profil 2

- **Localisation :** Antenne du lac, commune de Chemini situé à 72 Km de Bejaia
- **Coordonnées Lambert :** X : 4°34'08" et Y : 36°37'50".
- **Altitude :** 1586,25m
- **Exposition :** NE
- **Pente :** 35%
- **Type de formation:** Maquis (*Genista numidica*)
- **Taux de recouvrement :** 95%
- **Roche mère :** grès non calcaire
- **Drainage :** Très bon.
- **Érosion :** faible à modérée. Présence de blocs en surface

Ce profil a été réalisé au cœur d'un buisson de *Genista numidica* (figure 15). La géologie sous-jacente influence à la fois la composition du sol et les caractéristiques hydrologiques de la zone. Le type de végétation est défini comme buissonnant, reflétant un écosystème adapté aux conditions locales de sol et de climat. L'activité anthropique est perceptible dans cette zone.

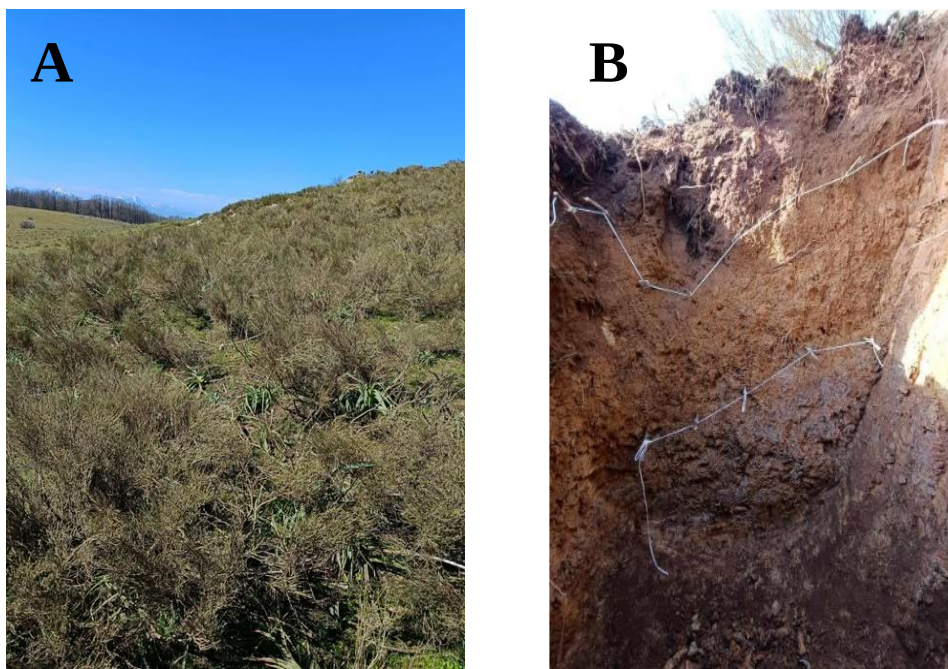


Figure 15 : Profil 2 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 2)

En plus de l'horizon O, ce profil est subdivisé en 3 horizons distincts, chacun portant des caractéristiques spécifiques :

- **Horizon AO ou O : (0-2cm)**

Cet horizon organique présente une transition irrégulière marquée par une faible accumulation de matière organique et une stratification discontinue. L'humidité est modérée à faible, traduisant un drainage efficace et une rétention hydrique limitée. La litière est peu abondante, composée principalement de fragments de feuilles et de brindilles, avec une décomposition partielle sous un couvert végétal clairsemé. La présence d'éléments grossiers gréseux en surface témoigne de l'altération du substrat sous-jacent. Sa couleur est brun clair (10YR 4/3). L'activité biologique est réduite, avec une présence limitée de champignons décomposeurs et une bioturbation quasi inexistante. Cet horizon est caractérisé par un humus de type Moder à Mor, traduisant une dynamique de décomposition ralentie. L'action anthropique également perceptible, influençant la dynamique pédologique (le surpâturage influence significativement la dynamique pédologique du site étudié. Le piétinement répété des animaux entraîne une compaction des couches superficielles du sol, réduisant la porosité et freinant l'infiltration de l'eau).

- **Horizon A ou (P2H1) : (2cm- 16,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette mais irrégulière, une humidité bien exprimée et une couleur brun rouge foncé (5YR 3/3). Il a une texture limono-sableuse et une structure grenue favorisant une microporosité développée. Non consistant et faiblement compacté, il ne contient pas de carbonates ni de tâches ou cavités visibles. On y trouve des graviers et des cailloux gréseux en quantités variables, ainsi qu'un réseau abondant de racines fines à moyennes, uniformément réparties. L'activité biologique y est élevée, avec une bioturbation visible, mais aucune ferruginisation n'est observée.

- **Horizon B1 ou (P2H2) : (16,5cm-27,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette mais irrégulière, une humidité clairement perceptible et une couleur brun jaunâtre (10YR 4/6). Il contient des graviers et cailloux gréseux, dispersés de manière hétérogène. La matière organique y est moins abondante, avec quelques racines de grosseur moyenne uniformément réparties. Sa texture limono-argileuse, associée à une structure grumeleuse, lui conférant une cohésion pédologique affirmée. Il ne réagit pas à l'acide chlorhydrique, n'a ni tâches, ni cavités ni fissures, et sa porosité est faible. L'activité biologique est réduite.

- **Horizon B2 ou (P2H3) : (17,5cm- >32,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette mais irrégulière, une humidité perceptible et une couleur gris clair (7,5YR7/1). Il est dépourvu d'éléments grossiers et de matière organique significative. Les oxydes de fer sont présents, visibles sous forme de taches rouges et orange. Sa texture est argileuse avec une structure polyédrique compacte et une très forte consistance. Il ne réagit pas à l'acide chlorhydrique, n'a ni cavités ni fissures, et sa porosité est extrêmement faible. Le système racinaire est réduit, composé de racines très fines, et l'activité biologique est faible.

➤ **Description du Profil 3 :**

- **Localisation :** Antenne du lac, commune de Chemini, situé à 72 Km de Bejaia
- **Coordonnées Lambert :**
X : 4°34'02'' et Y : 36°37'49''
- **Altitude :** 1580,1m
- **Exposition :** NE
- **Pente :** 25%
- **Type de formation:** (Pelouse dégradé) *Crataegus laciniata*
- **Couverture végétale :** 70%
- **Roche mère :** grès non calcaire.
- **Drainage :** bon.
- **Érosion :** faible

Le profil établi sur une pelouse dégradée dominée par l'aubépine (*Crataegus laciniata*) met en évidence un système écologique soumis à des pressions anthropiques. Il révèle une stratification distincte en 4 horizons auxquels s'ajoute un horizon organique (figure 16) :



Figure 16 : Profil 3 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 3)

- **Horizon Ao ou O : (0- 1,5cm)**

L'horizon organique sous l'aubépine présente une transition régulière avec une humidité modérée à élevée et une litière composée de feuilles et rameaux partiellement décomposés. Il est dépourvu d'éléments grossiers, favorisant une incorporation homogène de la matière organique. Sa couleur brun foncé (10YR 3/3) témoigne de sa richesse en matière organique. L'humus de type Moder traduit une dynamique de transformation organique active mais incomplète. Des traces d'activité anthropique sont détectables.

- **Horizon A ou (P3H1) : (1,5cm- 8,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette mais régulière, une humidité appréciable et une couleur gris clair (7,5YR7/1). Il est dépourvu d'éléments grossiers et de matière organique. Les oxydes de fer sont présents, visibles sous forme de tâches rouges et orange. Sa texture est argileuse avec une structure polyédrique compacte et une très forte consistance. Il ne réagit pas à l'acide chlorhydrique, n'a ni cavités ni fissures, et sa porosité est extrêmement faible. Le système racinaire est réduit, composé de racines très fines, et l'activité biologique est faible.

- **Horizon B1 ou (P3H2) : (8,5cm- 15cm)**

Cet horizon présente une transition nette et régulière. Il est humide, de couleur brun rouge foncé (5YR 2,5/2) avec une texture limoneuse-sableuse-argileuse et une structure grumeleuse. Il est non consistant, sans réaction à l'acide chlorhydrique, et montre une porosité moyenne. Il y'a une absence d'éléments grossiers, de tâches, de cavités et de fentes. Les racines, de taille fine, sont présentes en quantité moyenne.

- **Horizon B2 ou (P3H3) : (15cm- 27,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette et régulière, avec une humidité marquée et une couleur caractéristique « brun jaunâtre foncé » (10YR 4/4). Il est exempt d'éléments grossiers et pauvre en matière organique, avec une présence minimale d'oxydation. La texture est argileuse, la structure polyédrique et il est consistant. Aucune réaction à l'acide chlorhydrique n'est observée, mais des tâches rouges sous forme de grains, de nature ferreuse, sont présentes. Il ne montre ni cavités ni fentes, possède une porosité faible, une absence de racines, et ne révèle aucune activité biologique.

- **Horizon C ou (P3H4) : (27,5cm- > 41cm)**

Cet horizon se distingue par une transition nette et régulière, avec une humidité apparente et une couleur brun clair (7,5YR 6/3). Il est dépourvu d'éléments grossiers et de matière organique, mais présente des oxydes de fer et des taches ferreuses rougeâtres, orangées et vertes. La texture est argileuse, la structure polyédrique, et il est très consistant. Absence de réaction à l'acide chlorhydrique. La porosité est très faible, sans cavité, fentes ou racines, et l'activité biologique est absente.

➤ **Description du Profil 4 :**

- **Localisation :** Antenne du lac, commune de Chemini, situé à 72 Km de Bejaia
- **Coordonnées Lambert :**
X : 4°34'03" et Y : 36°37'50"
- **Altitude :** 1585,27m
- **Exposition :** NE
- **Pente :** 20%
- **Type de formation :** Pelouse dégradée (*Asphodelus microcarpus*)
- **Couverture végétale :** 70%
- **Roche mère :** grès non calcaire.
- **Drainage :** bon.
- **Érosion :** élevée. Blocs en abondance en surface

Ce profil a été réalisé où la végétation observée est une pelouse dégradée d'asphodèle. Il est composé d'un seul horizon, ressemblant à un « lithosol » ou « sol lithique » auquel s'ajoute l'horizon organique (figure 17).



Figure 17 : Profil 4 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 4)

- **Horizon Ao ou O : (0- 1cm)**

Cet horizon est peu épais et discontinu, marqué par une faible accumulation de matière organique. La litière est principalement constituée de fragments de végétaux issus de la

végétation, tels que *Genista tricuspidata* et l'asphodèle, dont la décomposition est ralentie par une faible activité biologique. L'humidité y est limitée et la capacité de rétention d'eau réduite. La couleur, brun foncé (7,5YR 3/3), témoigne d'une teneur modérée en humus. L'humus de type Mor ou Moder, peu incorporé au sol minéral sous-jacent, reflète une faible bioturbation et une fragmentation marquée des débris organiques. La dynamique de décomposition est lente, influencée par un milieu sec et une couverture végétale clairsemée, ce qui limite le développement d'un horizon bien structuré et accentue la vulnérabilité du sol face aux perturbations climatiques et anthropiques.

- **Horizon A ou (P4H1) : (1- 23,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette et régulière, avec une humidité constante et une teinte sombre, identifiée comme (7,5YR 3/3) « brun foncé ». Sa texture est limono-sableuse, avec une structure grenue et non consistante. Il est exempt d'éléments grossiers, de tâches, de cavités, de fentes, ainsi que d'oxyde de fer, et ne montre aucune réaction à l'acide chlorhydrique. Une microporosité est présente, accompagnée d'une activité biologique marquée par la microfaune et flore. Le système racinaire est de densité moyenne, avec des racines de tailles moyennes à fines, réparties de manière uniforme. Enfin, une matière organique composée de racines, de litière et de pelouse est observée.

➤ **Description du Profil 5 :**

- **Localisation :** Antenne du lac, commune de Chemini, situé à 72 Km de Bejaïa.
- **Coordonnées Lambert :** X : 4°34'03" et Y : 36°37'50"
- **Altitude :** 1585,27m
- **Exposition :** NE
- **Pente :** 20%
- **Type de formation:** (Pelouse dégradé) *Asphodelus microcarpus*
- **Couverture végétale :** 70%
- **Roche mère :** grès non calcaire.
- **Drainage :** mauvais.
- **Érosion :** forte (sol entassé et battant).

La figure 18 représente le profil qui a été réalisé dans une zone homogène, située au milieu d'une population d'asphodèle. Une influence anthropique sur le site a été relevée. Il est subdivisé en 3 horizons auxquels s'ajoute l'horizon organique.

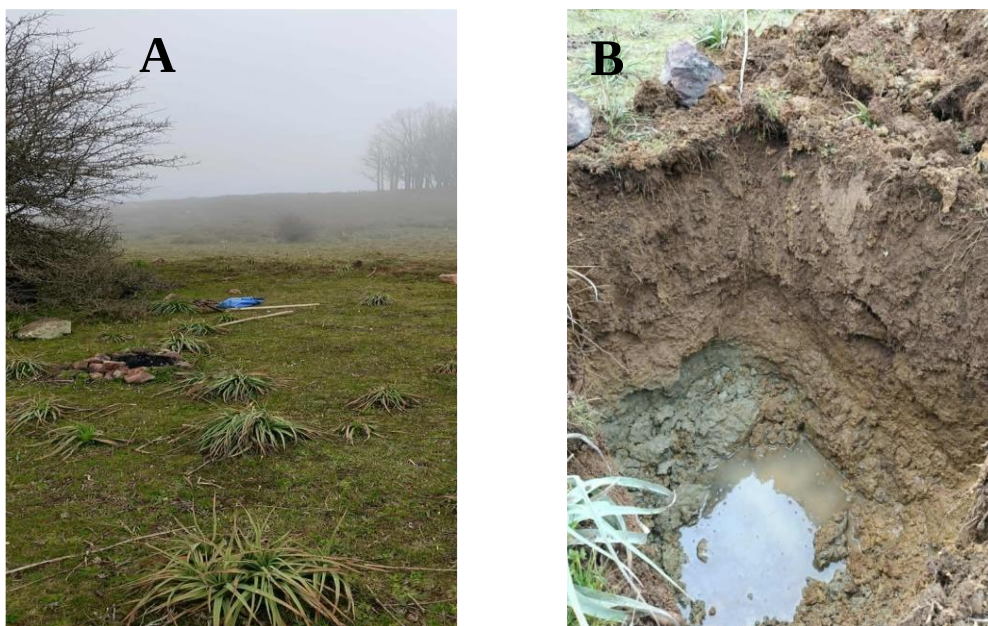


Figure 18 : Profil 5 (A : site de réalisation du profil ; B : les horizons du profil 5)

- **Horizon AO ou O: (0- 1cm)**

Cet horizon est peu épais, sa litière est constituée principalement de feuilles et de tiges d'asphodèle, souvent en décomposition avancée. La couleur de cet horizon est brun (7,5YR 4/3). L'humus est de type Mor, caractérisé par une décomposition lente et une faible intégration aux horizons sous-jacents.

La dynamique de cet horizon est marquée par une fragmentation des débris organiques, une faible activité biologique, et une stabilité précaire, rendant le sol vulnérable aux variations climatiques et aux perturbations anthropiques.

- **Horizon A ou (P5H1) : (1cm-15,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette et régulière, avec une humidité constante et une teinte définie comme (7,5YR 4/3) « brun ». La texture est limoneuse-sableuse, associée à une structure grenue et une consistance faible. L'horizon est exempt d'éléments grossiers, de tâches, de cavités, de fentes et d'oxydes de fer, tout en ne réagissant pas à l'acide chlorhydrique. On observe une microporosité bien développée ainsi qu'une matière organique composée de racines et de litière.

