



جامعة عباس لغرور خنشلة
ABBES LAGHROUR UNIVERSITY KHENCHELA

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA

جامعة عباس لغرور خنشلة



جامعة عباس لغرور خنشلة
ABBES LAGHROUR UNIVERSITY KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADIMIQUE

FILIERE : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production Végétale

Thème

***Etude et évaluation de la dynamique d'occupation des sols
agricoles par l'intégration de la télédétection et SIG, cas de
la plaine de Malagou Bouhmama (Khenchela)***

Présenté par : Mamoudou Amadou Moctar Sao

Soutenu le 15 /05 / 2025

Devant le jury composé de :

Président	Mr. BOULABEIZ Mahrez MCA	Université Khenchela
Encadreur	Mr. AOUIDANE Laiche MCA	Université Khenchela
Examinatrice	Mlle. AROUA Khaoula MCA	Université Khenchela
Invité	Mme. KEMINI Amel IngePri	DSA

Année universitaire 2023/ 2024

Remerciement

Au terme de mettre un point final à ce travail mes profonds remerciements vont avant tout au bon Dieu et son prophète PSL de m'avoir donné la force et la patience de mener à terme ce travail.

Je tiens également à exprimer mes profondes gratitudes et sincère remerciements à mon encadreur Monsieur **AOUIDANE LAICHE** pour la qualité de son encadrement Exceptionnel, pour sa confiance, sa patience, sa rigueur et sa disponibilité ; ses remarques importantes ; tout au long du travail.

Je remercie également le chef de département de production végétale et tous les enseignants du département pour tout le savoir qu'ils m'ont donné durant mon cursus universitaires.

Je remercie aussi l'ensemble de l'administration de université **ABBES LAGHROUR KHENCHELA** si ces quelques mots ne pourront être à la mesure de ce que je leur doit.

Mes remerciements vont particulièrement s'adresser à mes parents ma famille amis et mes camarades pour leurs aides et encouragements.

En fin je remercie toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents ; honorable ; aimable ; vous présentez le symbole de mon bonheur par excellence et l'exemple de dévouement qui n'as pas cessé de m'encourager. Aucune dédicace n'aurait été assez élégante pour exprimer ce que vous méritez. Puisse dieu vous préservez et vous accordez une santé, une longue vie et bonheur.

A ma chère grand-mère Khady Courba Sahaba Ely Mamadou Bachir Aw et ma tendre mère Aissata Khady Coumba source d'affection de courage et d'inspiration qui ont autant sacrifiées pour moi voir atteindre ce jour.

A mon père Amadou Moctar Sao source de respect en témoignage pour tout l'effort qu'il m'a toujours apporté.

Une spéciale dédicace a mon oncle Alassane Djiby ngame source de respect en témoignage de mes profonds reconnaissances pour tout l'effort et le soutient incessant qu'il m'a toujours apporté.

A tous mes amis Maaouya houd, Mahmoud Heiba, Mohamed Kader, Moustapha, Sanoussi, Yahya, Dahane ,Hamma, Habiboulah

A tous ceux qui ont contribué pour que ce projet soit possible, je vous dis
Mercie. Je vous aime tous en ALLAH.

Résumé

Ce mémoire analyse l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des sols dans la plaine de Malagou (commune de Bouhmama, wilaya de Khenchela) entre 1994 et 2024 à travers une approche combinant télédétection, SIG et calcul d'indices de végétation. L'étude révèle une transformation significative du paysage marquée par une régression des forêts (passant de 28% à 9% en 2014 avant une légère reprise à 23% en 2024), une expansion des garrigues (atteignant 50% en 2014) et une augmentation des surfaces agricoles (de 5% à 13%) principalement due au développement de la pomiculture intensive. L'analyse comparative des indices NDVI, SAVI et EVI démontre la supériorité des indices SAVI et EVI pour le suivi des écosystèmes semi-arides, avec une meilleure correction des effets atmosphériques et de la réflexion du sol nu. Les principaux défis identifiés incluent la dégradation des sols, la pression sur les ressources en eau et les impacts du changement climatique, particulièrement manifestes à travers l'augmentation des épisodes de sécheresse et des vents de sirocco. Face à ces enjeux, l'étude recommande l'adoption d'une gestion intégrée des territoires combinant surveillance par télédétection (en privilégiant les indices SAVI et EVI), protection et restauration des écosystèmes forestiers, rationalisation de l'usage de l'eau en agriculture, et encadrement de l'expansion urbaine. Les résultats soulignent le potentiel des outils géospatiaux pour éclairer les décisions en matière d'aménagement du territoire tout en mettant en lumière la nécessité de concilier développement agricole et préservation des ressources naturelles dans cette région des Aurès. Cette recherche contribue ainsi à une meilleure compréhension des dynamiques environnementales en zones semi-arides et offre des pistes concrètes pour une gestion durable des paysages agroforestiers.

