REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de **Master**

En Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie

Par :

Bachene Hadil
Hadri Wissal

Thème :

Contribution à l'évaluation des changements de l'occupation du sol dans la forêt d'Oued Lahrech_Medea_

Soutenue publiquement le : 02 / 07 /2025, Devant le jury composé de :

Mr. Nasri Riad	**Grade : MCB**	U. Médéa
Mme. Khoudir Samia	**Grade : MAA**	U. Médéa
Mr. Ait Hammouda Tahar	**Grade : MAA**	U. Médéa

Année universitaire 2024/2025

Remerciement

Avant tout, nous tenons àexprimer notre profonde gratitude envers Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous remercions sincèrement notre encadrant, ***M. Ait Hammouda Tahar****, maître assistant « A » à la Faculté des Sciences de l'Université Yahia Fares de Médéa, pour ses précieux conseils, ses remarques constructives, son encouragement, sa confiance, sa rigueur scientifique et son soutien tout au long de ce travail.*

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants et membres du jury, notamment ***Mme. Khoudir Samia****, maître assistante « A » à la Faculté des Sciences de l'UYF Médéa pour avoir accepté d'examiner notre travail, ainsi que* ***Mr. Nasri Riad*** *maître de conférence « B » à la Faculté des Sciences de l'UYF Médéa de nous avoir honorer de présider le jury*

Nous exprimons notre profonde gratitude à ***Mr. Ghabi Mohamed*** *professeur au sein de Centre des Techniques Spatiales pour ses précieux conseils, son accompagnement tout au long de notre parcours pratique dans le cadre de notre mémoire de fin d'études, ainsi que pour les efforts considérables qu'il a déployés durant et après notre stage.*

Ses orientations et son soutien ont grandement contribué à la réussite de notre travail.

Sans oublier le directeur de CTS, ***M. H.Mahy****, ainsi que* ***M. Rafik Matref,*** *qui ont contribué au bon déroulement de notre stage.*

Nous remercions ***Mme. Bounoua Khadidja*** *pour son aide et son soutien.*

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce mémoire, nous adressons nos remerciements les plus sincères. Merci du fond du cœur.

Dédicace

Je dédie mon travail, mon succès et ma remise de diplôme avec fierté...

À :

***Ma Mère Dallila** : pour son amour infaillible, ses encouragements et ses sacrifices silencieux, qui m'ont permis d'avancer. Sa foi en moi m'inspire chaque jour*

***Mon Père Laid :** pour son soutien, sa tendresse, sa confiance et ses précieux conseils qui m'ont toujours rassuré dans les moments difficiles.*

***Mes Sœurs Ibtissem & Douaa :** pour leur présence constante, leur affection, leur soutien et leur tendre compagnie tout au long de cette aventure.*

***Ma cousine, Amira,** pour son soutien et ses encouragements constants.*

***Mon Frère Riyad :** mon bras droit et mon soutien dans la vie.*

***Ma grand-mère Zinab :** que Dieu lui accorde une longue vie pleine de santé*

***Mes grand-père;_Mohammed & Ibrahim** :qu'ils reposent en paix et en toute sérénité.*

***Mon Binome_Hadil** : pour son serieux,son implication et son esprit d'equipe tout long de ce projet .Merci pour ces annees et ces mois de collaboration enrichissante.*

***Mes proches :** Milina, Kaouthar, Bouchra, Marwa, Mounira, Chaima, Khaoula, Faiza merci*

Pour votre soutien et votre amitié. Vous avez toujours été mon refuge face aux difficultés du parcours.

Tous ceux qui m'ont soutenu par un mot, un conseil, ou simplement par leur présence à mes côtés.

Hadri Wissal

Dédicace

Je dédie cette réussite, ce diplôme, et toute la fierté qui l'accompagne...

À

À ma mère Naima : *Ta tendresse, ta patience et ton amour inconditionnel ont été le berceau de ma force et de ma persévérance. Chaque mot d'encouragement, chaque regard rassurant, chaque prière silencieuse ont nourri mon courage et m'ont porté jusqu'à ce jour. Merci d'avoir toujours cru en moi, même lorsque moi-même j'en doutais. Ce mémoire est aussi le fruit de ton amour.*

À mon père Kamel : *Merci pour ton exemple de droiture, de travail et de persévérance. Tes sacrifices silencieux et ton soutien discret ont été des fondations solides sur lesquelles j'ai pu construire mon parcours. Tu m'as appris à ne jamais baisser les bras et à avancer avec dignité. Que ce travail soit une manière modeste de te rendre hommage.*

À ma grand-mère Yamna, *pour sa tendresse infinie.*

À mon frère Mossabe :*je te remercie du fond du cœur pour ton soutien inconditionnel. Tu m'as apporté la force dont j'avais besoin pour avancer. Ta présence dans ma vie est une bénédiction précieuse et inestimable.*

À ma petite sœur Hanaâ : *Tu es bien plus qu'une sœur… tu es ma meilleure amie, celle sur qui je peux toujours compter dans les rires comme dans les larmes. Ta présence rend chaque instant précieux, ta force me rassure, et ta gentillesse m'inspire au quotidien. Je suis profondément fière de la personne que tu es, de ta douceur et de ton amour sans limite. Merci d'être toi, merci de m'aimer sans condition, merci d'embellir ma vie. Je t'aime du plus profond de mon cœur.*

À ma chère Sarah : *Pour tous les rires partagés, les confidences échangées et ton soutien inconditionnel, tu as toujours été là pour moi, dans les bons moments comme dans les mauvais. Ton amitié est un cadeau précieux que je chéris, et je me sens tellement chanceuse de t'avoir dans ma vie. Merci d'être toi.*

À ma chère Nour El Ayam : *Ta présence m'a apporté un vrai réconfort dans les moments difficiles. Merci pour ton amitié fidèle et ta douceur qui m'ont tant soutenue.*

À mes tantes : *Salima, Naïma, Fadhila, Djamila, Rachida, et une pensée profonde pour Fatiha et Zahra, que Dieu accueille dans Sa miséricorde.*

À Leila : *pour son soutien fidèle tout au long de mon parcours scolaire.*

À mes cousines et cousins : *Fatima Zahraa, Ritedj, Bassma, Meriem, Ihcene, Rahil, Abd El Malek votre affection m'accompagne au quotidien.*

À Wissal : *Mon binôme durant ce projet : merci pour ta patience, ton écoute et ta force tranquille.*

Aux filles avec qui j'ai partagé mon parcours : *Kaouther, Milina, Bochra, Nour El Houda, Marwa, Mounira, Chaïma merci pour les moments passés ensemble.*

Hadil Bachene

Liste des abréviations

CCT : Centre canadien de télédétection

CFM : Conservation des forêts de Médéa

CNIG : Centre National d'Information Géographique

CNTC : Centre national des techniques de cartographie.

DGF: Direction des Forets

GEE: Google Earth Engin

IR : Infra rouge

LANDSAT : Land Satellite

LDCM : Mission de Continuité des Données Landsat

MIR : Moyen Infrarouge

MSS : Landsat Multi Spectral Scanner

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NIR : Near infra-red

OLI : Operational LandImager

Q2 : Quotient pluviométrique

REM : Rayonnement électromagnétique

ROI : Région of interesst

SIG : Systèmes d'Informations Géographiques

SIRS : Système d'Information à Référence Spatiale

SIT : Système d'Information sur le Territoire **TIRS:**

Thermal Infrared Sensor

TM: Thématique Mapper

WGS 84: World Geodetic System (révision de 1984)

Liste des figures

Figure 1:les processus de la télédétection (CCT).....6
Figure 2: Nature et propagation d'une onde électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992)..... 8
Figure 3: Le spectre électromagnétique (Bonn et Rochon 1992)..... 9
Figure 4: Diffusion de Rayleigh (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)..... 11
Figure 5: Diffusion non-sélective (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)..... 11
Figure 6: Diffusion de Mie (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)..... 11
Figure 7: Absorption des rayonnements dans l'atmosphère (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)..... 12
Figure 8:Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008).....13
Figure 9:Résolution spatiale (Centre canadien de télédétection (CCT)..... 14
Figure 10: Exemple de résolution spectrale (d'après Faivre, 2018)..... 15
Figure 11: Représentation d'une image numérique satellite (Document CCRS/CCT)..... 18
Figure 12:structure d'une image multi spectrale.....19
Figure 13: La forêt méditerranéenne (D.G.F).....21
Figure 14: Répartition des forêts Algériennes (**DGF**)..... 23
Figure 15: Carte administrative de la wilaya de Médéa avec localisation de la forêt d'Oued Lahrech (Halfaoui, 2017).....24
Figure 16: Carte de relief de la wilaya de Médéa (CNTC Boumerdes, 2010).....28
Figure 17:Extrait de la carte géologique de l'Algérie éditée en (1951-1952) montrant la géologie de la région de Médéa à l'échelle de 1/500.000..... 29
Figure 18: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Médéa (DGF)..... 31
Figure 19: Carte des bassins versants de la wilaya de Médéa (DGF).....32
Figure 20: Carte bioclimatique de la wilaya de Médéa (D.G.F)..... 33
Figure 21 : Carte pluviométrique de la wilaya de Médéa (CNTC Boumerdes 2010).....33
Figure 22: Moyennes annuelles des températures pour la période de 1990 à 2022.....35
Figure 23 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période de **1990 à 2022.....** 36
Figure 24: Diagramme ombro-thermique de Bagnols et Gaussen de la wilaya de Médéa de la période de 1990 à 2020.....38
Figure 25:Etage bioclimatique de la wilaya de Médéa..... 40
Figure 26: Organigramme des étapes de l'approche méthodologique utilisée pour l'analyse et le traitement des images satellites 2002_2024..... 46

Figure 27: Visualisation de la scène au niveau de gris de l'image satellitaire..... 47
Figure 28: Interface de configuration du modèle de correction atmosphérique FLAASH..... 48
Figure 29: Procédure d'extraction et d'exportation d'un sous-ensemble d'image satellitaire à l'aide du logiciel ENVI..... 49
Figure 30: Localisation des points d'appuis sur l'image a corriger(2002) et l'image de référence(2024)..... 50
Figure 31:points de contrôle choisis et erreur quadratique moyenne « RMS » de la correction 50
Figure 32: Choisir les bandes spectrales à affecter aux canaux Rouge, Vert et Bleu..... 51
Figure 33: Fichier vecteur de la limite la Zone d'Étude « oued lahrech » sous ENVI..... 52
Figure 34:Découpage d'image par masque..... 53
Figure 35:la méthode de Band math _NDVI..... 54
Figure 36: carte Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI– Année 2002 55
Figure 37:carte Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI – Année 2024_ 55
Figure 38:carte NDVI 2002 à la carte NDVI 2024..... 56
Figure 39:*Tableau du ROI Tool et liste des bandes disponibles pour la carte de classification supervisée de l'année 2002*..... 57
Figure 40: Classification supervisée de la Zone d'Étude 2024.....57
Figure 41: Classification supervisée de2002..... 57
Figure 42:la réalisation d'une carte d'occupation du sol..... 58
Figure 43: Affichage du vecteur de la zone d'étude Oued Lahrech sur Google Earth Engine 59
Figure 44: Carte de la scène Landsat géoréférencée.....61
Figure 45: Image satellitaire brute..... 61
Figure 46: Analyse comparative du profil spectral entre les données multispectrales Landsat 5 fichier de calibration pour l'évaluation de la réponse radiométrique en fonction de la longueur d'onde..... 61
Figure 47: Image satellitaire brute Landsat – Année 2024..... 62
Figure 48: Carte de la scène Landsat géoréférencée après traitement – Année 2024..... 62
Figure 49: Analyse comparative du profil spectral entre les données multispectrales Landsat 8 et un fichier de calibration pour l'évaluation de la réponse radiométrique en fonction de la longueur d'onde..... 62
Figure 50: Extraction de la Zone d'Étude à partir des Images Satellitaires Landsat (2002-2024) 64

Figure 51:Localisation des points d'appuis sur l'image à corriger et l'image de référence ... 65
Figure 52: image corrigée géométrique 2002..... 65
Figure 53: Image satellitaire Landsat 2002 composition colorée..... 66
Figure 54: Image satellitaire Landsat 2024 composition colorée..... 66
Figure 55:Délimitation de la Zone d'Étude à partir d'un Fichier Vecteur 2002_2024.....67
Figure 56: Découpage par Masquage de la Zone d'Étude sur une Image Satellitaire Landsat 2002_2024..... 67
Figure 57:Évaluation spatio-temporelle de la dynamique de la végétation à l'aide de l'indice NDVI (2002–2024).....68
Figure 58: Histogramme de l'NDVI du PNC en 2002..... 69
Figure 59:Histogramme de l'NDVI du PNC en 2024.....70
Figure 60: Carte thématique des classes NDVI obtenues par seuillage.....71
Figure 61:carte de Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI – Année 2024 72
Figure 62: Carte de biomasse en 2002.....74
Figure 63: Carte de biomasse en 2024..... 75
Figure 64: Carte de changement de végétation 2002-2024..... 76
Figure 65: Classification supervisée de la Zone d'Étude 2002.....77
Figure 66: Classification supervisée de la Zone d'Étude 2024.....77
Figure 67:les carte d'occupation du sol 2002-2024.....79
Figure 68:carte des feux de forêt de la zone étude..... 81
Figure 69 : histogramme des feux de la zone étude entre 2002-2024..... 84

Liste des tableaux

Tableau 1:Caractéristiques des satellites LANDSAT..... 16
Tableau 2: Localisation phytogéographique de la wilaya de MEDEA Bottal et al. (2009), El Ouardighi et al. (2016)..... 25
Tableau 3: Principales essences forestières de la wilaya de Médéa (Source, Conservation des forêts de Médéa, 2014).....26
Tableau 4: Données climatiques des températures minimales, maximale etmoyennes en degré Celsius de 1990 à 2022..... 34
Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles entre (1990-2022)..... 36
Tableau 6: Le régime pluviométrique pour la période de 1990 à 2022..... 37
Tableau 7:L'humidité relative..... 38
Tableau 8: Caractéristique des images satellitaire TM Landsat 9.....43
Tableau 9:Caractéristique des images satellitaire TM Landsat 5.....44
Tableau 10: Les classes du NDVI..... 71
Tableau 11: Superficies brûlées par les incendies de forêt dans la zone d'étude entre 2002 et 2023..... 83

Sommaire :

Remerciement.....

Liste des abréviations.....

Résumé.....

الملخص .....

Abstract.....

Introduction générale.....1

I. Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)..... 4

I.1. Historique..... 4

I.2. Définition..... 4

I.3. Objectifs des SIG..... 4

II. La Télédétection.....5

II.1 Historique..... 5

II.2 Définition..... 5

II.3 Principes de base de la télédétection.....6

II.4 Les Processus de télédétection..... 6

II.5 Domaines d'application.....7

II.6 Bases physiques et technologiques.....8

II.6.1 Le rayonnement électromagnétique.....8

II.6.2 Le spectre électromagnétique.....9

II.7 Interaction du REM avec l'atmosphère..... 10

B. L'absorption..... 11

II.8 Signatures spectrales des surfaces naturelles majeures..... 12

II.6 Les vecteurs et les capteurs..... 13

a) Les satellites en orbite géostationnaire..... 13

b) Les satellites à défilements.....13

II.8.1 Capteurs..... 14

II.9 Concepts de résolution..... 14

1. La résolution spatiale.....14

2. Résolution spectrale.....15

3. Résolution temporelle.....15

- **La résolution radiométrique**..... 15

II.12 Satellites optiques à moyenne résolution..... 15

II.12.1 Image LANDSAT.....15

II.13 Images Satellitaires..... 18

Chapitre II..... 20

I. Les forêts méditerranéennes.....20

III. Présentation de la zone d'étude..... 23
III.2 Le cadre phytogéographique..... 25
III.2.1 Flore et Végétale..... 25
a) La Faune..... 26
III.4 Le Cadre Géologique..... 28
III.5 Le cadre géomorphologique..... 29
III.5.1 Le tell montagneux..... 29
III.5.2 Le Tell collinéen..... 29
III.5.3 Les plaines du Tell..... 30
III.5.4 Le piémont au sud du Tell..... 30
III.7 L'hydrologie..... 31
III.10.4 Précipitation..... 35
III.10.6 Quotient pluviothermique d'EMBERGER (1955)..... 39
III.11 Historique des incendies et mesures de prévention..... 40
MATERIEL ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL..... 41
MATERIEL ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL..... 42
Introduction..... 42
I Matériel..... 42
I.1 Image satellitaire..... 42
I.1 Logiciels utilisés..... 44
II Méthodologie..... 45
- **FLAASH (correction atmosphérique)**..... 47

II.1.2 Détermination de la région d'étude..... 48
II.1.3 Correction Géométrique des Images Satellitaires..... 49
II.1.4 Composition colorée..... 50
II.1.5 Extraction de la Zone d'Étude à partir d'un Fichier Vecteur e..... 52
a) Découpage (Masking)..... 52
II.1.6 Indice de Végétation NDVI..... 53
- **La méthode Band Math NDVI**..... 54
- **II.1.81_Catégories de Densité de Végétation**..... 54

II.1.7 carte de changement de la végétation entre 2002 et 2024..... 56
II.2 La classification des données..... 56
II.2.1 Classification supervisée..... 56
II.3 L'occupation de sol..... 58
III.Google Earth Engin..... 58
III.1_Principales fonctionnalités..... 59
III.2_Dépôt et visualisation de vecteurs sur GEE..... 59
I.1 FLAASH..... 62
- **Description de l'image en 2002**..... 64

- **Description de l'image en 2024**.....64

II. Extraction de la région d'étude.....65

III Correction Géométrique des Images Satellitaires.....66

IV. Composition colorée.....67

- **Découpage (Masking)**.....68

V. Indice de Végétation NDVI (Normalized Différence Végétation Index).....69

V.1. Méthode de Seuillage.....72

V.2Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI.....72

V.2Carte de changement de la végétation entre 2002 et 2024.....74

État en 2002.....74

État en 2024.....74

VI Carte de changement.....76

V.II Classification supervisée.....77

VII.1 occupation du sol.....80

- **Diminution notable des forêts de formation**.....81
- **Expansion du maquis dense et clair**.....81
- **Apparition et progression de la broussaille**.....81

VIII. les feux de forêt de la zone d'étude 2002 a 2024.....82

Conclusion générale.....85

Références bibliographiques

Résumé :

Ce travail est réalisé dans le contexte de la gestion et de la préservation durable des ressources forestières en Algérie. L'analyse porte sur la forêt d'Oued Lahrech, qui se trouve dans la wilaya de Médéa. Cette zone est caractérisée par une biodiversité exceptionnelle, mais elle fait face à des problèmes de dégradation et d'incendie de boisement. Cette étude, menée à l'aide d'outils contemporains de télédétection et de SIG (Système d'Information Géographique), examine les changements dans l'usage du sol de 2002 à 2024.

L'analyse des images satellites Landsat a mis en évidence une diminution significative de la couverture forestière et une augmentation du maquis dense et clair, ainsi qu'une avancée notable de la broussaille, résultat des contraintes humaines et climatiques. Les observations indiquent aussi une diminution de l'indice NDVI dans diverses régions, signifiant une réduction de la densité du couvert végétal.

Ces observations mettent en évidence l'importance d'intensifier les approches de gestion durable et les actions de prévention des feux, afin de protéger la biodiversité et de réduire la dégradation future.

Mots-clés : Couvert végétal, étude diachronique, Télédétection, NDVI, ENVI.

الملخص :

تم إنجاز هذا العمل في سياق إدارة الموارد الغابية والحفاظ المستدام عليها في الجزائر. تركز الدراسة على غابة وادي الحراش، الواقعة في ولاية المدية. وتتميز هذه المنطقة بتنوع بيولوجي استثنائي، لكنها تواجه مشاكل التدهور وحرائق الغابات. تعتمد هذه الدراسة على أدوات حديثة في الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية(SIG) ، وتهدف إلى تحليل التغيرات في استخدام الأراضي خلال الفترة الممتدة من 2002 إلى 2024.

أظهرت تحاليل صور الأقمار الصناعية "لاندسات" انخفاضًا ملحوظًا في الغطاء الغابي، وزيادة في انتشار الأدغال الكثيفة والخفيفة، بالإضافة إلى توسّع واضح في الشجيرات، نتيجة للضغوط البشرية والمناخية. كما بينت الملاحظات تراجعًا في .في عدة مناطق، مما يدل على انخفاض في كثافة الغطاء النباتي مؤشر NDVI

تؤكد هذه النتائج على ضرورة تكثيف استراتيجيات الإدارة المستدامة، واتخاذ إجراءات وقائية ضد الحرائق من أجل حماية .التنوع البيولوجي، والحد من التدهور المستقبلي

الكلمات المفتاحية: الغطاء النباتي، دراسة تعاقبية، الاستشعار عن بعد، مؤشر .NDVI, ENVI

Abstract

This research is conducted within the framework of sustainable forest resource management in Algeria. It focuses on the Oued Lahrech forest, located in the Médéa province, an area known for its exceptional biodiversity but threatened by degradation and forest fires. By employing modern remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS), the study examines land use changes between 2002 and 2024.

Landsat satellite image analysis revealed a significant decline in forest cover, accompanied by an increase in dense and sparse maquis, as well as the expansion of shrubland. These transformations are largely attributed to human activities and climatic stressors. Additionally, a decrease in the NDVI index across several zones indicates a reduction in vegetation density.

The results underline the necessity of reinforcing sustainable management practices and implementing fire prevention strategies to safeguard biodiversity and limit further environmental degradation.

Keywords: Vegetation cover, diachronic study, remote sensing, NDVI, ENVI.

INTRODUCTION

Introduction générale :

La forêt constitue une richesse nationale d'une valeur inestimable, protégée par la Constitution dans son article 4 ainsi que par la loi n° 84/12 portant régime général des forêts. Elle représente un réservoir naturel de biodiversité et de ressources, tant sur le plan faunistique que floristique.

La forêt algérienne est essentiellement de type méditerranéen. Il y a deux siècles, elle couvrait environ 5 millions d'hectares (Boudy, 1955). Aujourd'hui, cette superficie est réduite à 4,1 millions d'hectares, dont 2 millions d'hectares sont constitués de forêts dégradées (DGF, 2010). La sylve algérienne est composée principalement de trois types de formations végétales : la forêt, le maquis et la broussaille (Louni, 1994).

Cette dégradation souligne l'importante d'études scientifiques approfondies pour comprendre l'évolution des formations végétales et identifier les facteurs responsables. Face à cette régression, la protection de l'écosystème forestier représente une priorité dans la politique algérienne de développement. Cette gestion repose sur des textes réglementaires et législatifs nationaux et internationaux (Bouazza, 2012).

La conservation et la gestion durable des écosystèmes forestiers nécessitent une connaissance approfondie de l'évolution de la végétation, tant dans le passé qu'à l'état actuel. Pour cela, il est impératif d'adopter des méthodes d'étude appropriées (Ozenda, 1982).

Parmi ces méthodes, la cartographie et la télédétection numérique se révèlent particulièrement utiles et recommandées pour une meilleure compréhension des ressources naturelles et de leur évolution (Bonn & Rochon, 1992). La télédétection offre une vision globale et dynamique des paysages forestiers, permettant un suivi spatio-temporel précis des changements écologiques, contrairement aux méthodes de terrain plus limitées en échelle et en fréquence d'observation.

Cependant, l'absence d'études détaillées sur l'occupation des sols et les caractéristiques physionomiques de la végétation dans la région nord de l'Atlas tellien, en particulier dans la wilaya de Médéa, a motivé notre choix de la forêt d'El Oued Lahrech comme site d'étude. Cette forêt se distingue par sa richesse écologique et son important potentiel forestier. Elle est principalement composée de cédraies et de pins d'Alep, accompagnés de formations mixtes associant chênaies vertes et arbustes méditerranéens, contribuant ainsi à une diversité

biologique remarquable et à la variété de ses écosystèmes.

L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'occupation du sol à l'aide de la télédétection et de la cartographie, afin d'analyser les changements survenus entre 2002 et 2024. Cette approche permettra d'évaluer l'impact des activités humaines et des facteurs naturels sur l'évolution des formations végétales, en vue d'orienter les stratégies de gestion et de préservation des forêts.

Les résultats de cette étude pourront ainsi contribuer à l'élaboration de stratégies de gestion durable des ressources forestières et à la mise en place de politiques de conservation adaptées aux défis environnementaux actuels

Pour cela le présent travail est structuré comme suit :

- **Premier chapitre** : Notions générales sur SIG & Télédétection.
- **Deuxième chapitre**: Caractérisation de la zone d'étude.
- **Troisième chapitre** : Matériel et méthodologie de travail
- **Quatrième chapitre**: Résultats et Discussion.

Chapitre I

Notions générales sur les SIG et la Télédétection

I. Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) :

Lier l'information à la localisation géographique est un processus qui s'applique à de très nombreux domaines d'activité. Choisir un site, gérer des ressources, planifier et déployer un réseau, cartographier une zone, ou gérer les espaces - tous ces problèmes impliquent des données d'ordre géographique. Les SIG, peuvent être d'une grande utilité en répondant rapidement à toutes ces questions, de manière fiable et efficace en permettant de visualiser ou analyser l'information géographique.

I.1. Historique :

Les premiers SIG opérationnels sont apparus dans les années 1960 au Canada et aux Etats Unis. Le pionnier est indiscutablement le Canadian Geographic Information System (1964) qui rassemble des informations relatives à l'usage du sol, et des données concernant l'environnement, sur une grande partie du territoire canadien. Deux autres réalisations avant- gardistes méritent d'être mentionnées : le New York Land Use Information System (1967) et le Minnesota Information System (1969). Depuis cette époque, les coûts et les difficultés techniques ont considérablement diminué.

I.2. Définition :

Des expressions proches du mot SIG sont utilisées dans d'autres langues ; c'est le cas de l'anglais avec l'expression « *Geographic Information System* (*GIS*) » qui est souvent traduite en français par « Système d'Information Géographique (SIG) » ou « Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS) » ou encore « Système d'Information sur le Territoire (SIT) (Laurencin, 2008). Plusieurs définitions ont été adoptées, parmi les plus significatives nous citons ce qui suit : Définition française du Centre National d'Information Géographique (CNIG) "Système pour saisir, stocker, vérifier, intégrer, manipuler, analyser et visualiser des données qui sont référencées spatialement à la terre. Il comprend en principe une base de données localisées et les logiciels applicatifs appropriés. Une des premières fonctions d'un S.I.G. est sa capacité à intégrer des données de sources différentes." (Laurencin, 2008).

I.3. Objectifs des SIG :

Chakroun (2014), a défini et hiérarchisé les objectifs du SIG comme suit:

- Définir les bases de la référence spatiale

- Développer et utiliser des outils pour localiser les différents éléments du territoire, existants ou à mettre en place.
- Intégrer ou rendre intégrables les données obtenues en fonction des systèmes de référence choisis.
- Offrir des données et information de qualité.
- Améliorer leur traitement, stockage et diffusion grâce à l'informatique.
- Analyser différents scénarios décisionnels à partir des informations obtenues.

II. La Télédétection :

II.1 Historique :

Le terme " télédétection " a été inventé en 1960 par Evelyn Pruit du Bureau de la Recherche Navale des Etats-Unis mais l'histoire de la télédétection remonte bien plus loin, citons par exemple le lancement de Spoutnik I par l'URSS en 1957 a marqué le début de " l'ère aérospatiale".

Les années 80 ont été marquées par une avancée significative au niveau de l'élaboration des techniques et outils de traitement d'images qui a conduit notamment au montage d'un grand nombre de projets basés sur l'utilisation des données spatiales.

L'Afrique se dotait ainsi, dans les années 90, de centres nationaux, sous régionaux et régionaux spécialisés en la matière. (BenKhatra et Essahli, 2005)

II.2 Définition

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Elle suppose l'acquisition d'informations (caractéristiques physiques et biologiques) à distance, sans contact direct avec l'objet étudié (Bonnet & Rochon, 1992).

La télédétection (remote sensing en anglais) peut être définie comme étant « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » **(Journal Officiel du 11 décembre 1980).**

II.3 Principes de base de la télédétection :

En télédétection, l'acquisition d'images est l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et une plate-forme d'acquisition (capteur).

Source d'énergie : Le soleil ou un capteur actif (comme un radar) fournit l'énergie nécessaire pour illuminer la cible (Lillesand et al., 2015).

Interaction avec la surface : Le rayonnement électromagnétique interagit avec la surface terrestre (réflexion, absorption, transmission) en fonction des propriétés physiques et chimiques des matériaux (Richards, 2013).

Capteurs : Les capteurs enregistrent le rayonnement réfléchi ou émis par la surface. Ces capteurs peuvent être passifs (qui dépendent de la lumière solaire) ou actifs (qui émettent leur propre énergie, comme les radars) (Campbell & Wynne, 2011)

Traitement et analyse : Les données brutes sont traitées et interprétées pour en extraire des informations utiles, souvent à l'aide de logiciels spécialisés en systèmes d'information géographique (SIG) (Jensen, 2015)

II.4 Les Processus de télédétection :

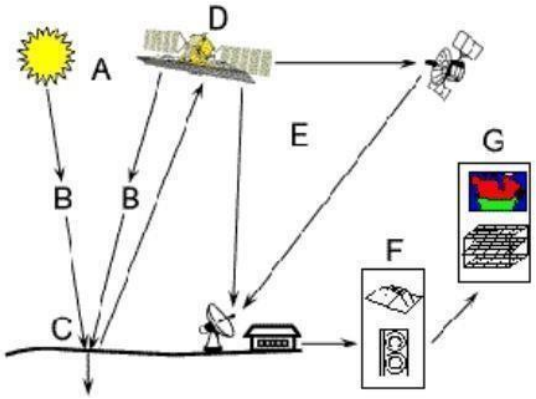


Figure 1:les processus de la télédétection (CCT)

D'après Midekor et al. (2013) les différentes étapes de la télédétection de surfaces sont :

- **Source d'énergie ou d'illumination (A) :** À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
- **Rayonnement et atmosphère (B) :** Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

- **Interaction avec la cible (C)** : Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
- **Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) :** Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.
- **Transmission, réception et traitement (E) :** L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- **Interprétation et analyse (F) :** Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- **Application (G) :** La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. (Canada, Tutoriels sur la télédétection).

II .5 Domaines d'application :

La télédétection est utilisée dans de nombreux domaines, notamment :

- **Environnement :** « La télédétection permet de surveiller les forêts, les océans, les glaciers et les changements climatiques en fournissant des données précises et continues sur l'état de l'environnement. » (Kerr & Ostrovsky, 2003).
- **Agriculture :** « L'utilisation de la télédétection en agriculture permet la surveillance des cultures, la gestion des sols et la prévision des récoltes, contribuant ainsi à une meilleure gestion des ressources agricoles. » (Mulla, 2013).

➢ **Urbanisme** : « La télédétection joue un rôle clé dans la planification urbaine et la gestion des infrastructures en offrant une vision globale et actualisée des territoires urbains. » (Weng, 2012).

➢ **Gestion des catastrophes :** « Grâce aux images satellitaires et aux techniques de télédétection, il est possible de surveiller en temps réel les inondations, les incendies et les tremblements de terre, facilitant ainsi la gestion des catastrophes naturelles. » (Joyce et al., 2009).

➢ **Cartographie :** « La télédétection est un outil essentiel pour la création de cartes topographiques et thématiques, permettant une meilleure représentation des paysages et de leurs évolutions. » (Drury, 2001).

II.6 Bases physiques et technologiques :

II.6.1 Le rayonnement électromagnétique :

Une source d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique est nécessaire pour illuminer la cible, sauf si celle-ci produit elle-même cette énergie. « Le rayonnement électromagnétique est une forme d'énergie qui se propage sous forme d'ondes à travers l'espace, caractérisée par sa longueur d'onde et sa fréquence. » (Jensen, 2007).