Le système racinaire est modérément abondant, de taille moyenne à fine, réparties uniformément. Une activité biologique est clairement présente, tout comme des signes d'intervention anthropique.

- **Horizon B1 ou (P5H2) : (15,5cm-24,5cm)**

Cet horizon présente une transition nette et régulière, avec une humidité apparente et une teinte caractérisée comme (10YR 4/6) « brun jaunâtre foncé ». La quantité de matière organique est moindre par rapport à l'horizon supérieur.

L'absence d'oxydes de fer est remarquée, la texture est limono-sablo-argileuse, associée à une structure grumeleuse. L'horizon est modérément consistant, ne réagit pas à l'acide chlorhydrique, et ne montre aucune présence de tâches, cavités ou fentes. La porosité est faible et les racines sont absentes. L'activité biologique est présente.

- **Horizon B2 ou (P5H3) : (24,5cm – > 30,5cm)**

Cet horizon se caractérise par une transition nette et régulière, avec une humidité constante et une teinte définie comme (7,5YR 5/1) « gris ». Il est dépourvu d'éléments grossiers et de matière organique, mais montre des signes d'oxydation.

Sa texture est argileuse, associée à une structure polyédrique et une consistance élevée. Cet horizon ne réagit pas à l'acide chlorhydrique et présente des tâches rouges et oranges sous forme de grains, d'origine ferreuse. Il est exempt de cavités et de fentes, avec une porosité très faible. L'absence de racines et d'activité biologique est notable, tandis que des signes d'action anthropique sont observés.

3-2-Analyse physico-chimiques des sols

3-2-1-Analyse Physique des sols

Les données issues des analyses effectuées sur les échantillons de sols ont été compilées et présentées sous forme de tableaux récapitulatifs IX

Tableau IX : Résultats des analyses physiques des sols

Paramètres Profils		H%	pH _{eau}	pH _{Kcl}	ΔpH	CE (μs/cm)	SAL (psu)
P1	H1	47.96	6.74	5.79	0.95	75.2	0.04
	H2	16.67	6.32	4.86	1.46	316	0.15
	H3	29.5	5.15	3.93	1.22	225	0.11
	H4	23.71	4.93	3.8	1.13	176	0.07
P2	H1	20.31	5.5	4.53	0.97	322	0.16
	H2	21.33	5.02	4.12	0.9	272	0.13
	H3	18.7	5.1	4.05	1.05	238	0.12
P3	H1	24.39	6.28	5.32	0.96	284	0.14
	H2	24.11	5.42	4.43	0.99	97.1	0.05
	H3	28.75	5.38	4.44	0.94	84	0.05
	H4	33.86	5.03	3.77	1.26	68.5	0.04
P4	H1	26.14	5.8	5	0.8	312	0.15
P5	H1	38.18	5.73	4.86	0.87	27.6	0.02
	H2	25.7	5.54	4.54	1	21.3	0.02
	H3	32.00	5.27	3.88	1.39	34.1	0.03

H : humidité ; **CE** : conductivité électrique ; **SAL** : salinité

✓ L'humidité

Les profils pédologiques présentent une humidité variable selon la composition des horizons, influencée par la porosité, la capacité de rétention et les flux hydriques.

✓ pH

L'analyse des échantillons prélevés sur les différents profils de sols de l'antenne de Chemini révèle une acidité marquée, avec des valeurs de pH_{eau} variant entre 4,93 et 6,74, selon les horizons et les profils examinés. Globalement, ces sols affichent une acidité fluctuante, allant de modérée à forte, avec une prépondérance de valeurs situées entre 5 et 6, traduisant un milieu majoritairement acide. L'horizon 4 du profil 1, caractérisé par une acidité accentuée, présente une valeur minimale de 4,93 ; tandis que le pH le plus élevé enregistré, de 6,74, demeure éloigné de la neutralité, confirmant ainsi le caractère acide du substrat, selon l'échelle standard de pH accompagnée de valeurs de pH de sols (Brady et Weil, 2005).

Par ailleurs, l'examen du pH_{KCl} , qui constitue un indicateur de l'acidité potentielle et de l'échange cationique au sein du complexe absorbant, met en évidence une acidité perceptible. Les valeurs relevées, oscillant entre 3,77 et 5,79, traduisent une forte acidité, particulièrement accentuée au niveau de l'horizon 4 du profil 3, où l'influence des cations échangeables et la saturation du complexe colloïdal contribuent à accentuer ce phénomène. Ces résultats soulignent une dynamique chimique influencée par la nature des composants minéraux et organiques du sol, ainsi que par les processus d'altération et de lessivage des éléments nutritifs (**Darshani et al., 2021**).

Le ΔpH , variant de 0,8 à 1,39, indique une prédominance de charges négatives sur les colloïdes, favorisant la rétention des cations mais révélant une acidité échangeable importante, notamment dans l'horizon H2 du profil 5. Les profils en pente présentent des ΔpH plus modérés, tandis que les sols plus stables montrent une activité colloïdale plus marquée, liée au lessivage. Ces caractéristiques traduisent une acidification progressive des sols, renforcée par la nature siliceuse du substrat et la perte des éléments basiques (**Baize, 2000**).

✓ La conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) des sols est un indicateur clé de leur niveau de salinité, influençant directement leur fertilité. La classification de **Durand (1983)** permet de catégoriser les sols en fonction de leur salinité et d'évaluer ses répercussions (**Annexe 2**).

Les analyses révèlent que tous les sols étudiés appartiennent à la classe 1, ce qui signifie qu'ils sont non salés. Cette absence de salinité excessive favorise une bonne disponibilité des nutriments, ainsi qu'une absorption optimale de l'eau, préservant ainsi la qualité et la structure du sol (**Ben khaled et al., 2006**).

✓ Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique révèlent une variabilité importante entre les profils, influençant directement les propriétés physiques du sol (Tableau X). En effet, les horizons sableux-limoneux, comme P1H1 et P1H2, présentent une forte proportion de sable (59,41-56,44%, respectivement) et un taux notable de limons (29,95-35,79), favorisant une bonne infiltration mais une faible rétention en eau et en nutriments. À l'inverse, les horizons argileux (P1H3, P1H4, P3H2...) sont dominés par une fraction argileuse élevée (>72%), leur conférant une grande capacité de rétention d'eau, bien que leur sensibilité à la compaction soit accrue. Les profils limono-argileux (P2H1, P2H2, P3H1) affichent un équilibre entre limon et argile, assurant une structuration stable et une gestion hydrique intermédiaire. Concernant les

horizons du profil 5 (P5H1, P5H2 et P5H3), la variabilité granulométrique est variable : P5H1 possède un maximum de limons (54,17%) et un minimum d'argile (8,72%), P5H2 est limono-sableux (37,54% de limon, 52,93% de sable), P5H3 est principalement argileux (27,74% de limons, 10,22% de sables et 62,04 d'argiles), impliquant une forte rétention d'eau et une perméabilité réduite.

Tableau X : Résultats de l'analyse granulométrique

Paramètres Profils		Argiles (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Texture
P1	H1	10,63	22,27	7,67	26,13	33,27	SL
	H2	7,76	28,29	7,49	28,44	27,99	SL
	H3	76,67	11,81	2,94	4,06	4,49	A
	H4	72,34	10,58	4,69	5,30	7,06	A
P2	H1	28,87	28,87	6,31	19,67	16,25	LA
	H2	37,36	37,36	5,51	6,69	13,07	LA
	H3	36,67	36,67	4,43	8,53	13,67	LA
P3	H1	31,21	16,37	11,11	20,32	20,96	AL
	H2	43,71	14,47	12,16	2,25	27,38	A
	H3	54,94	14,40	4,01	11,84	14,79	A
	H4	73,15	19,81	1,58	2,87	2,57	A
P4	H1	8,45	29,19	6,13	29,51	26,70	LS
P5	H1	8,72	47,59	6,57	18,36	18,74	Lf
	H2	9,51	32,73	4,81	23,07	29,86	LS
	H3	62,04	25,98	1,74	6,16	4,06	A

A : argileux ; AL : Argilo-limoneux ; LA : Limono-argileux ;

Lf : Limono fin ; LS : Limono-sableux ; SL : Sablo-limoneux

✓ La battance

Les résultats consignés dans le tableau XI représentent les indices de battance des profils.

Tableau XI : Résultats de l'analyse de la battance

Paramètres Profils		A (%)	LF (%)	LG (%)	MO (%)	IB	Appréciation
P1	H1	10,63	22,27	7,67	11,16	0,32	Non Battant
	H2	7,76	28,29	7,49	1,67	1,95	Battant
	H3	76,67	11,81	2,94	1,03	0,23	Non Battant
	H4	72,34	10,58	4,69	0,80	0,24	Non Battant
P2	H1	28,87	28,87	6,31	4,29	0,67	Non Battant
	H2	37,36	37,36	5,51	0,47	1,43	Peu Battant
	H3	36,67	36,67	4,43	0,026	1,58	Peu Battant
P3	H1	31,21	16,37	11,11	5,22	0,39	Non Battant
	H2	43,71	14,47	12,16	1,50	0,53	Non Battant
	H3	54,94	14,40	4,01	0,94	0,38	Non Battant
	H4	73,15	19,81	1,58	0,80	0,38	Non Battant
P4	H1	8,45	29,19	6,13	2,61	1,40	Peu battant
P5	H1	8,72	47,59	6,57	2,07	2,60	Très Battant
	H2	9,51	32,73	4,81	1,09	2,58	Très Battant
	H3	62,04	25,98	1,74	0,39	0,61	Non Battant

IB : Indice de Battance ; **LF** : Limons Fins ; **LG** : Limons Grossiers
A : Argiles ; **MO** : Matière Organique

Selon l'échelle établie par **Durand (1983) (annexe 6)**, les horizons présentant des indices de battance faibles, tels que P1H1 (0,32) et P3H1 (0,38) et renforcée par une teneur élevée en matière organique (jusqu'à 11,16% pour P1H1 et 5,22% pour P3H1) montrent une forte stabilité structurale, favorisant ainsi la cohésion des agrégats en limitant la déstructuration du sol (**Amezketta et al., 1996; Le Bissonnais et al., 2002; Leguédois et Le Bissonnais, 2004**). En revanche, les horizons P1H2 (1,95), P5H1 (2,60) et P5H2 (2,58) présentent une instabilité marquée, leur indice de battance élevé traduisant une vulnérabilité accrue à la dispersion des particules. Cette fragilité est accentuée par de faibles teneurs en argiles et en matière organique, notamment dans l'horizon P5H2, où l'apport organique (%MO=1,09) insuffisant ne permet pas

une stabilisation efficace. Ces variations mettent en évidence l'impact majeur de la matière organique dans la limitation des risques de battance et soulignent la nécessité d'ajuster les pratiques de gestion pour renforcer la stabilité des horizons les plus sensibles (Chenu et Balabane, 2001).

3-2-2-Analyse chimiques des sols

Les résultats consignés dans le tableau XII font apparaître nettement une variabilité significative des teneurs en carbone, azote, matière organique et phosphore assimilable, illustrant une hétérogénéité marquée dans la composition organique des horizons étudiés.

Tableau XII: Résultats des analyses chimiques des sols

Paramètres Profils		%C	%N	%MO	C/N	P ₂ O ₅ (ppm)
P1	H1	6,47(*)	0,83	11,16	7,78	17,93
	H2	0,97	0,26	1,67	3,71	7,80
	H3	0,59	0,63	1,03	0,94	4,79
	H4	0,46	0,42	0,80	1,09	1,51
P2	H1	2,48	0,69	4,29	3,59	21,49
	H2	0,27	0,53	0,47	0,50	2,33
	H3	0,01	0,53	0,026	0,03	1,78
P3	H1	3,02	4,27	5,22	0,71	12,73
	H2	0,46	3,38	1,50	0,14	6,43
	H3	0,86	3,03	0,94	0,29	4,44
	H4	0,54	3,48	0,80	0,16	2,60
P4	H1	1,51	3,79	2,61	0,40	13,55
P5	H1	1,19	0,66	2,07	1,79	9,99
	H2	0,63	0,48	1,09	1,29	3,97
	H3	0,22	0,43	0,39	0,52	0,96

(*) : Valeurs moyennes de trois répétitions ; C : Carbone ; N : Azote ; P₂O₅ : phosphore assimilable

✓ Carbone

Les horizons superficiels, à l'instar de P1H1 et P3H1, présentent des concentrations élevées en carbone, reflétant une dynamique influencée par des apports organiques récents et une activité biologique soutenue. Cette richesse en matière organique traduit une interaction forte avec les processus microbiologiques et les apports exogènes, contribuant à la stabilité structurale et à la fertilité des premiers centimètres du profil.

À l’opposé, les horizons profonds, tels que P2H3 et P3H3, avec des moyennes particulièrement faibles en carbone, affichent une homogénéité chimique prononcée. Cette faible teneur suggère une diminution progressive de l’influence organique au fur et à mesure de la profondeur, induite par des phénomènes de lessivage et de minéralisation accrue des composés carbonés (**Moni et al., 2010 ; Salomé et al., 2010 ; Rumpel et al., 2015**). La répartition verticale du carbone met ainsi en exergue une transition nette entre les horizons de surface, riches en matière organique, et les niveaux inférieurs où prédomine une dynamique minérale.

✓ La matière organique

L’examen des résultats met en évidence une répartition différenciée de la matière organique à travers les profils et horizons étudiés, traduisant des processus pédogénétiques contrastés. L’horizon P1H1 se distingue par une moyenne élevée de 11,16%, révélant une forte accumulation organique, propice à la stabilisation de la structure du sol et à l’amélioration de ses propriétés physico-chimiques. Cette concentration s’explique par une dynamique soutenue d’apports organiques et une activité biologique significative, favorisant la rétention et la transformation des matières carbonées (**Kögel-Knabner, 2002**).

À l’opposé, l’horizon P2H3, avec une moyenne extrêmement faible de 0,026%, témoigne d’une dégradation avancée de la matière organique ou d’une interaction limitée avec les flux organiques en surface. Cette faible teneur traduit une dynamique de minéralisation poussée, associée à des processus de lessivage ou à une faible incorporation des résidus biologiques, réduisant ainsi son rôle dans la stabilisation structurale du sol (**Six et al., 2002**).

L’horizon P3H1, présentant une moyenne de 5,21%, illustre une situation intermédiaire où coexistent processus d’accumulation et de décomposition, assurant une structuration équilibrée. Cette valeur reflète une dynamique organique modérée, où la matière carbonée est partiellement transformée tout en conservant une influence notable sur les propriétés du sol.

L’horizon P1H2 révèle une homogénéité remarquable, témoignant d’une distribution uniforme des composants organiques. Cette stabilité suggère une intégration régulière des matières carbonées sans fluctuations majeures dans les apports ou la transformation des résidus.

À l’inverse, l’horizon P4H1 traduit une répartition hétérogène, indiquant une variabilité marquée dans l’intégration de la matière organique. Cette dispersion pourrait résulter de différences dans les mécanismes d’incorporation des résidus biologiques ou des conditions

environnementales influençant la transformation et la migration des composés organiques à travers le profil (Rumpel et Kögel-Knabner, 2011).

Ces observations soulignent l'importance de la différenciation des horizons dans la structuration organique des sols, influençant directement leur stabilité, leur fertilité et leur capacité de rétention des éléments nutritifs.