Mots Clé : Couvert végétale, Télédétection & SIG, Malagou, LULC, SAVI, EVI, NDVI.

ملخص

موضوع الدراسة: دراسة وتقييم ديناميكية استخدام الأراضي الزراعية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

تدرس هذه الورقة البحثية التطور الزمني والمكاني لاستخدامات الأراضي في سهل ملقو (بلدية بوحمامة، ولاية خنشلة) في الفترة الممتدة من 1994 الى 2024 من خلال منهجية متكاملة تجمع بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وتحليل مؤشرات الغطاء النباتي، حيث كشفت الدراسة عن تحولات كبيرة في المشهد الطبيعي تميزت بتراجع المساحات الغابية من 28% إلى 9% عام 2014 ثم تعافٍ جزئي إلى 23% عام 2024، وتوسع الأراضي الشجرية القميّة التي وصلت إلى 50% عام 2014، وزيادة المساحات الزراعية من 5% إلى 13% بسبب انتشار بساتين التفاح المكثفة، كما أظهر التحليل المقارن لمؤشرات (EVI، SAVI، NDVI) تفوق مؤشري SAVI وEVI في رصد النظم البيئية شبه الجافة نظراً لقدرتها الأفضل على تصحيح التأثيرات الجوية وانعكاس التربة العارية، وحددت الدراسة التحديات الرئيسية المتمثلة في تدهور التربة والضغط على الموارد المائية وتأثيرات التغير المناخي خاصة الجفاف ورياح السيروكو، وتوصي الدراسة باتباع نهج متكامل لإدارة الأراضي يشمل الرصد بالاستشعار عن بعد باستخدام SAVI وEVI وحماية واستعادة النظم البيئية الغابية وترشيد استخدام المياه الزراعية وتنظيم التوسع العمراني، حيث تسلط النتائج الضوء على إمكانات الأدوات الجيومكانية في دعم قرارات التخطيط العمراني مع التأكيد على ضرورة الموازنة بين التنمية الزراعية والحفاظ على الموارد الطبيعية في منطقة الأوراس.

الكلمات المفتاحية: الغطاء النباتي، الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية، LULC, SAVI, NDVI, EVI

Abstract

Title: Study and Assessment of Agricultural Land Use Dynamics through the Integration of Remote Sensing and GIS: Case of the Malagou Plain, Bouhmama (Khenchela).

This memoire examines the spatiotemporal evolution of land use in the Malagou plain (Bouhmama municipality, Khenchela province) between 1994 and 2024 through an integrated approach combining remote sensing, GIS, and vegetation indices analysis. The study reveals significant landscape transformations characterized by forest decline (from 28% to 9% in 2014 before partial recovery to 23% in 2024), expansion of scrubland (reaching 50% in 2014), and increased agricultural areas (from 5% to 13%) primarily driven by intensive apple orchard development. Comparative analysis of NDVI, SAVI, and EVI indices demonstrates the superiority of SAVI and EVI for monitoring semi-arid ecosystems, with better correction of atmospheric effects and bare soil reflectance. Key challenges identified include soil degradation, water resource pressure, and climate change impacts, particularly evident through increased drought episodes and sirocco wind events. To address these issues, the study recommends implementing integrated land management combining remote sensing monitoring (prioritizing SAVI and EVI indices), forest ecosystem protection and restoration, rationalization of agricultural water use, and controlled urban expansion. The findings highlight the potential of geospatial tools to inform land-use planning decisions while emphasizing the need to balance agricultural development with natural resource conservation in this Aurès region. This work contributes to a better understanding of environmental dynamics in semi-arid areas and provides concrete pathways for sustainable agroforestry landscape management.