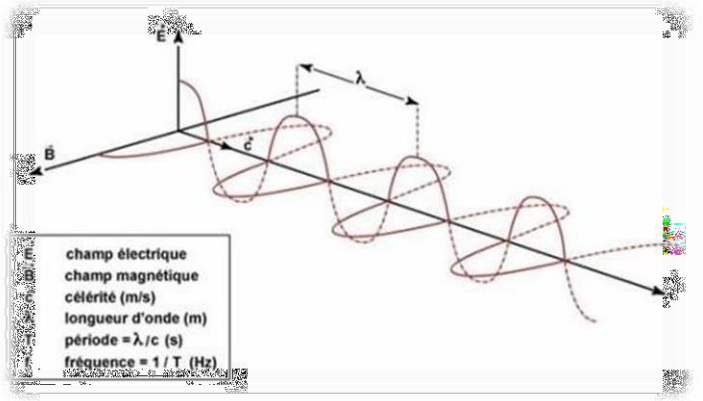


Figure 2: Nature et propagation d'une onde électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992)

➢ **Fréquence** : est le nombre de cycles par secondes passant par un point fixe.

➢ **Longueur d'onde** c'est la distance entre deux points homologues (deux crêtes ou deux creux)

II.6.2 Le spectre électromagnétique :

Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio)

- **L'ultraviolet :** Ce rayonnement se situe au-delà du violet de la partie du spectre visible. Certains matériaux de la surface terrestre, surtout des roches et minéraux, entrent en fluorescence ou émettent de la lumière visible quand ils sont illuminés par un rayonnement ultraviolet.
- **Infrarouge proche (0,7-1,1 µm) :** Appelé IR réfléchi, il renseigne sur l'énergie solaire des corps réfléchissants, ce spectre est utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible.
- **Infrarouge moyen (1,1 -8 µm) :** C'est un mélange de rayonnement solaire et d'émission, il affecte de manière significative l'atmosphère et employé pour mesurer les concentrations de vapeur d'eau, ozone, aérosols, etc.
- **Infrarouge thermique (8-14 µm) :** Rayonnement émis par les organismes eux- mêmes, il permet de déterminer la température d'un corps (IR thermique) et les images peuvent être disponibles à tout moment de la journée.
- **Micro-ondes (1µm-1m) :** Cette bande présente un intérêt croissant dans la télédétection du fait de sa faible interaction avec l'atmosphère et sa transparence pour les nuages**. (DERDJINI H 2017).**

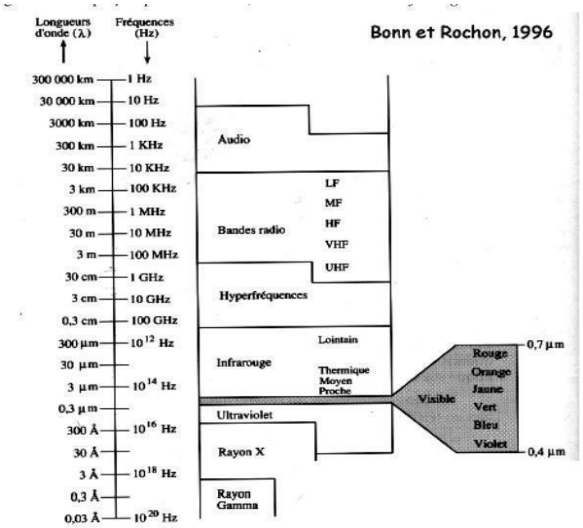
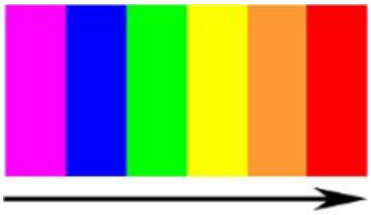


Figure 3: Le spectre électromagnétique (Bonn et Rochon 1992)

- **Le domaine du visible :** C'est la gamme de fréquence que peut supporter l'œil humain :

- **Violet :** 0.4 - 0.446 µm
- **Bleu :** 0.446 - 0.500 µm
- **Vert :** 0.500 - 0.578 µm
- **Jaune :** 0.578 - 0.592 µm
- **Orange :** 0.592 - 0.620 µm
- **Rouge :** 0.620 - 0.7 µm



II.7 Interaction du REM avec l'atmosphère :

Avant d'atteindre la surface terrestre, le rayonnement, qui servira à la télédétection, doit passer à travers une épaisse couche d'atmosphère.

Le rayonnement incident peut être dévié ou obstrué par l'atmosphère. Ces effets résultent des processus de diffusion et d'absorption.

A. Diffusion :

L'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grandes molécules de gaz présentes dans l'atmosphère entraîne leur diffusion. Les particules modifient la trajectoire du rayonnement.

Chemin de départ. Le degré de dispersion est influencé par divers éléments tels que la longueur d'onde, la densité des particules et des molécules, ainsi que l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit traverser. On distingue trois formes de diffusion :

- Diffusion de Rayleigh
- Diffusion de Mie
- Diffusion non-sélective

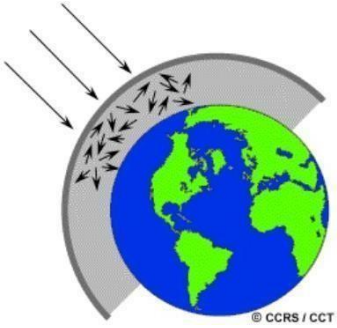


Figure 4: Diffusion de Rayleigh (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)

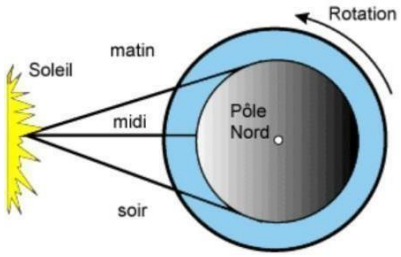


Figure 5: Diffusion non-sélective (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)

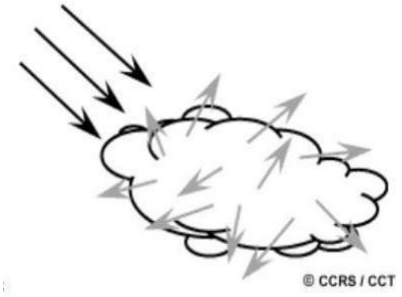


Figure 6: Diffusion de Mie (Centre canadien de télédétection CCT, 2013)

B. L'absorption :

Est un phénomène où la radiation électromagnétique entre en interaction avec l'atmosphère, absorbant de l'énergie provenant de différentes longueurs d'onde. Des molécules de grande taille telles que l'ozone, le dioxyde de carbone et l'eau captent de l'énergie provenant de différentes longueurs d'onde. L'ozone capte les radiations ultraviolettes, tandis que le dioxyde de carbone participe à l'effet « serre » en absorbant la chaleur dans la partie infrarouge du spectre

L'eau absorbe une partie considérable des radiations infrarouges et des hyperfréquences de

plus courte longueur d'onde. Les effets de l'absorption atmosphérique sont influencés par des éléments tels que la distance parcourue, les longueurs d'onde observées et les conditions atmosphériques quotidiennes. La quantité d'énergie absorbée est fonction de la température et de l'émissivité du matériau. Des mesures précises de la radiation infrarouge permettent de déterminer avec précision les températures de surface de l'eau.

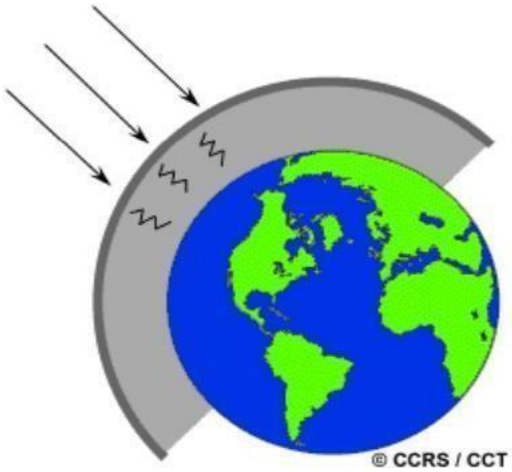


Figure 7: Absorption des rayonnements dans l'atmosphère (Centre canadien de télédétection CCT, 2013).

II.8 Signatures spectrales des surfaces naturelles majeures :

Selon les propriétés et caractéristiques spécifiques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible en fonction de l'une ou l'autre propriété mentionnée précédemment, ou de manière générale selon une combinaison de ces dernières. Chaque surface a donc une signature spectrale unique - une quantité d'énergie émise ou réfléchie en fonction de la longueur d'onde - qui facilitera son identification sur les images satellites.

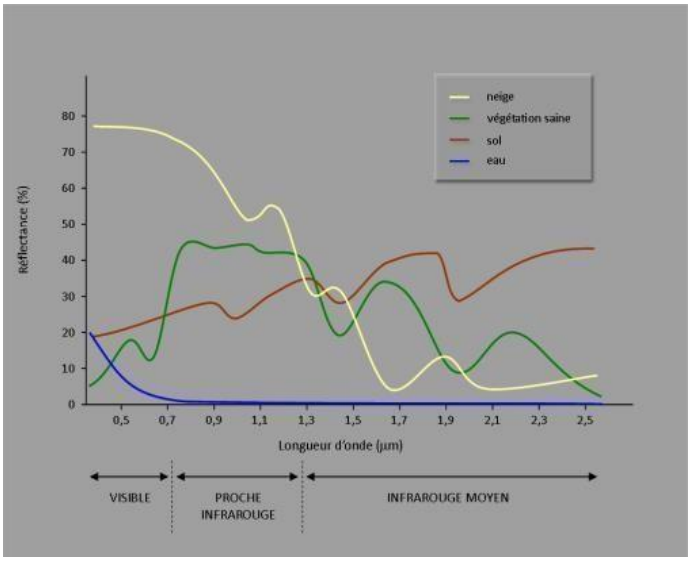


Figure 8:Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008)

II.6 Les vecteurs et les capteurs

II.6.1 Les vecteurs :

Il s'agit d'objets fabriqués par l'homme et mis en orbite autour de la terre pour répondre aux exigences de la télédétection, des communications et de la télémétrie. Les plateformes spatiales offrent une surveillance continue et répétitive de la surface terrestre grâce à leur trajectoire orbitale. Le cout est souvent un facteur déterminant dans le choix des différentes plates-formes (**TADJEROUNI. K, 2002**).

Les vecteurs en télédétection sont deux types :

a) Les satellites en orbite géostationnaire :

Un satellite en orbite géostationnaire est un satellite fabriqué par l'homme qui se positionne sur une orbite de ce type. Dans cette orbite, le satellite se déplace en parfaite synchronisation avec la planète, demeurant constamment au-dessus du même point de sa surface. Cette fonctionnalité est particulièrement bénéfique pour les télécommunications (satellite de télécommunications) et certaines utilisations dans le secteur de l'observation terrestre.

b) Les satellites à défilements : Un satellite à défilement est un satellite qui défile. C'est-à-dire qui ils sont en orbite basse et défilent rapidement (typiquement 1 h ou 1 h 30 pour faire le tour de la terre). Ce genre de satellite permet à toute personne équipée d'un téléphone adéquat et quel que soit l'endroit du monde ou elle est de se relier directement au satellite pour

téléphoner. Cela nécessite beaucoup de satellites pour que toute la surface de la terre soit couverte et qu'il y ait au moins deux satellites visibles à chaque instant en tout point.

II.8.1 Capteurs :

Dans le contexte de la télédétection spatiale, un capteur est un dispositif qui capture l'énergie radiative émanant de la scène observée et fournit un signal électrique mesurable. Par analogie, bien qu'elle ne produise pas de signal électrique, on qualifie souvent l'appareil photo de capteur. Le mot « capteur » est parfois mal employé pour faire référence au détecteur. Voici les divers types de capteurs que l'on utilise dans le secteur de la télédétection spatiale :

a) Capteur actif : peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le soleil illumine la terre.

Il n'y a donne pas d'énergie solaire réfléchie le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (infrarouge thermique) peut être perçus le jour ou la nuit. **(CCT, 2013)**

b) Capteur passif : produit sa propre énergie pour illuminer la cible. Il dégage un rayonnement électromagnétique qui est orientée vers la cible. Il a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou la saison.

II.9 Concepts de résolution :

1. La résolution spatiale

Selon le **Centre canadien de télédétection (CCT)** la résolution spatiale est la taille du plus petit élément possible de distinguer sur l'image, également définie comme la taille du pixel. Les objets que l'image sera able de distinguer dépendront de la résolution spatiale du capteur utilisé. La résolution spatiale d'une image satellite est la taille de la zone couverte par un pixel, correspondant à une partie de la surface de la terre. La résolution spatiale dépend de la taille des détecteurs, du miroir, de la distance focale et de l'altitude de vol. Une résolution fine est permet pour distinguer des objets de petite taille.

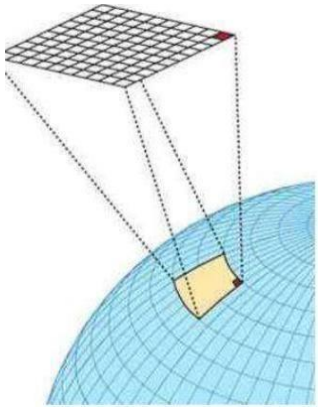


Figure 9:Résolution spatiale (Centre canadien de télédétection (CCT)

2. Résolution spectrale :

La résolution spectrale fait référence au nombre de bandes spectrales que le capteur est capable de capturer pour détecter les radiations. Cependant le nombre de bandes n'est pas le seul aspect important de la résolution spectrale, la position des bandes dans le spectre électromagnétique est aussi un aspect clé. **(**Derdjini , 2017**).**

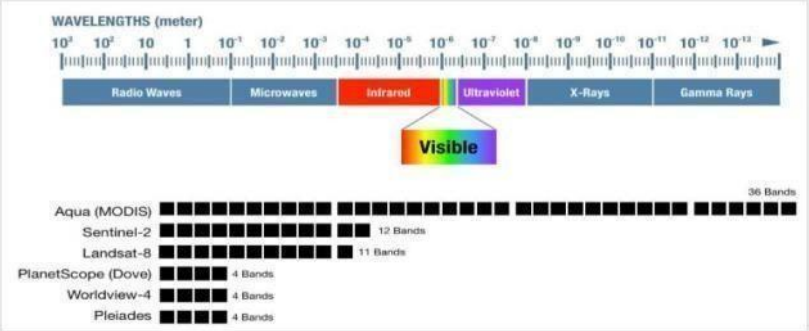


Figure 10: Exemple de résolution spectrale (d'après Faivre, 2018).

3. Résolution temporelle :

La résolution temporelle correspond à la fréquence d'acquisition d'une image à un endroit donné (Stéphanie et al., 2011). Les différents intervalles de la résolution temporelle se regroupent ainsi :

- Haute résolution temporelle : <1-3 jours.
- Moyenne résolution temporelle : 4-16 jours.
- Faible résolution temporelle : >16 jours

- **La résolution radiométrique :**

Elle correspond la capacité d'un système d'acquisition à distinguer entre deux niveaux d'énergie voisins. Le rayonnement réfléchi par les cibles au sol et enregistré par le capteur est converti en format numérique binaire et l'image résultante est en niveaux de gris. (SOUDANI. K, 2005)

II.12 Satellites optiques à moyenne résolution

II.12.1 Image LANDSAT :

Le programme Landsat est parmi les plus anciens programmes d'observation de la surface terrestre par satellite. Les images LANDSAT sont des outils précieux pour analyser les variations climatiques, l'exploitation des sols, la cartographie et la gestion des habitats ; mais aussi pour une multitude d'autres usages dans les secteurs de l'agriculture, de la géologie, de la

sylviculture, de l'éducation, entre autres.

- **Landsat 1 :** (initialement connu sous le nom de Satellite 1 de la Technologie des Ressources Terrestres) : mise en orbite le 23 juillet 1972 , cessation d'activité en 1978.
- **Landsat 2 :** déployé le 22 janvier 1975. fin de fonctionnement en 1981.
- **Landsat 3 :** mis en orbite le 5 mars 1978 ; a terminé sa mission en 1983.
- **Landsat 4 :** déployé le 16 juillet 1982, a cessé ses opérations en 1993.
- **Landsat 5 :** lancé le premier mars 1984 , actuellement toujours opérationnel.
- **Landsat 6 :** mis en orbite le 5 octobre 1993 , a échoué durant son lancement.
- **Landsat 7 :** mis en orbite le 15 avril 1999 , il est toujours opérationnel. Cette opération cosmique s'inscrit dans le projet Earth Observing System, qui rassemble une série de satellites de la NASA dédiés à la collecte de données sur une longue durée concernant la surface terrestre, la biosphère, l'atmosphère de la Terre et ses océans.
- **Landsat 8** : Inauguré le 11 février 2013, ce satellite s'inscrit dans le cadre de la Mission de Continuité des Données Landsat (LDCM). Il demeure fonctionnel et est doté de deux détecteurs majeurs : l'OLI (Opérationnel Land Imager) et le TIRS (Thermal Infrared Sensor). Ces capteurs ont la capacité de recueillir des images en multi spectre et thermiques avec une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes optiques et de 100 mètres pour les bandes thermiques, tout en ayant une largeur d'une fauchée de 185 km. Landsat 8 offre une qualité de données nettement supérieure pour le suivi environnemental, la cartographie des ressources naturelles, l'agriculture, l'hydrologie, la gestion forestière et l'analyse des écosystèmes.

Tableau 1:Caractéristiques des satellites LANDSAT

	LANDSAT 1,2 et 3	**LANDSAT 4 et 5**	**LANDSAT 7**	**LANDSAT 8**
PAYS	États-Unis	États-Unis	États-Unis	États-Unis
ANNEE DU LANCEMENT	1972, 1975 et 1978	1982 et 1984	1999	2013
ALTITUDE	705 km	705 km	705 km	705 km.
CAPTEUR	MSS (Multi spectral Scanner)	TM (Thématique Mapper)	ETM+ (Enhance Thematic Mapper Plus)	OLI et TIRS : radiomètre

TYPE	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage
RESOLUTION SPECTRALE	V (0,5 – 0,6 µm)	B(0,45 – 0,52 µm)	B(0,45 – 0,52 µm)	Aérosol (0,433-
	R (0,6 – 0,7 µm)	V (0,52 – 0,60 µm)	V (0,52 – 0,60 µm)	0,453µm)
	IR (0,7 – 0,8 µm)	R(0,63 – 0,69 µm)	R(0,63 – 0,69 µm)	B (0,45-0,515µm)
	IR (0,8 – 1,1 µm)	IR (0,76 – 0,90	PIR (0,76 – 0,90	V (0,525- 0,6µm)
		µm)	µm)	R (0,63-0,68µm)
		MIR (1,55 – 1,75	MIR (1,55 – 1,75	IR (0,845-0,885µm)
		µm)	µm)	MIR (1,56-1,66µm)
		IRT (10,4 – 12,5	IRT (10,4 – 12,5	CIRRUS (1,36-
		µm)	µm)	1,39µm) MIR (2,1-2,3
		MIR (2,08 – 2,35	MIR (2,08 – 2,35	µm)
		µm)	µm)	
			Pan (0,52 – 0,90	
			µm)	
RESOLUTION SPATIALE	60 x 80 m	Multi spectral : 30m IRT : 120m	Multi spectral : 30m IRT : 60m Panchromatique :1 5m	Générale :30 m Panchromatique :15m Infrarouge thermique : 100
DIMENSION DE L'IMAGE	185 x 185 km	185 x 172 km	185 x 172 km	
FREQUENCE DE PASSAGE	18 jours	16 jours	16 jours	:16jours
APPLICATION	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol et végétation
PARTICULARITE	En archive depuis 1972	Grande vari été spatiale	Grande vari été spatiale	

II.13 Images Satellitaires :

Une image satellitaire est une représentation graphique de grande échelle de la Terre, visualisée du dessus. Ce qui distingue cette image, c'est qu'elle est capturée par un satellite en orbite autour de notre planète. À l'inverse des images produites par un appareil photo ou dessinées sur papier, une image satellite est numérique et traitée à l'aide d'un logiciel informatique, élaborée à partir des signaux transmis par le satellite. Les données issues de la télédétection sont généralement disponibles sous forme d'images numériques. L'image représente une matrice de pixels.

La dimension du pixel indique la résolution spatiale

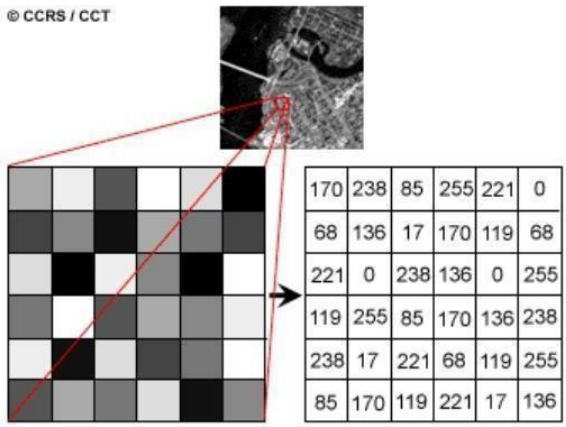


Figure 11: Représentation d'une image numérique satellite (Document CCRS/CCT)

Centre canadien de télédétection (CCT)

- **La notion de bande:**

Plusieurs bandes d'information sont incluses dans les données visuelles. Chaque élément représente une sorte de fichier de données, soit pour :

- Une portion précise du spectre électromagnétique.
- L'association ou l'amplification de la bande originale.
- L'élaboration de nouvelles bandes à partir d'autres sources.

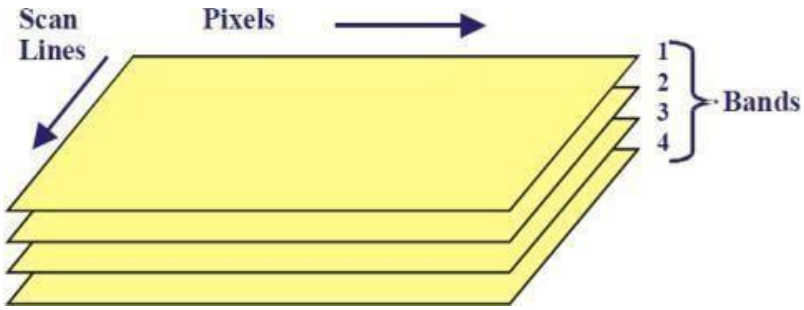


Figure 12:structure d'une image multi spectrale

Les longueurs d'onde fournies sont approximatives et peuvent varier en fonction des instruments du satellite.

_Bleu (450/515-520 nm) : il est employé pour l'imagerie de l'atmosphère et des profondeurs marines, et a la capacité de descendre à moins de 50 mètres dans l'eau claire ;

_Vert (515-520/590-600 nm) : sert à l'imagerie des végétaux et des structures sous-marines jusqu'à 30 mètres dans l'eau claire ;

_Rouge (600-630/680-690) : sert à l'imagerie d'objets créés par l'homme, de la terre et de la végétation, avec une précision pouvant aller jusqu'à 9m.

_PIR (750/900 nm) : est généralement utilisé pour l'imagerie végétale ;

_MIR (1550/1750 nm) : il est utilisé pour l'analyse de la végétation, du taux d'humidité du sol et pour certains types d'incendies forestiers.

_MIR (2080/2350 nm) : est employé pour analyser le sol, mesurer l'humidité, déterminer les caractéristiques géologiques, examiner les silicates et les argiles, ainsi que détecter les incendies.

Thermographie infrarouge (10400/12500) : exploite le rayonnement émis plutôt que réfléchi, pour la visualisation des structures géologiques, les feux, et ainsi de suite.

_RADAR : bénéfique pour la cartographie du terrain et pour l'identification de divers objets.

Chapitre II

Caractérisation de la zone d'étude

I. Les forêts méditerranéennes :

La forêt méditerranéenne dite aussi forêt sclérophylle située dans le bassin de la méditerranée et quelques régions en Amérique du nord et du sud et en Australie couvre une superficie avoisinant les 230 millions d'hectares. Son appellation est liée au climat qui caractérise cette région de la terre (doux en hiver et très chaud en été).

La végétation c'est adapté aux conditions de vie : bas plafond, peu dense, peu verte, elle vit un à rythme ralenti et subit les aléas climatiques méditerranéennes : une courte saison sèche, des précipitations irrégulières, des vents importants mais également le feu et les actions de l'homme qui continuent de dégrader encore plus ce biome qui a déjà perdu la moitié de ses terres potentielles. Dans les régions plus au moins humides, selon le type de végétation dominante, on peut différencier les massifs à chêne vert et les massifs à chêne- liège.

- Forêt de Chêne vert *(Quercus ilex)* : c'est une forêt de basse pente, peut cependant atteindre des altitudes plus élevées (jusqu'aux environs 700 m) poussant sur des sols calcaires. L'étage arbustif comporte des Pistachiers *(Pistachiaterebentthus)* et *(PistachiaLentiscus*), le Caroubier, le Laurier, le Sumac (*Rhus*) la Filaire (*Phillyreaangustifolia*), le Thym. le romarin, l'arbousier le Chêne kermès (*Quercus coccifera*), le Genévrier, Romarin officinal, l'Érable de Montpellier, le Pin d'Alep, le pin «parasol» ou
«pignon», le pin maritime, les cyprès, les Cistes, la coronille glauque de Montpellier, la Lavande (*Lavandulastoechas*), etc.
- Forêt de Chêne-liège (*Quercus suber*), sur sols siliceux et climat plus humide, souvent difficilement pénétrable dans certaines zones. L'accompagnent le Pin maritime (*Pinus maritima*), le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le Pistachier (*Pistachialentiscus*), le Myrte, des Cistes, la Lavande, la Callune (*Calluna vulgaris*).

Les forêts méditerranéennes se trouvent généralement soit sous forme de strate arborescente (maquis arboré) relativement riche et correspond à de grands arbres à fort recouvrement, sa cime atteint en général les 15 mètres (Chêne vert, Chêne liège, Châtaigner), soit sous forme de strate arbustive relativement dense, atteignant environ 4 mètres composés de nombreux buissons à feuilles épineuses ou persistantes (Bruyères arborescentes, Arbousiers, Éricacées et d'autres).

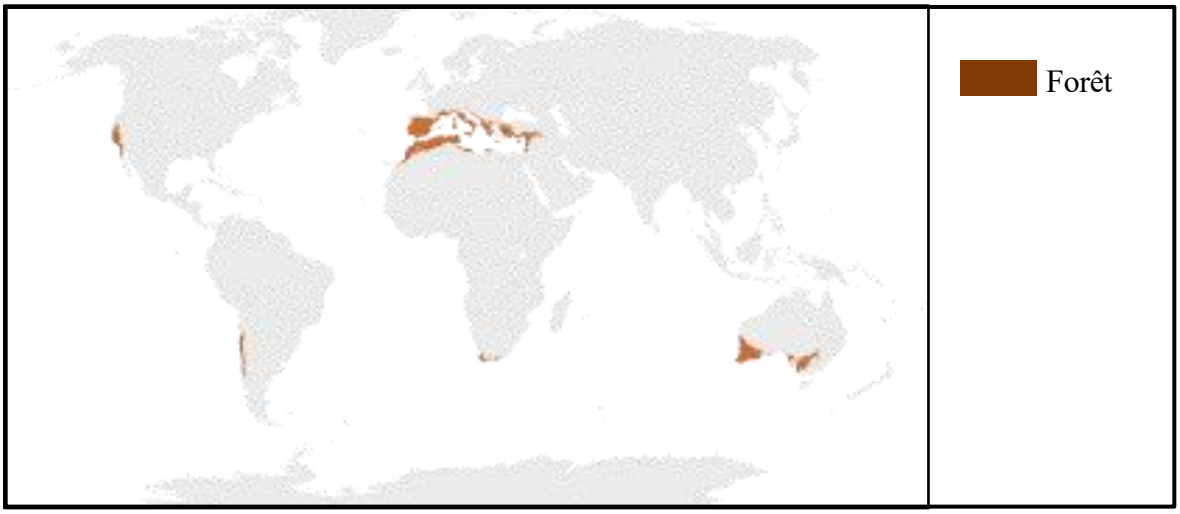


Figure 13: La forêt méditerranéenne (D.G.F)

II. L'espace forestier en Algérie :

La terre d'Afrique et située sur le rivage de la Méditerranée qui vit éclore de nombreuses civilisations, l'Algérie a subi tantôt l'influence de l'Asie et tantôt celle de l'Europe. Comme une conséquence de ses caractéristiques géographiques et économiques, l'Algérie entretient des liens privilégiés avec les pays du Maghreb, de l'Afrique et de la Méditerranée. L'Algérie est l'un des plus grands pays d'Afrique avec une superficie de 2.381.741 kilomètres carrés sur les 30 millions de km2. Près de 200.000.000hectares sont occupés par le Sahara qui couvre les 5/6 de la superficie du pays. Le pays s'étend entre les latitudes 18° et 38° Nord et entre les longitudes 9°Ouest et 12°Est.

La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont pour but de lutte continuelle contre la sécheresse (plusieurs mois secs consécutifs de l'été). Compte tenu de tous les éléments historiques qui la marquèrent et des pressions qu'exercent sans cesse sur elle, l'homme et son bétail, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et de son remplacement par le maquis et les broussailles dont le rôle reste néanmoins extrêmement important pour le contrôle et la fixation des sols en terrain à forte déclivité

Divers auteurs caractérisent le foret algérien par des grands traits :

forêt essentiellement de lumière, irrégulière, avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent ouverts formés d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange parfois

désordonné , Présence d'un épais sous-bois composé d'un grand nombre d'espèces secondaires limitant la visibilité et l'accessibilité et favorisant la propagation des feux, Existence d'un pâturage important (surtout dans les subéraies) et empiétement sur les surfaces forestières par les populations riveraines, Suite à l'action des usagers et de leurs troupeaux, ou aux incendies, les troncs des arbres sont souvent courts, ou tordus et les bois affectés de nombreuses tares et pourritures ce qui réduit fortement leur aptitude au sciage, d'où une faiblesse du rendement moyen en volume ligneux.

Situées dans une zone où l'impact humain s'est poursuivi, les forêts ont été le plus souvent pillées voire détruites par les civilisations successives qui ont trouvé des matériaux indispensables à la survie. L'action conjuguée des différents facteurs : feu, exploitation inconsidérée des pâturages, abattage des forêts, mise en culture vont porter un coup fatal aux forêts algériennes qui, non seulement ont régressé mais ce qui en subsiste ne représente plus les boisements primitifs. Estimée initialement à 7 millions d'hectares répartis essentiellement sur la frange Nord à partir de l'Atlas Saharien, la superficie forestière actuelle n'est que de 4.1 millions d'hectares (1% de la superficie totale du pays), dont seulement 13 millions représentent la vraie forêt naturelle, le reste étant constitué par les reboisements, les maquis, les garrigues, les matorrals ou des terres improductives aux potentialités forestières.

II.1 État actuel et traits généraux de la forêt Algérienne :

L'Algérie en 2019 est toujours le plus vaste pays d'Afrique avec une superficie de 2,382 millions km² dont 84% est occupé par le Sahara. Cependant, les 16% restant se répartissent entre différentes qualités de sol ne laissant que quelque 250 000 km2 de superficie propice à la végétation, dont seulement 41 000 km2 de couvert forestier. Cette superficie ne représente que 16% du nord de l'Algérie ou 1,7% de l'ensemble du territoire, ce qui est jugé insuffisant par le rapport algérien de la FOSA, l'Étude Prospective du Secteur Forestier en Afrique initiée par-là. En effet, pour assurer l'équilibre physique et biologique du territoire, le taux de couverture forestière devrait s'élever à 28% du nord de l'Algérie soit environ 70 000 km2 ; le couvert existant ne représente donc que 57% de cet optimum.