✓ Azote

L'analyse des profils de sols révèle une hétérogénéité marquée dans la répartition de l'azote, mettant en lumière des dynamiques distinctes selon les horizons étudiés. En effet, les horizons du profil 3 (P3H1, P3H2 et P3H3) ainsi que l'horizon superficiel P4H1 se caractérisent par des teneurs en azote sensiblement élevées, atteignant respectivement 3 et 4%. Ces concentrations élevées témoignent de l'influence des processus biologiques actifs ainsi que des apports organiques récents, favorisant une disponibilité accrue de l'azote (ARVALIS, 2013)

En opposition, les autres horizons, affichent des moyennes nettement plus faibles et une répartition homogène. Cette diminution des teneurs peut être attribuée à une altération progressive des matières organiques et à une minéralisation accrue, limitant la présence d'azote disponible dans les couches inférieures du sol (Félix, 2006).

Le profil P2, quant à lui, présente des valeurs modérées et une certaine constance dans la distribution de l'azote, suggérant une dynamique d'équilibre entre apport et rétention à travers ses horizons successifs.

Les horizons intermédiaires, tels que P2H2 et P4H1, révèlent une variabilité plus prononcée des teneurs en azote, traduisant une dispersion marquée des concentrations. Cette fluctuation pourrait être liée à une différenciation pédogénétique influencée par la texture du sol, les variations dans la disponibilité de la matière organique, ou encore l'impact des échanges ioniques et des processus de lessivage (Tran et N'dayegamiye, 1995).

Enfin, les profils P1 et P5 se distinguent par des teneurs en azote plus faibles, combinées à une variabilité relativement plus importante, notamment au sein des horizons P1H2 et P5H3.

Ces observations traduisent une influence marquée des facteurs environnementaux sur la répartition et la dynamique de l'azote, illustrant des interactions complexes entre le substrat, les flux biologiques et les conditions climatiques (Brunet et Voltz, 2012).

✓ Le rapport C/N

L'analyse du rapport C/N à travers les différents profils et horizons étudiés met en évidence des variations significatives, reflétant des dynamiques contrastées dans la transformation de la matière organique et la disponibilité relative de l'azote.

Les horizons superficiels, tels que P1H1, affichent des valeurs élevées, atteignant 7,78, traduisant une forte accumulation de matière organique faiblement décomposée. Cette caractéristique témoigne d'un apport récent de résidus organiques, favorisant une dynamique de stockage du carbone sans minéralisation intense, probablement sous l'influence d'une activité biologique soutenue et de conditions favorables à la préservation des matières organiques (AAF, 2024).

À l'opposé, les horizons intermédiaires et profonds, comme P2H3, se distinguent par un rapport très faible de 0,03. Cette valeur extrêmement réduite suggère une transformation avancée des composés organiques, où la minéralisation aboutit à une prédominance relative de l'azote sur le carbone. Cette tendance reflète des processus de dégradation intense des résidus organiques, conduisant à une diminution des stocks de carbone et à une libération accrue de formes assimilables d'azote, influençant ainsi la fertilité chimique du milieu (Ginet, 2023).

✓ Le phosphore

L'analyse des concentrations en phosphore assimilable (P_2O_5) met en évidence des dynamiques pédologiques contrastées selon les profils et horizons. Le profil P1 témoigne d'une lixiviation importante, avec une diminution significative de 17,93 ppm à 1,51 ppm, traduisant une faible migration du phosphore vers les horizons inférieurs. Le profil P2, quant à lui, présente une concentration initiale élevée de 21,49 ppm suivie d'une baisse rapide, suggérant une accumulation en surface et une mobilité verticale réduite. Le profil P3 montre une diminution progressive du phosphore, de 12,73 ppm à 2,60 ppm, traduisant une redistribution plus équilibrée. Le profil P4 présente une stabilité relative, avec une concentration de 13,54 ppm, indiquant une distribution plus homogène. Ces variations traduisent des processus de lixiviation, d'accumulation et de redistribution largement influencés par la structure pédologique et les interactions entre horizons (Morel et Fardeau, 1990). Enfin, le profil P5 affiche une chute marquée de cet élément de 9,99 ppm à 0,95 ppm, révélant des phénomènes de lixiviation prononcée et une perte significative en profondeur.

✓ Bases échangeables

L'analyse des concentrations en bases échangeables révèle une dynamique pédologique contrastée selon les profils étudiés. (Voir tableau XII)

Tableau XII : Résultats de l'analyse des bases échangeables

Paramètres Profils		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
		(Meq/100g sol)			
P1	H1	15,55	1,35	1,046	1,67
	H2	4,08	0,02	7,13	0,66
	H3	5,95	0,33	14,73	1,10
	H4	2,8	0,65	10,35	0,93
P2	H1	4,98	0,32	9,52	1,06
	H2	5,95	0,55	10,68	0,97
	H3	5,21	0,36	9,73	0,73
P3	H1	8,14	0,01	9,62	0,97
	H2	4,8	0,02	8,41	0,81
	H3	5,18	1,23	9,60	0,97
	H4	4,77	1,7	9,60	1,24
P4	H1	6,02	0,18	8,84	0,48
P5	H1	6,07	1,01	8,1	0,73
	H2	3,2	1,0	7,86	0,46
	H3	6,5	0,69	9,97	0,58

Ca²⁺ : Calcium ; Mg²⁺ : Magnésium ; Na⁺ : Sodium ; K⁺ : Potassium

✓ Calcium et Magnésium

Le profil P1 présente une lixiviation marquée du calcium, allant de 15,55 à 2,8 meq/100g entre P1H1 et P1H4 ; accompagnée d'une diminution du magnésium de 1,35 à 0,02 meq/100g entre P1H1 et P1H2, avant une reprise progressive à 0,33 meq/100g pour l'horizon P1H3 et 0,65 meq/100g pour l'horizon P1H4. À l'inverse, le profil P2 affiche une répartition homogène du calcium, tandis que ses concentrations en magnésium oscillent légèrement entre 0,32 et 0,55 meq/100g, traduisant une stabilité relative. Le profil P3, caractérisé par une diminution progressive du calcium, montre une accumulation marquée du magnésium en profondeur, passant de 0,01 à 0,02 meq/100g dans les horizons supérieurs (P3H1 et P3H2) et de 1,23 meq/100g à 1,7 meq/100g respectivement dans P3H3 et P3H4. Le profil P4 se distingue par une stabilité notable du calcium, avec une concentration de magnésium faible mais stable (0,18 meq/100g). Enfin, Le profil P5 révèle une accumulation notable de calcium dans l'horizon

P5H3, alors que l'ion magnésium affiche une stabilité dans les horizons P5H1 et P5H2, traduisant des processus d'enrichissement liés aux interactions spécifiques entre les horizons.

✓ Sodium et potassium

L'analyse des concentrations en sodium (Na^+) met en évidence une variabilité pédologique significative selon les profils et horizons. Le profil P1 révèle une redistribution complexe, marquée par une diminution initiale, suivie d'une augmentation, puis d'une légère baisse, traduisant une mobilité dynamique du sodium. À l'inverse, le profil P2 présente une stabilité relative, indiquant une répartition plus homogène. Le profil P3, quant à lui, affiche des concentrations uniformes, avec une mobilité limitée, suggérant une rétention stable du sodium. Le profil P4 se distingue par une valeur modérée et stable, traduisant un équilibre localisé dans sa distribution. Enfin, le profil P5 montre une tendance croissante de N^+ , avec une accumulation notable en profondeur, illustrant un processus d'enrichissement progressif dans l'horizon inférieur. Ces variations témoignent de phénomènes de redistribution et d'accumulation régis par les interactions pédologiques propres à chaque profil (**Rayment et Higginson, 1992**).

Par ailleurs, l'analyse des résultats de potassium (K^+) en meq/100g de sol met évidence une distribution hétérogène de cet élément à travers les horizons pédologiques, soulignant des fluctuations significatives entre 0,48 meq/100g de sol (P4H1) et 1,67 meq/100g de sol (P1H1). La variabilité de la distribution de cet élément est principalement influencée par des processus de lessivage, rétention et redistribution régis par l'interaction du potassium avec la matière organique et les colloïdes du sol (**MAAARO, 2022**). Les profils présentant des concentrations élevées, tels que P1H1 et P3H4, suggèrent soit une forte rétention due à des matériaux minéralogiques stabilisants, soit un faible drainage limitant son exportation. À l'inverse, des valeurs réduites dans certains horizons, comme P4H1, traduisent un lessivage intense ou une minéralisation rapide de la matière organique, réduisant la disponibilité du potassium. Cette dynamique a des implications écologiques majeures, car la teneur en potassium influence la fertilité du sol, la croissance végétale et la résilience écosystémique. Des concentrations faibles peuvent ainsi indiquer un déséquilibre pédologique (**MAAARO, 2022**).

En conclusion, l'analyse des profils pédologiques révèle une grande variabilité des propriétés physico-chimiques des sols. De façon générale, les sols sont acides, avec un pH oscillant entre 4,93 et 6,74 et non salés, comme le montre leur faible conductivité électrique. La texture varie fortement d'un profil à l'autre, allant de sableuse à argileuse, influençant la capacité de rétention en eau, la sensibilité à la battance et la dynamique de la matière organique. Comparativement, le profil 1, situé au niveau de la forêt du chêne zéen (*Quercus canariensis*), se distingue par une meilleure stabilité structurale, une richesse en matière organique et un rapport C/N élevé, traduisant une forte activité biologique en surface. Les horizons profonds, bien que plus pauvres en carbone et en azote, témoignent d'un processus de pédogenèse avancé mais équilibré. Ce profil forestier illustre ainsi un sol relativement bien conservé, à fonction écologique stable, contrastant avec d'autres profils plus dégradés ou soumis à des pressions anthropiques. Ces résultats confirment que la végétation naturelle, notamment forestière, joue un rôle majeur dans la préservation de la qualité des sols.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

L'étude réalisée au niveau de l'antenne de Chemini met en évidence les interactions complexes entre la dynamique de la végétation et les propriétés physico-chimiques des sols, dans un contexte soumis à de fortes pressions anthropiques.

L'analyse spatio-temporelle du couvert végétal, conduite sur la période 2013–2024 à l'aide de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), révèle une tendance générale à la régression de la biomasse végétale. Cette dynamique est ponctuée de phases de régénération végétale, souvent trop brèves et insuffisantes pour infléchir durablement le processus de dégradation. Les perturbations majeures identifiées comprennent la récurrence des incendies de forêt, le surpâturage, ainsi que le défrichement, autant de facteurs accentuant la vulnérabilité des écosystèmes forestiers locaux.

Les résultats obtenus mettent en évidence une fragilisation progressive de la structure et du fonctionnement de l'écosystème forestier, dont la résilience apparaît de plus en plus limitée face à l'intensification des pressions anthropiques et climatiques. Toutefois, certaines périodes d'accalmie, marquées notamment par l'absence d'incendies, ont permis d'observer des signes de reprise de la végétation, traduisant un potentiel de régénération naturelle. Néanmoins, ces tentatives de récupération restent marginales et ne permettent pas, à ce stade, de restaurer les équilibres écologiques initiaux, soulignant ainsi la vulnérabilité croissante et la nécessité d'interventions de gestion durable.

Parallèlement, l'analyse pédologique des profils de sols a permis d'approfondir la compréhension de leur état de santé ainsi que de leur capacité à soutenir ou à limiter la dynamique végétative observée. Les résultats révèlent une forte variabilité tant texturale que chimique, caractérisée par une acidité généralisée, une salinité faible, et des textures prédominantes allant du limoneux à l'argileux. Ces caractéristiques physico-chimiques influencent directement des propriétés essentielles telles que la rétention en eau, la porosité, la circulation de l'air, la dynamique de la matière organique, ainsi que la susceptibilité au phénomène de battance. Le profil forestier, localisé sous un couvert dense de *Quercus canariensis*, se distingue par une stabilité structurale renforcée, une richesse élevée en matière organique et une forte activité biologique microbienne, témoignant de la fonction protectrice exercée par la végétation naturelle sur la qualité et la fertilité des sols.

En revanche, les profils 2 et 3, dominés respectivement par *Genista tricuspidata* et *Crataegus laciniata* (aubépine), présentent une couverture végétale secondaire résultant de

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

dynamiques de recolonisation post-perturbation. Bien que ces sols soient classés comme non battants, leur structure demeure plus instable que celle du profil forestier, en lien avec une densité racinaire moindre et une activité biologique réduite.

À l’opposé, le profil 4 illustre un stade avancé de dégradation édaphique. Il se caractérise par une battance prononcée qui limite l’infiltration de l’eau, accentue le ruissellement et favorise l’érosion superficielle. La faible teneur en matière organique reflète une activité biologique amoindrie et un déséquilibre fonctionnel du sol. La couverture végétale, dominée par une strate mixte d’*Asphodelus microcarpus* (asphodèle) et de *Genista tricuspidata*, témoigne d’une végétation pionnière peu structurante, indicatrice d’un écosystème en phase de désorganisation écologique avancée.

Quant au profil 5, il présente une battance marquée due à une forte teneur en limons fins, mais offre une bonne capacité de rétention d’eau liée à une proportion élevée d’argile, particulièrement en profondeur. Ce sol, bien que présentant un potentiel hydrique intéressant, demeure écologiquement vulnérable. Sa couverture végétale est dominée par l’*Asphodelus microcarpus*, une espèce peu structurante, témoignant d’un stade avancé de dégradation édaphique et d’une recolonisation végétale encore limitée.

Les observations mettant en évidence les interactions complexes entre la dégradation des sols principalement causée par les incendies, le défrichement incontrôlé et le surpâturage et la perte progressive de biodiversité dans la région de l’Antenne Chemini, appellent au développement des stratégies durables de restauration reposant sur une meilleure compréhension des processus écologiques en jeu.

En perspective, il serait intéressant de poursuivre cette étude par une évaluation plus fine des dynamiques de la biodiversité post-perturbation, basée sur la cartographie détaillée des stades de succession écologique dans les zones affectées. Cette démarche permettrait de distinguer les trajectoires de régénération spontanée des situations de blocage écologique, en identifiant les espèces pionnières ou cicatricielles pouvant restaurer les systèmes dégradés, particulièrement les plantes pyrophytes adaptées au feu, ainsi que les taxons indicateurs de résilience ou de dégradation écologique.

L’étude pourrait être enrichie par l’intégration d’une analyse approfondie de la faune sensible aux modifications de la structure des habitats, notamment les insectes pollinisateurs,

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

les oiseaux des milieux ouverts, les petits vertébrés ainsi que la microfaune du sol. Ces groupes faunistiques constituent d'excellents bioindicateurs pour évaluer l'impact écologique des perturbations d'origine anthropique ou naturelle.

Sur le plan pédologique, il serait pertinent de dépasser les analyses conventionnelles en intégrant des indicateurs fonctionnels tels que l'indice de stabilité structurale, l'indice de porosité, la densité apparente, la capacité d'échange cationique (CEC), le degré de compaction du sol, ainsi que la teneur en matière organique active. Ces paramètres permettraient une évaluation plus fine de l'état de dégradation ou de résilience des sols soumis à des pressions répétées.

L'installation naturelle de légumineuses (*Genista tricuspidata*) pourrait constituer une stratégie efficace de restauration des sols dégradés, en favorisant l'enrichissement du sol en azote, l'amélioration de la structure ainsi que la stimulation de la biodiversité microbienne

Il est également crucial d'explorer la biodiversité microbienne des sols, dont le rôle est fondamental dans les processus de recyclage de la matière organique en matière minérale, indispensable à la régénération végétale, par conséquent, à la restauration des fonctions écosystémiques. Cette dimension est particulièrement déterminante en contexte post-incendie, où la communauté microbienne du sol est fréquemment fortement perturbée.