Liste des Figures

FIGURE 1. LA REPARTITION MONDIALE DES FORETS, PAR DOMAINE CLIMATIQUE (FAO, 2020).	7
FIGURE 2. CARTE DE LA DENSITE DU COUVERT VEGETALE ET SENSIBILITE A LA DESERTIFICATION DANS L'ALGERIE (BENSLIMANE, HAMIMED, EL ZEREY, KHALDI, & MEDERBAL, 2008).	8
FIGURE 3. LES COMPOSANTS D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	16
FIGURE 4. TELEDETECTION A L'AIDE DES SATELLITES (CPS, 2011).....	22
FIGURE 5. ILLUSTRATION DE LA TELEDETECTION ACTIVE ET PASSIVE DANS L'ETUDE DE L'ENVIRONNEMENTALE	23
FIGURE 6. CARTE DES RELIEFS DE LA ZONE D'ETUDE BOUHMAMA KHENCHELA (ALGERIE). 24	
FIGURE 7. VARIATION DES PRECIPITATIONS MOYENNE MENSUELLE DE KHENCHELA SME, 2019	25
FIGURE 8. VARIATION MENSUELLE DES T° DE LA REGION D'ETUDE BOUHMAMA (SME 2009- 2019).....	26
FIGURE 9. DIAGRAMME DES MOYENNES DES VITESSES DES VENTS DE LA SME (2009-2019. 27	
FIGURE 10. ORGANIGRAMME DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE A SUIVRE	32
FIGURE 11. LA REPARTITION DE L'OCCUPATION DES TERRES DE PLAINE DE MALAGOU (1994)	40
FIGURE 12. LA REPARTITION DE L'OCCUPATION DES TERRES DE PLAINE DE MALAGOU (2004).	40
FIGURE 13. LA REPARTITION DE L'OCCUPATION DES TERRES DE PLAINE DE MALAGOU (2014)	41
FIGURE 14. LA REPARTITION DE L'OCCUPATION DES TERRES DE PLAINE DE MALAGOU (2024)	42
FIGURE 15. GRAPHE D'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES TERRES DE LA PLAINE DE MALAGOU (1994-2004-2014-2024).....	43
FIGURE 16. CARTE DE REPARTITION DE L'OCCUPATION ET UTILISATION DES TERRES DU PLAINE MALAGOU (1994, 2004, 2014, ET 2024).....	44
FIGURE 17. L'EVOLUTION DES CLASSES DE L'INDICE DE VEGETATION (NDVI) DE LA PLAINE DE MALAGOU (1994, 2004, 2014, ET 2024).....	45

FIGURE 18. CARTES DE REPARTITION D'INDICE DE VEGETATION (NDVI) POUR LA PLAINE DE MALAGOU (1994, 2004, 2014, ET 2024).....	46
FIGURE 19. CARTES DE REPARTITION SPATIALE DE L'INDICE DE VEGETATION (SAVI) POUR LA PLAINE DE MALAGOU (1994, 2004, 2014 A 2024).	49
FIGURE 20. CARTE DE REPARTITION SPATIALE DE L'INDICE EVI POUR LA PLAINE DE MALAGOU POUR LA PERIODE (1994, 2004, 2014 ET 2024).....	50

Liste des Tableaux

TABLEAU 1. LES CARACTERISTIQUES DE LA SITUATION METEOROLOGIQUE D'EL HAMMA...	25
TABLEAU 2. TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES A LA STATION DE D'EL HAMMA POUR LA PERIODE (2009- 2019) EN (T°C) : SME, 2019	26
TABLEAU 3. CARACTERISTIQUE DES IMAGES SATELLITAIRES UTILISEES DANS L'ETUDE PLAIN DE MALAGOU	33
TABLEAU 4. COMPARAISON ENTRE LES TROIS INDICES DE VEGETATION LES PLUS UTILISEE ET LEUR IMPORTANCE.....	37
TABLEAU 5. EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DURANT 30 ANS	39