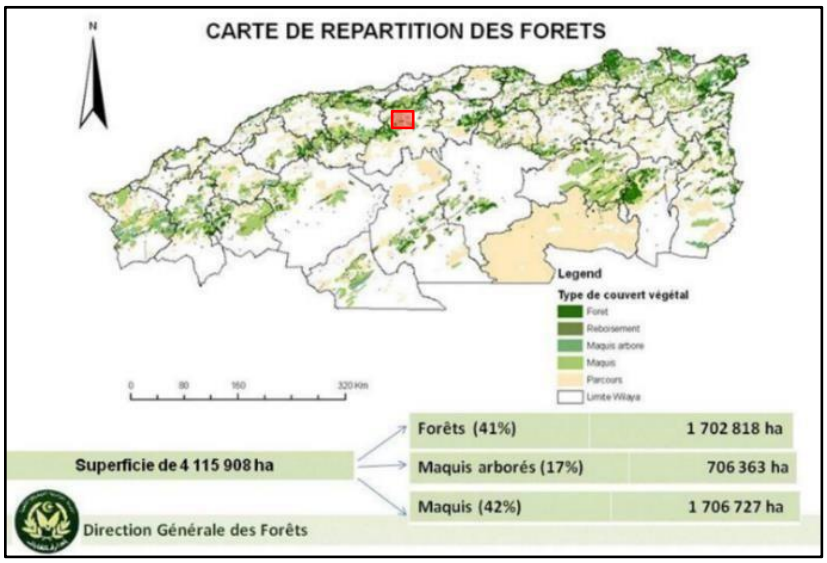


Figure 14: Répartition des forêts Algériennes (**DGF**)

II.2 Répartition des forêts en Algérie :

Comme le démontre la carte de répartition des forêts, près de 60% des espaces forestiers sont occupés par les maquis, que l'on peut définir comme étant toute végétation ligneuse ne dépassant pas 7 mètres de hauteur (arbustes, arbrisseaux, broussailles...) ; la prédominance des maquis témoigne de l'état de dégradation des forêts algériennes.

Ces maquis sont répartis en quatre catégories dont la grande partie est de faible densité :

✓ Maquis clairs : 12 621,18 km2 (52% des maquis)

✓ Maquis denses : 4 446,09 km2 (18% des maquis)

✓ Maquis arboré clair : 4 359,40 km2 (18% des maquis)

✓ Maquis arborés denses : 2 704,23 km2 (12% des maquis).

III. Présentation de la zone d'étude :

III..1 Situation géographique :

La wilaya de Médéa, située au cœur de l'Atlas tellien, se trouve à 88 km au sud- ouest d'Alger, la capitale. Son territoire couvre une superficie de 8 775,65 km², s'étendant entre 2°10′ et 3°20′ de longitude Est, et entre 35°26′ et 36°30′ de latitude Nord. Sur le plan administratif, la wilaya est limitrophe au nord par la wilaya de Blida, au sud par la wilaya de Djelfa, à l'ouest par la wilaya de Aïn Defla et Tissemsilt et à l'est par M'sila et Bouira.

Notre zone d'étude, Oued Lahrech, qui se situe dans la wilaya de Médéa (figure 14), couvre

une superficie de 1 802 hectares et comprend plusieurs municipalités réparties sur trois daïras : Draa Semar et Médéa (daïra de Médéa), Tizi Mahdi (daïra d'Ouzera) et Oued Harbil (daïra d'Ouamri). Du point de vue légal, le statut du territoire forestier est mixte, englobant des terres appartenant à l'État et des propriétés privées.

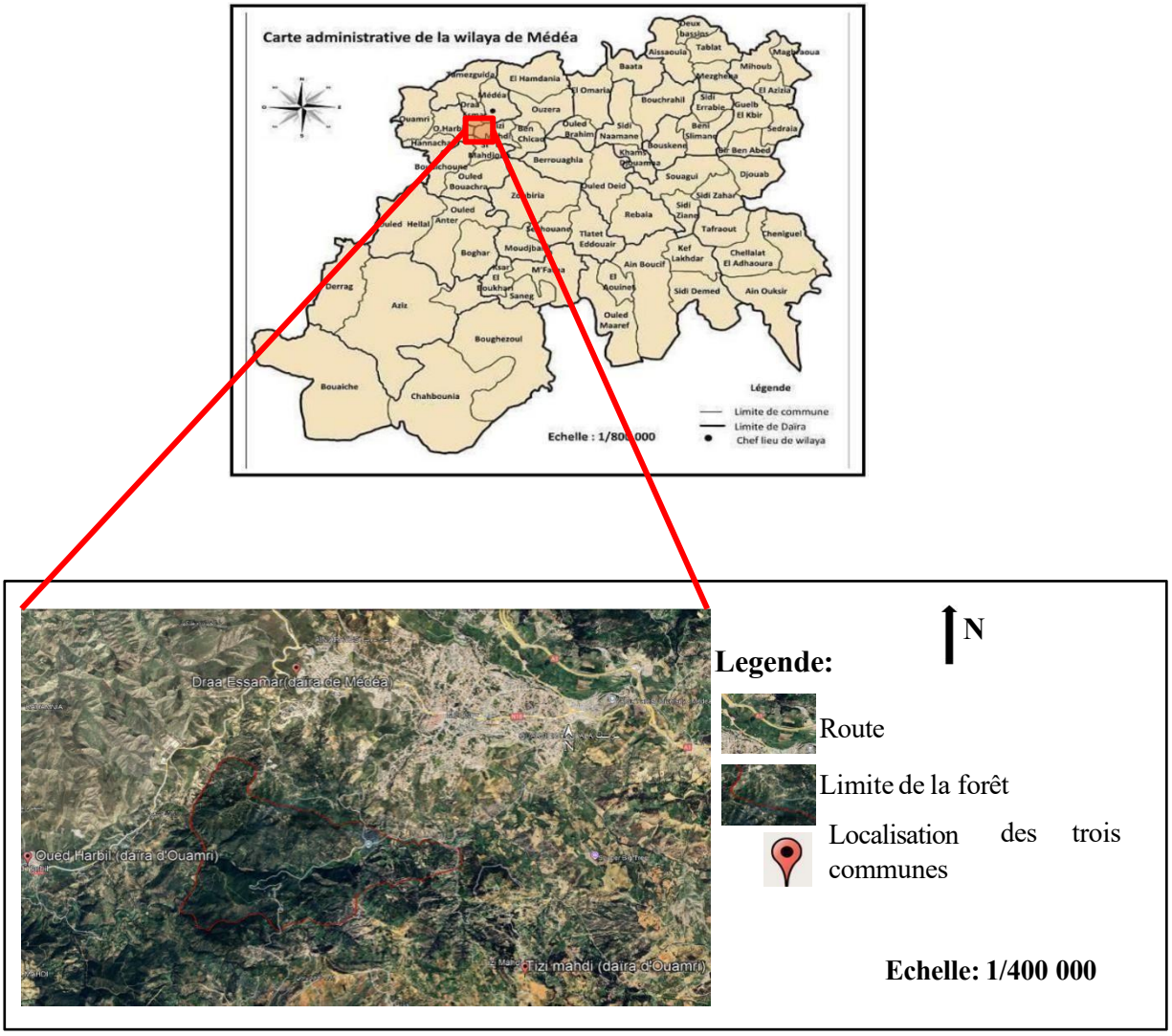


Figure 15: Carte administrative de la wilaya de Médéa avec localisation de la forêt d'Oued Lahrech (Halfaoui, 2017)

La forêt est géographiquement définie par diverses entités : au nord, elle est adjacente à la partie d'Ouled Senane et aux zones bâties ; au sud, elle est délimitée par la région de Sra Guemana ; à l'est, elle touche la commune de Tizi Mahdi ; tandis qu'à l'ouest, elle est voisine des localités de Barhouna et d'Ouled Messaoud. La position de la forêt lui donne un rôle stratégique, surtout grâce à sa proximité avec des régions urbaines et rurales.

III.2 Le cadre phytogéographique :

Les préoccupations phytogéographiques ont permis à plusieurs auteurs d'établir des différentes classifications phytogéographiques (BENGHANEM, 2009). pluseurs des études ont été consacrées aux subdivisions biogéographiques mais, celles qui sont la plus fréquemment aujourd'hui utilisées, sont celles de QUEZEL & SANTA (1962-1963) Encore faut-il que ces classes, qui portaient traditionnellement quelques elements de l'influence du domaine bioclimatique et de la tectonique-évolution du globe, ne sont actuellement remises en cause, puisqu'elles ne se rattachent plus à l'évolution progressive de la sylviculture. Ces derniers ont corrigés les travaux de LAPIE (1909) et de MAIRE (1926), en rappelant toujours la thématique de l'Écologie, de la Végétation et de la Flore.

Tableau 2: Localisation phytogéographique de la wilaya de MEDEA Bottal et al. (2009), El Ouardighi et al. (2016)

Niveau	Maire et Viollette (1926)	Quezel et Santa (1963)
Empire/ Grande zone	Holarctis	Holarctis
Région	Méditerranéen	Méditerranéen
Domaine	Mauritanien-méditerranéen	Mauritanien-méditerranéen
secteur	Tell méridional	Algérois

III.2.1 Flore et Végétale :

La végétation de la forêt est dominée par le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), accompagné d'une régénération naturelle de cette espèce. Le sous-bois se compose d'un maquis dense incluant le chêne vert (*Quercus ilex*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*), le filaire (*Phillyrea* spp.), l'oléastre (*Olea europaea* var. *sylvestris*) ainsi que le tamarix(*Tamarix* spp.). Cet écosystème forestier, riche en diversité floristique, joue un rôle essentiel dans la stabilisation des sols et la conservation de la biodiversité.

La wilaya de Médéa est classée parmi les premières wilayas du pays en matière de couvert végétal. Le patrimoine forestier de la wilaya couvre une superficie de 152.931 HA, soit 17,'43% de la superficie totale de la wilaya. La couverture forestière est marquée par la prédominance des maquis qui occupent 55.14 % de la superficie totale. Les essences forestières représentent une grande richesse pour la wilaya sur le plan de la biodiversité, avec la dominance du Pin d'Alep soit environ 3/4 de la superficie totale.

Tableau 3: Principales essences forestières de la wilaya de Médéa (Source, Conservation des forêts de Médéa, 2014)

Essence	Superficie (Ha)	Pourcentage %
Pin d'Alep	116.228	76
Chêne Vert	29.057	19
Thuya	184	0.12
Cyprès	1.132	0.74
Chêne Liège	4435	2.90
Eucalyptus	382	0.25
Pin Pignon	226	0,15
Cèdre	581	0,38
Acacias	171	0,11
Vides labourables	535	0.35
Total	**152.931**	**100**

a) La Faune :

Parmi les espèces animales les plus importantes et les plus connues existées dans la Wilaya de Médéa comme dans la foret d'Oued Lahrech (CFM, 2012), nous citons :

- Les oiseaux **:** L'aigle royal, Le hiboux, Le chardonneret, Perdrix gambra, Faisons communs; Canard siffleur ... etc.
- Les mammifères **:** Le renard, Singe magot, Le lièvre brun, Le sanglier, L'hyène rayé.

- Chacal.
- Les poissons **:** le barbeau, La carpe.
- Les amphibiens **:** La salamandre, La grenouille verte.
- Les reptiles **:** Le caméléon, La tortue.

III.3 Le cadre Topographie :

La région de Médéa se distingue généralement par une succession de chaînes montagneuses atteignant une hauteur de 1710 mètres (notamment le site de Taguensa, intégré à la municipalité d'Ouled Hellal), des plateaux modelés en collines et des formations plissées.

La région est entourée par les montagnes situées au nord et celles du Titteri qui s'étendent jusqu'à la chaîne des Bibans dans le sud. Le sillon intra tellien s'étend entre les deux reliefs du plateau de Médéa à l'ouest et du pendage de Beni Slimane, qui est la continuité de la plaine de l'Arib à l'est. Ainsi le territoire de Médéa se compose de quatre principales zones (Bneder, 2008) :

- La zone montagneuse : Les parties ouest et nord de la wilaya sont bordés par cette foramtion. L'Ouarsenis de Médéa est formé de la zone collinéenne à l'ouest, alors que l'Atlas de Médéa est situé dans la partie nord.
- La zone Tellienne : Il s'agit de la région du Titteri Médéa, située au centre de la wilaya. Elle est reconnue par son caractère agricole, qui comprend la viticulture (le fameux "*Hmar Bouamar"*), l'arboriculture, et ses abondantes prairies en bordure des oueds.
- La zone des plaines : Contient les plaines agricoles de Beni Slimane, qui sont situées à une altitude moyenne. Au total, 843 ha de formations forestières composées de pins d'Alep, de cyprès et d'eucalyptus ont été replantés dans cette zone (BNEDER, 2008).
- La zone du sud : Se caractérise par la culture des céréales, l’élevage animalier et le pastoralisme qui est prédominant.

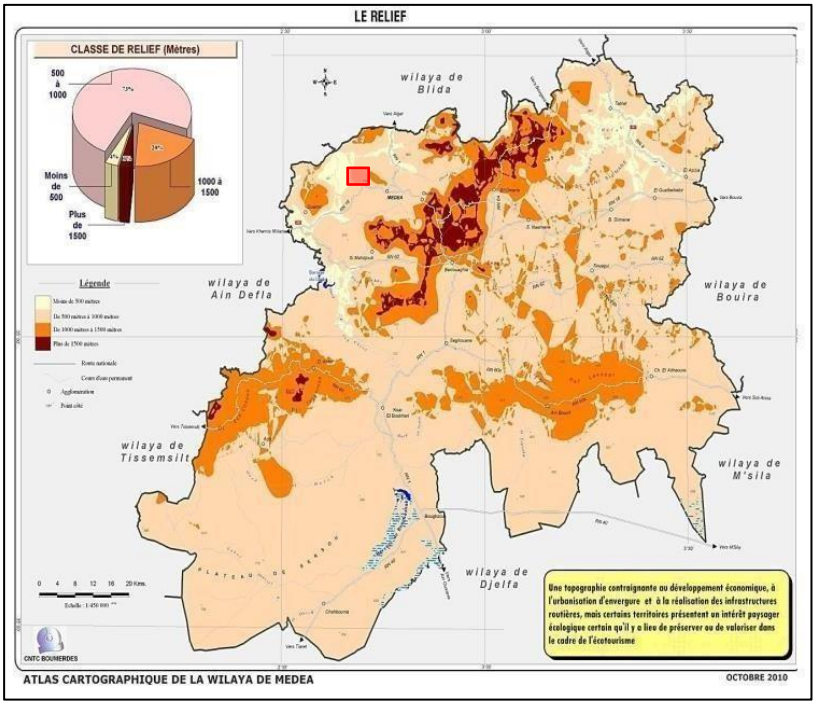


Figure 16: Carte de relief de la wilaya de Médéa (CNTC Boumerdes, 2010)

III.4 Le Cadre Géologique :

Les données géologiques apportent un élément essentiel en ce qui concerne le matériau composant le substrat terrestre où poussent la végétation. Elle se comporte relativement fidèlement par rapport à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques (BENSAID, 2006).

A l'échelle régionale, les formations litho stratigraphiques discernables, d'après MEDJNOUN (2014) sont celles du Néogène post-nappe et les terrains quaternaires qui recouvrent en discordance, les formations albiennes et cénomaniennes.

Selon MEDJNOUN (2014), des affleurements surtout de l'albien remarqués à l'ouest de la Wilaya de Medea. Ils sont composés d'une formation marno-calcaire, tectonique avec des pans marneux précipités.

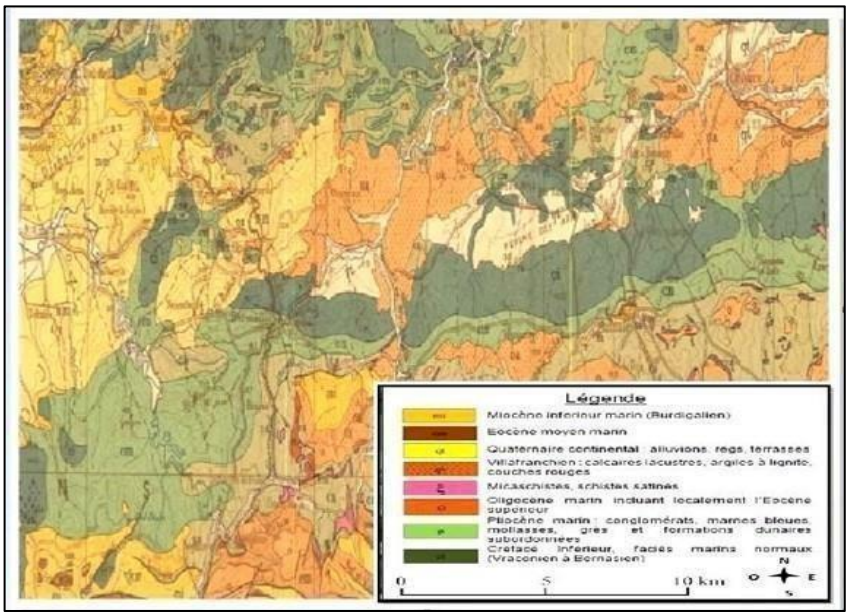


Figure 17:Extrait de la carte géologique de l'Algérie éditée en (1951-1952) montrant la géologie de la région de Médéa à l'échelle de 1/500.000

III.5 Le cadre géomorphologique :

La géomorphologie représente une combinaison d'interactions entre les deux types factoriels, climatique et géologique (BENSAID, 2006). Selon les études et ouvrages de la Direction Générale des Forêts (DGF, 2015) et les données de la MONOGRAPHIE de la wilaya de Médéa (1978), la zone de cette région est définie sous les critères suivants

III.5.1 Le tell montagneux :

Ce relief forme un cordon presque continu autour de la wilaya, s'étendant vers l'Ouest et le Nord, depuis l'Ouarsenis jusqu'au massif de Tablat. En raison du relief accidenté et du climat rigoureux, le peuplement y est peu dense. Les altitudes y sont élevées, atteignant 1 813 mètres au djebel Ech Chaoun, situé dans la commune de Derrag. Dans la commune de Sebt Aziz, le djebel Taguennsa culmine à 1 710 mètres. Au cœur de la wilaya, on peut également citer le col de Benchicao, qui s'élève à 1 267 mètres, ainsi que le djebel Mouzaïa, culminant à 1 603 mètres.

III.5.2 Le Tell collinéen :

Localisée au cœur de la préfecture, cette région est propice au développement agricole. On y pratique une agriculture diversifiée, incluant la polyculture, la viticulture, l'arboriculture vivace, ainsi que la culture de céréales et de fourrages sur les versants des principaux oueds.

III.5.3 Les plaines du Tell :

Dans le sud-est de la wilaya, les massifs du Kef Lakhdar atteignent un sommet de 1 467 mètres. Le djebel Chaâba, situé entre les monts de Tablat et le Kef Lakhdar, est constitué d'une série de sommets orientés d'Est en Ouest. Au sein de cet ensemble massif, se trouve une faible dépression en forme de cuvette ou, plus exactement, une gouttière d'accumulation s'étendant d'ouest en est jusqu'aux frontières de la wilaya de Bouira. Les plaines de Beni-Slimane sont bordées au nord par les hauts piémonts de l'Atlas tellien et les lerras du Titteri, notamment le djebel Chaâba.

III.5.4 Le piémont au sud du Tell :

La partie méridionale de la wilaya ressemble à des hautes plaines steppiques, dont l'altitude varie entre 700 et 800 mètres. La transition entre les monts du Nord et les plaines du Sud est marquée par des glacis fréquemment aplatis. Cette unité morphologique, caractérisée par une topographie à pente douce et un plan légèrement incliné, se développe dans les zones arides et semi-arides de l'Algérie.

III.6 La pédologie :

Le sol, composante indissociable de l'étude des écosystèmes, est naturellement le lieu de rencontre entre le monde minéral et le monde biologique. Il s'agit du lieu d'interactions physico-chimique dont les produits finaux sont des sels minéraux essentiels à la biocénose (BELOUAHEM-ABED, 2012). Ces sels sont dus à l'action cumulative de plusieurs aussi factor environnementaux tels que de végétation, de Climat, de Géomorphologie et de Topographie (KHOUDIR et TRAORÉ, 2003).

Dans la wilaya de Médéa, les sols sont variés tant en termes de nature que de provenance de leur origine géologique, essentiellement calcaires.

On peut établir les classes de sols suivantes (DGF)

- Les rendzines, qui se forment :

-Sur des marnes du Miocène chez Ouamri

-Sur des calcaires du Crétacé à Rebaia.

-Et sur des grès calcaires (Médéa-Barrouahgia).

-Les grès calcaires de Médéa dont les couches d'argile et sable.

-Sol insaturé, présents le long des dépressions générées sur des formations Crétacée sont peu perméables et érosions très sensibles.

-Les terres en équilibre (Beni-Slimane) réputées pour leur bonne culture.

-Les alluvions, réduites à leur simple essence, se trouvé principalement dans les vallées étroites du bassin du Cheliff et d'Oued Isser (MONOGRAPHIE, 1978) ...

Selon l'office forestier de l'Oued Lahreche.

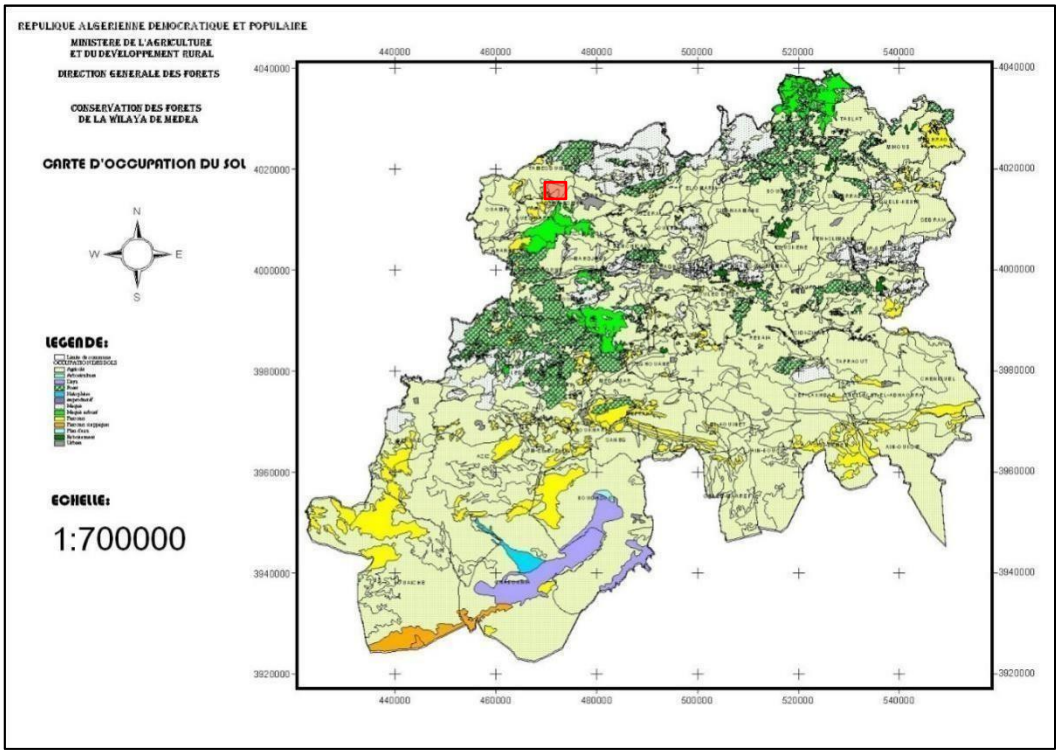


Figure 18: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Médéa (DGF)

III.7 L'hydrologie :

Selon la Direction Générale des Forêts (DGF, 2015), la zone de la wilaya de Médéa couverte par un réseau hydrographique dense. Les principaux oueds comme l'oued Chélif, l'oued Chiffa, l'oued Mazafran et l'oued Isser constituent des cours d'eau exoréiques et se déversent dans le domaine méditerranéen. Certains oueds moins importants et localisés au sud de la wilaya sont Rs des oueds endoréiques, notamment hors l'oued Sbisseb, qui se jette dans l'oued Laham.

Le territoire de la Wilaya de Médéa couvre quatre bassins versants (Conservation des forêts de Médéa, 2012) :

- Bassin versant d'Oued Chelif.
- Bassin versant Oued Isser.
- Bassin versant d'Oued Hamiz.

- Bassin versant de Chot El Houdna.
- Bassin versant d'Oued Mazafran.
- Bassin versant d'Oued El Harrach

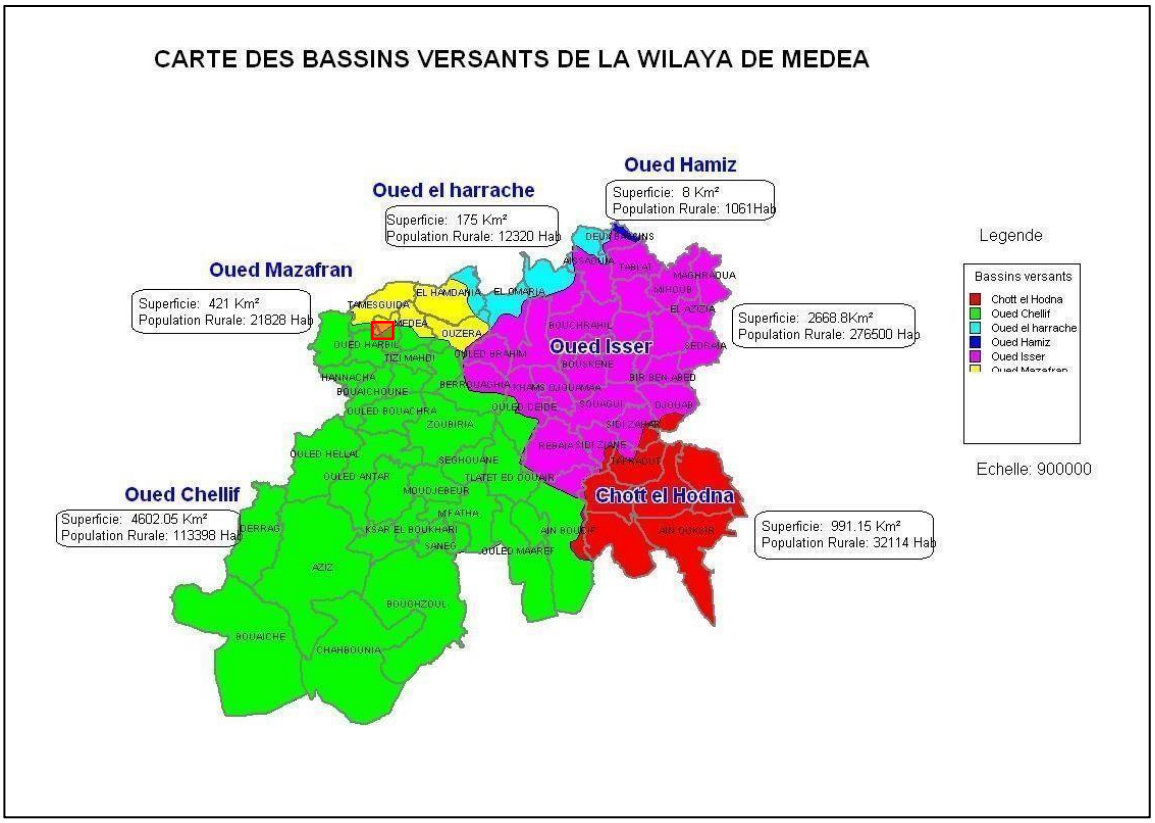


Figure 19: Carte des bassins versants de la wilaya de Médéa (DGF)

III.10 Le cadre Climatique :

D'après PEGUY (1970), il s'agit d'une science qui a pour objet la science de l'atmosphère, elle englobe également le phénomène séinium, qui s'opère par phénomènes et qui sont de l'ordre du sol, tels que par exemple les processus morphologiques, hydrologiques et pédologiques. Le climat est donc considéré comme l'un des facteurs importants de toute la réalité géographique. Elle façonne profondément la répartition de la végétation par les pluviométries, température et vents. Ces paramètres sont aussi les données à la portée de tous et les variables impactant le plus la végétation (KHOUDIR, 2012).

Climat : Selon la classification d'Emberger, la carte bioclimatique de la wilaya de

Médéa révèle une grande diversité climatique avec une gradation décroissante de l'aridité en allant du sud au nord. De la zone méridionale vers la zone septentrionale de la wilaya de Médéa, on identifie, suivant ce gradient (Conservation des forêts de Médéa, 2012), les niveaux suivants :

- Etage humide
- Etage subhumide
- Etage semi-aride
- Etage aride frais

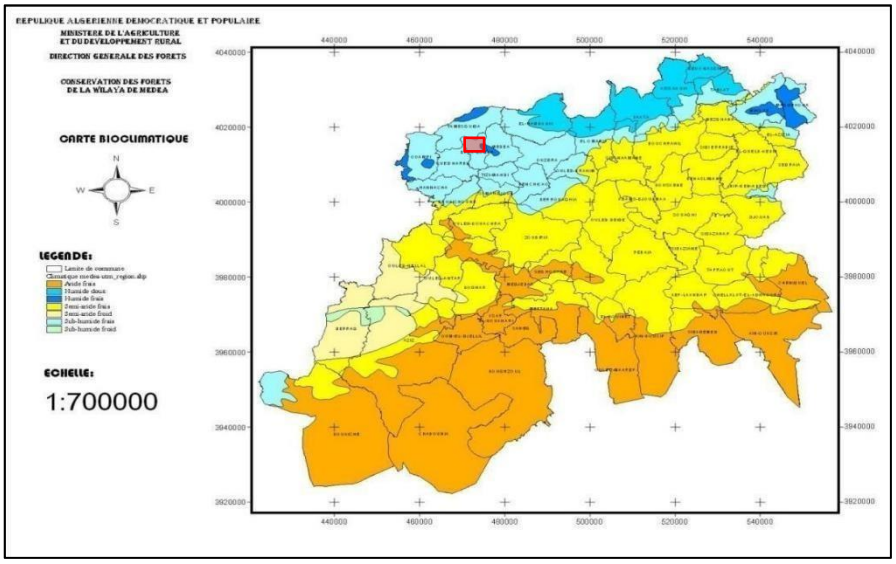


Figure 20: Carte bioclimatique de la wilaya de Médéa (D.G.F)

III.10.1 Pluviométrie :

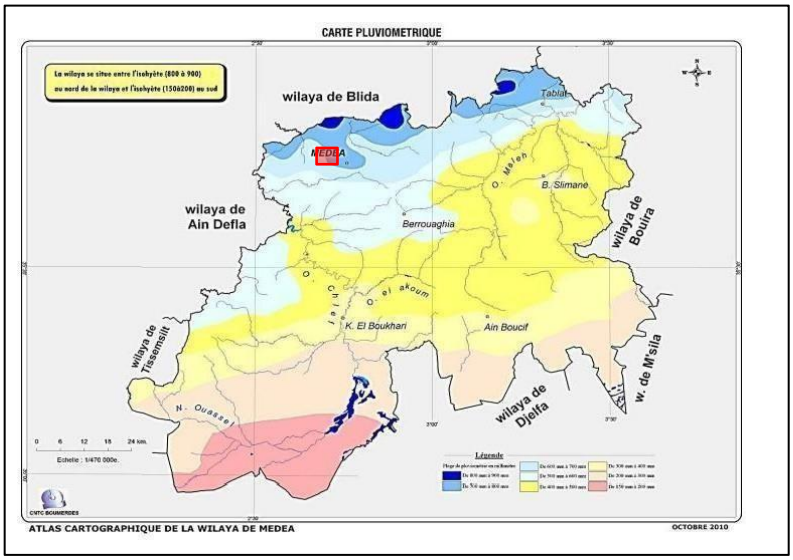


Figure 21 : Carte pluviométrique de la wilaya de Médéa (CNTC Boumerdes 2010)

Les zones du nord de la wilaya accumulent entre 800 et 900 millimètres d'eau pluviale annuellement. Les zones méridionales de la wilaya, on enregistre annuellement entre 350 et 600 millimètres de précipitations.