L'approche géomatique gagnerait à être renforcée par l'intégration d'outils de télédétection avancés combinant indices de végétation (NDVI), indices de brûlure (NBR) et paramètres topographiques (pente, exposition, potentiel d'érosion). Ces outils sont essentiels pour la production de cartes de vulnérabilité, permettant d'anticiper les zones à risque et de hiérarchiser les interventions de restauration.

L'introduction de modèles prédictifs, tels que les modèles de simulation d'occupation des sols, permettrait de projeter l'évolution future des paysages sous divers scénarios de gestion, facilitant ainsi une planification écologique à moyen et long terme.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- **Académie d'Agriculture de France. (2024).** La matière organique : son rôle essentiel pour la fertilité. 3 P
- **Achour, F. (2008).** Caractérisation de la Matière Organique dans les Ordures Ménagères - Recherche d'Indicateurs de Stabilité in : Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain, Université de Lyon, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, pp. 173.
- **Agrillo, E., Alessi, N., Jiménez-Alfaro, B., Casella, L., Angelini, P., Argagnon, O., ... & Attorre, F. (2018).** The use of large databases to characterize habitat types: the case of *Quercus suber* woodlands in Europe. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 29(2), 283-293.
- **Aimé, S., Bonin, G., Chaabane, A., Loisel, R., & Saoudi, H. (1986).** Notes phytosociologiques nord-africaines: contribution à l'étude phytosociologique des zénaies du littoral algéro-tunisien. *Ecologia mediterranea*, 12(3), 113-131.
- **Alik A. et Arezki A., (2002).** Etude du massif de l'Akfadou dans le but de son classement comme aire protégée. Mémoire. D'ingénieur en écologie de l'environnement, université A.MIRA de Bejaia, 88p.
- **Altieri, M. A. (1999).** The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 19-31). Elsevier.
- **Amezketta, E., Singer, M. J., & Le Bissonnais, Y. (1996).** Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 60(3), 888-894.
- **Amzal, S., & Boudjellouah, L. (2022).** Contribution à l'étude du régime alimentaire du Cerf de Béberie *Cervus elaphus barbarus* (Bennett, 1833) au niveau de l'enclos d'Addekar (Bejaïa) (Mémoire de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri). 51 P
- **Anderson, G. A., Churchill, G. A., Autrique, J. E., Tanksley, S. D., & Sorrells, M. E. (1993).** Optimizing parental selection for genetic linkage maps. *Genome*, 36(1), 181-186
- **Anad, FH, et Yassin, AM. (2025).** Indicateurs spectraux pour la détection des changements hydrologiques dans le sud de l'Irak à l'aide de RS-GIS. *Revue internationale des sciences de l'environnement*, 11 (1), 134-151
- **Antoni, V. (2011).** L'artificialisation des sols s'opère aux dépens des terres agricoles. *Service de l'observation et des statistiques (SOeS)/Commissariat général au développement durable (CGDD), Le point sur*, 85.
- **APD. (2021).** African Plant Database. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute. Retrieved from <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa>.

- **ARVALIS, (2013).** Institut du Végétal. « Fertilisation : quels sont les effets azote des produits résiduels organiques à long terme ». Publié le 10 octobre 2013.)
- **Aubert J.F. (1978).** Les Ichneumonides ouest-paléarctiques et leurs hôtes. 2. Banchinae et suppl. aux. Pimplinae. Paris, 318 pp.
- **B.N.E.F, (1988).** Etude d'aménagement de la forêt d'Akfadou-Est. Document interne D.G.F.
- **Babali, B. (2014).** Contribution à une étude phytoécologique des monts de Moutas (Tlemcen Algérie occidentale) : Aspects syntaxonomique, biogéographique et dynamique. Thèse Doct. Université de Tlemcen. 160p
- **Bacchetta, G., Bagella, S., Biondi, E., Farris, E., Filigheddu, R., & Mossa, L. (2004).** A contribution to the knowledge of the order Quercetalia ilicis Br.-Bl. ex Molinier 1934 of Sardinia. *Fitosociologia*, 41(1), 29-51.
- **Badalamenti, E., Scalenghe, R., La Mantia, T., Bueno, R. D. S., Sala, G., Pizzurro, G. M., ... & Pasta, S. (2020).** The cork oak in the Mountains of Palermo (Italy): ecological insights from the south-eastern edge of its distribution range. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 13(4), 336-344.
- **Bagnouls F. et Gaussen H. (1953).** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 88: 193-239.
- **Baird, M., Zabowski, D., & Everett, R. L. (1999).** Wildfire effects on carbon and nitrogen in inland coniferous forests. *Plant and Soil*, 209, 233-243.
- **Baize, D., & Girard, M. C. (1995).** Référentiel pédologique. *INRA, Paris*, 332.
- **Baize, D. (2000).** Guide des analyses en pédologie, 2ème édition revue et augmentée. *INRA, Paris*, 257.
- **Baize, D., & Jabiol, B. (2011).** Guide pour la description des sols. 207 P
- **Barbero, M. & Loisel, R. (1983).** Les chênaies vertes du sud-est de la France méditerranéenne. Valeurs phytosociologiques, dynamiques et potentielles. *Phytocoenologia*, 11(2), 225-244. <https://doi.org/10.1127/phyto/11/1983/225>.
- **Barbero, M., Quezel, P. & Rivas-Martinez, S. (1981).** Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. *Phytocoenologia*, 9(3), 311-412. <https://doi.org/10.1127/phyto/9/1981/311>.
- **Bekdouche, F. (2010).** Evolution après feu de l'écosystème subéraie de kabylie (nord algérien) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri). 137 P

- **Bellili, B. K. (2003).** 4DST a Strong Tool to Manage Gas Reservoir. In *1st EAGE North African/Mediterranean Petroleum & Geosciences Conference & Exhibition* (pp. cp-8). European Association of Geoscientists & Engineers. P 35
- **Benkhalel, M., Morin, S., Pichon, C., Thomazeau, C., Verdon, C., & Uzio, D. (2006).** Synthesis of highly dispersed palladium alumina supported particles: Influence of the particle surface density on physico-chemical properties. *Applied Catalysis A: General*, 312, 1-11.
- **Bensaid, S., D. Trichet, J. Fouladgar. (2006).**Electromagnetic and Thermal Behaviours of Multi-Layer Anisotropic Composite Materials”, *IEEE Trans. on.Magn.*, Vol.42, N° 4., pp-995 998.
- **Bennadja, S. A. L. I. M. A., de Bélair, G. É. R. A. R. D., & Tlili Ait Kaki, Y. (2013).** La subéraie de la Numidie orientale: une source de biodiversité. *Quad. Bot. Amb. Appl*, 24, 49-53.
- **Biondi, E. (2011).** Phytosociology today: Methodological and conceptual evolution. *Plant Biosystems-An international journal dealing with all aspects of plant biology*, 145(sup1), 19-29.
- **Blasi, C., Filesì, L., Fratini, S. & Stanisci, A. (1997).** Le cenosi con sughera nel paesaggio tirrenico laziale (Italia centrale). *Ecologia Mediterranea*, 23(3-4), 21-32.
<https://doi.org/10.3406/ecmed.1997.1834>.
- **BNEDER, (2008).** Etude d’Inventaire Forestier National. Rapport sur la caractérisation des formations forestières. Wilaya de Tizi Ouzou. Alger : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural.
- **Boiffin, J., Monnier, G., & Etievant, P. (1981).** La battance des sols: définition et mesure. *Agronomie*, 1(1), 13–24.
- **Boiffin J., (1986).** Stages and time-dependency of soil crusting in situ, 91-98. In F. Callebaut, D. Gabriels, M. de Boodt. Assessment of soil surface sealing and crusting. Flanders Research Center for Soil Erosion and Soil conservation, Ghent, 374 p.
- **Boudy, P. (1952).** Guide Forestière de L’Afrique du Nord; LAROSE: Paris, France, pp. 185–195.
- **Boussaidi, N., Ncibi, R., Hasnaoui, I. & Ghrabi Gammar, Z. (2010).** Impacts des facteurs orographiques et anthropiques sur la régénération naturelle du chêne liège (*Quercus suber*) dans la région de Kroumirie, Tunisie. *Revue Écologie (Terre Vie)*, 65, 1-8.
- **Bouzelha Z. & Boucek R., (1989).**- Contribution à l’étude morpho-pédologique de la région de Béni Ghobri. *Mém. d’ing., I.N.E.S. d’Agron., Tizi Ouzou*, 77 p.

- **Brady, N.C, (1984).** The Nature and Properties of Soils.No. Ed.9, 750 pp.
- **Brady, N. C. and R. R. Weil (2005).** The nature and properties of soils. 13thEdition. *Macmillan Publishing Company, New York*. PP. 279-313.
- **Braun-Blanquet, J. (1953).** Irradiations européennes dans la végétation de la Kroumirie. *Vegetation*, 4(3), 182-194.
- **Braun-Blanquet, J. (1964)** Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 631 P.
- **Brullo, S. & Marcenò, C. (1985).** Contributo alla conoscenza della classe Quercetea ilicis in *Sicilia. Not. Fitosoc.*, 19(1), 183-229 P.
- **Brullo, S., Di Martino, A. & Marcenò, C. (1977).** La vegetazione di Pantelleria (Studio fitosociologico). *Pubbl. Inst. Bot. Univ. Catania*, 1-111.
- **Brullo, S., Gianguzzi, L., La Mantia, A. & Siracusa, G. (2008).** La classe Quercetea ilicis in Sicilia. *Bollettino Accademia Gioenia Sci. Nat.*, 41(369), 1-80.
- **Brunet, Y., & Voltz, M. (2012).** Les sols : éléments d'un cycle dynamique. In J.-P. Moatti & G. Giraud (Eds.), *Le développement durable à découvert* (pp. 78–79). *CNRS Éditions*.
- **Burrow, C. (2015).** Influence des modalités de restauration de sols dégradés sur leur colonisation par une faune du sol fonctionnelle (Doctoral dissertation, Lille 1).309 P
- **Cano, E., Musarella, C.M., Cano-Ortiz, A., Piñar-Fuentes, J.C., Rodriguez Torres, A., del Rio Gonzalez, S., Pinto Gomes, C.J., Quinto-Canas, R. & Spampinato, G. (2019).** Geobotanical study of the microforests of *Juniperus oxycedrus* subsp. *badia* in the Cnetral and Southern Iberian Peninsula. *Sustainability*, 11(4), 1111. <https://doi.org/10.3390/su11041111>.
- **Cano-Ortiz, A., Musarella, C.M., Piñar Fuentes, J.C., Quinto Canas, R., Pinto Gomes, C.J., Spampinato, G., Ighbareyeh, J.M.H., del Río, S. & Cano, E. (2021).** Forest and Arborescent Scrub Habitats of Special Interest for SCIs in Central Spain. *Land*, 10, 183. <https://doi.org/10.3390/land10020183>.
- **Cécillon, L. (2008).** Quels indicateurs pour évaluer la qualité de sols forestiers soumis à des contraintes environnementales fortes (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).215 P
- **Certini, G. (2005).** Effects of fire on properties of forest soils: à review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- **Chaumont M. et Paquin C., (1971).** Carte pluviométrique de l'Algérie, éch. 1/50 000. *Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*, Alger. 4 feuilles. 1 notice.

- **Chenu, C. and Balabane, M. (2001)** . Matières organiques et activités biologiques des sols cultivés. Une approche des matières organiques par leurs fonctions. *Perspectives Agricoles*, 272, 42-45
- **Chessel, D., Dufour, A. B., & Thioulouse, J. (2003)**. Analyse des correspondances simples. *Fiche de Biostatistique-Stage*, 4, 34.
- **Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., et al. (2019)**. *Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation*. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64.
- **Clemente, R. H., Cerrillo, R. M. N., & Gitas, I. Z. (2009)**. Monitoring post-fire regeneration in Mediterranean ecosystems by employing multitemporal satellite imagery. *International Journal of Wildland Fire*, 18(6), 648-658.
- **Congedo, L. (2021)**. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172.
- **Cosentino, D.J. (2006)**. Contribution des matières organiques à la stabilité de la structure des sols limoneux cultivent ; effet des apports organiques à court terme. (In French). Doctoral Thesis. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Ecole Doctorale Abies, 186p.
- **Dabin, B. (1971)**. Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Science du sol*, 1, 47-63.
- **Daget, P. (1977)**. Le bioclimat méditerranéen: analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio*, 3(4), 5-12.
- **Dahmana, A., Azegagh, A., Ghilas, R., Peyre, O., & Moali, A. (2006)**. Etude de l'herpétofaune dans la basse vallée de la Soummam (Algérie). *Actes des Rencontres Méditerranéennes d'Ecologie*, 1-10.
- **Darshani, W. M. R., Nashath, M. N. F., Niran, H. M. L., & Mubarak, A. N. M. (2021)**. Evaluation of morphological and yield characteristics of selected local pumpkin accessions in Sri Lanka. 103 P
- **DeBano, L. F. (2000)**. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: à review. *Journal of hydrology*, 231, 195-206
- **Dengler, J., Chytrý, M. & Ewald, J. (2008)**. Phytosociology. In S.E., Jørgensen & B.D., Fath Eds.). *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2767–2779). Oxford, UK: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00533-4>.
- **DGF, (2004)**. Programme d'action nationale sur la lutte contre la désertification. 103 p.

- **DGF, (2004).** Rapport national de l'Algérie sur la mise en Œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification. DGF, Alger, septembre 2004, 7P
<http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>.
- **DGF, (2007).** « Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières ». 32 p
- **Djebaili S. (1984).** Steppe Algérienne phytosociologie et écologie (Algerian steppe phytosociology and ecology). *Alger. Office des publications universitaires* pp. 127.
- **Dobignard, A., & Chatelain, C. (2010).** Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord Volume 1: Pteridophyta, Gymnospermae, Monocotyledonae. *Ville de Genève, Éditions Des Conservatoire Et Jardin Botaniques, Genève*. 457 P
- **Doerr, S. H., Shakesby, R. A., & Walsh, R. P. D. (2006).** Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51(1–4), 33–65.
- **Drusch, U. Del Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascon, B. Hoersch, C. Isola, P. Laberinti, P. Martimort, A. Meygret, F. Spoto, O. Sy, F. Marchese, P. Bargellini (2012).** Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote sensing of Environment*, 120, 25-36.
- **Duchaufour, P. (2025).** Humus – Fonctions de l'humus. *Encyclopædia Universalis*. Consulté le 12 juin 2025, sur <https://www.universalis.fr/encyclopedie/humus/7-fonctions-de-l-humus>.
- **Durand Jr, R. R., Bencosme, C. S., Collman, J. P., & Anson, F. C. (1983).** Mechanistic aspects of the catalytic reduction of dioxygen by cofacial metalloporphyrins. *Journal of the American Chemical Society*, 105(9), 2710-2718.
- **Durand, J.H. (1951).** Sur quelques sols de la forêt d'Akfadou et des environs de Yakouren. *Annales Agronomiques*, 2, 110-127
- **Durand, D. (1959).** The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment: comment. *The American economic review*, 49(4), 639-655.
- **Earth.esa.int.(2023).** Titre de la page. <http://earth.esa.int>
- **El Afsa, M. (1978).** Ecologie, phytosociologie, régénération et production des subéraies tunisiennes. [Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III]. 240 P
- **El zerey W., (2014).** « Etude diachronique de la régression du couvert forestier de la plaine espèces sur des hôtes atypiques (Hym., Cynipidae) ». pp. 479-493.