Table des matières

Résumé.....	I
ملخص.....	II
Abstract.....	III
Liste des Figures	IV
Liste des Tableaux	VI
Table des matières	VII
Introduction Générale	1
Chapitre I: Revue des connaissances sur la dynamique du couvert végétal et son suivi par télédétection et SIG	3
I.1. Définition de couvert végétal.....	3
I.1.1 Etudier le couvert végétal	4
I.1.2. Les zones écologiques de la Terre.....	5
I.1.3. La géographie des peuplements végétaux et animaux.....	6
I.1.5.2. Les groupements végétaux de type azonale.....	9
I.2. Méthodes d'étude des végétations.....	9
I.2.1. Méthodes dynamiques	10
I.2.2. Méthodes phytosociologies	10
I.2.2.1. Analyse de la végétation	10
I.2.3. Méthode d'étude à distance du couvert végétal (Télédétection).....	11
I.3.1. Evolution du couvert végétal.....	11
I.3.2. Dégradation du couvert végétal.....	12
I.3.4. Les facteurs de dégradation de couvert végétal.....	12
I.3.4.1. Le surpâturage	12
I.3.4.2. Les incendies	13

I.4.	Conservation du couvert végétal	13
Chapitre II :	Apport de SIG et télédétection dans les études environnementales	15
II.1.	Système d'information géographiques (SIG)	15
II.1.2	L'utilisation de SIG	16
II.1.3.	Objectifs des SIG.....	17
II.1.4.	Domaine d'application des SIG.....	17
II.1.4.1.	Pour des grandes échelles	17
II.1.4.2.	Pour des échelles moyennes et petite.....	17
II.1.5.1.	Logiciels libres utilisés	18
II.1.5.2.	Logiciels Commerciaux	18
II.1.6.	L'importance du SIG	18
II.2.	La télédétection.....	19
II.2.1.	L'importance de la télédétection	19
II.2.2.	Domaines d'application.....	21
II.2.3.	Traitements en télédétection.....	21
II.2.3.1.	La source d'énergie.....	21
II.2.3.2.	Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère	22
II.2.3.3.	La transmission et la réception des données	22
II.2.4.	Principes de la télédétection	23
II.2.4.1.	La télédétection passive	23
Chapitre III :	Présentation de la zone d'étude	24
III.1.	Situation géographique.....	24
III.2.	Aperçu climatique	25
III.2.1.	Les précipitations	25
III.2.2.	Température	26
III.2.3.	Le vent	27

Chapitre IV : Evaluation de l'évolution spatiotempore de l'occupation du sol dans la plaine de Malagou	38
IV.1 Réulta et Discussions	39
IV.1.1 Etude de l'occupation et utilisation des terres (LULC).....	39
IV.1.1.1 Calcule et identification de LULC de plaine de Malagou.....	39
IV.1.1.2 Contexte globale de l'évolution de l'occupation des terres (LULC)	42
IV.1.2 L'évolution du couvert végétale (NDVI)	45
IV.1.3 Cartographie de l'évolution des indices de la végétation de la plaine.....	47
IV.3. Conclusion.....	51
Conclusion Générale.....	52
Références bibliographiques	54

Introduction Générale

Depuis plusieurs décennies, l'observation de la Terre permet de mieux comprendre notre planète. Au cœur des enjeux sur les changements globaux, la caractérisation des dynamiques liées aux transformations des surfaces continentales, consommation des surfaces agricoles, déforestation ou encore étalement urbain est essentiel. Dans ce contexte, la télédétection spatiale offre la possibilité de cartographier fréquemment l'ensemble de la planète. Plus spécifiquement, les images issues des acquisitions satellitaires permettent de produire des cartes qui donnent une représentation graphique relative aux surfaces terrestres comme l'occupation des sols. Les études sur le changement dans l'occupation et l'utilisation du sol sont d'une grande importance car ils permettent de connaître les tendances actuelles dans les processus de l'étalement urbain, et la perte de la biodiversité d'une région déterminée. Il existe des facteurs naturels, comme le climat, le vent, la pluie etc., qui favorisent les variations de la couverture végétale. Néanmoins, pendant les dernières décennies, les activités humaines sont le principal déclencheur de la transformation des écosystèmes. Les conséquences les plus évidentes sont la perte du potentiel d'utilisation du sol pour le bien-être humain et la perte d'habitat en générale. La procédure la plus efficace pour mesurer le degré de changement de l'environnement est l'étude multi-date de l'évolution d'occupation des sols agricoles.