La wilaya de Médéa divise ses zones montagneuses en quatre catégories basées sur des critères topographiques comme l'altitude et la pente, ainsi que sur des standards d'homogénéité économique, environnementale et d'aménagement du territoire (CFM 2012).

- Les régions de haute montagne : classe › 1500 m.
- Les régions de moyenne montagne à un étage élevé : classe entre 1000 et 1500 m.
- Les régions de moyenne montagne à l'étage inférieur : classe de 500 à 1000m.
- Les zones de piémont et les zones adjacentes : classe ‹ 50 m

III.10.2 Température :

En tenant compte de divers facteurs, le climat à Médéa est méditerranéen semi-continentale, se caractérisant par un hiver froid et humide, un printemps tempéré et un été chaud et sec.

Tableau 4: Données climatiques des températures minimales, maximale et moyennés en degré Celsius de 1990 à 2022

Paramètres/mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Ann
Tmax (M°C)	15,7	15,5	19,4	24,1	28,9	33,5	37,4	36,3	32,1	28,1	20,3	16,7	25,67
Tmin (m°C)	0,1	-0,5	0,3	4,3	6,8	11,5	17,0	16,4	12,7	7,8	2,9	1,1	6,70
Tmoy	7,9	7,5	9,85	14,2	17,85	22,5	27,2	26,35	22,4	17,95	11,6	8,9	16,18

Selon les informations du tableau 4, on observe que :

Les températures mensuelles moyennes de l'air fluctuent. De 1990 à 2022 :

Février est le mois le plus froid avec une température moyenne de 7,5°C (atteignant un minimum de -0,5°C)

_Juillet se distingue comme le mois le plus chaud avec une température moyenne de 27,2°C (enregistrant un maximum de 37,4°C).

Le graphique suivant illustre les données relatives aux températures moyennes annuelles sur la période spécifiée (de 30 ans) :

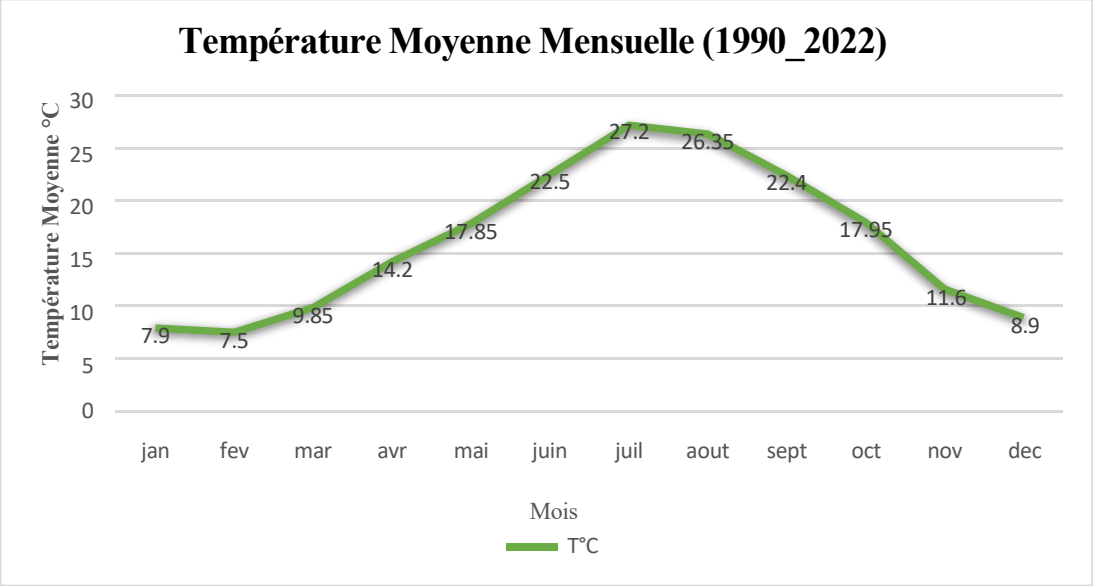


Figure 22: Moyennes annuelles des températures pour la période de 1990 à 2022

Selon la figure 22, les années 1990 et 2022 ont enregistré la température moyenne annuelle la plus élevée avec 26,17°C. Cependant, durant cette période, la température moyenne annuelle la plus basse a été de 23,89°C.

III.10.4 Précipitation :

Une précipitation est le processus par lequel une particule d'eau, qu'elle soit liquide (gouttelette) ou solide (glace), tombe vers le sol sous l'effet de la pesanteur (Elie, 2010). Selon HALIMI (1999), l'ensemble de l'eau récoltée sur un pluviomètre, quelle que soit son origine. La pluviométrie peut fluctuer fortement d'une année sur l'autre, de belles années humides se succédant à des saisons de sécheresse plus ou moins régulièrement. Cette variation est fonction de l'éloignement par rapport à la côte et de la vaste d'une pente par rapport aux vents humides (DJEBAILI, 1984).

Les précipitations agissent sur la végétation par voie directe, car c'est l'eau sous la forme liquide qui fait la lumière de la lame quotidienne ou de la lame modérée d'évaporation périmétrique en millimètres par jour, par mois, par an (KADIK, 1987).

KOUIDRI (1999) signale que, dans la wilaya de Médéa, les pluies sont en ris aux dépens de l'Ouest vers l'Est. La ville de Médéa a un total de 800 mm de précipitations annuelles et se trouve en zone bioclimatique subhumide. La région de Souaghi, dans la plaine des Béni- Slimane, reçoit de son côté environ 400 mm par an, soit un climat à tendance semi-aride.

Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles entre (1990-2022)

Paramètres / mois	**jan**	**fev**	**mar**	**avr**	**mai**	**juin**	**juil**	**aout**	**sept**	**oct**	**Nov**	**dec**	**Ann**
P (mm) Moyenne Mensuelle	92,5	124,7	104,7	79,2	58,8	12,3	4,3	8,7	40,6	46,8	103	87,4	763

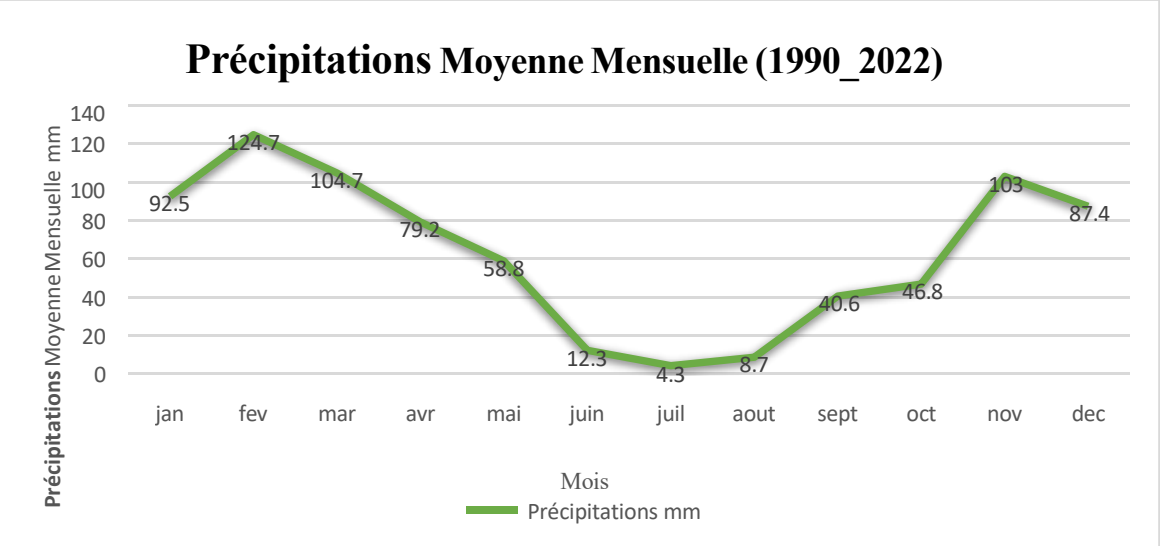


Figure 23 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période de **1990 à 2022**

Les données indiquent une distribution inégale des précipitations tout au long de l'année, caractérisée par des sommets significatifs en hiver et au printemps, suivis d'une baisse marquée durant l'été.

_Le mois de mars affiche le taux de précipitation le plus élevé avec 124,7 mm, suivi par février (104,7 mm) et janvier (92,5 mm), signalant une phase humide au commencement de l'année.

_On note une diminution graduelle de la pluie d'avril (79,2 mm) jusqu'en juin, où les précipitations font un creux à 12,9 mm.

_On note également de faibles précipitations en juillet (4,3 mm) et en août (8,7 mm), caractérisant ainsi une saison sèche.

_On remarque un retour des précipitations à partir de septembre avec 40,5 mm, atteignant leur pic en novembre avec 103 mm, puis diminuant légèrement en décembre (87,4 mm). Cette courbe souligne la présence d'un climat méditerranéen ou semi-aride, caractérisé par des étés arides et des hivers chargés d'humidité.

- **Le régime saisonnier :**

Le régime pluviométrique, souvent pris pour un composant du climat, est le plus souvent mis en avant grâce à un régime saisonnier. Pout la végétation, 1a répartition des précipitations présente une importance plus grande que le montant total annuel des pluies (HALIMI, 1980). Ce régime est en effectivité du fait des moyennes de précipitations réalisées à chaque saison.

Tableau 6: Le régime pluviométrique pour la période de 1990 à 2022

Station	**Hiver (H)**	**Printemps (P)**	**Eté (E)**	**Automne (A)**	**Régime**
Médéa **1990 à 2022**	94,9	87,6	12.0	63,4	**HPAE**

Le tableau montre que le régime saisonnier des précipitations trouvés pour notre station est généralement de type **HPAE**. Cela implique qu'il s'agit de la saison la plus humide de l'hiver, suivie de la saison la plus sèche de l'été

III.10.5 Le vent :

Dans la région de Médéa, les vents sont fortement déterminés par le relief local. Les rafales hivernales sont souvent assez fortes, avec une vitesse moyenne pouvant excéder 3 mètres par seconde. Pendant l'été, les vents sont moins puissants, avec une vitesse moyenne estimée à 2,4 m/s. Ils soufflent principalement de quatre directions, avec une prédominance pour le nord-ouest (ONM).

III.10.6 Humidité :

L'humidité relative représente le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la quantité maximale de vapeur d'eau qu'il pourrait contenir.

Tableau 7:L'humidité relative

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Ann
Humidité (%)	79,7	79,6	75,7	70,1	63,2	55,1	45,7	49,1	63,5	69,2	78,5	75,6	67,1

D'après les informations contenues dans le tableau, nous pouvons observer que : les taux d'humidité relative mensuels oscillent entre 46% et 80% pour la période actuelle, spécifiquement en juillet et janvier.

III.10.7-La periode séche

Le diagramme pluviothermique de Bagnols et Gaussen offre la possibilité d'identifier les phases sèches et humides dans n'importe quelle région grâce à l'analyse des informations relatives aux précipitations et aux températures moyennes mensuelles (Dajoz, 2003).

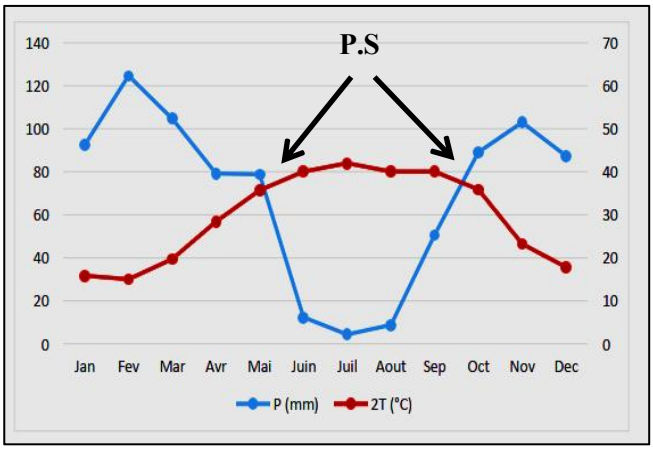


Figure 24: Diagramme ombro-thermique de Bagnols et Gaussen de la wilaya de Médéa de la période séche entre 1990 _ 2022

L'analyse du diagramme révèle

- Une phase humide qui s'étale généralement début d'octobre à fin mai.

- Une période biologiquement sèche : Juin, Juillet, Août et Septembre.

III.10.8- Quotient pluviothermique d'EMBERGER (1955)

Pour la détermination des types de bioclimats méditerranéens, EMBERGER (1955) a mis au point un quotient pluviothermique calculant le caractère xérique d'un biotope. Ce quotients est fondé sur deux grand chapitres : d´elle part le montant des précipitations (P), et d´un part le chiffre de la différence entre la température maximale du mois le plus chaud (M) et la température minimale du mois le plus froid (m) -mieux dites toutes deux en K°.

-Cette approche inclut des facteurs que repère EMBERGER le moyen d'un quotient connu sous le terme de quotient pluviothermique (Q2), dont la formule est la suivante :

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2} = 69.07$$

Avec :

_ Q : quotient pluviothermique.

_ P : précipitations moyennes annuelles en millimètres.

_ M : température maximale du mois le plus chaud (°K).

_ m: température minimale du mois le plus froid (°K).

_Les températures sont exprimées en °Kelvin (°Celsius+273).

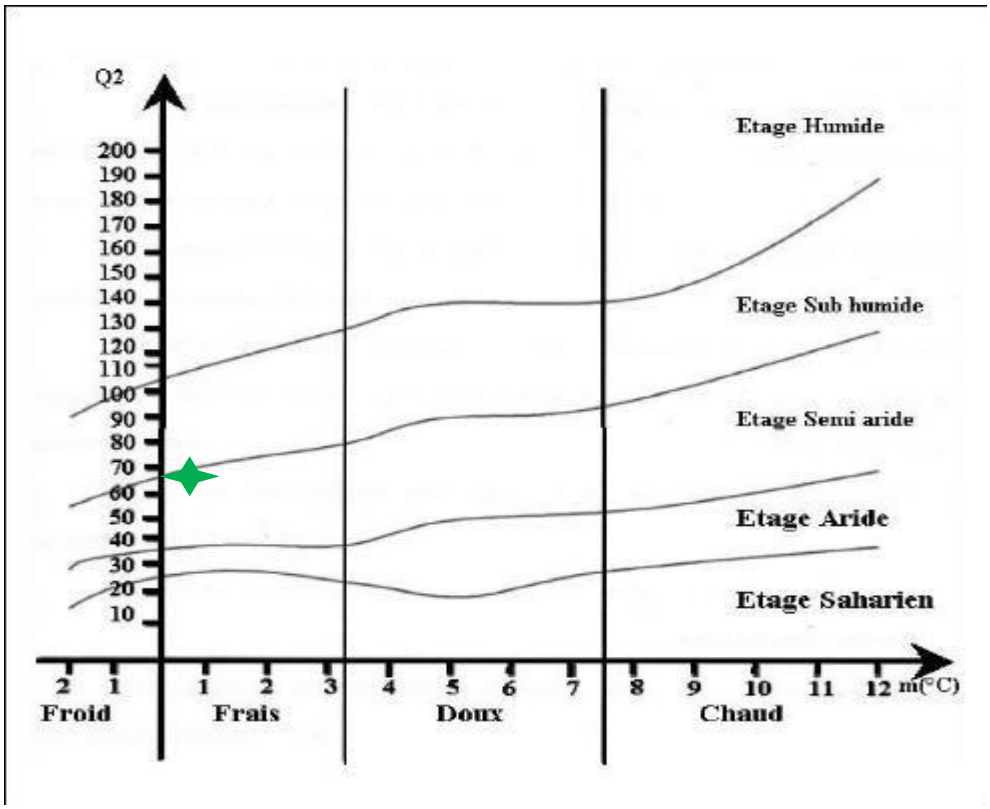


Figure 25:Etage bioclimatique de la wilaya de Médéa

III.11 Historique des incendies et mesures de prévention :

La forêt d'Oued Lahrech a été affectée par plusieurs incendies au cours des dernières années, notamment en 2012, 2013, 2014 et 2024. Ces événements ont provoqué des pertes significatives en termes de couverture végétale, mettant en évidence la forte vulnérabilité de cette zone forestière face aux feux. (DGF)

Ces incendies ont eu un impact écologique important, altérant la biodiversité locale, accélérant les phénomènes d'érosion et compromettant la régénération naturelle de certaines espèces végétales. En réponse à ces sinistres, des mesures ont été mises en place afin de renforcer la résilience du massif forestier. Parmi celles-ci, des exercices de simulation de lutte contre les incendies ont été organisés par les autorités locales, en collaboration avec la Protection civile. Ces simulations ont permis de tester les dispositifs opérationnels d'intervention, de repérer les points faibles du système de réponse, et d'améliorer la coordination entre les différents acteurs.

L'ensemble de ces initiatives vise à renforcer la préparation des équipes d'intervention, à sensibiliser les populations riveraines, et à minimiser les risques de propagation future des incendies, en particulier pendant la saison estivale où les conditions climatiques aggravent la menace

Chapitre III

MATERIEL ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Chapitre III

MATERIEL ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Introduction :

Notre recherche utilise une perspective multi-temporelle qui s'étend sur une durée de **22 ans**, allant de **2002** à **2024**. La méthode adoptée repose sur l'utilisation de la télédétection, notamment par l'étude et l'exploitation des données provenant des images satellites Landsat. L'analyse des formations végétales et forestières dans la zone d'étude d'Oued lahrech repose principalement sur ces informations satellitaires, qui favorisent une surveillance précise et constante de l'évolution spatio-temporelle de la couverture terrestre.

Ce travail vise principalement à concevoir des cartes d'occupation du sol, afin de décrire les dynamiques d'aménagement et les changements pendant la période analysée.

Pour la réalisation de cette étude il nous a été requis de se disposer de plusieurs documents, et de logiciels.

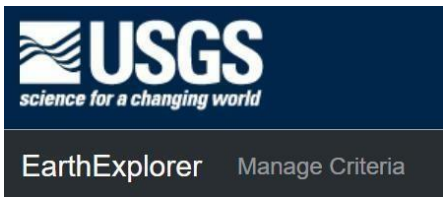
Stage de centre des techniques spatiales :

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons eu l'opportunité d'effectuer un stage de formation pratique au Centre des Techniques Spatiales (CTS). Ce stage, d'une durée de quinze jours (du 08 février au 23 février), nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises au cours de notre cursus et d'approfondir notre compréhension des méthodes d'acquisition et d'exploitation des données satellitaires. Cette immersion au CTS nous a offert un environnement propice pour explorer les outils des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les techniques de télédétection appliquées à l'analyse de l'occupation du sol, en lien direct avec la thématique de notre mémoire.

I Matériel :

I.1 Image satellitaire :

Dans le cadre de cette étude exploitant l'imagerie satellite pour surveiller la végétation, nous avons choisi d'examiner une période prolongée de plus de dix ans, suffisamment longue pour détecter tout changement dans la couverture végétale. Étant donné le coût considérable des images satellites, il s'est avéré judicieux d'obtenir les images LANDSAT gratuitement offertes par le site : **https://earthexplorer.usgs.gov/.**



Ce sont des images de grande amplitude terrestre avec une résolution de 30 m. On a choisi d'utiliser des images Landsat pour les mois de juin 2002 LANDSAT 5 et juillet 2024 LANDSAT 9, en s'assurant qu'il n'y avait aucune couverture nuageuse afin de garantir une analyse précise des modifications de l'usage du sol.

Une durée de 23 ans est considérée comme assez longue pour que, en théorie, les variations et les divers impacts naturels et humains soient aisément identifiables. Voici les caractéristiques de chaque image :



Tableau 8: Caractéristique des images satellitaire TM Landsat 9

Attribut	Valeur
Satellite	LANDSAT 9
Chemin / Rangée (WRS-2)	196 / 035
Date Acquired	20/07/2024
Date de traitement	21/07/2024
Dimensions (Dims / Size)	7731 x 7921 x 1 pixels par bande
Nombre de bandes	11 bandes spectrales
Type de fichier	GeoTIFF (.tif)
Ordre des octets (Byte Order)	Host (Intel)
Projection	UTM : Universal Transverse Mercator
Zone UTM	Zone 31 Nord
Taille de pixel	30 m (bandes multispectrales)
Système géodésique (Datum)	WGS 84 (World Geodetic System 1984 EPSG :32631)

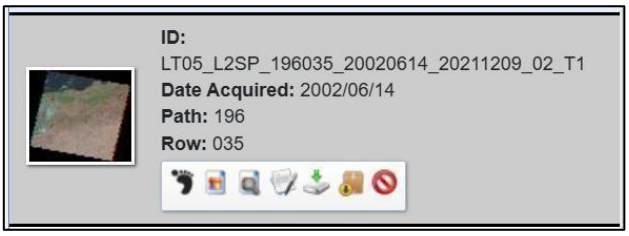


Tableau 9:Caractéristique des images satellitaire TM Landsat 5

	Valeur
Satellite	LANDSAT 5
Chemin / Rangée (WRS-2)	196 / 035
Date Acquired	14/06/2002
Date de traitement	09/12/2021
Dimensions (Dims / Size)	Environ 7731 x 7921 x 1 pixels par bande
Nombre de bandes	7 bandes spectrales (Bandes TM 1 à 7)
Type de fichier	GeoTIFF (.tif)
Ordre des octets (Byte Order)	Host (Intel)
Projection	UTM : Universal Transverse Mercator
Zone UTM	Zone 31 Nord
Taille de pixel	30 m (bandes multispectrales)
Système géodésique (Datum)	WGS 84 (World Geodetic System 1984 EPSG :32631)

I.1 Logiciels utilisés :

Pour cette étude nous avons fait appel aux logiciel suivants :

❖ **ENVI classic 5.3:**

ENVI peut être utilisé pour afficher de grands ensembles de données et métadonnées, comparer visuellement des images, créer de puissantes visualisations 3D, créer des nuages de points, explorer des signatures de pixels, etc. ENVI fournit une suite complète d'outils basés

sur des méthodes scientifiques éprouvées pour aider à analyser l'imagerie

❖ **Google Earth Pro :**

Google Earth Pro est un logiciel gratuit qui, bien qu'il ne s'agisse pas d'un véritable SIG, permet la visualisation, l'évaluation, la superposition et la création de données géospatiales. Cette ressource conviviale est souvent un intermédiaire utile pour les apprenants qui souhaitent en savoir plus sur les SIG et qui souhaitent commencer avec des processus et des outils plus basiques. Google Earth Pro peut également être utilisé pour visualiser ses images satellites à très haute résolution, télécharger ou télécharger des données géospatiales dans son format de fichier interopérable natif (KML), et également trouver des emplacements (par exemple pour un géocodage simple)

_Google Earth home - https://www.google.com/earth/

❖ **Arc Map 10.7 :**

ArcGIS est une gamme de logiciels de système d'information géographique (SIG) élaborée par l'entreprise américaine "Environmental Systems Research Institute "(Esri). ArcGIS Desktop est constitué d'un ensemble d'applications interconnectées : ArcMap, ArcGlobe et ArcScene.

ArcMap est l'application principale d'ArcGIS, qui garantit à la fois la visualisation et le traitement (analyse, édition, etc.) des données dans la fenêtre « data view ».

La conception des cartes s'effectue dans la fenêtre « vue de mise en page ». Il est à noter qu'il y a l'ArcGlobe, qui se compare à ArcMap tout en offrant la possibilité de visualiser les données en 3D.

II Méthodologie :

Dans le domaine de la télédétection, le sujet détermine les options méthodologiques et les données à utiliser en fonction de l'échelle choisie. Le traitement d'image en soi englobe toutes les techniques informatiques qui permettent d'améliorer la qualité spectrale et spatiale des images, conduisant à une interprétation plus précise :

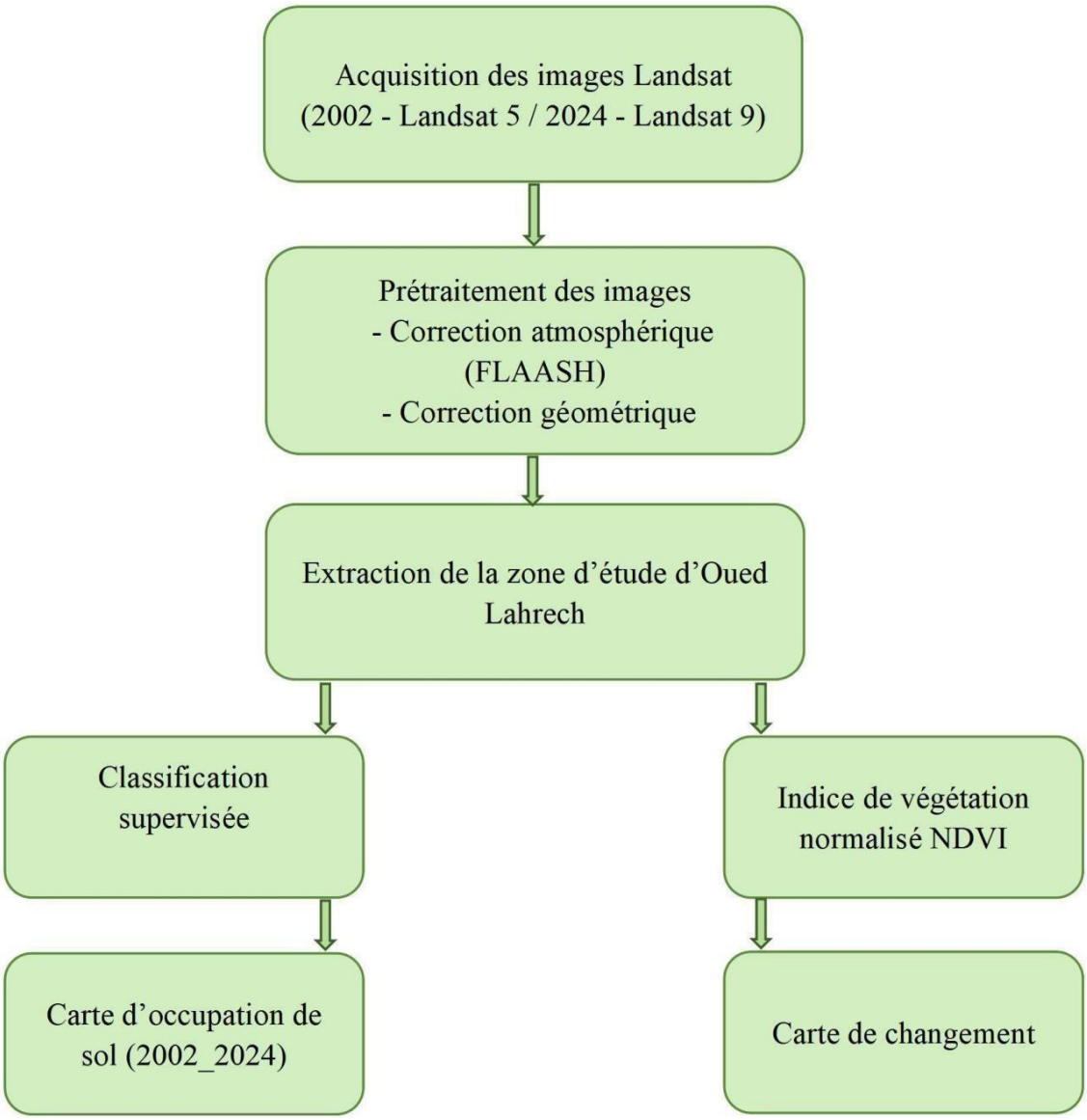


Figure 26: Organigramme des étapes de l'approche méthodologique utilisée pour l'analyse et le traitement des images satellites 2002_2024

II.1 PRETRAITEMENT :

❖ Visualisation de la scène :

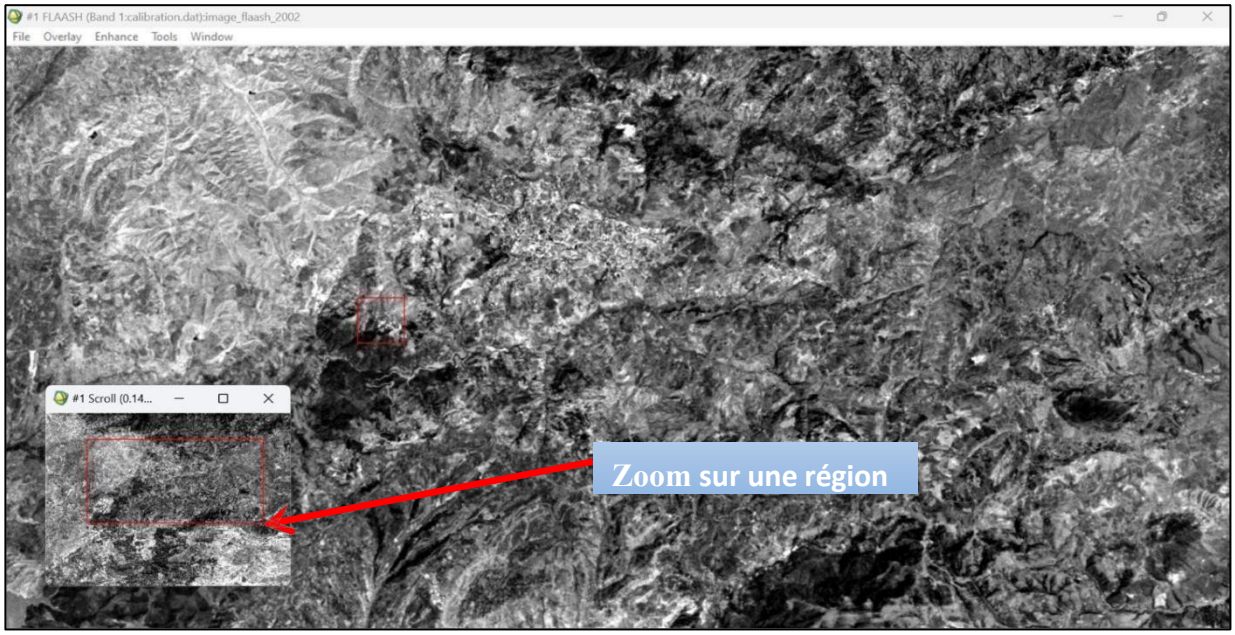


Figure 27: Visualisation de la scène au niveau de gris de l'image satellitaire

- **FLAASH (correction atmosphérique) :**

Est un outil de correction atmosphérique basé sur des principes de base qui peut corriger les réceptifs longueurs d'onde à l'intérieur de la plage visible, du proche infrarouge ou de l'infrarouge à large bande jusqu'à 3 µm. Pour les corrections dans les régions tempérées il faut utiliser l'option « correction radiométrique > correction atmosphérique thermique » dans la palette d'outils

- **L'objectif** de la correction atmosphérique est de remettre en forme les valeurs réelles de la réflectance de la surface en éliminant les influences de l'atmosphère des images satellite. Cette étape est bien le point clé de traitement des données de télédétection par satellite car tout manque peut engendrer des erreurs de résultats.