- **El zerey W., (2014).** « Etude diachronique de la régression du couvert forestier de la plaine de Telagh (Algérie) : approche par télédétection et SIG ». Bulletin de l'Institut Scientifique, Section Sciences de la Vie, N° 36, pp.25-31.
- **Emberger L (1954)** Projet d'une classification des climats, du point de vue phytogéographique. *Bull Soc Hist Nat Toulouse* 78:159–180.
- **Erten, C., Harding, P. J., Kobourov, S. G., Wampler, K., & Yee, G. (2004).** GraphAEL: Graph animations with evolving layouts. In *Graph Drawing: 11th International Symposium, GD 2003 Perugia, Italy, September 21-24, 2003 Revised Papers 11* (pp. 98-110). Springer Berlin Heidelberg.
- **Euforgen (2009).** Distribution map of cork oak (*Quercus suber*). Retrieved from www.euforgen.org.
- **FAO (2013).** The stratigic framework on mediterranean forests. Rome FAO, 27 P.
- **FAO. (2015).** Status of the World's Soil Resources. Rome.
- **FAO. (2020).** Global Forest Resources Assessment 2020 – *Main report*. Rome.13 P
- **Farris, E., Secchi, Z. & Filigheddu, R. (2007).** Phytosociological study of the shrub and pre-forest communities of the effusive substrata of NW Sardinia. *Fitosociologia*, 44(2), 55-81.
- **Félix, I. (2006).** Retour au sol des matières organiques : effets sur la fertilité des sols et l'environnement (36 p.). GIE ARVALIS/ONIDOL.
- **Feller C., (1998)** .Un fractionnement granulométrique de la matière organique des sols en 1874. *Etude et Gestion des Sols* 53. pp. 195-200.
- **Ferka Zazou N, (2006).** Impact de l'occupation spatio-temporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier cas de la commune de Tessala, willaya de Sidi-Bel-Abbès, Algérie. *Mem. Mag. Forest. Univ. Tlemcen*. 126p
- **Freson, R., Goffinet, G., & Malaisse, F. (1974).** Ecological effects of the regressive succession in muhulu-miombo-savanna in Upper Shaba, Zaire. In *Proceedings of the first international congress of ecology. The Hague* (pp. 365-371).
- **Frosch, B. & Deil, U. (2011).** Forest vegetation on sacred sites of the Tangier Peninsula (NW Morocco) – discussed in a SW-Mediterranean context. *Phytocoenologia*, 41(3), 153-181. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2011/0041-0503>.
- **Gauthier J., (1991).** Notions d'agriculture; le sol, les cultures, les élevages, l'économie et la gestion. Ed. *Tech. Doc. Lavoisier, Paris*, 575 p
- **Géhu, J.M. & Rivas-Martínez, S. (1981).** Notions fondamentales de phytosociologie. In H., Dierschke (Ed.). *Syntaxonomie. Ber. Int. Symp. Int. Vereinigung Vegetationsk* (pp. 5-33).

- **Ginet, J. (2023).** De l'importance du rapport C/N dans les sols. France Bleu Isère.82 P
- **Girard, M. C., Walter, C., Rémy, J. C., Berthelin, J., & Morel, J. L. (2011).** Sols et environnement-2e édition-Cours, exercices et études de cas-Livre+ compléments en ligne: Cours, exercices corrigés et études de cas. Dunod. pp. 133-184.
- **Gobat, J.-M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010).** Le sol vivant : Bases de pédologie - Biologie des sols (3^e éd., p. 158). Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. ISBN 978-2-88074-718-3.
- **Gregorich, E. G., Beare, M. H., Stoklas, U., St-Georges, P. (2003).** Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma* 113, 237–252.
- **Guarino, R., Cusimano, D., Ilardi, V. & Pasta, S. (2017).** Syntaxonomic list of the vegetation units. In R., Guarino & S., Pasta (Eds.). Botanical excursions in Central and Western Sicily. Field guide for the 60th IAVS symposium (pp. 281-370).
- **Haddar L., Doumandji S. et pujade-villarl J., (2016).** « Les Cynipini et les Synergini dans les massifs de l'Akfadou et Beni-Ghobri (Algérie), présences de quelques espèces sur des hôtes atypiques (Hym., Cynipidae) ». pp. 479-493.
- **Hamel, T., Boulemtafes, A., & Bellili, A. (2019).** L'impact de surpâturage sur les subéraies de la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). *Geo-Eco-Trop*, 43(1),pp 119-128.
- **Hamel, T., Saci, A. & de Bélair, G. (2020).** Redécouverte d'un subendémique tyrrhénien, *Tuberaria acuminata* (Viv.) Grosser, en Numidie (Nord – Est algérien). Bulletin de la Société Linnéenne de Provence, 71, 243-248.
- **Hernández-Clemente, R., Navarro Cerrillo, R. M., Hernandez-Bermejo, J. E., Escuin Royo, S., & Kasimis, N. A. (2009).** Analysis of postfire vegetation dynamics of Mediterranean shrub species based on terrestrial and NDVI data. *Environmental Management*, 43, 876-887.
- **Hessas, N. (2005).** Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I France, 378 p.).
- **Hillel D. (1984).** L'eau et le sol Principe et processus physique ; Cobaye, libraire. Ed : Louvain la neuve.
- **Holden, S. R., Gutierrez, A., & Treseder, K. K. (2016).** Changes in soil fungal communities, extracellular enzyme activities and litter decomposition across a fire chronosequence in Alaskan boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 98, 1–13.

- **Hudson, B. D. (1994).** Soil organic matter and available water capacity. *Journal of soil and water conservation*, 49(2), 189-194.
- **Iboukassene, S. (2008).** Dynamique de la végétation des forêts à Quercus suber anthropisées du Nord-Est de l'Algérie (Parc National d'El-Kala) (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).
- **InfoMetha. (s.d.).** Le rôle de la matière organique dans les sols. Consulté le 12 juin 2025, sur <https://www.infometha.org/index.php/pour-aller-plus-loin/la-matiere-organique/le-role-de-la-matiere-organique-dans-les-sols>.
- **Jenny, H. (1930).** *A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil*. University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. 66 P
- **Jensen, J.R., (1996).** Introductory Digital Image Processing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 318 P.
- **Jensen, J. R. (2005).** Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd Ed., Pearson Education, ISBN 0-13-145361-0, Upper Saddle River.
- **Johnson, D. W., & Curtis, P. S. (2001).** Effects of forest management on soil C and N storage: meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 140(2–3), 227–238.
- **Joret, G., & Hébert, J. (1955).** Contribution à la détermination du besoin des sols en acide phosphorique. *Ann. Agron*, 2, 233-299.
- **Keeley, J. E. (2009).** Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International journal of wildland fire*, 18(1), 116-126.
- **Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011).** *Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits*. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406–411.
- **Kefifa A., (2020).** « Contribution à l'étude et à la cartographie de l'impact dépressions anthropozoogène et climatiques sur les ressources naturelles des monts Saïda(Algérie). Thèse de Doctorat en Sciences d'Agronomie et des Forêts, 246p.
- **Khammes Talbi, N. (2014).** Composition et fluctuation du régime alimentaire d'une population réintroduite du Cerf de Berbérie *Cervus elaphus barbarus* (bennett, 1833) dans la forêt de l'Akfadou (Doctoral dissertation, Tizi-Ouzou).89 P.
- **Khelifi, H. (1987).** Contribution à l'étude phytoécologique et phytosociologique des formations à chêne-liège dans le Nord-Est algérien. Thèse de Magister de l'USTHB, Alger, 151 p.

- **Khelifi, H. & Sadki, N. (1995).** Esquisse géobotanique des régions de Collo, Skikda, et Annaba (Nord-Est algérien). Large area vegetation surveys. Bailleul 1994. Colloques Phytosociologiques, 23, 594-615.
- **Kögel-Knabner, I. (2002).** The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2), 139–162.
- **Kutiel, P., & Naveh, Z. (1987).** The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. *Plant and Soil*, 104(2), 269–274.
- **Lal, R., Mahboubi, A. A., & Fausey, N. R. (1994).** Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58(2), 517-522.
- **Lal, R. A. T. T. A. N. (2001).** Soil degradation by erosion. *Land degradation & development*, 12(6), 519-539.
- **Lapie, G. (1909).** Etude phytogéographique de la Kabylie du Djurdjura. *Revue de Géographie Annuelle*, 3, 1-156. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.36980>.
- **Larbi, G. A. (1999).** The new public management approach and crisis states. *UNRISD Discussion Paper No. 112*.
- **Laribi, M., Derridj, A. & Acherar, M. (2008).** Phytosociologie de la forêt caducifoliée à chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans le massif d'Ath Ghobri-Akfadou (Grande Kabylie, Algérie). *Fitosociologia*, 45(2), 77-92.
- **Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., & Daroussin, J. (2002).** L'érosion hydrique des sols en France. *Rapport INRA, IFEN*, 106 P.
- **Legg, S. (2021).** IPCC, (2021). Climate change 2021-the physical science basis. *Interaction*, 49(4), 44-45
- **Leguédais, S., & Bissonnais, Y. L. (2004).** Size fractions resulting from an aggregate stability test, interrill detachment and transport. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 29(9), 1117-1129.
- **Lerond M., (1981).** Les lichens épiphytes en Normandie orientale. Distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique. *Actes Mus. Rouen, 1981 (1 et 2)*, 299p.
- **Letreuch-Belarouci, A., Medjahdi, B., Letreuch-Belarouci, N. & Benabdelli, K. (2009).** Diversité floristique des subéraies du parc national de Tlemcen (Algérie). *Acta Botanica Malacitana*, 34, 77-89. <http://dx.doi.org/10.24310/abm.v34i0.6913>.

- **Lloret, F., Pausas, J. G., & Vila, M. (2009).** *Responses of Mediterranean plant species to different fire frequencies in Garraf Natural Park (Spain): implications for biodiversity conservation.* *Plant Ecology*, 144, 175–185.
- **Lucas-Borja, M. E., González-Romero, J., Plaza-Álvarez, P. A., Gómez, A., & Moya, D. (2019).** *Soil microbial activity after prescribed burning in Mediterranean forests: a review.* *Forest Ecology and Management*, 448, 250–259.
- **Maamar Meghraoui., Mohamed Habi., Mohamed Gheffar., Lotfi CHelda., Boutkhil Morsli. (2025).** *Impact of Forest Fires on Soil Degradation – Case of Cork Oak Forest in Algeria.* *Ekológia (Bratislava)*, 44(1), 19–27.
- **Maire, R. (1926).** *Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie (notice).* Gouvernement général d'Algérie, Service de cartographie, Alger, 78 p.
- **Malaya, C., & Sreedeeep, S. (2012).** *Critical review on the parameters influencing soil-water characteristic curve.* *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(1), 55-62.
- **Martin, C., & Allee, P. (2000).** *Impact d'un incendie de forêt sur l'érosion hydrique dans le bassin versant du Rimbaud (massif des Maures, Var).* *Forêt méditerranéenne*, 21(2), 163-169.
- **MAAARO. (2022).** *Manuel sur la fertilité du sol* (Publication 611F).
- **Mataix-Solera, J., Guerrero, C., García-Orenes, F., Bárcenas, G. M., Torres, M. P., & Barcenas, M. (2009).** *Forest fire effects on soil microbiology.* *Fire effects on soils and restoration strategies*, 5, 133-175.
- **Meddour, R., Mouloud Mammeri University of Tizi Ouzou, Algeria Department of Agronomic Sciences, Full professor References Aimé, S., Bonin, G., Chaabane, A., Loisel, R. & Saoudi, H. (1986).** *Notes phytosociologiques nord-africaines. Contribution à l'étude phytosociologique des zénaies du littoral algéro-tunisien.* *Ecologia Mediterranea*, 12(3-4), 113-131. <https://doi.org/10.3406/ecmed.1986.1178>.
- **Meddour, R. (1993).** *Analyse phytosociologique de la chênaie caducifoliée mixte de Tala Kitane (Akfadou, Algérie).* *Ecologia Mediterranea*, 19(3-4), 43-51.
- **Meddour, R. (2002).** *Bioclimats, étages et séries de végétation de l'Atlas blidéen (Algérie).* *Phytocoenologia*, 32(1), 101-128. <http://dx.doi.org/10.1127/0340-269X/2002/0032-0101>.
- **Meddour, R. (2010).** *Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie Djurdjuréenne.* Thèse de Doctorat de l'université de Tizi Ouzou, 461p

- **Meddour, R., Meddour-Sahar, O., Derridj, A. & Géhu, J.M. (2010).** Synopsis des groupements végétaux forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne (Algérie). *Revue Forestière Française*, 62, 295-308.
- **Meddour, R., Meddour-Sahar, O., Zeraia, L. & Mucina, L. (2017).** Syntaxonomic synopsis of the forest and tall scrub vegetation of Northern Algeria. *Lazaroa*, 38(2), 127-163. <http://dx.doi.org/10.5209/LAZA.53272>.
- **Meddour,R., Sahar,O. et Ouyessad,M .(2020).** Enquête ethnobotanique sur les plantes médicinales du parc national du Djurdjura et de sa zone d'influence.
- **Meddour, R., Sahar, O., & Ouyessad, M. (2020).** Enquête ethnobotanique des plantes médicinales dans le Parc national du Djurdjura et sa zone d'influence, Algérie *Ethnobotanical survey on medicinal plants in the Djurdjura National Park and its influence area, Algeria. Ethnobotany Research and Applications*, 20, 1-25.
- **Medjahdi, B. & Letreuch-Belarouci, A. (2017).** Typologie phytosociologique des formations forestières et préforestières des monts des Trara (Ouest-Algérien). *Documents Phytosociologiques*, Série 3, 6, 132-171.
- **Messaoudene, M. (1989).** *Etude dendroécologique et productivité de Q. canariensis Willd. et de Q. afares Pomel dans les massifs de l'Akfadou et de Beni-Ghobri en Algérie* (Doctoral dissertation, Thèse, Université Aix-Marseille III, 124 p).
- **Messaoudene M, Tessier L (1991).** Croissance radiale de Q canariensis Willd et de Q afares Pomel en Kabylie (Algérie). *Écol Méditerran*, 17, 119-133.
- **Messaoudene, M., Laribi, M., & Derridj, A. (2007).** Etude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 291, 75-81.
- **Mezard C., (2017).** « Caractérisation des perturbations anthropiques de la forêt des pins d'Haiti : cas de l'unité ».Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain. Université de Liège, 79 P.
- **Miara, M.D., Hadjadj-Aoul, S. & Decocq, G. (2020).** Diversité phytosociologique et séries dynamiques de la végétation de l'Atlas tellien occidental de Tiaret (N-O Algérie). *Ecologia Mediterranea*, 46(1), 97-116. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2020.2102>.
- **Mihi A., (2012).** « La forêt de Zenadia (Haute Plaine Sétifienne) : Diagnostic et perspective de protection ». Mémoire de Master en biodiversité et gestion des écosystèmes. Université de Sétif, 122 P.