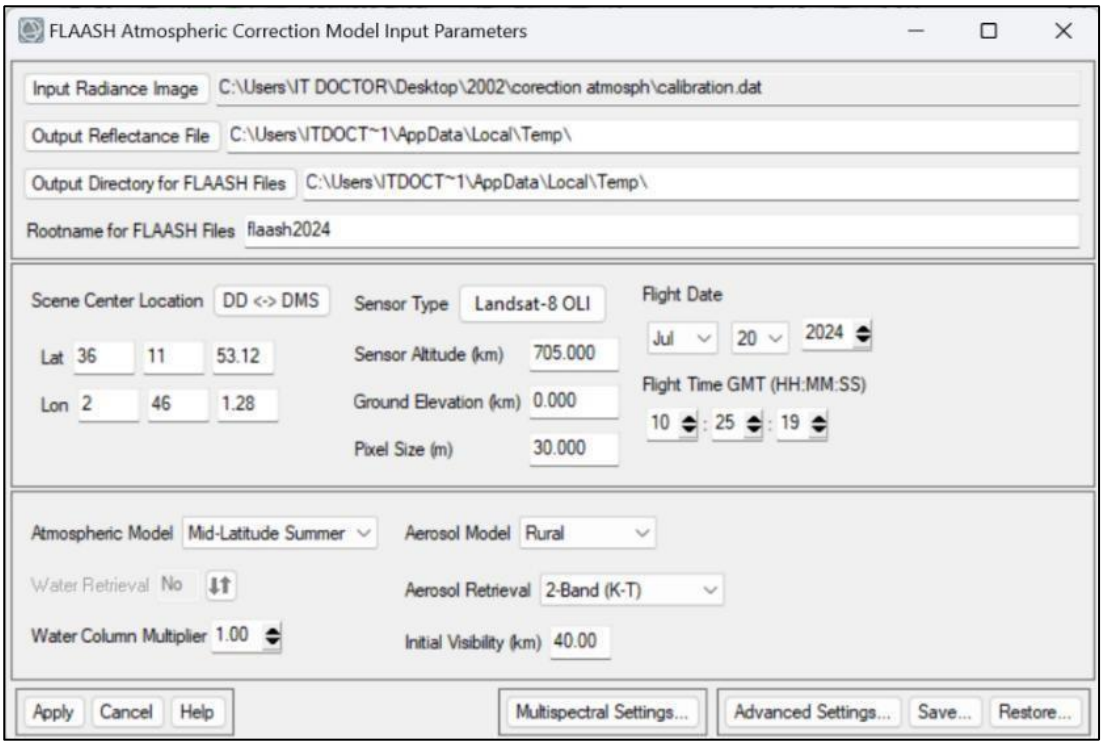
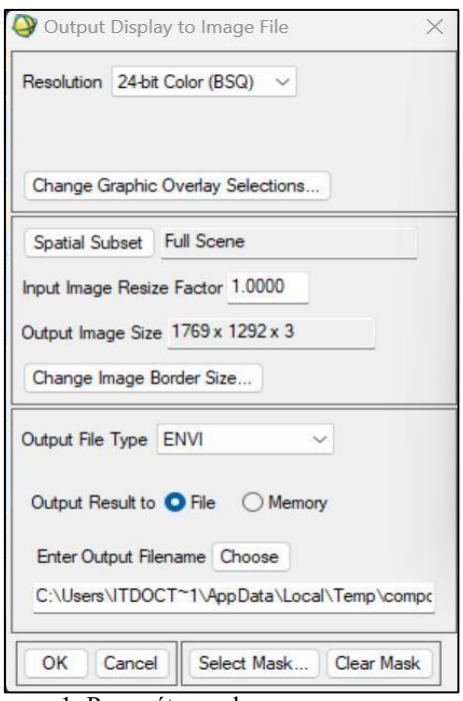


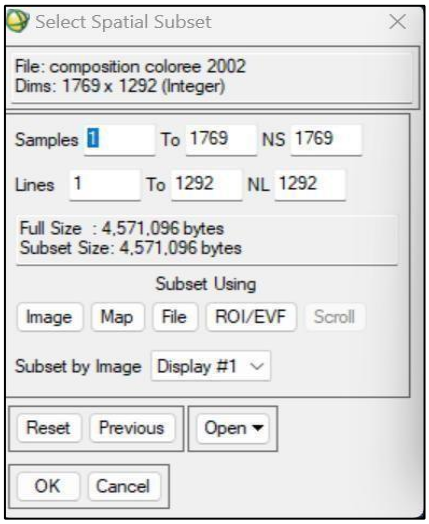
Figure 28: Interface de configuration du modèle de correction atmosphérique FLAASH

II.1.2 Détermination de la région d'étude :

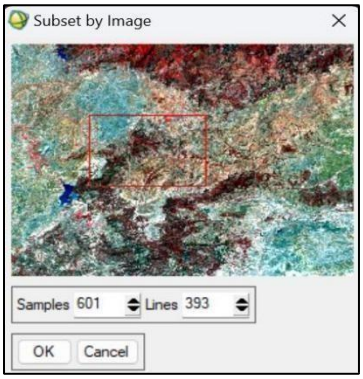
Les données ont été extraites à partir de régions d'intérêt (ROI) déterminées manuellement dans le programme ENVI, sans faire appel à des données vectorielles extérieures. Cette technique consiste à définir directement des zones homogènes sur l'image satellite en utilisant les instruments de dessin offerts par le logiciel. Elle offre la possibilité de choisir précisément les zones à examiner en fonction de critères visuels ou spectraux, particulièrement dans les cas où l'on manque de données vectorielles spécifiques.



1_Paramétrage de l'exportation de l'affichage vers un fichier image



2_Sélection d'un sous-ensemble spatial de l'image



3_Délimitation visuelle de la zone d'intérêt

Figure 29: Procédure d'extraction et d'exportation d'un sous-ensemble d'image satellitaire à l'aide du logiciel ENVI

II.1.3 Correction Géométrique des Images Satellitaires :

L'élimination des distorsions géométriques dans les images satellitaires par la correction géométrique est une phase cruciale de la télédétection. L'objectif est d'ajuster l'image à un système de coordonnées spécifique pour garantir une superposition adéquate avec d'autres données géospatiales.

- Objectifs de la correction géométrique :

_Résoudre les déformations dues à l'angle de capture du satellite, au relief du terrain et aux Fluctuations de l'orbite.

_Garantir une concordance parfaite entre l'image et les coordonnées du terrain réel.
Faciliter une comparaison précise entre des images captées à différentes dates (2002 - 2024).



Figure 30: Localisation des points d'appuis sur l'image a corriger(2002) et l'image de référence(2024)

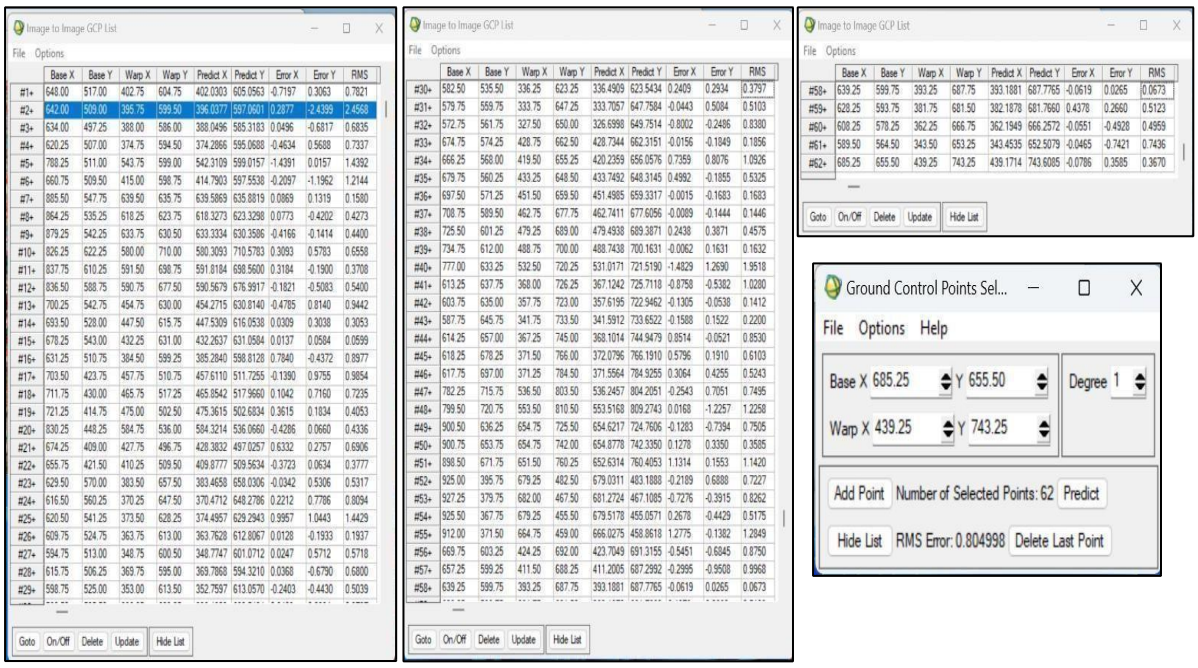


Figure 31:points de contrôle choisis et erreur quadratique moyenne « RMS » de la correction

II.1.4 Composition colorée :

La compréhension des comportements spectraux théoriques de la végétation et des sols facilite une première reconnaissance des éléments principaux du paysage sur une composition colorée**.**

À l'aide des données LANDSAT, on peut créer une représentation en couleur en utilisant les trois bandes spectrales TM1, TM2 et TM3, puis une couleur primaire est assignée à

chacune d'elles.

Pour les longueurs d'ondes :

- ✓ 450 nm à 520 nm (TM1) : Le Bleu.
- ✓ 520 à 600 nm (TM2) : Le Vert.
- ✓ 630 à 690 nm, (TM3) : Le Rouge.

La superposition des trois bandes nous fournit une image en fausses couleurs, une nouvelle image également appelée composante colorée, connue sous le nom de néocanal.

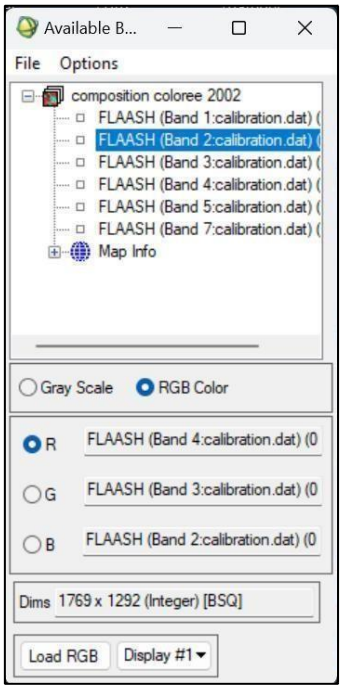


Figure 32: Choisir les bandes spectrales à affecter aux canaux Rouge, Vert et Bleu

II.1.5 Extraction de la Zone d'Étude à partir d'un Fichier Vecteur : L'extraction d'une zone d'analyse à partir d'un fichier vecteur permet de partitionner une image satellite selon une frontière géographique spécifiée (polygone, shapefile, etc.). Cela simplifie l'examen ciblé d'une zone spécifique

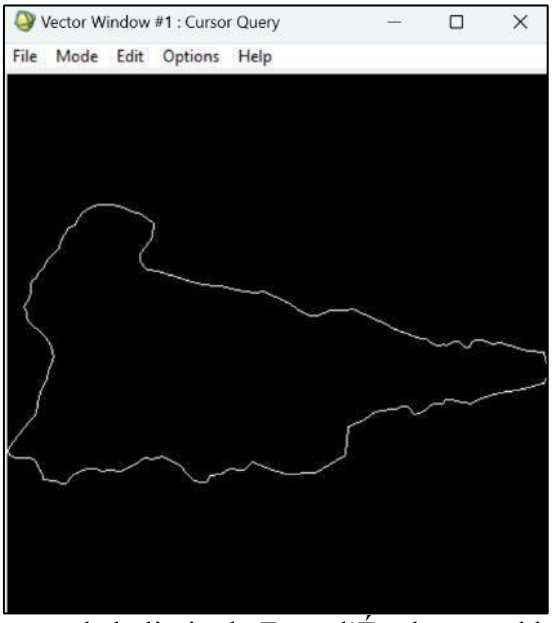


Figure 33: Fichier vecteur de la limite la Zone d'Étude « oued lahrech » sous ENVI

a) Découpage (Masking) :

Le découpage d'une image satellite dans ENVI à l'aide d'un fichier vecteur est une étape essentielle pour restreindre l'analyse à une région géographique spécifique. L'importation du shapefile correspondant à la zone d'étude permet de l'utiliser comme un filtre spatial pour ne retenir que les données se trouvant à l'intérieur de ses frontières. Cette méthode affine la précision des interventions en éliminant les données non pertinentes au-delà de la zone visée.

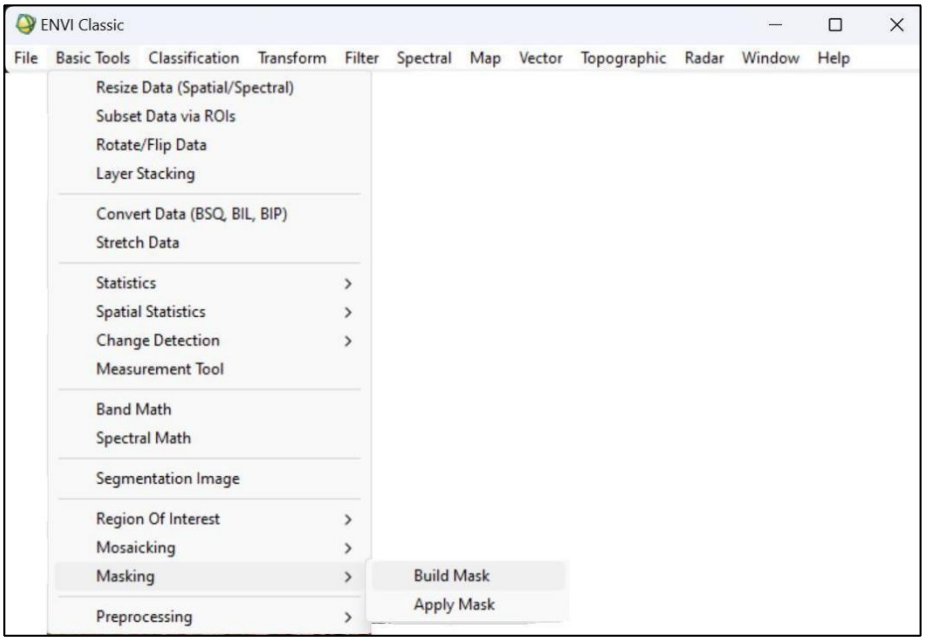


Figure 34:Découpage d'image par masque

II.1.6 Indice de Végétation NDVI :

Le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ou Indice de Végétation Normalisé (Rouse et al., 1974), est l'indice le plus connu en télédétection (Zammit, 2008). Après la correction radiométrique des images, nous avons calculé l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) pour chaque image analysée afin de surveiller le développement de la végétation. D'après JACKSON et al (1983), l'indice de végétation idéal devrait être sensible aux couvert végétal, insensible à la brillance et à la couleur des sols.

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} \quad \text{Ce qui correspond à} \quad NDVI = \frac{TM4-TM3}{TM4+TM3}$$

- ✓ Sur la base de la réflectance du rayonnement dans les bandes rouge (Red) et de pré infrarouge (NIR) d'une image satellite.
- ✓ **NIR (Near Infrared)** : Réflectance dans le proche infrarouge (fortement réfléchie par les plantes en bonne santé).
- ✓ **RED** : Réflectance dans le rouge visible (fortement absorbée par la chlorophylle) Un NDVI élevé indique une activité chlorophyllienne intense et une biomasse végétale significative, tandis qu'une valeur faible révèle soit des zones avec peu de végétation, soit la présence d'ombres (KHINECHE, 1983).

- **La méthode Band Math NDVI :**

La méthode Band Math est une approche essentielle en télédétection qui autorise la réalisation d'opérations mathématiques entre divers bandes spectrales d'une image satellite. On l'utilise fréquemment pour le tirage d'indices biophysiques comme le NDVI (Index de Différence Normalisée de Végétation), qui sert à mesurer l'état et la densité de la végétation. Cette méthode, qui fusionne les

Bandes du rouge et du proche infrarouge, souligne les fluctuations spatiales de la couverture végétale, permettant ainsi une surveillance plus aisée des changements environnementaux et une étude détaillée des dynamiques paysagères.

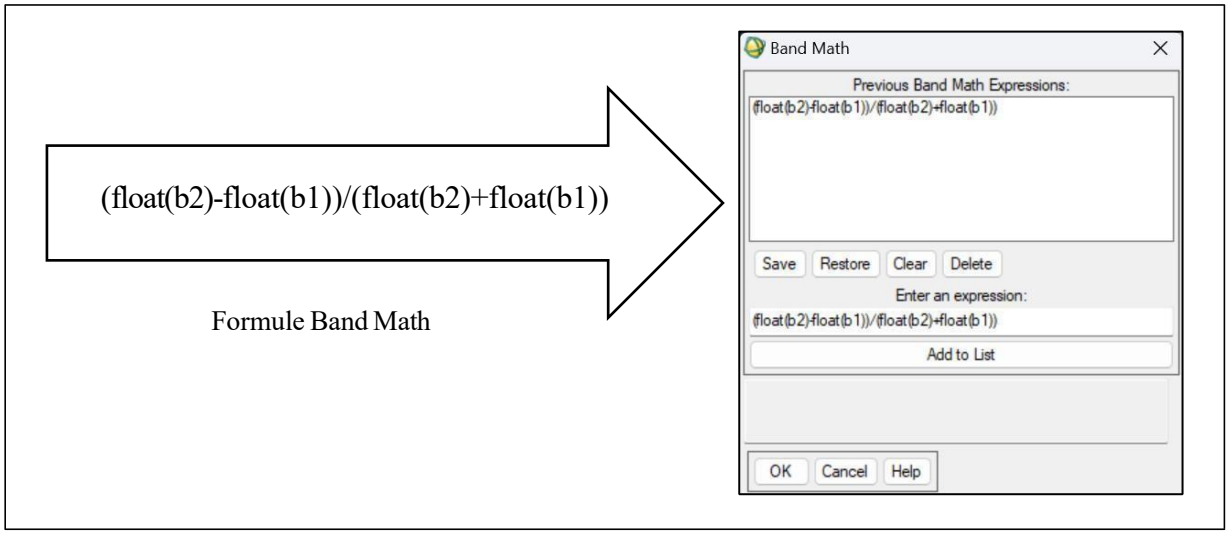


Figure 35:la méthode de Band math _NDVI

II.1.1 Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI :

La classification de la densité de végétation basée sur le NDVI permet d'identifier différentes catégories de couverture végétale selon leur état de santé et leur densité

- **II.1.81_Catégories de Densité de Végétation :**

Les valeurs du NDVI varient entre -1 et +1, où :

0.06_0.14 : faible du couvert Végétal

0.14_0.32 : moyen du couvert Végétal

0.32_0.50 : dense du couvert Végétal

0.50_0.72 : forte du couvert Végéta

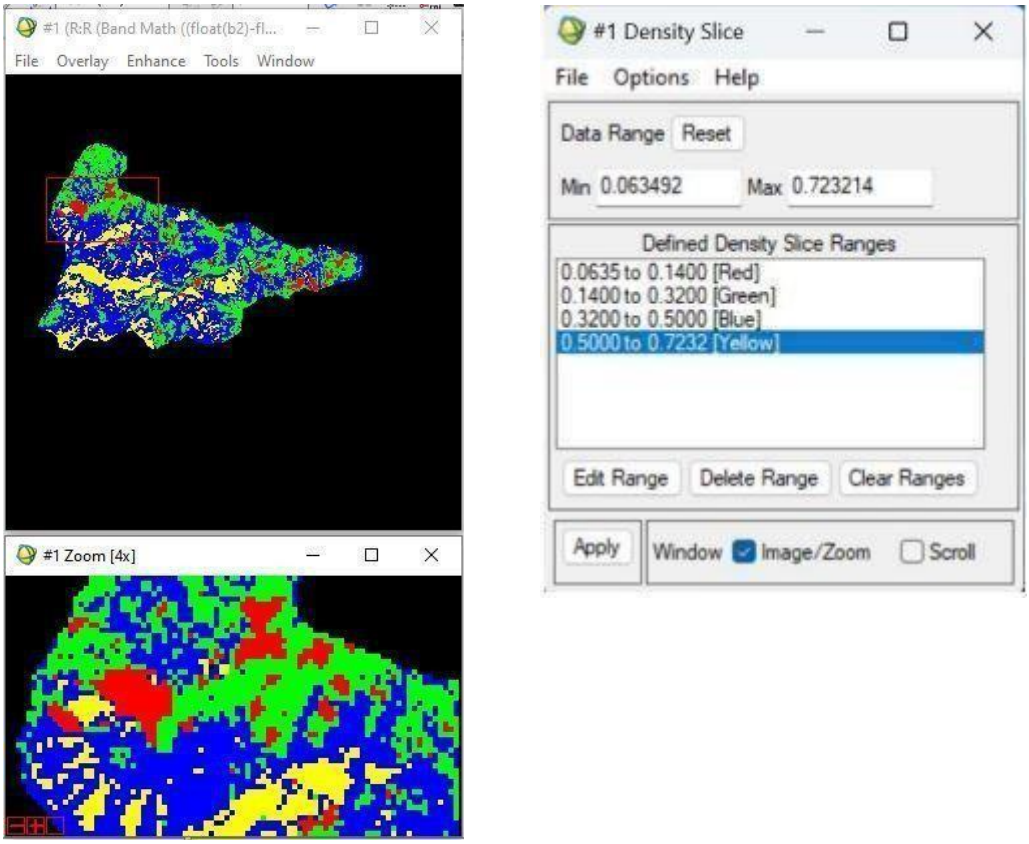


Figure 36: carte Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI– Année 2002

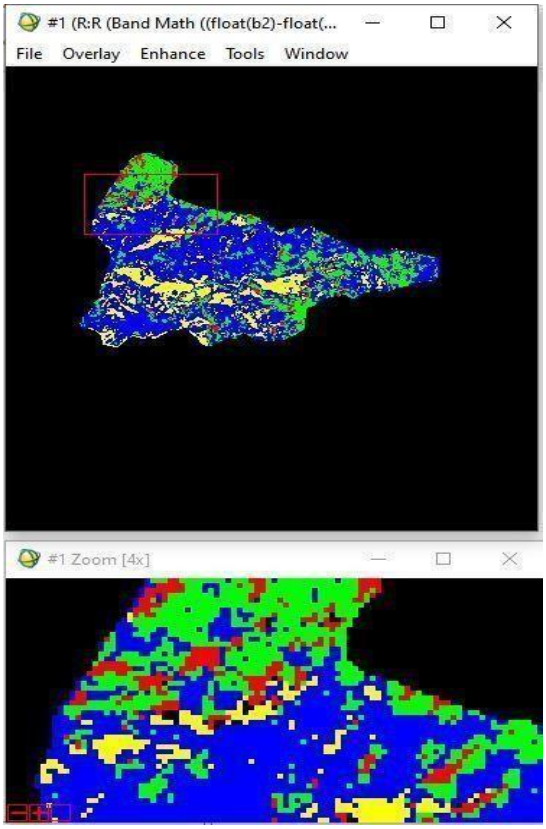


Figure 37:carte Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI – Année 2024_

II.1.7 carte de changement de la végétation entre 2002 et 2024 :

L'étude des changements de la végétation s'appuie sur la comparaison d'indices tels que le NDVI à différentes périodes. Une classification par seuil (Thresholding) permet de repérer les zones ayant subi des transformations notables. Selon les valeurs de différence du NDVI, trois catégories peuvent être distinguées

- ✓ Augmentation de la végétation (valeurs positives) : la couleur vert
- ✓ Diminution de la végétation (valeurs négatives) : la couleur rouge
- ✓ Zones stables (valeurs proches de 0) : pas de changement

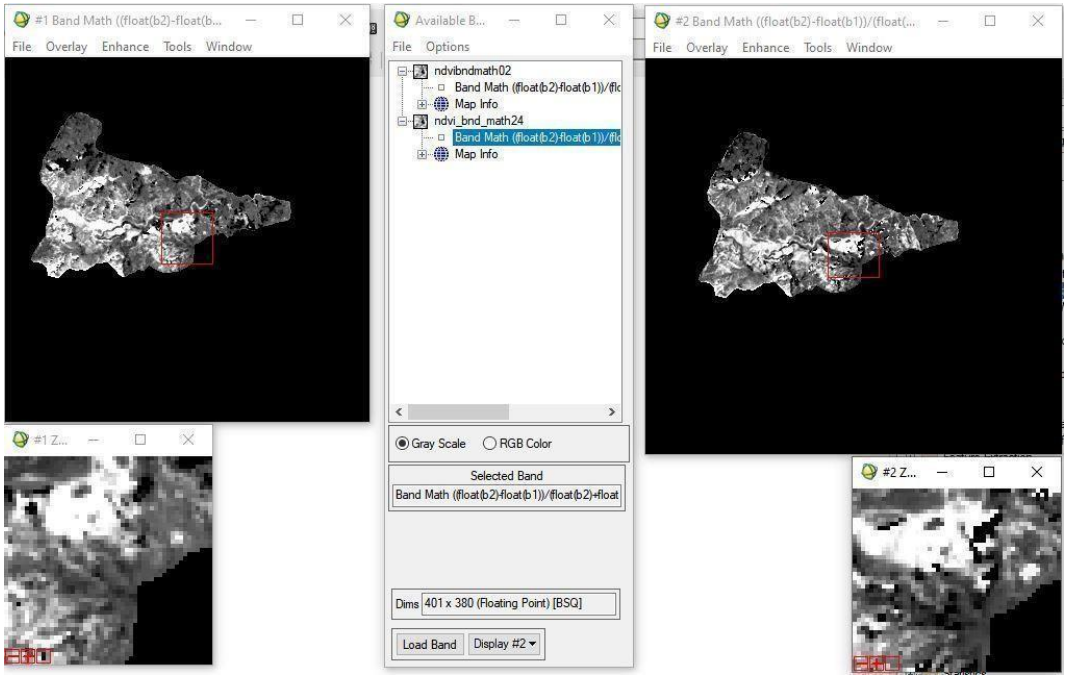


Figure 38:carte NDVI 2002 à la carte NDVI 2024

II.2 La classification des données :

la classification des données par la télédétection est un paramètre essentiel d'interprétation des images satellite. Elle consiste à groupement des pixels d'une image en différentes catégories d'entre les objets thématiques, en favorisant ainsi l'analyse et l'extraction des informations géospatiaux. Existe 02 types:

la classification non supervisée, la classification supervisée.

- ➢ Dans cette étude, nous avons utilisé la classification supervisée.

II.2.1 Classification supervisée :

Cette méthode nécessite une connaissance préalable du terrain.

L'utilisateur sélectionne des zones d'entraînement représentatives pour chaque classe d'intérêt sur l'image. Ces échantillons servent de référence pour l'algorithme, qui attribue

ensuite les pixels restants aux différentes classes en fonction des signatures spectrales définies. Des logiciels spécialisés, tels qu'ENVI, offrent des outils pour faciliter ce processus, notamment en permettant la création de polygones d'entraînement géoréférencés

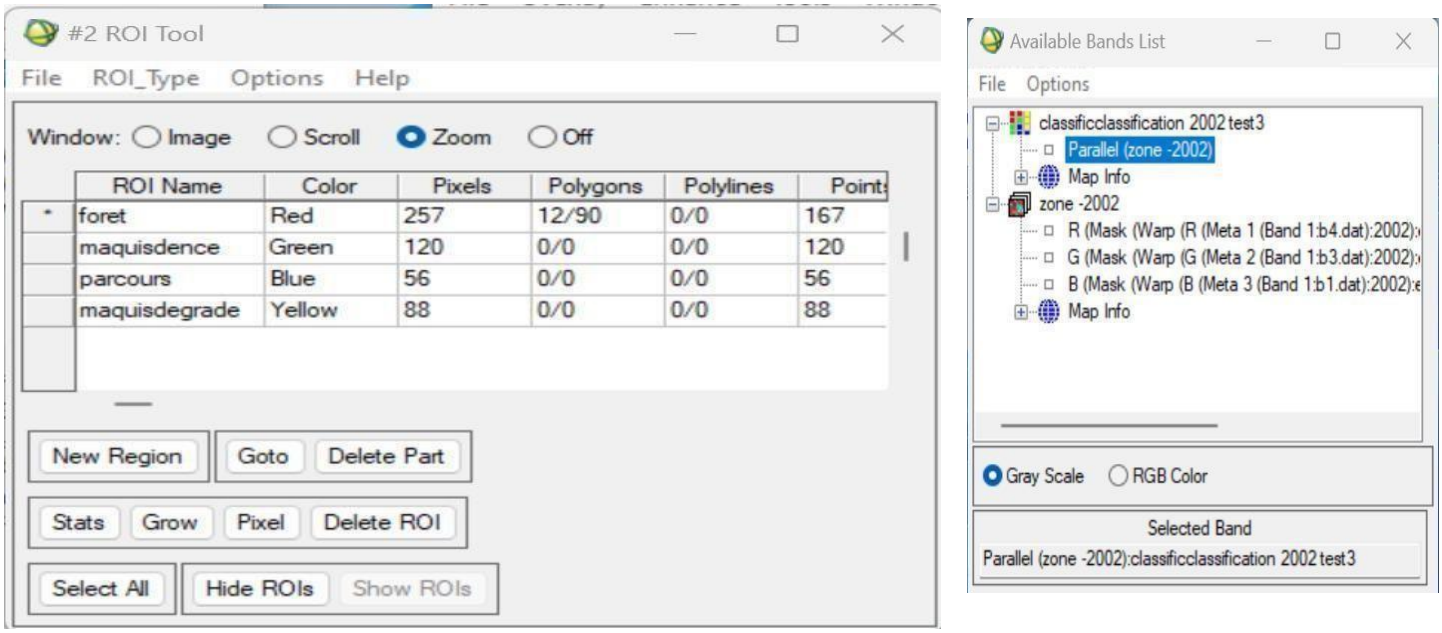


Figure 39: Tableau du ROI Tool et liste des bandes disponibles pour la carte de classification supervisée de l'année 2002.

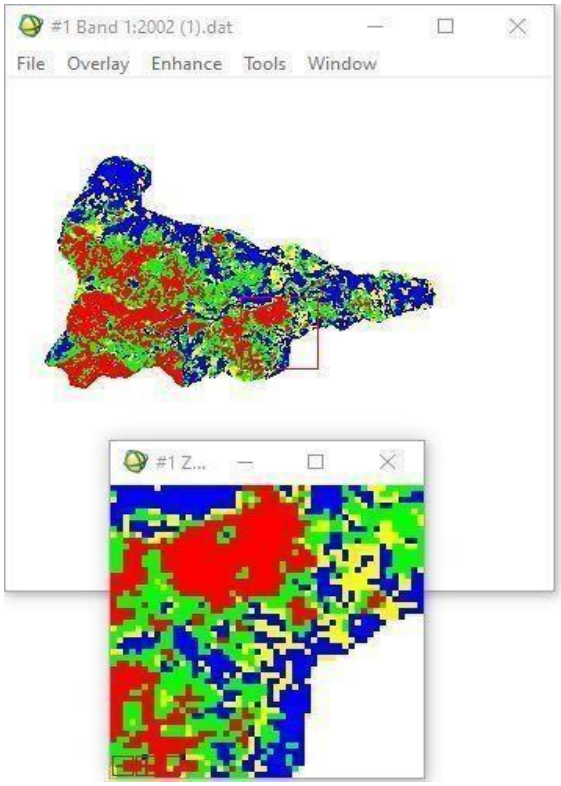


Figure 41: Classification supervisée de2002

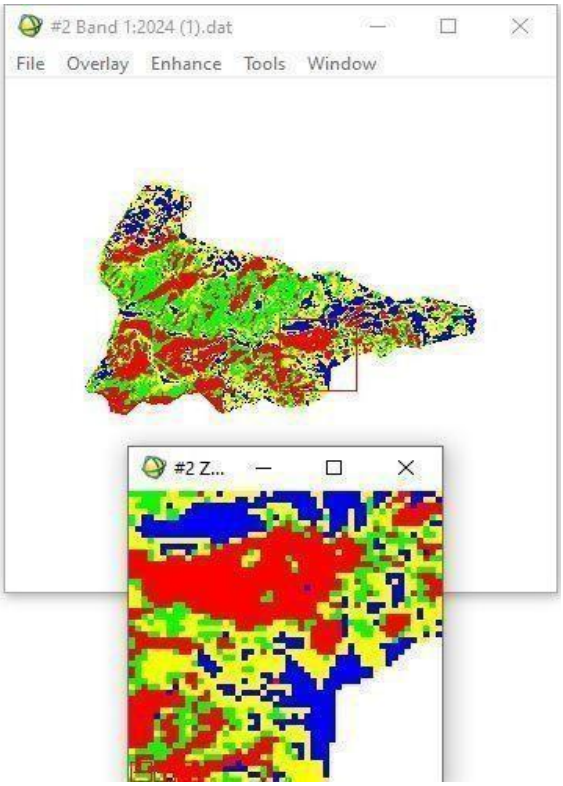


Figure 40: Classification supervisée de la Zone d'Étude 2024

II.3 L'occupation de sol :

La surface occupée (ou utilisation du sol) est l'utilisation, l'aménagement d'un espace telle que la ville, l'agriculture, les forêts et les zones naturelles. C'est un tournant pour en observer la répartition et l'occupation par l'humain et la nature.

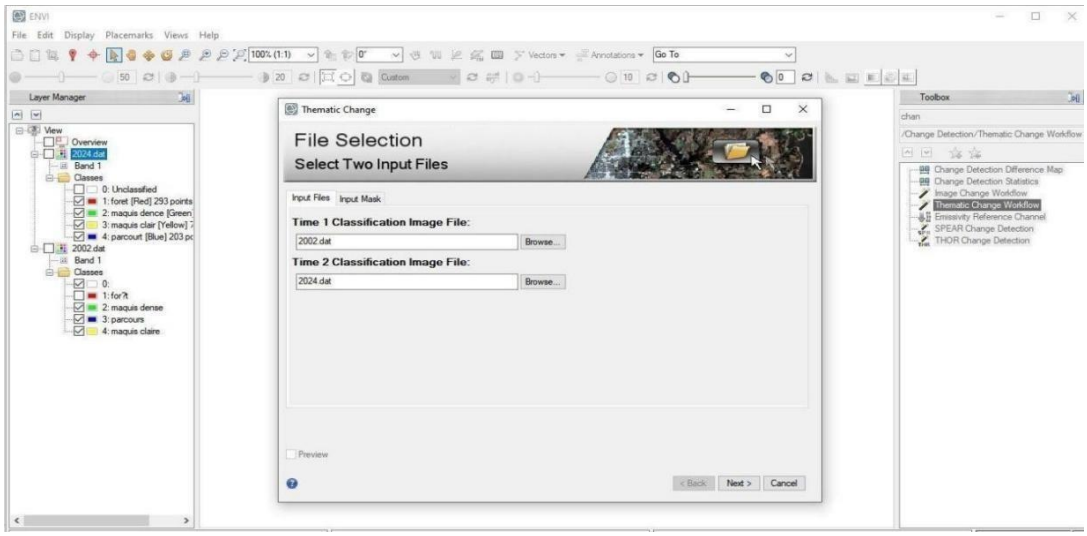


Figure 42:la réalisation d'une carte d'occupation du sol

III.Google Earth Engin

Google Earth Engine (**GEE**) est une plateforme cloud de télédétection et d'analyse spatiale qui permet de manipuler et d'analyser des images satellitaires à grande échelle. Il est particulièrement utile pour la cartographie de l'occupation des sols, la détection des changements environnementaux et l'analyse des données climatiques.

Pour s'inscrire sur Google Earth Engine (GEE), il faut d'abord avoir un compte Google. Ensuite, il suffit de remplir le formulaire d'inscription sur earthengine.google. Après avoir accepté les conditions, la demande est traitée en quelques heures à quelques jours. Une fois approuvé, l'accès à l'éditeur en ligne code.earthengine.google.com permet d'exploiter des données satellites et d'écrire des scripts en JavaScrip



III.1_Principales fonctionnalités :

- Accès aux images satellites (Landsat, Sentinel, MODIS, etc.).
- Traitement et analyse des données en ligne, sans nécessité d'un ordinateur puissant.
- Utilisation de scripts en JavaScript ou Python pour automatiser les analyses
- Création et manipulation de données vectorielles et matricielles (raster).

III.2_Dépôt et visualisation de vecteurs sur GEE :

_**Importer** un fichier vecteur (Shapefile, GeoJSON, KML) via l'onglet "Assets".

_**Ajouter** le vecteur sur la carte avec du code JavaScript dans l'éditeur.

_**Personnaliser** l'affichage avec des couleurs et des styles spécifiques.

_**Application** à la zone d'étude (Oued Lahrech, Médéa, Algérie)

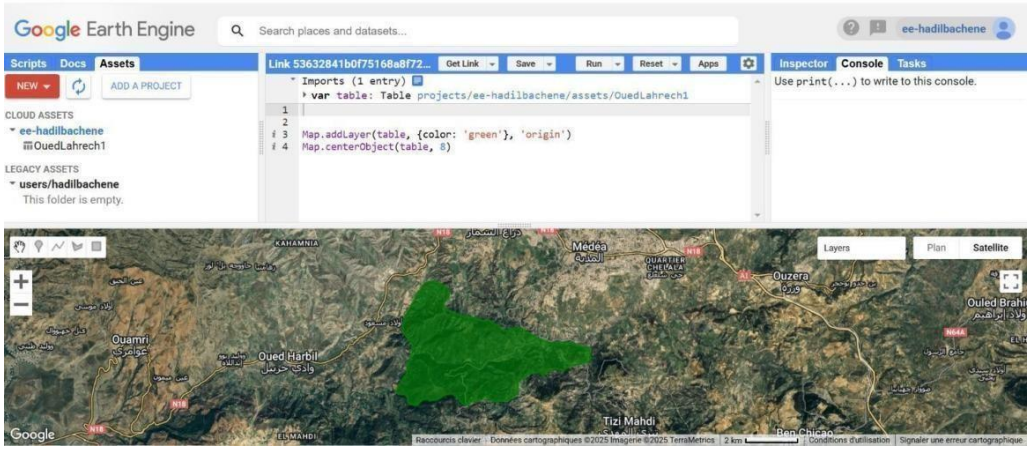


Figure 43: Affichage du vecteur de la zone d'étude Oued Lahrech sur Google Earth Engine

Donc, **Google Earth Engine** est un outil puissant, accessible et essentiel pour l'analyse des données géospatiales, offrant des perspectives innovantes pour la recherche et la gestion environnementale.

Chapitre IV

Résultats Et Discussion

I) La correction atmosphérique :

I.1 FLAASH :

Après le traitement des images satellites via la technique FLASH dans ENVI, deux cartes thématiques ont été produites, soulignant les écarts spectraux notables entre les régions examinées.

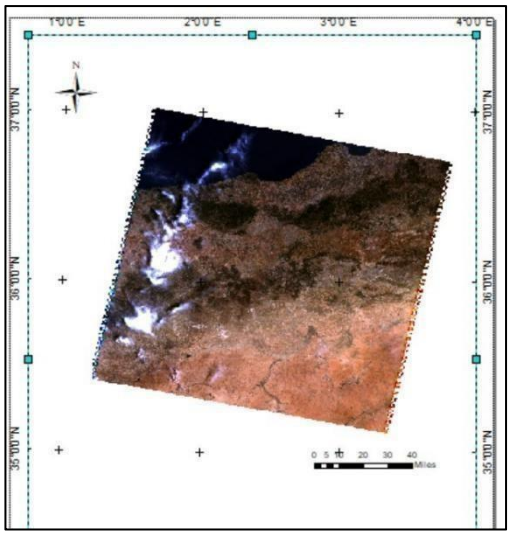


Figure 45: Image satellitaire brute Landsat – Année 2002

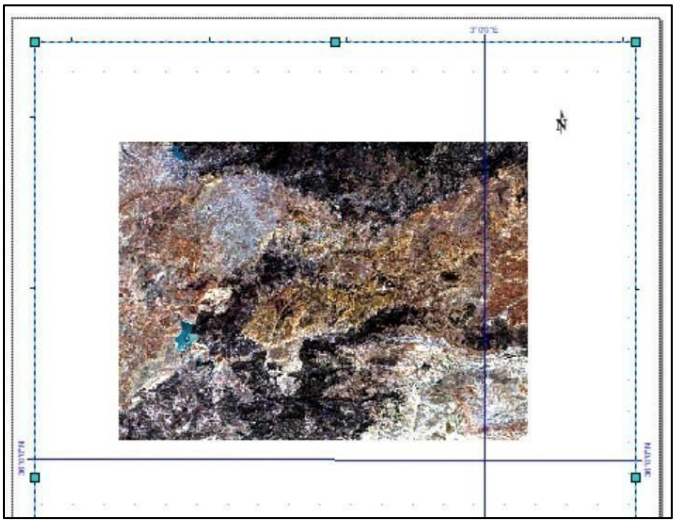


Figure 44: Carte de la scène Landsat géoréférencée

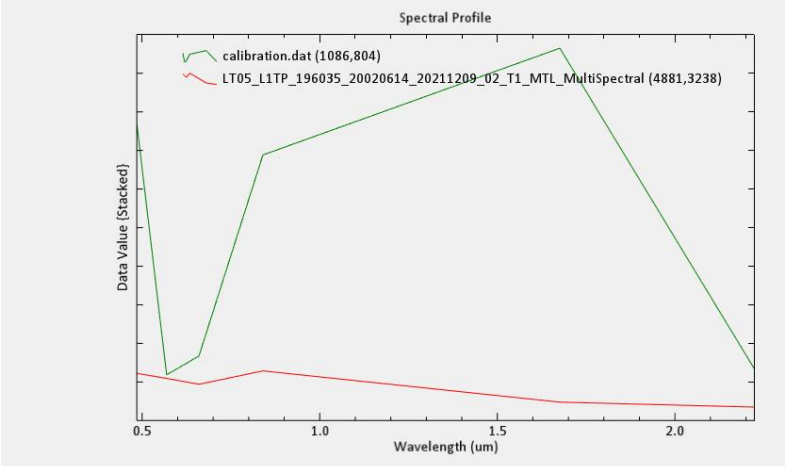


Figure 46: Analyse comparative du profil spectral entre les données multispectrales Landsat 5 fichier de calibration pour l'évaluation de la réponse radiométrique en fonction de la longueur d'onde

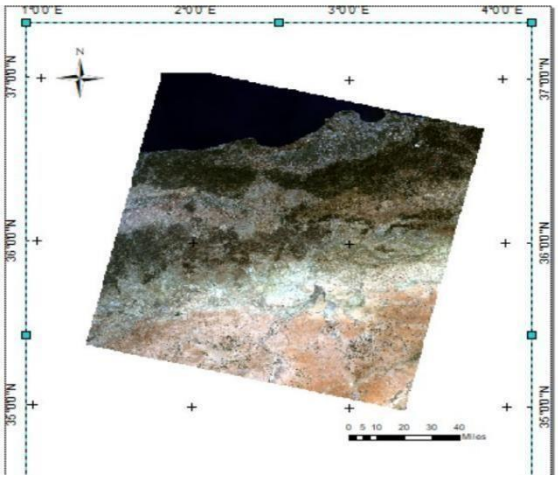


Figure 47: Image satellitaire brute Landsat – Année 2024

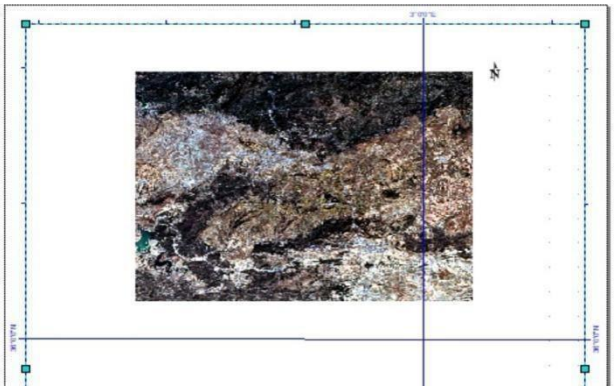


Figure 48: Carte de la scène Landsat géoréférencée après traitement – Année 2024

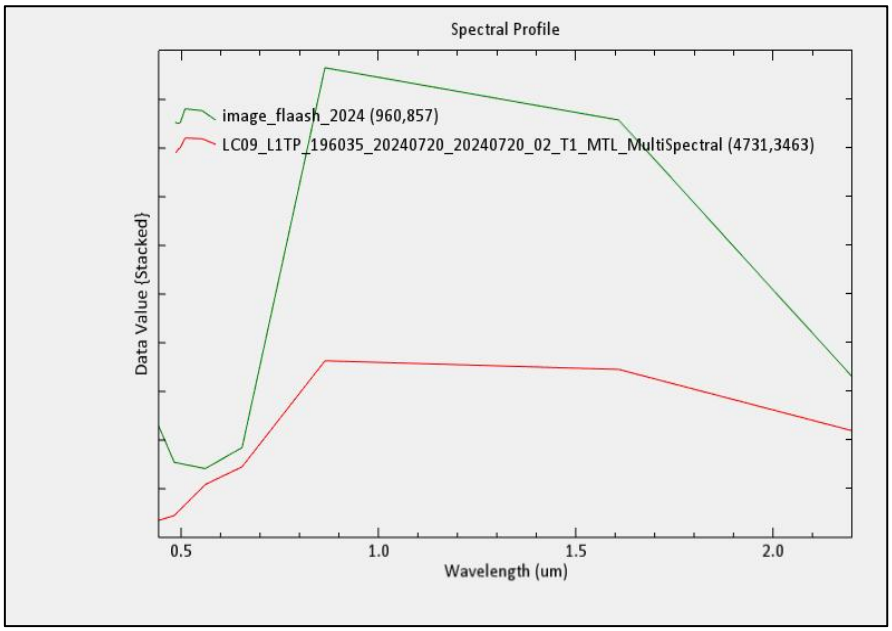


Figure 49: Analyse comparative du profil spectral entre les données multispectrales Landsat 8 et un fichier de calibration pour l'évaluation de la réponse radiométrique en fonction de la longueur

I.1.1 Comparaison du profil spectral d'une forêt entre 2002 et 2024 :

- **Description de l'image en 2002 :**

_Courbe verte : calibration.dat → fichier de référence ou de calibration (peut-être modélisé).

_Courbe rouge : LT05_L1TP_20020614... → image brute de Landsat 5, prise le 14 juin 2002.

Interprétation :

- ❖ La courbe rouge montre des valeurs de réflectance très faibles dans toutes les longueurs d'onde. Cela peut indiquer :

_Une végétation moins dense,

_Un stress hydrique,

_Une déforestation partielle,

- ❖ La courbe verte de calibration montre un pic clair dans le NIR (≈ 1,6 µm), indiquant le modèle attendu pour une forêt saine.

_Elle permet de comparer avec la réalité captée dans l'image brute.

- **Description de l'image en 2024 :**

_Courbe verte : image_flaash_2024 → image de l'année 2024, corrigée atmosphériquement avec FLAASH.

_Courbe rouge : LC09_L1TP_20240720... → image brute de Landsat 9 (non corrigée), prise le 20 juillet 2024.

Interprétation :

- ❖ La courbe verte montre des valeurs de réflectance plus élevées, surtout à partir de 0,85 µm (infrarouge proche) Cela indique :

_une végétation saine et dense.

_Le pic dans le NIR est caractéristique de la chlorophylle abondante dans une forêt active.

- ❖ La courbe rouge (image brute) montre des valeurs plus faibles, car elle est affectée par :

_L’absorption atmosphérique,

_La diffusion de la lumière,

_Les conditions d’acquisition (angle solaire, humidité…).

L’étude des profils spectraux de la zone d’oued lahreche entre 2002 et 2024 révèle une amélioration notable de l’état de la végétation. En 2002, la faible réflectance dans le proche infrarouge indique une végétation clairsemée ou dégradée. En 2024, après correction atmosphérique, les valeurs de réflectance sont nettement plus élevées, traduisant une forêt dense et en bonne santé.

Ces résultats suggèrent une régénération écologique au fil du temps, probablement liée à des actions de protection ou à une dynamique naturelle de reforestation.

II. Extraction de la région d’étude :

Pour cibler l'analyse sur le périmètre concerné, deux images ont été tirées de l'image originale en fonction des frontières géographiques de la zone d'étude.

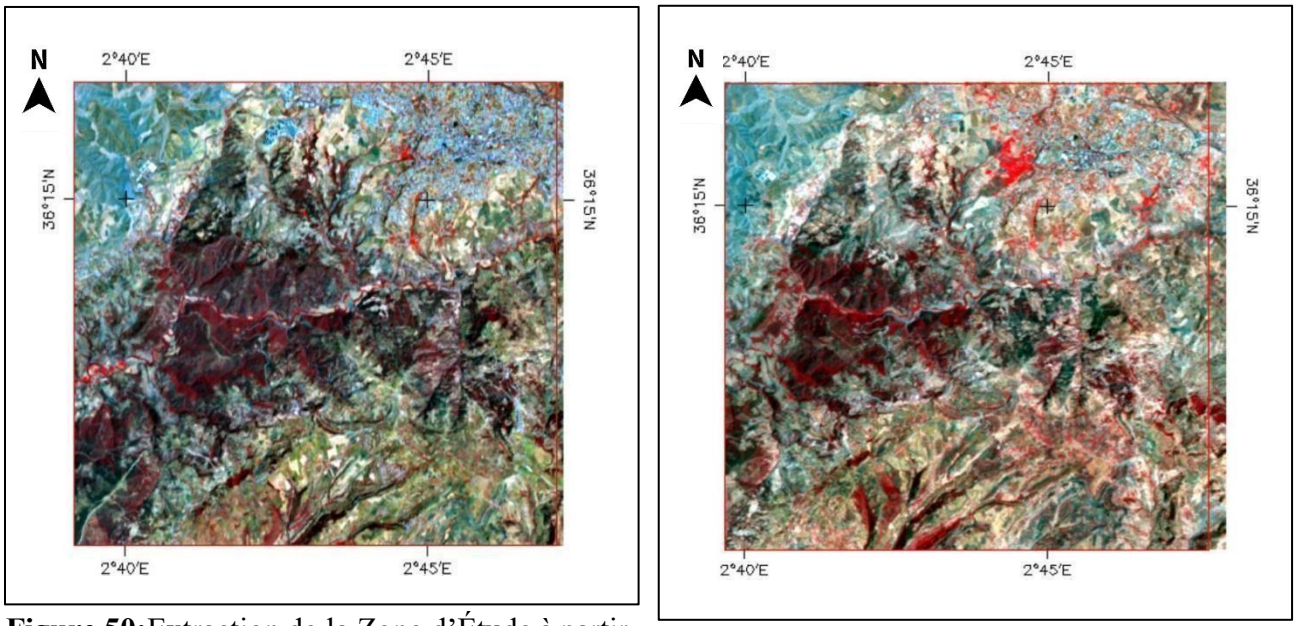


Figure 50: Extraction de la Zone d’Étude à partir des Images Satellitaires Landsat (2002-2024)

III Correction Géométrique des Images Satellitaires :

Suite au processus de correction géométrique, les images analysées ont été correctement positionnées selon le système de coordonnées de référence, garantissant ainsi un alignement exact avec les couches géospatiales déjà présentes

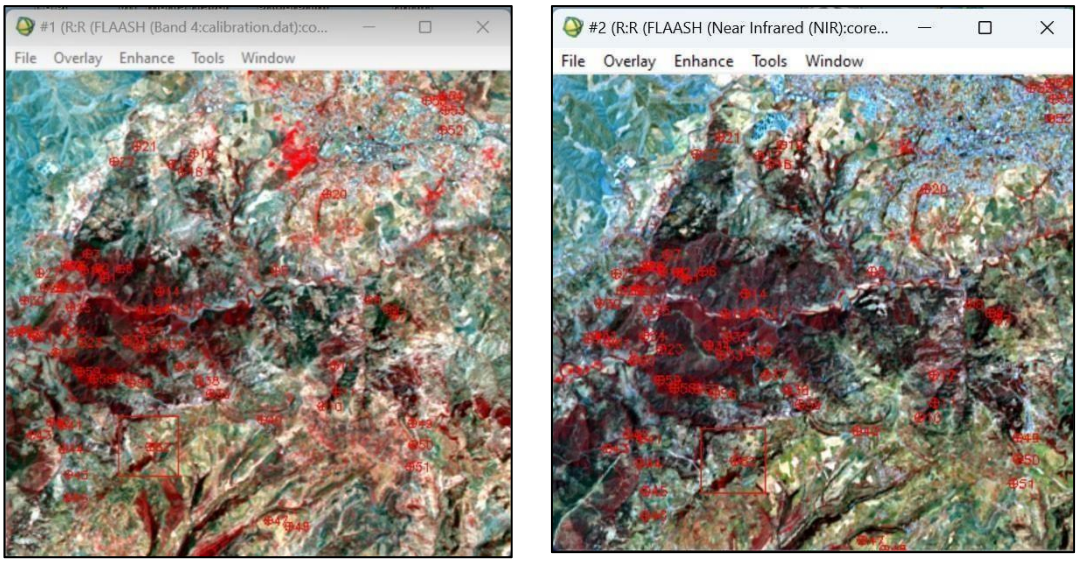


Figure 51:Localisation des points d'appuis sur l'image à corriger et l'image de référence

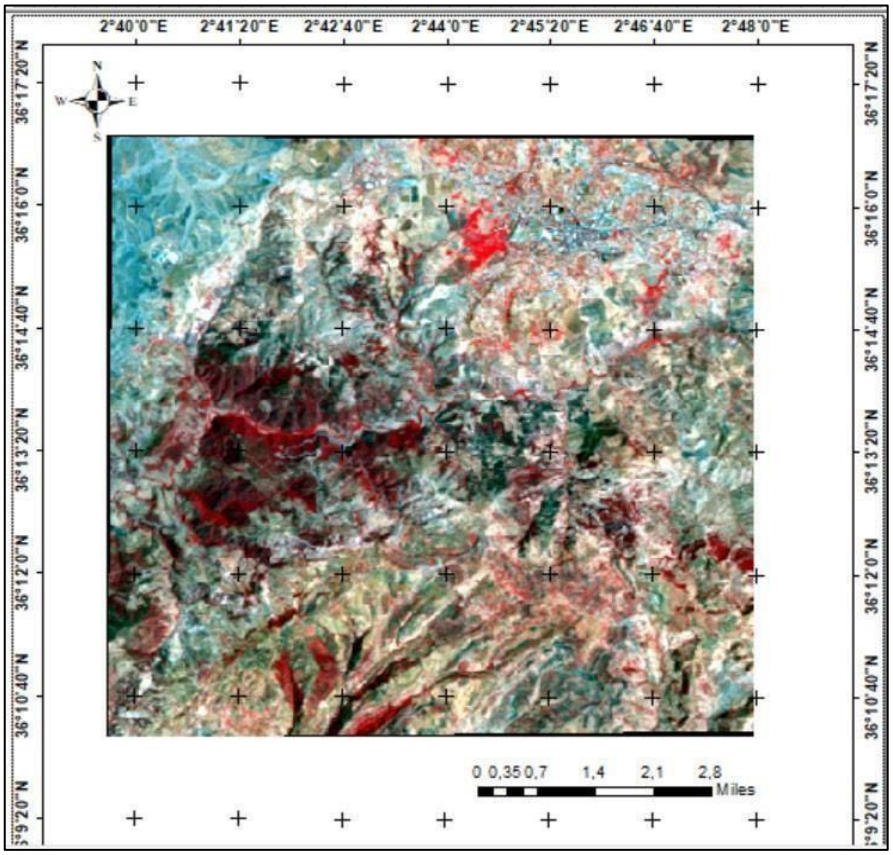


Figure 52: image corrigée géométrique 2002

IV. Composition colorée :

Les images suivantes illustrent la composition colorée des bandes spectrales, soulignant les diverses Caractéristiques naturelles et anthropiques de la région examinée

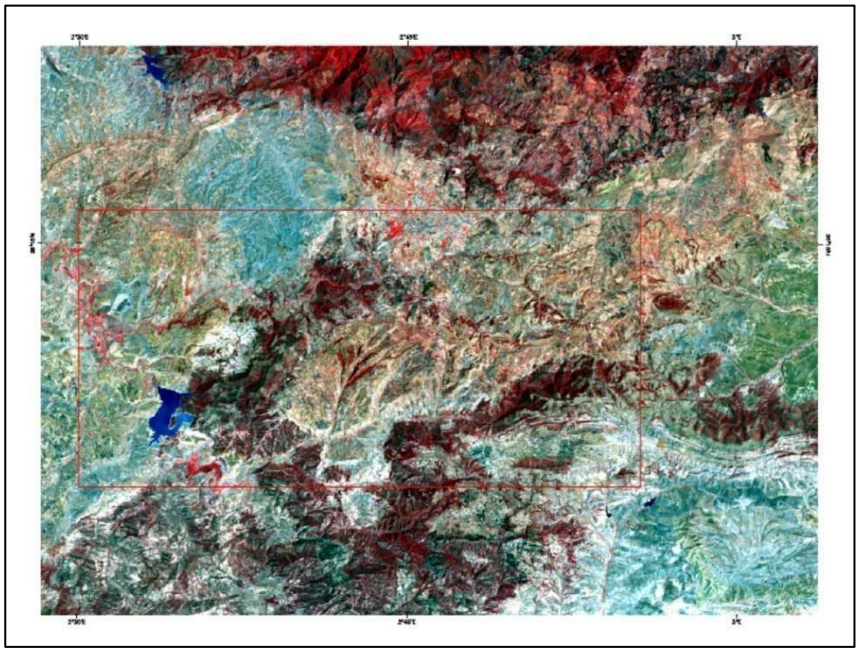


Figure 53: Image satellitaire Landsat 2002 composition colorée

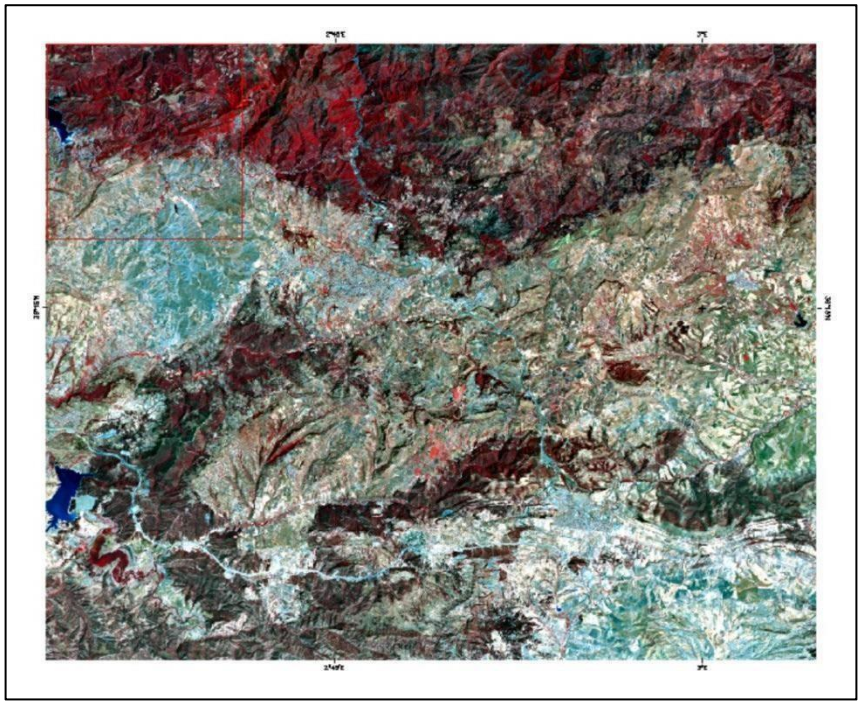


Figure 54: Image satellitaire Landsat 2024 composition colorée.

IV.1 Délimitation de la Zone d'Étude à partir d'un Fichier Vecteur :

Les deux images ci-dessous illustrent les cartes créées après l'extraction de la zone d'étude du fichier vectoriel, soulignant les entités spatiales présentes dans les limites spécifiées.

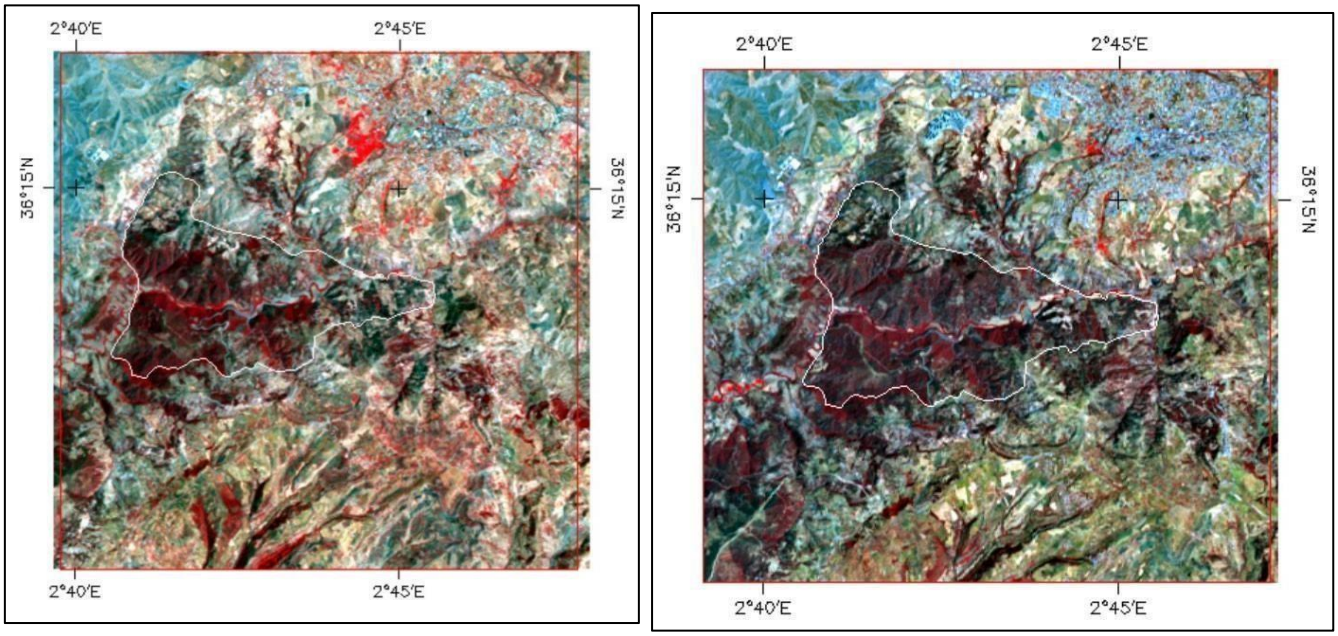


Figure 55:Délimitation de la Zone d'Étude à partir d'un Fichier Vecteur 2002_2024

- **Découpage (Masking) :**

Le découpage par masquage à l'aide d'un fichier vecteur consiste à utiliser une couche vectorielle (souvent au format shapefile) représentant les limites géographiques de la zone d'étude pour extraire uniquement la portion correspondante d'une image satellitaire.