- **Moni, C., Rumpel, C., Virto, I., Chabbi, A., & Chenu, C. (2010).** Relative importance of sorption versus aggregation for organic matter storage in subsoil horizons of two contrasting soils. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 958-969.
- **Morgan, R.P.C. (2005).** Soil Erosion and Conservation. *Blackwell Publishing*. 35 P
- **Moreira, F., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., Bilgili, E., Viedma, O., Arianoutsou, M., ... & Vaz, P. (2011).** Landscape-wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2389–2402.
- **Morel, R. (1989).** Analyse des facteurs de la croissance de la plante pour la définition du concept de fertilité des sols. *Fertilità del suolo e nutrizione delle piante*. SISS et SICA, Eds, 57-73.
- **Morel, R. (1989).** La fertilité des sols. *Les sols cultivés*. Lavoisier, coll. Tec et Doc, Paris, 341-363.
- **Morel, R. (1989).** Les sols cultivés, techniques et documentations. *Dynamique générale de la matière organique*. Ed. Lavoisier, 310-325.
- **Morel, C., & Fardeau, J.C. (1990).** Comportement du phosphore dans le sol : transferts et disponibilité. *INRA Productions Animales*, 3(4), 289–298.
- **Morel, C., & Fardeau, J.C. (1990).** Comportement du phosphore dans le sol : transferts et disponibilité. *INRA Productions Animales*, 3(4), 289–298.
- **Mucina, L., Bültmann, H., Dierßen, K., Theurillat, J.-P., Raus, T., Čarni, A., Šumberová, K., Willner, W., Dengler, J., Gavilán García, R., Chytrý, M., Hájek, M., Di Pietro, R., Iakushenko, D., Pallas, J., Daniëls, F.J.A., Bergmeier, E., Santos Guerra, A., Ermakov, N., Valachovič, M., Schaminée, J.H.J., Lysenko, T., Didukh, Y.P., Pignatti, S., Rodwell, J.S., Capelo, J., Weber, H.E., Solomeshch, A., Dimopoulos, P., Aguiar, C., Hennekens, S.M. & Tichý, L. (2016).** Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*, 19(Sup. 1), 3-264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>.
- **Mueller, G. D., & Thompson, A. M. (2009).** The ability of urban residential lawns to disconnect impervious area from municipal sewer systems 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(5), 1116-1126.
- **Murphy, J. D., Johnson, D. W., Miller, W. W., Walker, R. F., Blank, R. R., & Rau, B. M. (2006).** Wildfire effects on soil nutrients and leaching in a Tahoe Basin watershed. *Journal of Environmental Quality*, 35(2), 479–489.

- **Musy, A. & Soutter, M. (1991).** Physique du sol. Collection Gérer L'environnement. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Suisse, 335 p.
- **NASA. (2021).** *Landsat 9: Continuing the legacy of global land imaging.* NASA Goddard Space Flight Center. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/>
- **Nassar, NT, Alonso, E., et Brainard, JL.(2020).** Enquête sur la dépendance étrangère des États-Unis à l'égard des minéraux critiques – Document technique de l'US Geological Survey en réponse au décret n° 13953 signé le 30 septembre 2020 (n° 2020-1127). US Geological Survey
- **Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., & Ffolliott, P. F. (1999).** Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122(1–2), 51–71.
- **Nsibi, R., Souayah, N., Khouja, L.M., Khaldi, A. & Bouzid, S. (2006).** Impacts des facteurs biotiques et abiotiques sur la dégradation de subéraie tunisienne. *Geo-Eco-Trop*, 30(1), 25-34.
- **Ohu, J. O., Raghavan, G. S. V., Prasher, S., & Mehuys, G. (1987).** Prediction of water retention characteristics from soil compaction data and organic matter content. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 38(1), 27-35.
- **Pasquier, D. (2010).** Culture sentimentale et jeux vidéo: le renforcement des identités de sexe. *Ethnologie française*, 40(1), 93-100.
- **Pausas, J. G., & Verdú, M. (2005).** *Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of the Mediterranean basin: à phylogenetic approach.* *Oikos*, 109(1), 196–202.
- **Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2014).** *Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems.* *New Phytologist*, 204(1), 55–65.
- **Pausas J.G (2015).** Bark thickness and fire regime. *Funct Ecol* 29:317–327
- **PNUD, (2016).** « Stratégie à l'appui d'une urbanisation durable : le soutien du PNUD pour des villes durables, inclusives et résilientes dans le monde en développement ». 54 p.
- **Poldini, L., Vidali, M., Castello, M. & Sburlino, G. (2020).** A novel insight into the remnants of hygrophilous forests and scrubs of the Po Plain biogeographical transition area (Northern Italy). *Plant sociology*, 57(2), 17-69. <https://doi.org/10.3897/pls2020572/01>.
- **Pollastrini, M., Chiavetta, U., Cutini, A., Casula, A., Maltoni, S., Dettori, S. & Corona, P. (2018).** Indicators for the assessment and certification of cork oak management sustainability in Italy. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 11, 668-674. <https://doi.org/10.3832/ifer2587-011>.

- **Quezel, P. (1956).** Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, N.S., 1, 1-57.
- **Quezel, P., Santa, S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris T2, PP: 611,612. (in French)
- **Quezel, P., Barbero, M., Benabid, A., Loisel, R. & Rivas-Martinez, S. (1988).** Contribution à l'étude des groupements préforestiers et des matorrals rifains. *Ecologia Mediterranea*, 14(1-2), 77-122. <https://doi.org/10.3406/ecmed.1988.1208>.
- **Quezel, P., Barbero, M. (1990).** Les forêts méditerranéennes problèmes poses par leur signification historique, écologique et leur conservation. *Acta Botanica Malacitana*, 15, 145-178.
- **Quezel, P., & Médail, F. (2003).** Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier. ISBN : 2-84299-451-5, 574 p.
- **Rathgeber, T. (2004).** Indigene Völker und Landrechte. *Indigene Völker in Lateinamerika und Entwicklungszusammenarbeit*, 61-76.
- **Rayment, G. E., & Higginson, F. R. (1992).** Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods .330 pp.
- **Richard, G., Cousin, I., Sillon, J. F., Bruand, A., & Guérif, J. (2001).** Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, 52(1), 49-58.
- **Richards, J. A. (2022).** *Remote sensing digital image analysis* (Vol. 5, pp. 256-258). Berlin/Heidelberg, Germany: springer.
- **Richer De Forges, A., Feller, C., Jamagne, M., & Arrouays, D. (2008).** Perdus dans le triangle des textures. *Etudes et gestion des Sols*, 15(2), 97-111.
- **Rivas-Martínez, S., Sáenz S.R. & Penas, A. (2011).** Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany*, 1, 1-634.
- **Rosas-Chavoya, M., Gallardo-Salazar, JL, López-Serrano, PM, Alcántara-Concepción, PC et León-Miranda, AK. (2022).** QGIS, un logiciel géospatial gratuit et open source en constante évolution, contribuant au développement scientifique. *Cuadernos de Investigación Geográfica* , 48 (1), 197-213.
- **Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974).** *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation* (No. E75-10354).

- **Rumpel, C. & Kögel-Knabner, I. (2011).** Deep soil organic matter – a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil*, 338(1-2): 143-158
- **Rumpel, C., Crème, A., Ngo, P. T., Velásquez, G., Mora, M. L., & Chabbi, A. (2015).** The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 353-371.
- **Sarkar, Dipak et Haldar, Abhijit. (2005).** Physical and Chemical Methods in Soil Analysis: Fundamental Concepts of Analytical Chemistry and Instrumental Techniques. New Age International (P) Limited, New Delhi, 193 pages.
- **Salamani M., (1991).** « Premières données palynologiques sur l'histoire Holocène du massif de l'Akfadou (Grande-Kabylie, Algérie) ». *Ecologia Mediterranea* XVII, pp. 145-159.
- **Salome, C., Nunan, N., Pouteau, V., Lerch, T. Z., & Chenu, C. (2010).** Carbon dynamics in topsoil and in subsoil may be controlled by different regulatory mechanisms. *Global change biology*, 16(1), 416-426.
- **Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006).** Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil science society of America Journal*, 70(5), 1569-1578.
- **Schjønning, P., Christensen, B. T., & Carstensen, B. (1994).** Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *European Journal of Soil Science*, 45(3), 257-268.
- **Schmitz, A. (1988).** Lutte contre les feux de brousse, Rapport FAO, projet BEN/85/006/ Section Sciences de la Vie, N° 36, pp.25-31.
- **Sellers, P. J. (1985).** Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International journal of remote sensing*, 6(8), 1335-1372.
- **Sellers, PJ (1985).** Réflectance de la canopée, photosynthèse et transpiration. *Revue internationale de télédétection*, 6 (8), 1335-1372.
- **Seltzer P. (1946).** Le Climat de l'Algérie. Alger : Inst. Météorol. Phys. Gl.219 p.
- **Serra, G., Bacchetta, G. & Loddo, S. (2002).** Relationships between soils, climate and vegetation in *Quercus suber* L. formations of the Sulcis-Iglesiente (Southern Sardinia, Italy). *Options méditerranéennes, Série A*, 50, 127-133.
- **Sfaksi, N. (2012).** Suivi de la dynamique paysagère au sein d'un espace naturel protégé : cas du Parc National de Taza (wilaya de Jijel, Algérie). [Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif]. 131 P.

- **Shakesby, R. A., & Doerr, S. H. (2006).** Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74, 269–307.
- **Siab Farsi B., (2018).** Les végétations naturelles du Mont Chenoua : biodiversité, syntaxonomie et cartographie. Thèse doctorat. École nationale supérieure d'agronomie El Harrach, Alger, 164p.
- **Simeone, M.C., Vessella, F., Salis, A., Larbi, H., Schirone, A., Bellarosa, R. & Schirone, B. (2010).** Biogeography of North African cork oak (*Quercus suber* L.). *Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/wprs Bulletin*, 57, 1-8.
- **Simonson, W.D. & Allen, H.D. (2014).** Cork oak (*Quercus suber* L.) forests of western Mediterranean mountains: a plant community comparison. *Ecologia Mediterranea*, 40(1), 35-48. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2014.1268>.
- **Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002).** Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2), 155–176.
- **Soltner, D., (1988).** Les bases de la production végétale, In: Angers (Ed.), *Sciences et Techniques Agricoles. 16ème édition Sainte Gemmes Sur Loire*, pp. 464
- **Stackhouse, P., Whitlock, C., Chandler, W., Hoell, J., & Zhang, T. (2004).** Solar renewable energy data sets from NASA satellites and research. In *Proceedings of the solar conference* (pp. 279-284). AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY; AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS.
- **Stewart, P. (1969).** Quotient pluviométrique et dégradation biosphère : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59(1-4), 23-36.
- **Stewart, P. (1975).** Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert *Bull. Soc. Hist. Afr. Nord*, 65 (1/2), 239-252.
- **Switzer, G. L., & Nelson, L. E. (1979).** Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 1252–1257.
- **Taleb MS, Fennane M. (2019).** Terrestrial (inland and coastal) halo- gypsophile vegetation. In: Taleb MS, Fennane M, eds. *Geobotany studies. Vascular plant communities of Morocco: phytosociology, ecology and geography*. Cham: Springer International Publishing, 89–105
- **Theurillat, J.P., Willner, W., Fernandez-Gonzalez, F., Bültmann, H., Carni, A., Gigante, D., Mucina, L. & Weber, H. (2020).** International Code of Phytosociological Nomenclature. 4th edition. *Applied vegetation science*, 24(1), e12491 <https://doi.org/10.1111/avsc.12491>.

- **Times, U. (2021).** Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World. *Human development report, 2022*.
- **TOPS. (Ed.) . (2017).** Programme Technical and Operational performance support, et Mercy corps .manuel technique permagarden deuxième édition.76 P.
- **Torres, J.A., Valle, F., Pinto, C., Garcia-Fuentes, A., Salazar, C. & Cano, E. (2002).** *Arbutus unedo* L. communities in southern Iberian Peninsula mountains. *Plant ecology*, 160(2), 207-223.
- **Toubal, O. & Toubal, A. (1996).** Diversité et dynamisme de la végétation de l'Edough (NE Algérie). Relation avec la lithologie. *Colloques Phytosociologiques*, 24, 585-599.
- **Toubal, O. (1998).** Le Prunetum aviae, le Genistetum numidicae et le Chamaeropetum humilii, trois associations qui caractérisent la végétation numidienne (Edough, N.E Algérie). *Itinera Geobotanica*, 10, 213-226.
- **Tran, T. S., & N'dayegamiye, A. (1995).** Long-term effects of fertilizers and manure application on the forms and availability of soil phosphorus. *Canadian Journal of Soil Science*, 75(3), 281-285.
- **Trigg, S., & Flasse, S. (2001).** An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22(13), 2641-2647.
- **U.S. Geological Survey, 2020,** Earthquake Lists, Maps, and Statistics, accessed March 18, 2020 at URL <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/lists-maps-and-statistics>
- **USGS. (2023).** Landsat 8 Overview. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- **Véla, E. & Benhouhou, S. (2007).** Evaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *Comptes Rendus Biologies*, 330, 589–605. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.04.006>.
- **Verbesselt, J., Hyndman, R., Zeileis, A., & Culvenor, D. (2010).** Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2970-2980.
- **Veri, L. & Sebastiani, G. (1987).** Structure and evolution of the Mediterranean maquis in Italian and North African forests. Second contribution: the maquis-*Quercus suber* forests. *Acta Botanica Croatica*, 46, 123-142.

- **Vincent, C., Peyaud, V., Laarman, O., Six, D., Gilbert, A., Gillet-Chaulet, F., ... & Bolibar, J. (2019).** Déclin des deux plus grands glaciers des Alpes françaises au cours du XXI^e siècle: Argentière et Mer de Glace. *La Météorologie*, (106), 49-58.
- **Vogiatzakis, I.N., Griffiths, G.H. & Bacchetta, G. (2005).** Human impacts on Quercus suber habitats in Sardinia: Past and present. *Botanika Chronika*, 18(1), 293-300.
- **Wells, C.G., Campbell, R.E.; DeBano, L.F.; Lewis, C.E.; Fredrickson, R.L.; Franklin, E.C.; Froelich, R.C.; Dunn, P.H. (1979).** Effects of fire on soil: a state-of-the-knowledge review. Gen. Tech. Rep. WO- 7. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 34 p.
- **Wirawan, S. T. C., & Chernovita, H. P. (2023).** Analysis of Vegetation Changes Using Satellite Imagery and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study in Tuntang District, Semarang District. *Journal of Information Systems and Informatics*, 5(4), 1809-1820.
- **Wojterski T., (1988).** Guide de l'excursion internationale de phytosociologie. Algérie du Nord. Association internationale pour l'étude de la végétation & INA El Harrach, Glotze Druck ed, 274 p. Göttingen
- **Wojterski, T.W. (1990).** Degradation stages of the oak forests in the area of Algiers. *Vegetation*, 87, 135-143.
- **Zeraia, L., (1981).** Essai d'interprétation comparative des données écologiques, phénologiques et de production subero-ligneuse dans les forêts de chêne-liège de Provence cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse de doctorat Science, Université Aix Marseille III. 367p
- **Zeraia, L. (2019).** Biodiversité de la végétation forestière et steppique de l'Algérie. Mauritius: Editions Universitaires Européennes.92 P.