Cette méthode permet de cibler précisément la région d'intérêt et d'éliminer les données superflues, facilitant ainsi l'analyse spatiale et la gestion des données

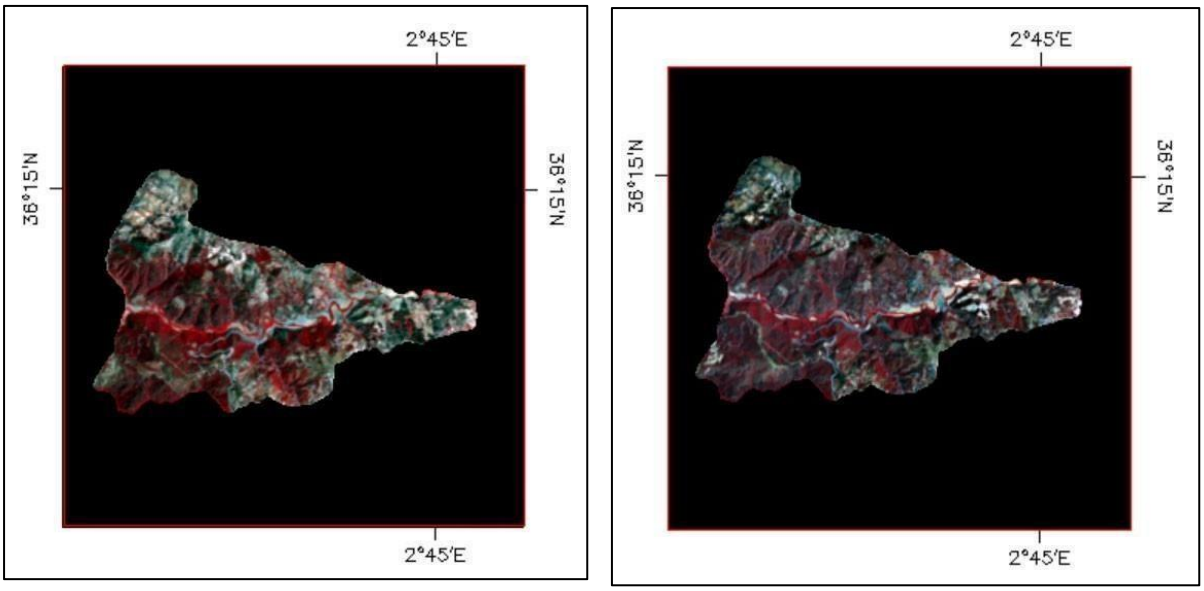


Figure 56: Découpage par Masquage de la Zone d'Étude sur une Image Satellitaire Landsat 2002_2024

V. Indice de Végétation NDVI (Normalized Différence Végétation Index) :

Dans notre recherche, l'indice de végétation s'est avéré extrêmement utile pour déterminer les classes de végétation, sans risque de les confondre avec d'autres classes non végétales. L'image résultante après ce processus est une image en niveaux de gris, dans laquelle les valeurs des pixels s'étendent de -1 (représentant le noir) à +1 (représentant le blanc).

Le logiciel ENVI offre la possibilité d'appliquer des couleurs en fausses couleurs selon les besoins. Nous avons opté pour la couleur verte, symbolisant la végétation. Les variations de vert suivent alors le même principe que les nuances de gris : plus le vert est clair et tend vers le blanc, plus l'activité chlorophyllienne est intense. À l'inverse, plus le vert devient foncé, moins la végétation est présente.

Nous avons observé une prédominance de la couleur noire dans le canal NDVI nouvellement créé, notamment au niveau des zones urbaines, des routes et des lits d'oueds, indiquant des zones de sol nu.

Nous avons ainsi identifié cinq catégories, basées sur le taux d'activité chlorophyllienne et la densité de la couverture végétale.

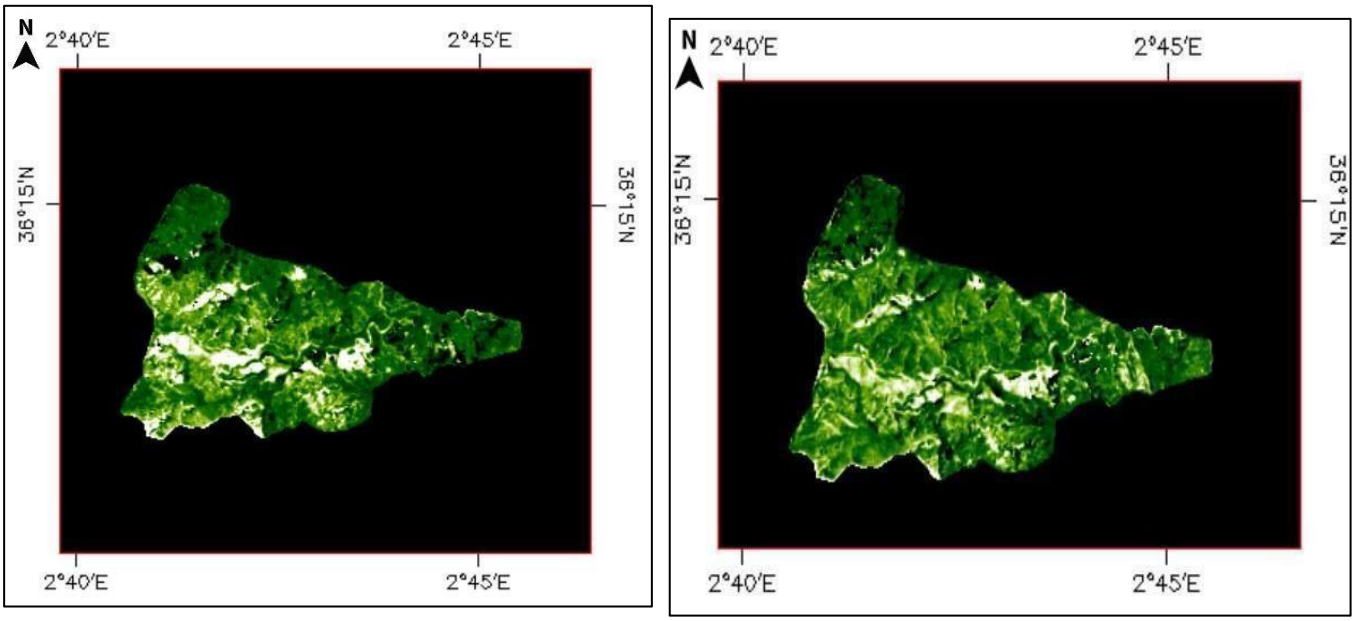


Figure 57:Évaluation spatio-temporelle de la dynamique de la végétation à l'aide de l'indice NDVI (2002–2024)

Le nouveau canal issu de l'analyse montre une gradation croissante de l'activité végétale, allant de :

- **Vert foncé** : indique un manque de couverture végétale.

❖ **Blanc** : représente une activité chlorophyllienne très intense

Donc :

❖ Vert Foncée ⟶ Moyen du couvert Végétal
❖ Vert clair ⟶ Faible du couvert Végétal
❖ Blanc ⟶ Forte du couvert Végétal

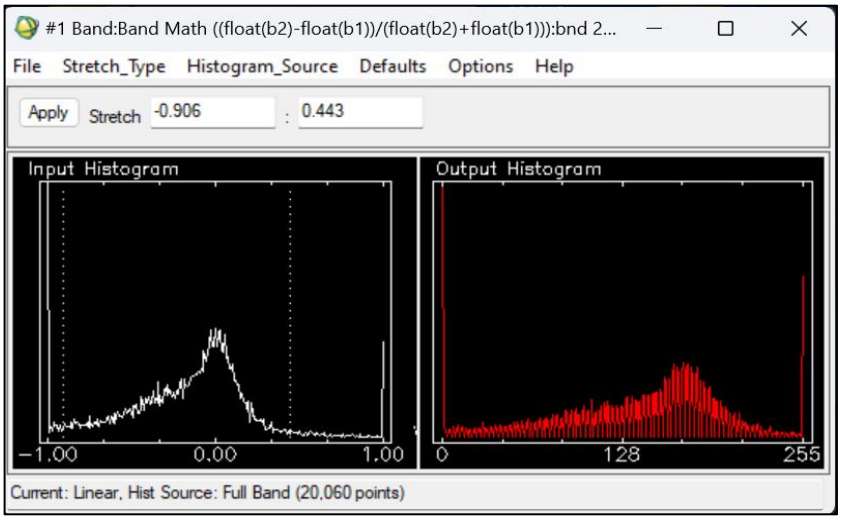


Figure 58: Histogramme de l'NDVI de la Zone d'Étude en 2002

L'histogramme présente une concentration élevée des valeurs dans les classes faibles du NDVI, principalement entre -0.1 et 0.1. Ce profil indique une prépondérance de terrains peu ou pas végétaux, voire dépourvus de toute activité végétale notable. Ce phénomène est caractéristique des environnements dégradés ou fortement anthropisés, comme les sols découverts, les zones de roches ou les zones construites.

D'un point de vue écophysiologique, ces faibles indices de NDVI indiquent une faible concentration en chlorophylle, ce qui traduit une végétation stressée, en sénescence ou non présente. L'état physiologique dégradé ou la rareté de la végétation à cette saison est attesté par la faible réflexion dans l'infrarouge proche, associée à une absorption modérée dans le rouge.

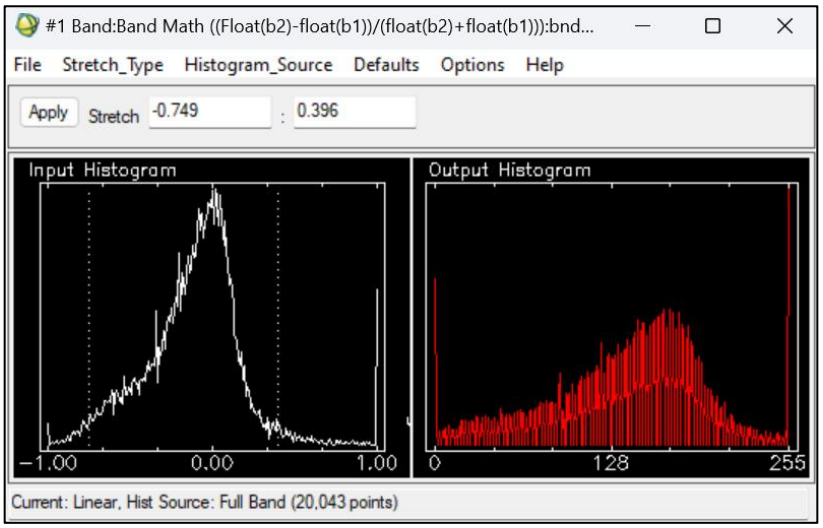


Figure 59:Histogramme de l'NDVI de la Zone d'Étude en 2024

L'histogramme indique une répartition des valeurs NDVI plus étendue et orientée vers des valeurs modérément hautes, présentant un maximum autour de 0.2 et une part significative de pixels atteignant 0.3 voire 0.4. Cette tendance indique une amélioration significative de la densité et de la qualité de la couverture végétale, illustrant une partiale régénération écologique de la région.

L'augmentation des valeurs NDVI reflète aussi une hausse de la concentration en chlorophylle, un indice direct de la santé des plantes. Cette progression peut découler d'une amélioration des conditions édaphiques ou climatiques, de l'introduction de méthodes agricoles plus durables, ou encore de programmes de reforestation ou de restauration des habitats.

V.1. Méthode de Seuillage :

La méthode de seuillage du NDVI consiste à classer les valeurs de l'indice en plusieurs intervalles afin de distinguer les types de couverture du sol selon leur densité végétale. Chaque plage de valeurs NDVI correspond à une catégorie précise (végétation dense, végétation faible, sol nu, etc.). Cette méthode permet de simplifier l'interprétation de l'image NDVI en produisant une carte thématique discrète, facilitant l'analyse spatiale et la quantification du couvert végétal.

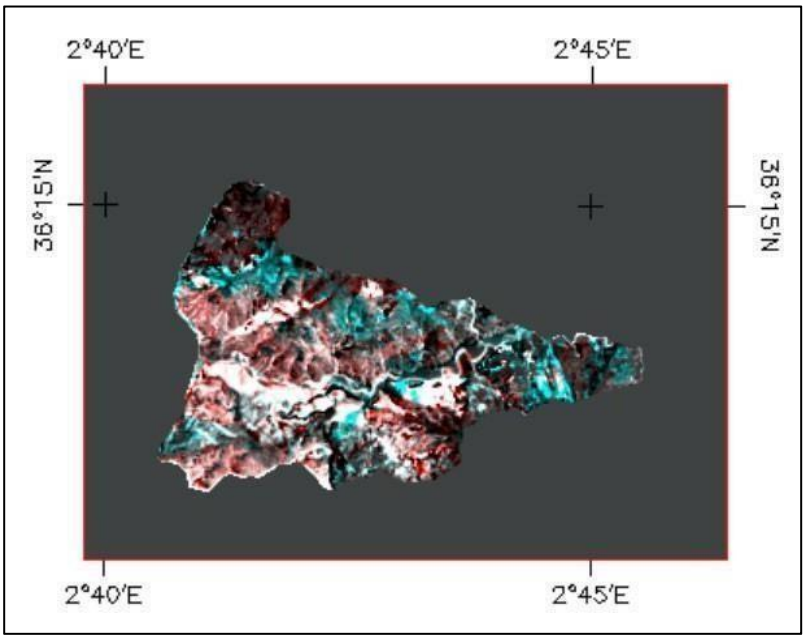


Figure 60: Carte thématique des classes NDVI obtenues par seuillage

V.2Classification de la Densité de Végétation à partir du NDVI :

_Les zones blanches visibles sur la carte NDVI indiquent des valeurs hautes (0.5 à 0.7), témoignant d'une activité chlorophyllienne intense, caractéristique des zones forestières bien fournies ou des cultures épaisses. Ces régions montrent une densité végétale élevée, probablement située dans des forêts de pins ou des formations naturelles soigneusement préservées.

_Les zones noires, affichant des valeurs NDVI entre 0.06 et 0.14, indiquent une densité de végétation faible, voire un manque total de couverture végétale. Ces zones sont habituellement des sols dégagés, des terrains modifiés par l'homme ou des régions affectées par la déforestation ou la sécheresse

Tableau 10: Les classes du NDVI

NDVI	Classes
0.06 à 0.14	Faible du couvert Végétal
0.14 à 0.32	Moyen du couvert Végétal
0.32 à 0.5	Dense du couvert Végétal
0.5 à 0.7	Forte du couvert Végétal

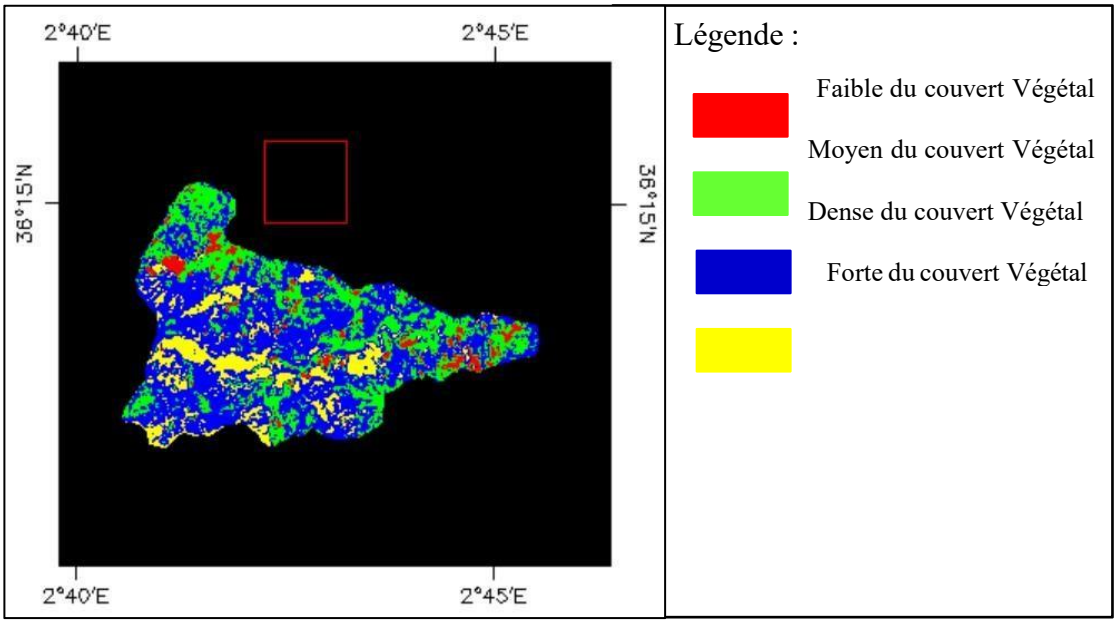


Figure 60 : carte de la Classification supervisée de Végétation à partir du NDVI – Année 2002

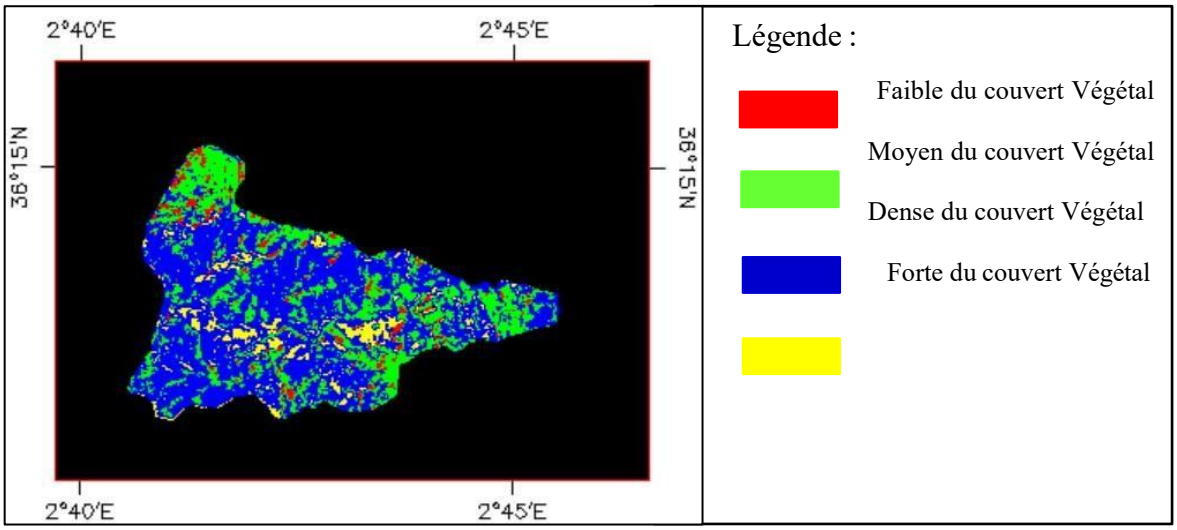


Figure 61:carte de de la Classification supervisée de Végétation à partir du NDVI – Année 2024

V.2Carte de changement de la végétation entre 2002 et 2024 :

L'analyse comparatif des deux cartes illustrant l'évolution de la végétation entre 2002 (à gauche) et 2024 (à droite) révèle des tendances spatiales significatives du couvert végétal dans la région analysée. Ces cartes catégorisent la végétation en cinq classes, depuis l'absence de couverture végétale jusqu'à une densité très élevée.

Dans l'ensemble, la progression entre les deux dates montre une tendance à la hausse notable, caractérisée par une croissance importante des zones à végétation dense, en particulier celles signalées en vert clair et vert foncé. Ces régions présentant une densité végétale élevée et très élevée se sont particulièrement développées dans les zones sud-ouest, centrale et sud-est . Cette amélioration indique l'impact positif de facteurs tels que la régénération naturelle,

les initiatives de reforestation ou l'application de politiques écologiques durables.

État en 2002 :

_La carte de 2002 affiche une prédominance des teintes beige et orange, surtout dans les zones nord et est du territoire, signalant une densité du couvert végétal qui va de faible à moyenne.

_Néanmoins, on note une présence significative de zones en vert clair et vert foncé dans la partie sud-ouest, qui symbolisent des zones à densité végétale élevée à très élevée.

_On note aussi une absence de végétation (jaune clair) sur une large zone du nord.

État en 2024 :

_La carte de 2024 présente une croissance notable des zones en vert clair et vert foncé, surtout dans le centre-sud et le sud-ouest, ce qui indique un renforcement de la densité végétative dans ces régions.

_On observe aussi une diminution des zones en jaune clair, indication d'une baisse des zones totalement dépourvues de végétation.

_Les régions à faible densité (en beige) ont également connu une baisse, ce qui indique une tendance vers la densification de la couverture végétale.

Plusieurs facteurs pourraient expliquer cette augmentation favorable de la couverture végétale entre 2002 et 2024 :

_Reboisement ou reforestation : des initiatives locales de reboisement pourraient avoir favorisé l'accroissement de la couverture végétale.

_Conditions météorologiques propices : une hausse des précipitations ou une distribution saisonnière améliorée peut stimuler le développement des plantes.

_Modifications de l'utilisation des sols : la diminution des pratiques agricoles extensives ou du surpâturage peut favoriser une régénération naturelle.

_Politiques écologiques : les initiatives de préservation, de sauvegarde des sols ou de combat contre la désertification ont pu être fructueuses.

_Défis liés à l'aménagement et à la gestion durable

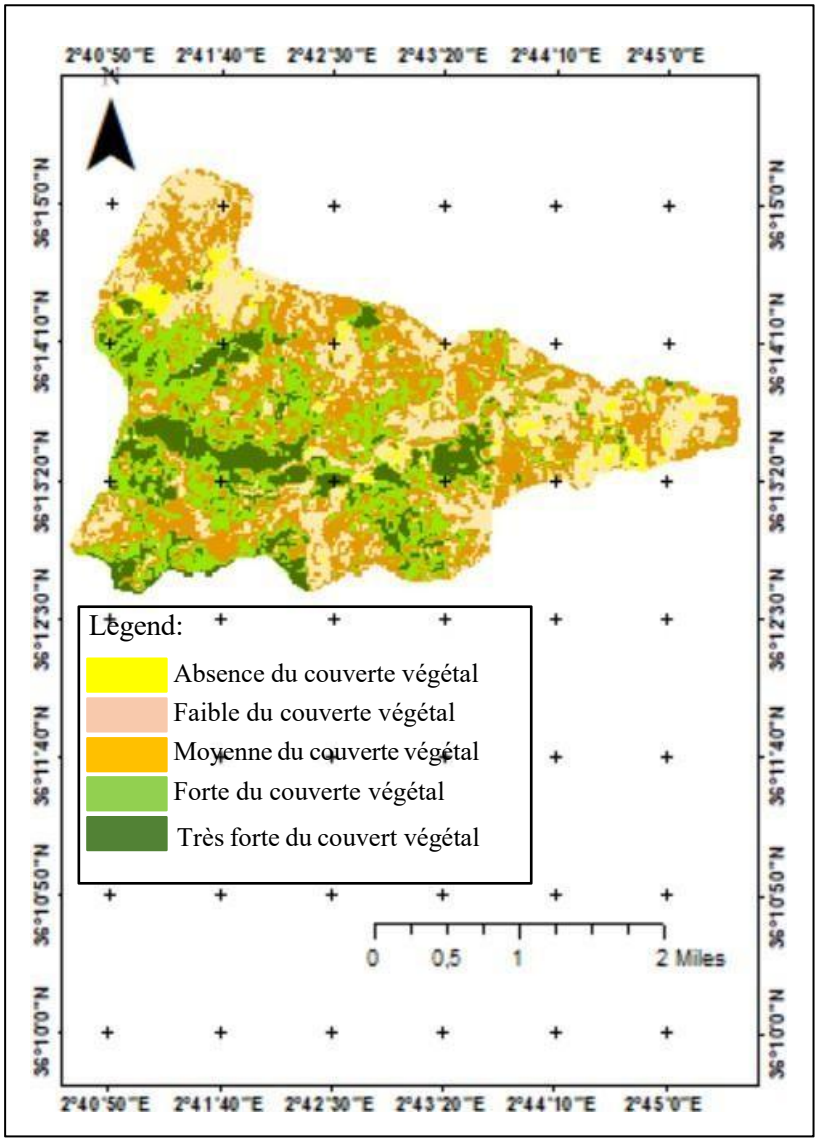


Figure 62: Carte de biomasse en 2002

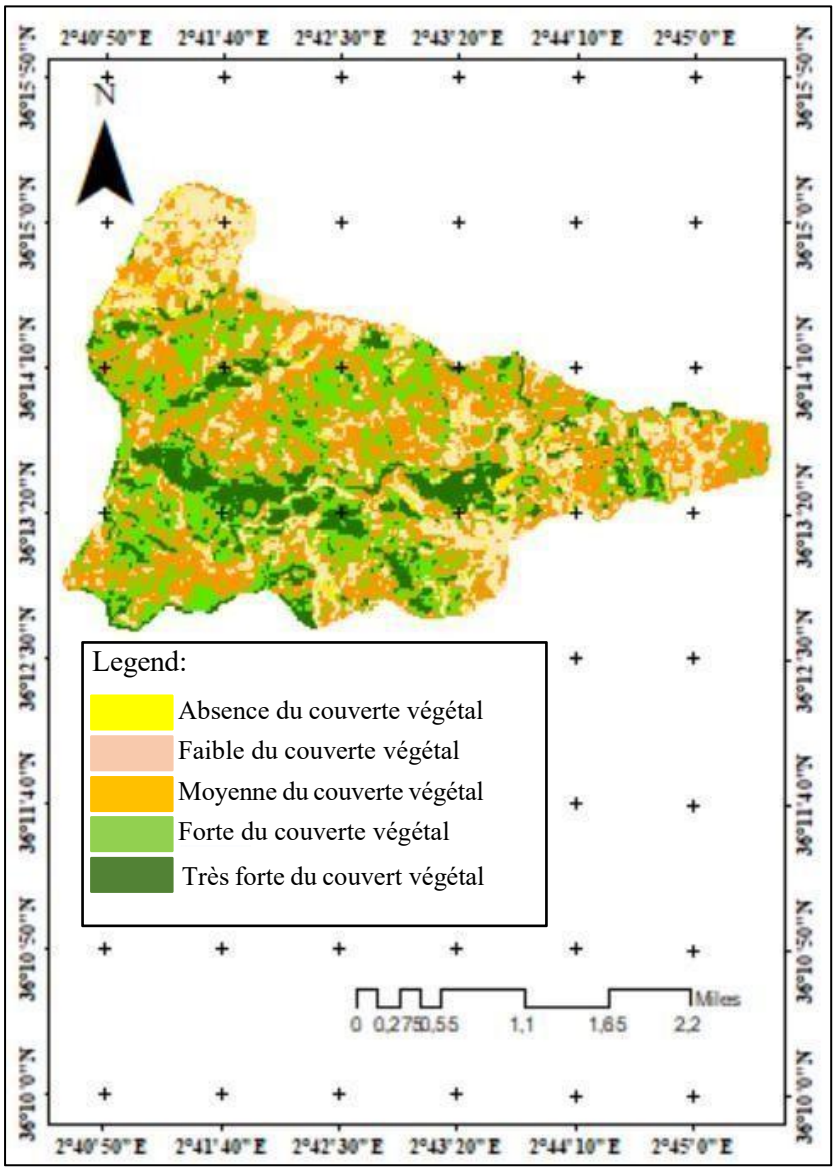


Figure 63: Carte de biomasse en 2024

VI Carte de changement :

La superposition des deux images NDVI (2002 et 2024) avec une image vide a facilité l'élaboration d'une synthèse additive qui peut nous informer sur les différents changements de la manière suivante :

_La prépondérance du rouge ou du vert signale la présence d'activité chlorophyllienne pour l'année liée à cette couleur.

Alors que le rouge indique une absence notable de végétation en 2024, c'est donc...Une dégradation de la végétation est notée, tandis que la teinte verte dénote un absence en végétation en 2002, ce qui représente une progression de la couverture végétale.

L'apparition de la couleur jaune signale la stabilité du couvert végétal, donc l'absence de modification.

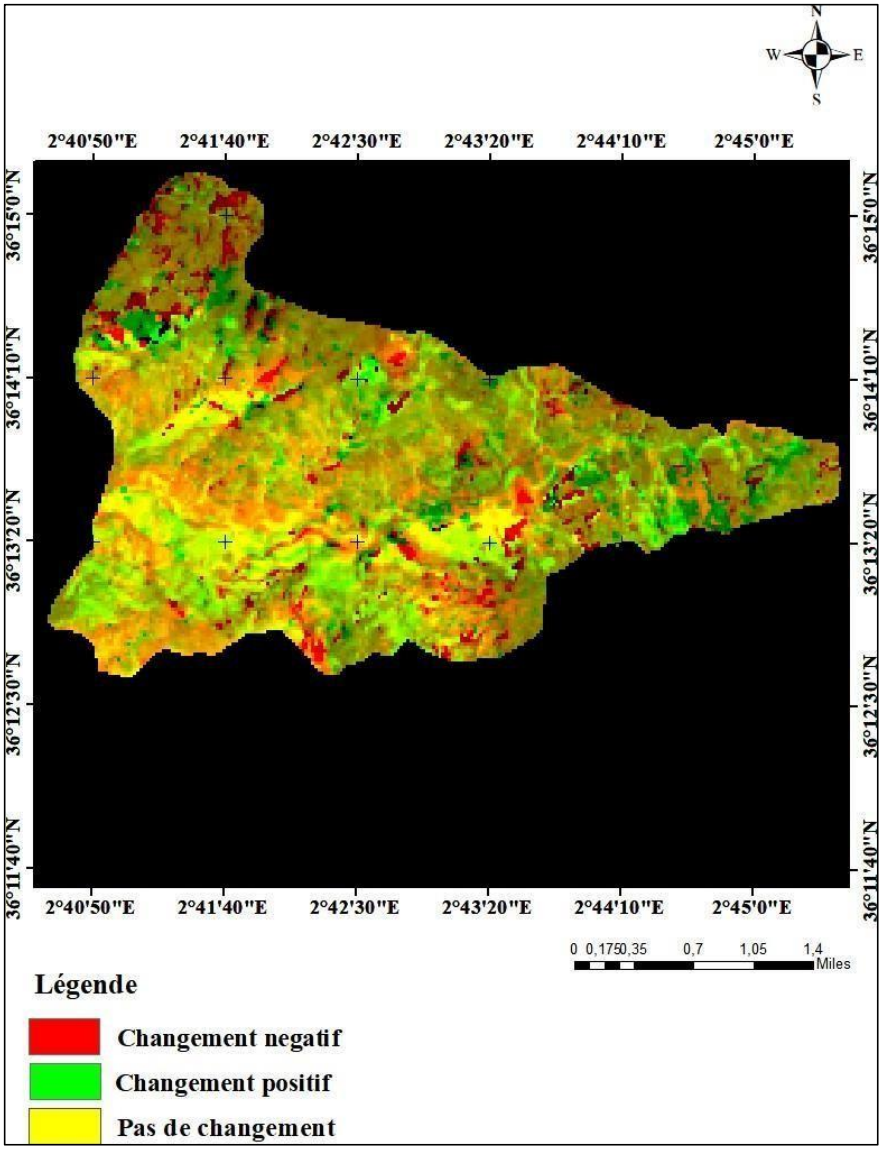


Figure 64: Carte de changement de végétation 2002-2024

V.II Classification supervisée :

L'analyse des deux cartes révèle des modifications importantes dans la distribution spatiale des types de couverture terrestre, illustrant ainsi l'évolution environnementale au sein de la zone examinée sur une durée de 22 ans.

Nous avons employé la classification supervisée dans le cadre de cette recherche.