ANNEXES

ANNEXE

ANNEXE 1 : fiche simplifiée de description morphologique de profil sur terrain

Université Abderrahmane mira de Bejaïa
Faculté des sciences de la nature et de la vie

FICHE SIMPLIFIEE DE DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DE PROFILES SUR LE TERRAIN

Nom de l'observateur : Date :

N° du profil : Nom local du site :

Coordonnées Lambert : Carte :

X : Echelle :

Y :

CLIMAT

P Ann mm

T Max Ann °C

T Min Ann °C

T Moye Ann °C

Vent

Diagramme Pluvio-Thermique

P (mm) T (°C)

P=2T

J F M A M J J A S O N D

GEOMORPHOLOGIE

ALTITUDE : m

RELIEF :

PENTE : (%)

GEOLOGIE :

VEGETATION OU SYSTEME DE CULTURE

-Type de végétation :

-Espèces Dominantes :

-Degré de recouvrement :

-Action anthropique :

(1)

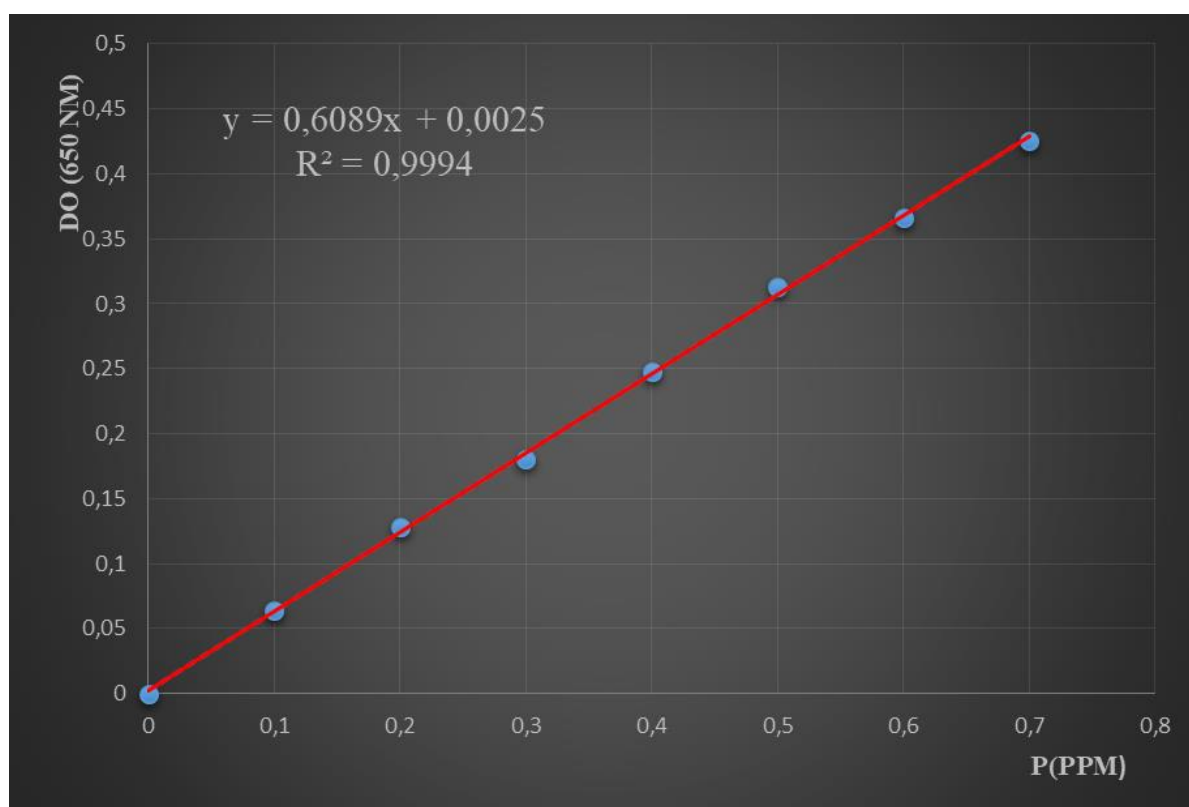
PROFONDEUR					
HUMIDITE					
COULEUR	Qualificatif				
	Munsell-Chart				
ELEMENTS GROSSIERS	G.C.B				
	Abondance				
	Forme				
	Nature				
MATIERE ORGANIQUE					
OXYDES-HYDROXYDES					
TEXTURE					
STRUCTURE					
CONSISTANCE					
REACTION A L'HCL 10%					
TACHES	Couleur				
	Forme				
	Nature				
CAVITES/FENTES	Continuité				
	Abondances				
	Orientation				
POROSITE					
RACINES	Abondance				
	Grosseurs				
	Répartition				
ACTIVITES BIO (FAUNE)					
ACTIVITES ANTHROPIQUE					
TRANSITION	Netteté				
	Régularité				
SYMBOLE HORIZON					

(2)

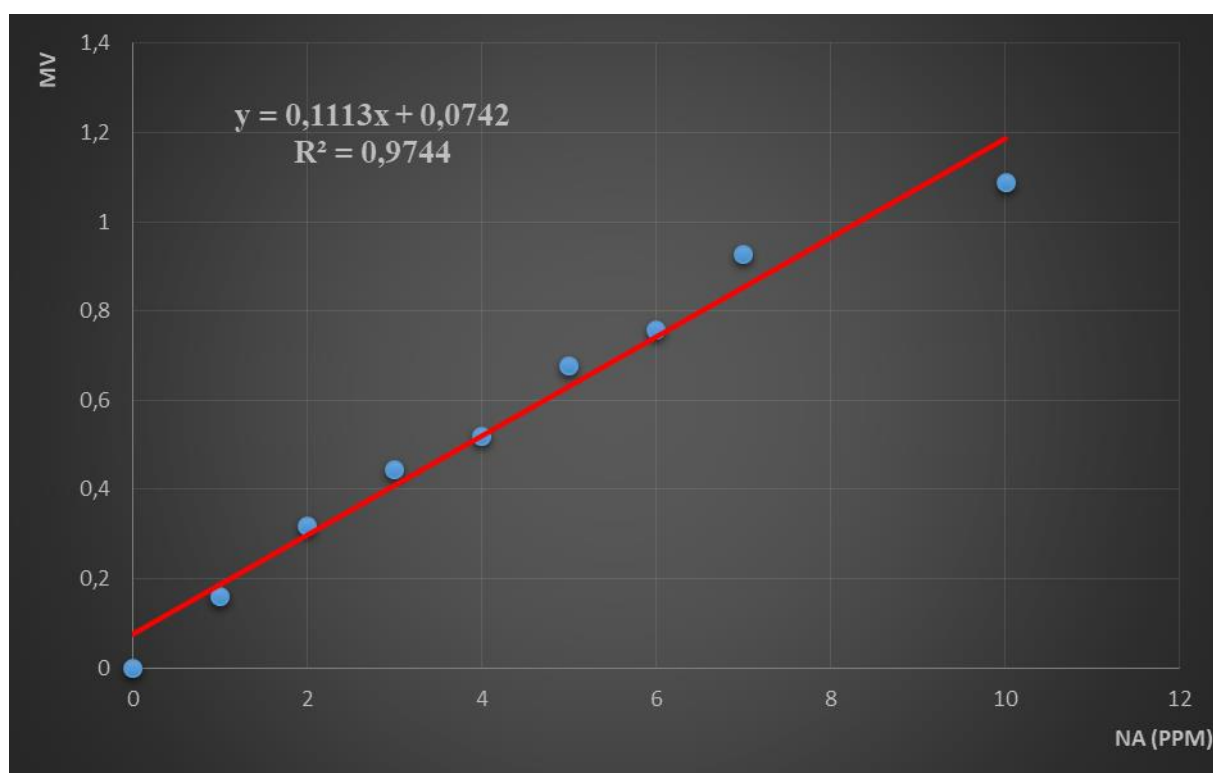
ANNEXE 2 : classe de salinité des sols (Durand, 1983)

Classes	CE en µs/cm à 25°C	Qualité des sols	Effets sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution de rendement des cultures très sensibles au sel.
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plupart des cultures.
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant.
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent un rendement satisfaisant.

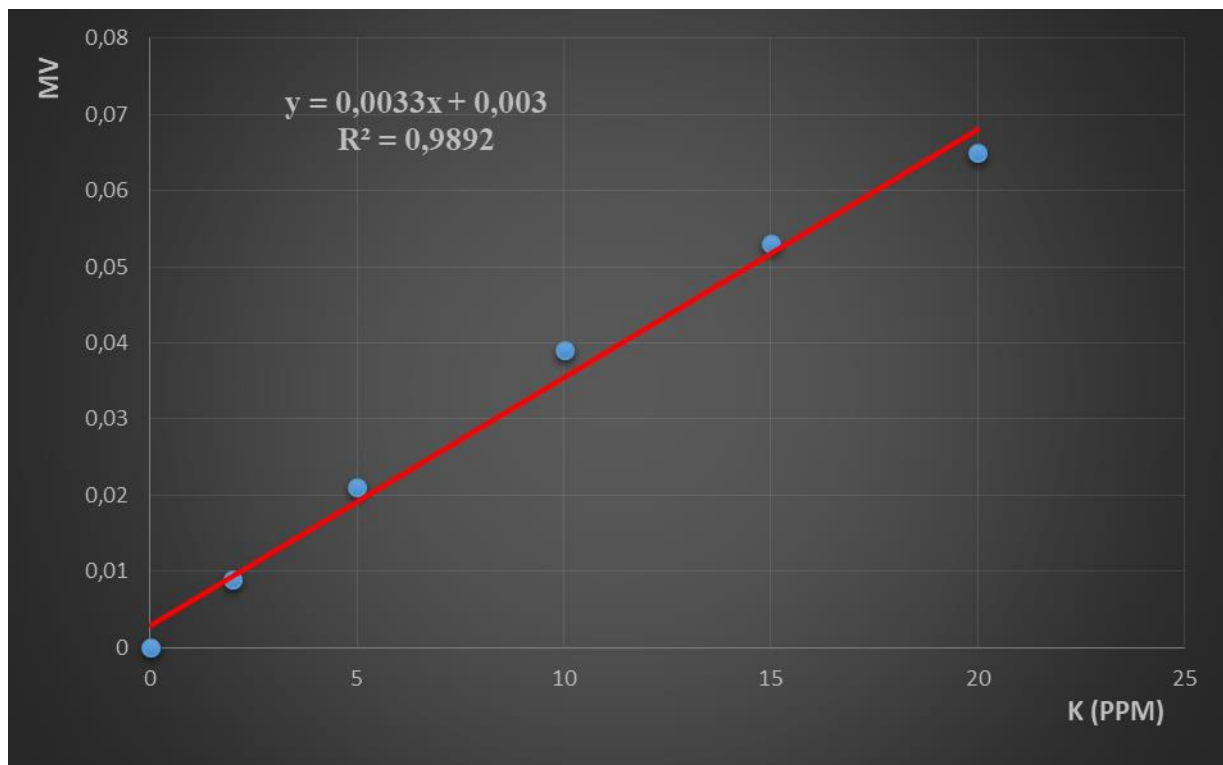
ANNEXE 3 : Courbe d'étalonnage du Phosphore



ANNEXE 4 : Courbe d'étalonnage du sodium



ANNEXE 5 : Courbe d'étalonnage du potassium



ANNEXE 6 : Classe de l'indice de battance (Durand, 1983).

Indice de battance	Appréciation
>2,0	Sol extrêmement battant
2,0 > I.B. > 1,8	Sol très battant
1,8 > I.B. > 1,6	Sol battant
1,6 > I.B. > 1,4	Sol peu battant
I.B. < 1,4	Sol non battant

ANNEXE 07 : L'ensemble des relevés floristiques réalisés au niveau de l'antenne Chemini

Relevé 01

Relevé 02

Numéro	Espèces	Numéro	Espèces
1	<i>Asphodelus microcarpus</i>	1	<i>Quercus canariensis</i>
2	<i>Hyoseris radiata</i>	2	<i>Poa bulbosa</i>
3	<i>Hyoseris Sp</i>	3	<i>Hyacinthoides hispanica</i>
4	<i>Plantago</i>	4	<i>Geranium grandiflorum</i>
5	<i>Genista tricuspidata</i>	5	<i>Cyclamen africanum</i>
6	<i>Romulea bulbocodium</i>	6	<i>Cytisus sp.</i>
7	<i>Parentucellia latifolia</i>	7	<i>Cynoglossum cheirifolium</i>
8	<i>saxifraga</i>	8	<i>Viola odorata</i>
9	<i>Calicotome spinosa</i>	9	<i>Sedum sp.</i>
10	<i>Isoètes Sp</i>	10	<i>Ranunculus macrophyllus</i>
11	<i>serapias lingua</i>	11	<i>Stellaria media</i>
12	<i>Chariophilaceae minuartiae Sp</i>	12	<i>Geranium molle</i>
13	<i>Trifolium campestre</i>	13	<i>Hyoseris sp.</i>
14	<i>Bellis annua</i>	14	<i>Lamium purpurium</i>
15	<i>Ralenculus Sp</i>	15	<i>Veronica arvensis</i>
16	<i>Veronica arvensis</i>	16	<i>Paronychia sp.</i>
17	<i>Bouraginaceae</i>	17	<i>Brassicaceae Sp</i>
18	<i>Carex flacca</i>	18	<i>Geranium robertianum</i>
19	<i>Chariophilaceae</i>	19	<i>Linaria triphylla</i>
20	<i>Cerastium Sp</i>	20	<i>Biscutella didyma</i>
21	<i>Galium lucidum</i>	21	<i>Sedum caeruleum</i>
22	<i>Poa bulbosa</i>	22	<i>Valeriana asarifolia</i>
23	<i>Bellis sylvestris</i>	23	<i>Tulipa sylvestris</i>
24	<i>Lamiaceae Sp</i>	24	<i>Viola munbyana</i>
25	<i>Poaceae</i>	25	<i>Cerastium glomeratum</i>
26	<i>Anagalis monelli</i>	26	<i>Dactylis glomerata</i>
27	<i>Cynoglossum Cheirifolium</i>	27	<i>Myosotis ramosissima</i>
28	<i>Callitriche sp</i>	28	<i>Cynoglossum creticum</i>
29	<i>Fumana juniperina</i>		
30	<i>Betonica hirsuta L.</i>		
31	<i>Cerastium glomeratum</i>		
32	<i>Moehringia pentandra</i>		
33	<i>Dactylis glomerata</i>		
34	<i>Lythrum hyssopifolia</i>		

Relevé 03

Relevé 04

Numéro	Espèces	Numéro	Espèces
1	<i>Quercus canariensis</i>	1	<i>Quercus canariensis</i>
2	<i>Asphodelus microcarpus</i>	2	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
3	<i>Genista tricuspidata</i>	3	<i>erica arborea</i>
4	<i>Vicia lutea</i>	4	<i>cytissus triflorus</i>
5	<i>Trifolium stellatum</i>	5	<i>Asphodelus microcarpus</i>
6	<i>poaceae Sp</i>	6	<i>genista tricuspidata</i>
7	<i>Eudianthe coeli-rosa</i>	7	<i>juniperus oxycedrus</i>
8	<i>Trifolium campestre</i>	8	<i>vicia lutea</i>
9	<i>Galium lucidum</i>	9	<i>teucrium kabylicum</i>
10	<i>Cynoglossum chaerifolium</i>	10	<i>sanguisorba minor</i>
11	<i>Convolvulus arvensis</i>	11	<i>linaria heterophylla</i>
12	<i>Trifolium repens</i>	12	<i>Petrorhagia dubia</i>
13	<i>Allium</i>	13	<i>companula Sp</i>
14	<i>Lysimachia</i>	14	<i>centranthus</i>
15	<i>Briza maxima</i>	15	<i>cistus salviifolius</i>
16	<i>Sixalix atropurpurea</i>	16	<i>trifolium grandiflorum</i>
17	<i>Silene chouletti</i>	17	<i>Eudianthe coelirosa</i>
18	<i>hypericum</i>	18	<i>Galium lucidum</i>
19	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i>	19	<i>Briza maxima</i>
20	<i>Erica arborea</i>	20	<i>Linum</i>
21	<i>Cytissus triflorus</i>	21	<i>geranium atlanticum</i>
22	<i>Romulea bulbocodium</i>	22	<i>cynoglossum shelifolium</i>
23	<i>Plantago</i>	23	<i>Anacyclus clavatus</i>
24	<i>Cyclamen africanum</i>	24	<i>silene gallica</i>
25	<i>Pteridium aquilinum</i>	25	<i>Silene chouletti</i>
26	<i>Centaurium erythraea</i>	26	<i>asteraceae sp1</i>
27	<i>Dactylis glomerata</i>	27	<i>asteraceae sp2</i>
28	<i>Myosotis ramosissima</i>	28	<i>urospermum dalechampii</i>
29	<i>Stellaria media</i>	29	<i>asteraceae</i>
30	<i>Carlina corymbosa L.</i>	30	<i>Evax pygmaea</i>
31	<i>Trifolium pratense</i>	31	<i>Eryngium pusillum</i>
32	<i>Trifolium angustifolium</i>	32	<i>Hyacinthoides aristidis</i>
		33	<i>Crucianella angustifolia</i>
		34	<i>Campanula rapunculus</i>
		35	<i>Dactylis glomerata</i>
		36	<i>Legousia falcata</i>
		37	<i>Filago asterisciflora</i>
		38	<i>Carlina corymbosa L.</i>

Relevé 05
Relevé 06

Numéro	Espèces	Numéro	Espèces
1	<i>Quercus suber</i>	1	<i>Quercus canariensis</i>
2	<i>Quercus canariensis</i>	2	<i>poaceae</i>
3	<i>erica arborea</i>	3	<i>linaria triphylla</i>
4	<i>Genista tricuspidata</i>	4	<i>Galium scabrum</i>
5	<i>asphodelus microcarpus</i>	5	<i>Galium lucidum</i>
6	<i>teucrium polium</i>	6	<i>patoncia microcarpa</i>
7	<i>Teucrium kabylicum</i>	7	<i>vicia lutea</i>
8	<i>Carduus defloratus L.</i>	8	<i>veronica arvensis</i>
9	<i>Scabiosa atropurpurea</i>	9	<i>Hyacinthoides aristidis</i>
10	<i>Campanula rapunculus</i>	10	<i>Myosotis ramosissima</i>
11	<i>Thymus numidicus</i>	11	<i>paronychia argentea</i>
12	<i>linaria heterophylla</i>	12	<i>vicia sp</i>
13	<i>calicotome spinosa</i>	13	<i>Clinopodium vulgare</i>
14	<i>cystus salviifolius</i>	14	<i>lysimachia monelli</i>
15	<i>linum flavum</i>	15	<i>Alliaria petiolata</i>
16	<i>Galium lucidum</i>	16	<i>geranium robertianum</i>
17	<i>allium</i>	17	<i>Geranium molle</i>
18	<i>Silene chouletti</i>	18	<i>brassicaceae</i>
19	<i>poaceae</i>	19	<i>lamiaceae</i>
20	<i>lamiaceae</i>	20	<i>Lamium purpurium</i>
21	<i>Eudianthe coelirosa</i>	21	<i>crataegus lacignata</i>
22	<i>plantago</i>	22	<i>Anacyclus clavatus</i>
23	<i>rubus ulmifolius</i>	23	<i>Cephalanthera longifolia</i>
24	<i>Hypericum</i>	24	<i>asphodelus microcarpus</i>
25	<i>Alliaria petiolata</i>	25	<i>Trifolium glomeratum</i>
26	<i>hypochaeris radicata</i>	26	<i>Hyoseris radiata</i>
27	<i>juniperus oxycedrus</i>	27	<i>Romulea bulbocodium</i>
28	<i>Romulea bulbocodium</i>	28	<i>Ranunculus macrophylla</i>
29	<i>Myosotis ramosissima</i>	29	<i>Petrorhagia dubia</i>
30	<i>Tolpissp</i>	30	<i>Dactylis glomerata</i>
31	<i>Dactylis glomerata</i>	31	<i>Anthyllis vulneraria</i>
32	<i>Cirsium echinatum</i>		
33	<i>Anthyllis vulneraria</i>		
34	<i>Legousia falcata</i>		

Relevé 07**Relevé 08**

Numéro	Espèces	Numéro	Espèces
1	<i>crataegus lacignata</i>	1	<i>crataegus lacignata</i>
2	<i>rosa canina</i>	2	<i>rosa canina</i>
3	<i>rubus ulmifolius</i>	3	<i>rubus ulmifolius</i>
4	<i>asphodelus microcarpus</i>	4	<i>asphodelus microcarpus</i>
5	<i>genista tricuspidata</i>	5	<i>genista tricuspidata</i>
6	<i>Allium</i>	6	<i>Allium</i>
7	<i>plantago sp1</i>	7	<i>plantago sp1</i>
8	<i>Trifolium campestre</i>	8	<i>Trifolium campestre</i>
9	<i>Ranunculus bulbosus</i>	9	<i>Ranunculus bulbosus</i>
10	<i>hypochaeris sp</i>	10	<i>hypochaeris sp</i>
11	<i>Plantago coronopus</i>	11	<i>Plantago coronopus</i>
12	<i>centaurea</i>	12	<i>centaurea</i>
13	<i>Thymus numidicus</i>	13	<i>Thymus numidicus</i>
14	<i>Lotus angustissimus</i>	14	<i>Lotus angustissimus</i>
15	<i>paronychia argentea</i>	15	<i>paronychia argentea</i>
16	<i>linum flavum</i>	16	<i>linum flavum</i>
17	<i>linum bienne</i>	17	<i>linum bienne</i>
18	<i>Plantago coronopus</i>	18	<i>Plantago coronopus</i>
19	<i>cuscuta</i>	19	<i>cuscuta</i>
20	<i>rubia perigrina</i>	20	<i>rubia perigrina</i>
21	<i>geranium sp</i>	21	<i>geranium sp</i>
22	<i>lysimachia monelli</i>	22	<i>lysimachia monelli</i>
23	<i>bellis annua</i>	23	<i>bellis annua</i>
24	<i>filago Logfia gallica</i>	24	<i>filago Logfia gallica</i>
25	<i>cirsium arvense</i>	25	<i>cirsium arvense</i>
26	<i>teucrium polium</i>	26	<i>teucrium polium</i>
27	<i>Thymus numidicus</i>	27	<i>Thymus numidicus</i>
28	<i>scolymus maculatus</i>	28	<i>scolymus maculatus</i>
29	<i>Evax pygmaea</i>	29	<i>Evax pygmaea</i>
30	<i>hypericum</i>	30	<i>hypericum</i>
31	<i>Romulea bulbocodium</i>	31	<i>Romulea bulbocodium</i>
32	<i>Dactylis glomerata</i>	32	<i>Dactylis glomerata</i>
33	<i>Rhaponticum acaule</i>	33	<i>Rhaponticum acaule</i>
34	<i>Ptilostemon dyricola</i>	34	<i>Ptilostemon dyricola</i>

Relevé 09
Relevé 10
Relevé 11

Numéro	Espèces	Numéro	Espèces	Numéro	Espèces
1	<i>asphodelus microcarpus</i>	1	<i>genista tricuspidata</i>	1	<i>rosa canina</i>
2	<i>genista tricuspidata</i>	2	<i>asphodelus microcarpus</i>	2	<i>rubus ulmifolius</i>
3	<i>carthamus lanatus</i>	3	<i>Cynoglossum cheirifolium</i>	3	<i>crataegus lacignata</i>
4	<i>Carduus defloratus L.</i>	4	<i>filagoLogfia gallica</i>	4	<i>genista tricuspidata</i>
5	<i>lactuca luminae</i>	5	<i>silene imbricata</i>	5	<i>crataegus monogyna</i>
6	<i>silene imbricata</i>	6	<i>pronychia argentea</i>	6	<i>Thymus numidicus</i>
7	<i>Thymus numidicus</i>	7	<i>Trifolium campestre</i>	7	<i>lysimachia monelli</i>
8	<i>Galium lucidum</i>	8	<i>lysimachia monelli</i>	8	<i>cuscuta</i>
9	<i>Sanguisorba verrucosa</i>	9	<i>apiaceae</i>	9	<i>Linum bienne Fleur bleue</i>
10	<i>trifolium compestre</i>	10	<i>linum flavum</i>	10	<i>fagonia</i>
11	<i>cynoglossum shelifolium</i>	11	<i>Iberis sempervirens</i>	11	<i>jurinea humilis</i>
12	<i>linum flavum</i>	12	<i>caralluma annua</i>	12	<i>cynoglossum shelifolium</i>
13	<i>picris hieracioides</i>	13	<i>Convolvulus arvensis</i>	13	<i>plantago</i>
14	<i>ralenculus bulbosus</i>	14	<i>sedum spurium</i>	14	<i>paronychia argentea</i>
15	<i>Convolvulus arvensis</i>	15	<i>lin à fleurs violettes</i>	15	<i>dianthus</i>
16	<i>paronychia argentea</i>	16	<i>Evaxs pigmae</i>	16	<i>teucrium polium</i>
17	<i>Evaxs pigmae</i>	17	<i>teucrium polium</i>	17	<i>poaceae</i>
18	<i>lin à fleurs violettes</i>	18	<i>poaceae</i>	18	<i>ralenculus bulbosus</i>
19	<i>Thapsia gummifera</i>	19	<i>Trifolium campestre</i>	19	<i>Pilosella officinarum</i>
20	<i>cedum</i>	20	<i>Carduus defloratus L.</i>	20	<i>lin à fleurs violettes</i>
21	<i>poaceae</i>	21	<i>teucrium sp</i>	21	<i>sedum acre</i>
22	<i>rubia sp</i>	22	<i>andryala integrifolia</i>	22	<i>sedum rubrotinctum</i>
23	<i>biscutella didyma</i>	23	<i>biscutella didyma</i>	23	<i>silene imbricata</i>
24	<i>cotyledon umbilicus-veneris</i>	24	<i>linaria heterophylla</i>	24	<i>Carduus defloratus L.</i>
25	<i>Saxifraga globulifera</i>	25	<i>crataegus lacignata</i>	25	<i>Edentae salirosa</i>
26	<i>Romulea bulbocodium</i>	26	<i>rubus ulmifolius</i>	26	<i>atractylis gummifera</i>
27	<i>Dactylis glomerata</i>	27	<i>geranium robertianum</i>	27	<i>silene gallica</i>
		28	<i>hypochaeris sp</i>	28	<i>teucrium sp</i>
		29	<i>Vicia sativa</i>	29	<i>Evaxs pigmae</i>
		30	<i>Dactylis glomerata</i>	30	<i>Sixalix atropurpurea</i>
				31	<i>Trifolium angustifolium</i>
				32	<i>Sedum caeruleum</i>
				33	<i>Dactylis glomerata</i>

RESUME

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير تدهور التربة على التنوع البيولوجي في المنطقة الغابية التابعة لقطاع شميني (بجاية)، والمندمجة في كتلة أكفادو. كشفت التحليلات الزمكانية باستخدام منهجية جيوماتيكية قائمة على نظم المعلومات الجغرافية (SIG) أن حرائق الغابات المتكررة والرعي الجائر المفرط هما العاملان الرئيسيان المُخلّان بالتوازن الإيكولوجي المحلي.

أدت هذه الضغوط البشرية إلى تدهور ملحوظ في الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة، حيث لوحظ تفاقم ظاهرة تصلب السطح خاصة في الطبقات السطحية للتربة الخالية من الغطاء النباتي، والمُضعفة بسبب التعرية وفقدان المادة العضوية. كما يتجلى هذا التدهور في انخفاض المسامية واستنزاف العناصر الغذائية الأساسية.

يهدد تفكك بنية التربة الناتج بشدة تجدد الأنواع الغابية الأصلية طبيعياً. كما يُسهّل استيطان أنواع نباتية مؤشّرة على الاضطرابات الإيكولوجية، مثل *Asphodelus microcarpus* (الشويكة/الأسبوديل) المرتبط بالرعي الجائر و *Ampelodesmos mauritanicus* (الدّيس المغاربي) المرتبط بالحرائق والاجتثاث.

تعكس هذه الأنواع الغازية ديناميكية تراجع إيكولوجي واضح، تُنذر بتحوّل وظيفي في الوسط الغابي.

Aseyti :

Aseklu-agi yeela ad yeyer lweena n tneyla n wakal yef tmezgida yer texxamt n Ccmini (Bgayet), tettafar yer idurar n Wekfadu. Aseklu n umdan d akud yettatar s tarrayt n ugemmay yessefk s imukan n telyut n tmurt (SIG) ad d-yafen iferhen n tyari ttuyalin d uyzan aelayen d isefka i yeshulfan tyawsiwin n tmurt.

Tiggunin n wefgan nnant yer wakal yeyli-d s wudem aelayen. Ila-d uzru n wekal d aqerruy yer teyzi tisemlalt, i yettemyayen s tneyla n wakal d tneyla n tmadert tamsiwant Taneyla-agi tettwatti-d s wergaz n tiysiwin d wergaz n yiferdisen ilawen

Asefsed n tmetti n wakal yehwi-d atas ayersiw n yisekla n tezzi (régénération naturelle) n yisekla imezgiyen n tyari. Dya tettwasersen isekla i d-yettmuddun yef tyawsiwin, am : *Asphodelus microcarpus* (tasekla n weyzan) d *Ampelodesmos mauritanicus* (diss, tasekla n yiferhen)

Isekla-agi i yernan ddun-d yef unekcum (régression) n tmezgida, i d-yettmuddun yef usnifel n wudem n tezzi n tmurt.

Titre : Analyse de l'impact de la dégradation des sols sur la biodiversité par une approche géomatique et pédologique : cas de l'antenne de Chemini (Bejaia)

Résumé

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la dégradation des sols sur la biodiversité au sein de la zone forestière de l'antenne de Chemini (Bejaïa), intégrée au massif de l'Akfadou. Une analyse spatio-temporelle, menée à l'aide d'une approche géomatique basée sur les systèmes d'information géographique (SIG), a permis d'identifier les incendies de forêt récurrents ainsi que le surpâturage excessif comme les principaux facteurs perturbant l'équilibre écosystémique local. Ces pressions anthropiques ont entraîné une altération significative des propriétés physico-chimiques des sols. On observe notamment une accentuation du phénomène de battance, particulièrement prononcée dans les horizons superficiels des sols dépourvus de couverture végétale, fragilisés par l'érosion et la perte de matière organique. Cette dégradation se manifeste également par une réduction de la porosité et un appauvrissement en éléments nutritifs essentiels. Ce processus de déstructuration du sol compromet gravement la régénération naturelle des essences forestières autochtones. Il favorise par ailleurs l'installation d'espèces indicatrices de perturbations écologiques, notamment *Asphodelus microcarpus* (asphodèle), liée au surpâturage, et *Ampelodesmos mauritanicus* (Diss), associée aux incendies et au défrichement. Ces espèces, à caractère envahissant, traduisent une dynamique de régression écologique marquée, révélatrice d'un changement fonctionnel du milieu forestier.

Mots clés : dégradation, Akfadou, SIG, incendies, surpâturage, battance, matière organique, porosité, *Asphodelus microcarpus*, *Ampelodesmos mauritanicus*.

Title : Analysis of the impact of soils degradation on biodiversity through a geomatic and pedological approach: case of the Chemini antenna (Bejaia)

Abstract

This study aims to assess the impact of soil degradation on biodiversity within the forested area of the Chemini sector (Bejaïa), part of the Akfadou massif. A spatiotemporal analysis using a geomatic approach based on Geographic Information Systems (GIS) identified recurrent forest fires and excessive overgrazing as the primary drivers disrupting the local ecosystem balance. These anthropogenic pressures have led to significant deterioration of soil physicochemical properties. Notably, an exacerbated beating phenomenon is observed, particularly pronounced in the topsoil layers of vegetation-deprived soils weakened by erosion and organic matter loss. This degradation also manifests as reduced porosity and depletion of essential nutrients. The resulting soil structure breakdown severely compromises natural regeneration of native forest species. Furthermore, it facilitates the establishment of ecological disturbance indicator species, including *Asphodelus microcarpus* (asphodel) linked to overgrazing, and *Ampelodesmos mauritanicus* (Mauritanian grass) associated with fires and land clearing. These invasive species reflect a marked ecological regression dynamic, signaling functional transformation of the forest environment.

Key words : degradation, Akfadou, SIG, fires, overgrazing, beating, organic matter, porosity, *Asphodelus microcarpus*, *Ampelodesmos mauritanicus*.