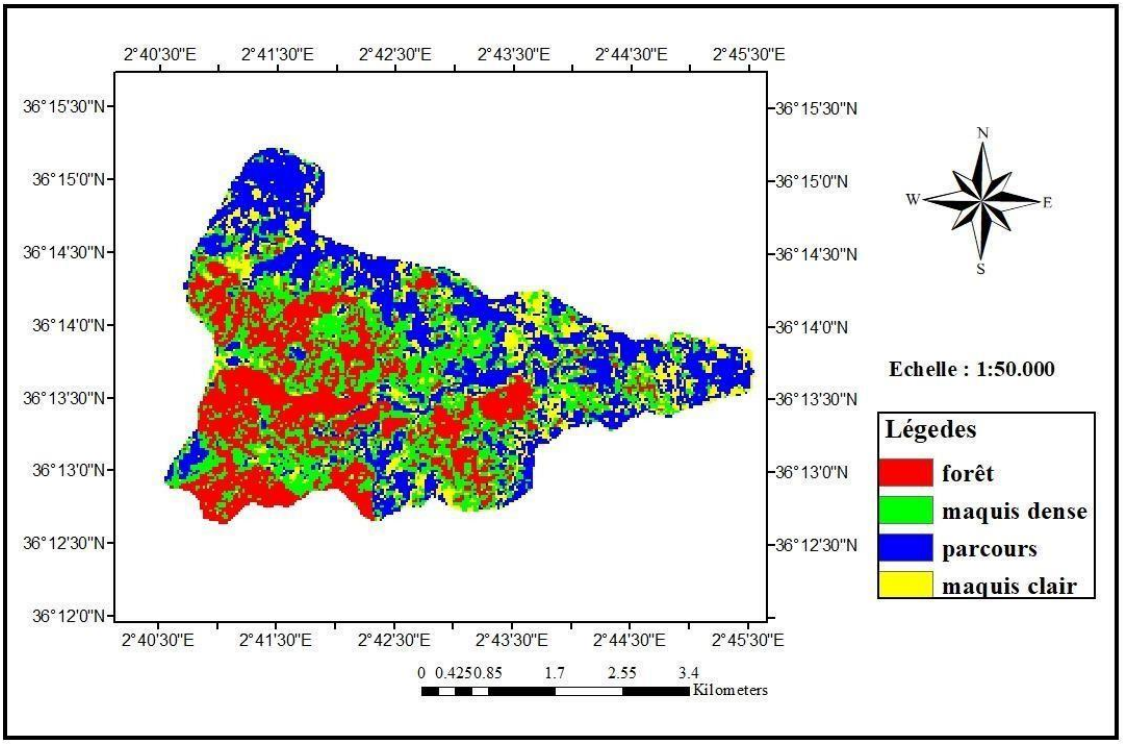


Figure 65: Classification supervisée de la Zone d'Étude 2002

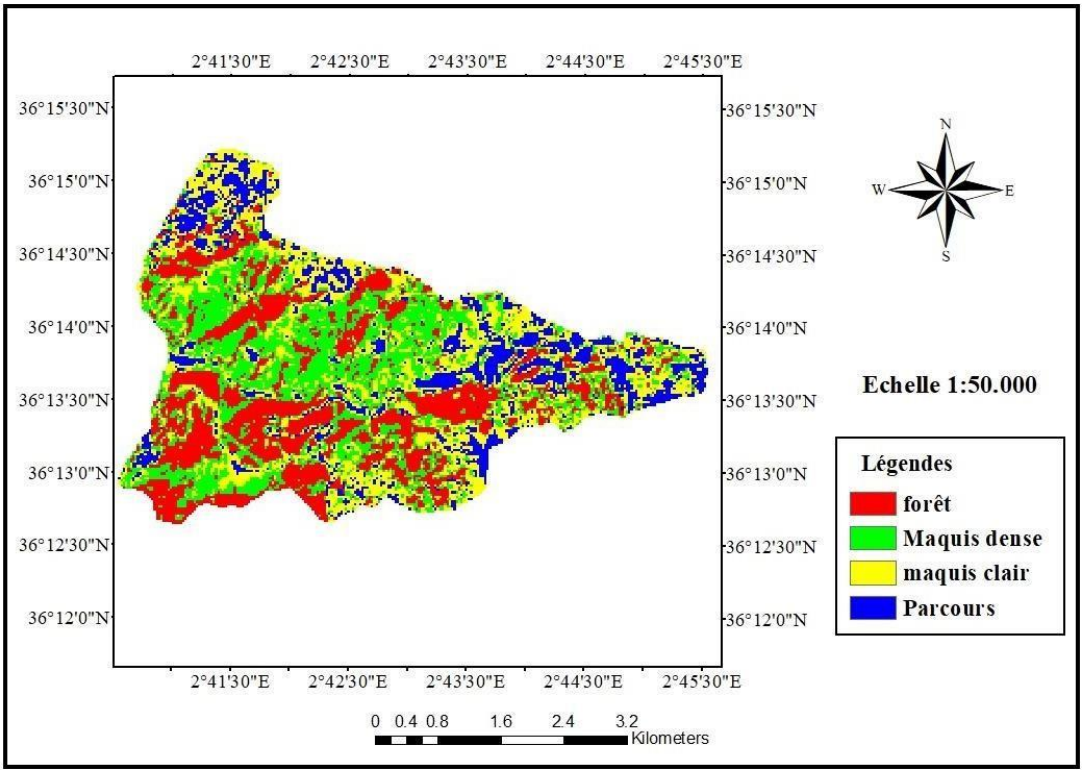


Figure 66: Classification supervisée de la Zone d'Étude 2024

- Progression de la forêt (classe rouge) :

De 2002 à 2024, on observe une croissance notable de la surface forestière, particulièrement dans la région centrale et au sud-ouest de la zone. Cette progression peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

Programmes de reboisement ou de restauration écologique mis en œuvre localement. Recolonisation naturelle de certaines zones délaissées par l'agriculture ou le pâturage.

- Évolution du maquis dense (classe verte) :

Le développement du maquis dense présente une évolution mitigée. On constate : On observe une stabilisation, voire même une légère amélioration, dans les régions du nord et du centre. Mais également un recul dans certains secteurs, en faveur de la forêt (reboisement) ou du maquis clair (dégradation).

Ces modifications peuvent illustrer simultanément :

Une succession écologique naturelle (le passage d'un maquis dense à une forêt)

- Évolution du maquis clair (classe jaune) :

Une augmentation significative du maquis clair est observée dans diverses zones, surtout dans le nord-est et certaines régions en périphérie.

Cette progression est fréquemment le symbole :

Suite à des activités humaines telles que le surpâturage, l'abattage de bois et les incendies, le maquis dense subit une détérioration.

D'un échec ou d'un ralentissement dans la régénération naturelle, qui entrave le rétablissement de la couverture végétale.

Cela peut aussi représenter une phase intermédiaire dans le processus de recolonisation végétale.

- Évolution des parcours (classe bleue) :

Entre 2002 et 2024, on observe une diminution significative des parcours, particulièrement dans les régions intérieures de la zone analysée.

Ceci peut être attribué à :

Une évolution des parcours en formations arbustives ou forestières, indiquant une Recolonisation progressive de ces zones par le maquis ou la forêt.

Une diminution des activités pastorales dans certaines régions, favorisant ainsi la régénération de la végétation.

Il est possible que dans certaines situations, les parcours aient été influencés par une

transformation en maquis clair, reflétant un accroissement du pâturage ou de la modification de l'utilisation des sols.

VII.1 occupation du sol :

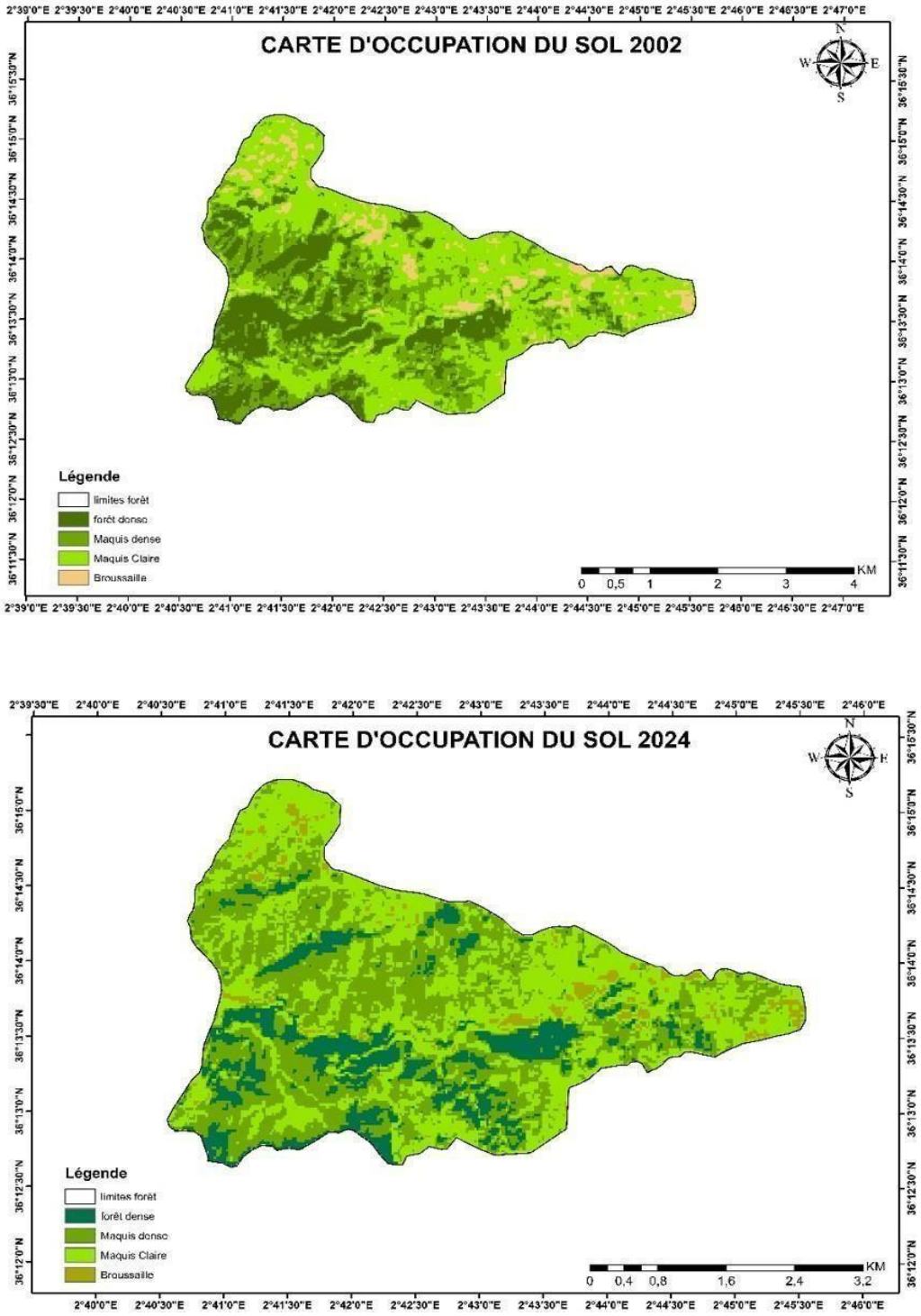


Figure 67:les carte d'occupation du sol 2002-2024

L'analyse comparatif des cartes d'occupation du sol pour les années 2002 et 2024 révèle des changements notables et accélérés dans la configuration paysagère de la région étudiée. Ces changements reflètent une activité spatiale dynamique, caractérisée essentiellement par un déclin du couvert forestier au bénéfice de formations végétales plus dégradées, comme le maquis clair et la broussaille.

- **Diminution notable des forêts de formation :**

En 2002, une proportion significative du territoire était couverte par des forêts denses, qui se trouvaient principalement dans la section sud et sud-ouest de la zone analysée. Ces zones, connues pour leur dense couverture arborée et leur riche biodiversité, ont subi une diminution significative de leur superficie au fil des deux décennies suivantes. En 2024, une large portion de ces forêts a cédé la place à des maquis touffus et des formations dégagées, illustrant un processus de déforestation graduel, probablement associé aux actions humaines. La diminution de la forêt dense entraîne également une dégradation qualitative du paysage végétal, caractérisée par la disparition des couches d'arbres supérieurs, perte de la flore ligneuse et l'émergence de formations secondaires écologiquement instables.

- **Expansion du maquis dense et clair :**

Entre 2002 et 2024, les maquis denses, qui sont des formations végétales secondaires fréquemment dérivées de la dégradation partielle des forêts, ont connu une croissance significative. Cette progression laisse entrevoir une transition écologique stimulée par des perturbations allant de modérées à considérables du couvert forestier, sans pour autant entraîner immédiatement l'élimination complète de la végétation arbustive.

De plus, la croissance significative du maquis clair en 2024 indique un processus de dégradation écologique déjà bien avancé, caractérisé par une végétation devenue plus rare, morcelée et susceptible aux dommages. On observe généralement ce genre d'utilisation des sols dans les régions constamment soumises à de fortes pressions, comme le surpâturage, l'usage de cultures par brûlis ou les défrichements répétés.

- **Apparition et progression de la broussaille :**

En 2024, la broussaille, qui était presque inexistante ou marginale en 2002, s'est transformée en un élément spatial significatif du paysage. Elle s'étend généralement sur les bordures des anciennes forêts ou dans les zones adjacentes aux maquis clairs, indiquant une phase finale de détérioration de la couverture végétale.

Cette formation, principalement caractérisée par une couverture herbacée et arbustive basse, témoigne non seulement d'une diminution de la résilience des écosystèmes environnants, mais aussi d'un processus de semi-aridification dans certaines régions, particulièrement vulnérables aux processus d'érosion hydrique et à l'augmentation de l'évaporation.

De 2002 à 2024, la région d'Oued Lahrech a connu une importante dégradation de sa couverture végétale, caractérisée par le recul des forêts arborées en faveur de maquis, de broussailles et de terrains dénudés. Cette transformation est attribuable à la pression exercée par l'homme, aux modifications climatiques et au manque de gestion durable. Les répercussions sont sérieuses : déclin de la biodiversité, détérioration des sols, danger d'incendies et réduction de la qualité écologique. Il est donc crucial d'implémenter des stratégies de restauration, reforestation et gestion intégrée afin de sauvegarder

VIII. les feux de forêt de la zone d'étude 2002 a 2024 :

La carte présente la répartition spatiale et chronologique des feux de forêt survenus dans la zone d'étude entre 2002 et 2024. Chaque feu est représenté par une couleur distincte correspondant à l'année d'occurrence, selon la légende.

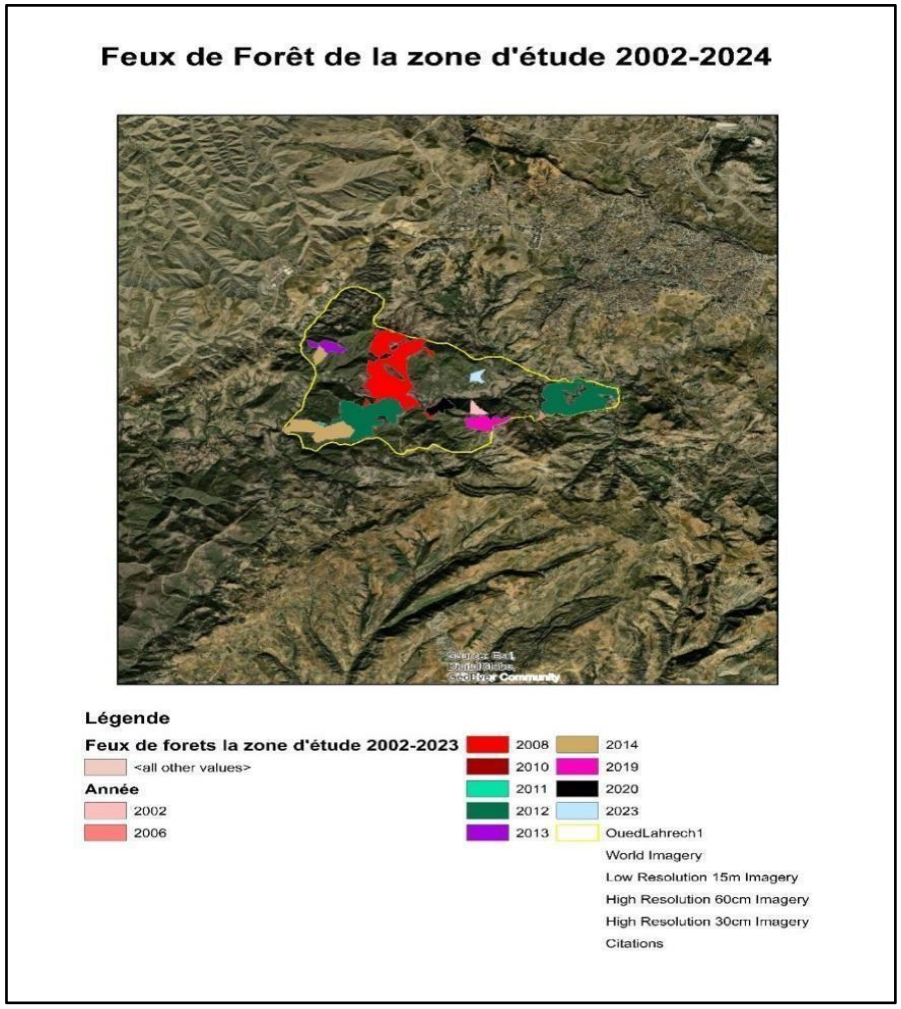


Figure 68:carte des feux de forêt de la zone étude

- **Analyse des changements en termes de formations forestières entre 2002 et 2024**

Dans cette étude, nous avons réalisé une cartographie des formations forestières dans un massif forestier d'Oued Lahrech. Ensuite, nous avons analysé les changements qui se sont produits dans ce massif forestier au cours de la période, s'étalant de 2002 à 2024.

Pour mieux comprendre l'origine de ces changements, nous avons également examiné les données relatives aux incendies de forêt survenus entre 2002 et 2024. L'objectif était d'évaluer si les changements observés étaient attribuables à ce phénomène naturel, étant donné qu'il n'y avait aucun moyen de les relier directement à d'autres causes telles que le défrichement ou d'autres activités anthropiques.

En croisant les résultats de la cartographie des formations forestières avec les données sur les incendies de forêt, nous avons cherché à établir des liens potentiels entre ces événements. Cela nous a permis d'obtenir des indications sur l'impact des incendies de forêt sur les changements observés dans le massif forestier.

Cette approche nous a fourni des informations précieuses pour mieux comprendre la dynamique des formations forestières dans le contexte des incendies de forêt. Cependant, il est important de noter que cette étude ne permet pas d'établir des conclusions définitives quant à la cause des changements observés. D'autres facteurs tels que le défrichement ou d'autres activités anthropiques pourraient également contribuer à ces changements. Par conséquent, des études supplémentaires et une analyse plus approfondie seraient nécessaires pour obtenir une compréhension complète de ces phénomènes.

- **Analyse chronologique des feux :**

La carte indique que des incendies de forêt ont eu lieu de manière répétée au cours des années, illustrant ainsi une occurrence fréquente des feux :

2002 et 2006 : détection des premiers incendies, signalant le commencement de la série de feux. Ces incendies ont principalement affecté la région du sud-ouest.

2008 à 2014 : période caractérisée par une aggravation des incendies, avec une expansion plus significative vers le centre et le nord.

2019 à 2023 : augmentation marquée des incendies, en particulier dans les régions centrale et orientale.

La plus récente cartographie des incendies remonte à **2023**, démontrant que ce phénomène reste d'actualité et source de préoccupation.

- **Analyse spatiale :**

_Les feux sont concentrés dans certaines zones récurrentes, indiquant des points chauds

ou "hotspots" d'incendies.

_Les secteurs les plus touchés se trouvent dans le centre-ouest, mais les feux s'étendent aussi vers l'est.

_Cette répartition non uniforme peut être liée à plusieurs facteurs :

Type de végétation (forêt dense, maquis, broussaille), Relief et accessibilité, Activités humaines (agriculture, défrichement, négligence, pyromanie).

- **Synthèse statistique :**

Tableau 11: Superficies brûlées par les incendies de forêt dans la zone d'étude entre 2002 et 2023

Année	Superficie(hectar)
2002	9,25
2006	5,42980000000
2008	6,71252000000
2008	201,34600000000
2010	3,01052000000
2011	7,71088000000
2012	121,10200000000
2012	112,31800000000
2013	17,59880000000
2014	61,75990000000
2014	10,97660000000
2019	27,36610000000
2020	17,23470000000
2023	8,98001000000

Cette distribution met en évidence **deux périodes critiques** :

- **2008 à 2014**, marquée par une **multiplication et intensification des feux**,
- **2019 à 2023**, caractérisée par une **résurgence du phénomène**, bien que de moindre ampleur.

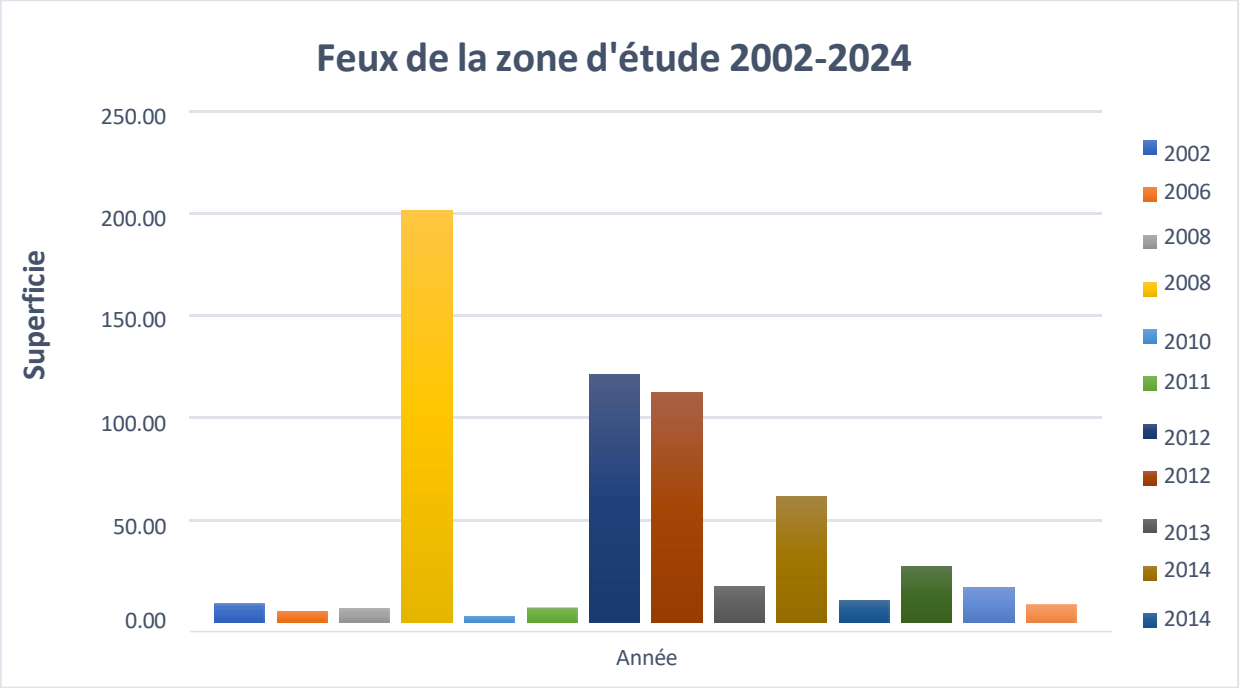


Figure 69 : histogramme des feux de la zone étude entre 2002-2024

CONCLUSION

Conclusion Générale :

L'analyse comparative visuelle de l'image NDVI de 2002 et celle de 2024 concernant la région d'Oued Lahrech révèle clairement, grâce aux diverses nuances de vert, que l'image de 2024 met en évidence des zones plus sombres que celle de 2002. Ceci indique qu'en 2024, l'activité chlorophyllienne est plus intense, ce qui témoigne d'une végétation plus étendue et physiologiquement active. Les données statistiques corroborent ce constat : en 2024, le NDVI a atteint un niveau plus élevé (0.457) comparativement à celui de 2002 (0.291). On peut donc inférer que la superficie occupée par la végétation s'est étendue durant cette période, ce qui indique un progrès de la couverture végétale et une amélioration possible des conditions écologiques ou des méthodes de gestion du territoire. Cette progression favorable de la végétation peut être expliquée par :

- Des initiatives locales de reboisement ou de reforestation.
- Une amélioration des conditions météorologiques (précipitations, températures).
- Des modifications dans l'utilisation des sols, telles que la réduction du surpâturage ou de l'agriculture intensive.
- La mise en œuvre de politiques écologiques locales et nationales.

.En résumé, ce travail montre l’efficacité des outils de télédétection et de SIG pour suivre et analyser l’évolution spatio-temporelle de l’occupation du sol et de la végétation. Ces techniques offrent des perspectives prometteuses pour la gestion durable des espaces naturels, notamment forestiers, dans un contexte de pressions anthropiques croissantes et de changements climatiques.

Références bibliographiques

Barry, J. P., & Celles, J. (1974). *Étude biogéographique du territoire algérien*. Alger : Institut de Recherche Forestière.

Belouahem-Abed, D. (2012). *Fonctionnement des sols et dynamique des écosystèmes forestiers en zone méditerranéenne*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Benghanem, M. (2009). *Approche phytogéographique de la région du Hodna (Algérie)* [Thèse de Doctorat, Université de Batna].

BenKhatra, M., & Essahli, W. (2005). *La télédétection et les systèmes d'information géographique en Afrique : état des lieux et perspectives*. Tunis : Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS).

Bensaïd, A. (2006). *Géologie et milieux naturels en Algérie*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

BNEDER (Bureau National d'Études pour le Développement Rural). (2008). *Monographie de la wilaya de Médéa : Diagnostic agro-écologique et occupation des sols*. Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Bonnet, R., & Rochon, G. (1992). *Télédétection : principes et applications*. Paris : Masson.

Bottal, A., Chenchouni, H., & Gharzouli, R. (2009). *Étude de la diversité floristique et des formations végétales dans la région des Hautes Plaines algériennes*. Revue des Sciences de la Nature, 6(1), 45–58.

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (5e éd.). New York: Guilford Press.

Centre Canadien de Télédétection (CCT). (s.d.). *Tutoriels sur la télédétection*. Ressources naturelles Canada. [Disponible en ligne sur le site de RNCan : https://www.nrcan.gc.ca]

Centre National des Techniques de Cartographie (CNTC), Boumerdès. (2010). *Carte de relief de la wilaya de Médéa*. Boumerdès : Ministère de la Défense Nationale, Institut Géographique et Cartographique National.

Chakroun, A. (2014). *Systèmes d'Information Géographique et Gestion de l'Espace*. Constantine : Éditions Université Constantine 1.

Conservation des Forêts de la Wilaya de Médéa (CFM). (2012). *Inventaire de la faune sauvage et évaluation de la biodiversité dans la région forestière d'Oued Lahrech*. Médéa : Direction Générale des Forêts.

Conservation des Forêts de la Wilaya de Médéa. (2014). *Rapport annuel d'activités et d'évaluation des ressources forestières de la wilaya de Médéa*. Médéa : Direction Générale

des Forêts.

Dajoz, R. (2003). *Précis d'écologie* (8e éd.). Paris : Dunod

Derdjini, H. (2017). *Télédétection et systèmes d'information géographique : Concepts, méthodes et applications*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Derdjini, H. (2017). *Télédétection et systèmes d'information géographique : Concepts, méthodes et applications*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Djebaili, Z. (1984). *Le climat de l'Algérie : Approche régionale*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Drury, S. A. (2001). *Image Interpretation in Geology* (3e éd.). Londres : Nelson Thornes.

El Ouardighi, J., Bouziane, A., & Laaribi, A. (2016). *Application des SIG et de la télédétection à la gestion des ressources naturelles au Maroc : cas du bassin versant de l'Oum Er-Rbia*. Revue Marocaine de Géomatique, 18, 22–35.

Élie, P. (2010). *Climatologie générale et appliquée*. Paris : Armand Colin.

Faivre, R. (2018). *Télédétection : Capteurs, résolutions et interprétation des images*. Cours universitaire, Université de Bourgogne Franche-Comté.

Halfaoui, H. (2017). *Étude de la vulnérabilité des ressources naturelles de la wilaya de Médéa à partir des outils de la télédétection et des SIG* [Mémoire de Master, Université de Blida 1]. Université Saad Dahlab - Blida.

Halimi, A. (1999). *Hydrologie générale : Cours et applications*. Alger : Éditions de l'Université.

Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective* (2e éd.). Upper Saddle River : Prentice Hall.

Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4e éd.). New York: Pearson.

Journal Officiel du 11 décembre 1980 :Journal Officiel de la République Française, 11 décembre 1980. Définition officielle de la télédétection dans le cadre des terminologies normalisées en sciences et techniques.Journal

Joyce, K. E., Belliss, S. E., Samsonov, S. V., McNeill, S. J., & Glassey, P. J. (2009). *A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters*. Progress in Physical Geography, 33(2), 183–207.

Kadik, A. (1987). *Éléments de climatologie agricole de l'Algérie*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Kebladj aymen & Taibi messaouda,2023. Impact des changements climatiques dans la wilaya de Médéa évaluation écologique université Dr yahia Fares de Médéa page 38 39 41 44

Kerr, J. T., & Ostrovsky, M. (2003). *From space to species: ecological applications for remote sensing*. Trends in Ecology & Evolution, 18(6), 299–305.

KHOUDIR S., 2012 : Etude de la désertification dans la région du Hodna (Wilaya de M'sila). Mémoire de Magistère, enEcologie et Environnement, USTHB, 105p.

KHOUDIR S., et TRAORE Y., 2003 : Cartographie des unités paysagères de la région de Mécheria, Mémoire d'ingénieur, Ecosystèmes forestiers et steppiques. USTHB, 69p.

Kouidri, M. (1999). *Étude agroclimatique de la wilaya de Médéa et impact sur la répartition des cultures*. Blida : Institut National Agronomique (INA).

Lapie, L. (1909). *Esquisse géographique de l'Algérie végétale*. Alger : Imprimerie Officielle.

Laurencin, C. (2008). *Systèmes d'information géographique : concepts et méthodologie*. Paris : Hermès Science Publications.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7e éd.). Hoboken: Wiley.

Maire, R. (1926). *Flore de l'Afrique du Nord*. Alger : Minerva.

Medjnoun, A. (2014). *Étude géologique et hydrogéologique de la région de Médéa : Contribution à la gestion des ressources en eau souterraine* [Mémoire de Master, Université de Blida 1]

Midekor, A., Oussou Lio, G. A., & Attakora, A. (2013). *Initiation à la télédétection : principes et applications en Afrique de l'Ouest*. Lomé : Éditions Universitaires Africaines.

Ministère de l'Agriculture. (1978). *Monographie agricole de la wilaya de Médéa*. Alger : Direction des Services Agricoles (DSA), Ministère de l'Agriculture.

Mulla, D. J. (2013). *Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps*. Biosystems Engineering, 114(4), 358–371.

Péguy, C. (1970). *Géographie physique : Climatologie générale et régionale*. Paris : Presses Universitaires de France (PUF).

Quézel, P., & Santa, S. (1962–1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* (2 tomes). Paris : CNRS.

Richards, J. A. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* (5e éd.). Berlin : Springer.

Soudani, K. (2005). *Introduction à la télédétection et traitement des images satellitaires*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Stéphanie, L., Dupont, F., & Moreau, A. (2011). *Notions fondamentales de télédétection*

spatiale. Paris : Université Paris Diderot – Département de Géographie. (Document pédagogique interne).

Tadjerouni, K. (2002). *Télédétection et Systèmes d'Information Géographique : Théorie et applications*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

UVED (Université Virtuelle Environnement et Développement durable). (2008). *Cours de télédétection : Signatures spectrales et applications environnementales*. France : Université virtuelle francophone – UVED.

Weng, Q. (2012). *Remote sensing of impervious surfaces in urban areas: Requirements, methods, and trends*. Remote Sensing of Environment, 117, 34–49.