Ce mémoire s'inscrit dans cette perspective en étudiant le cas emblématique de la plaine de Malagou à Bouhmama (Khenchela), une région des Aurès algériens où se conjuguent des défis environnementaux complexes et des impératifs de développement agricole. La problématique centrale de cette recherche repose sur un constat alarmant : l'expansion rapide des superficies agricoles, notamment arboricoles (pomiculture intensive), s'effectue au détriment des écosystèmes naturels, avec des conséquences visibles sur la dégradation des sols, la raréfaction des ressources hydriques et la perte de biodiversité. Cette situation est exacerbée par les effets du changement climatique (sécheresses récurrentes, vents de sirocco) et par des pratiques agricoles parfois peu durables.

L'originalité de cette étude réside dans son approche méthodologique intégrée, combinant télédétection multi-temporelle (images Landsat 1994-2024), analyse SIG et calcul d'indices de végétation avancés (NDVI, SAVI, EVI). Ces outils permettent non seulement de quantifier avec précision les changements d'occupation des sols sur trois décennies, mais aussi d'évaluer

la santé des agro-écosystèmes et d'identifier les zones à risque de désertification. Les objectifs spécifiques sont triples :

- Caractériser l'évolution spatiale et temporelle des terres agricoles et naturelles,
- Evaluer l'impact écologique des transformations observées,
- Proposer des scénarios d'aménagement durable conciliant productivité agricole et préservation des ressources.

Dans ce travail, ce mémoire est structuré comme suit :

Chapitre I : Revue des connaissances sur la dynamique du couvert végétal et son suivi par télédétection et SIG

Chapitre II : Apport de SIG et télédétection dans les études environnementales

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

Chapitre IV Evaluation d'évolution spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la plaine de Malagou

Chapitre I : Revue des connaissances sur la dynamique du couvert végétal et son suivi par télédétection et SIG

La dynamique du couvert végétal constitue un enjeu majeur dans la compréhension des écosystèmes terrestres et des interactions entre l'homme et son environnement. Les changements climatiques, les activités anthropiques et les perturbations naturelles influencent significativement l'évolution des paysages végétaux, avec des implications directes sur la biodiversité, les cycles biogéochimiques et les services écosystémiques (Foley, et al., 2005). Dans ce contexte, la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) se sont imposés comme des outils indispensables pour le suivi et l'analyse spatio-temporelle de ces dynamiques. Grâce à leur capacité à fournir des données à large échelle et à haute résolution, ces technologies permettent de caractériser les transformations du couvert végétal, d'identifier les tendances et de soutenir les décisions en matière de gestion durable des ressources naturelles (Abdelbaki, 2012; Pettorelli, Safi, & Turner, 2014).

Ce chapitre propose une revue des connaissances actuelles sur l'évolution du couvert végétal, en mettant l'accent sur les méthodes et les avancées récentes en télédétection et en SIG. Il explore également les défis et les perspectives liés à l'utilisation de ces outils pour une compréhension approfondie des processus écologiques et environnementaux.

I.1. Définition de couvert végétal

Un couvert végétal, appelé aussi couverture végétale ou couvert par ellipse, désigne la végétation, toutes strates confondues, recouvrant dans un espace donné, le sol de manière permanente ou temporaire (Hartwig & Ammon, 2002). La flore d'une zone géographique c'est un facteur biotique très important dans le fonctionnement des écosystèmes, il transforme l'énergie lumineuse en biomasse utilisée par la suite par les différentes composantes des écosystèmes. Il a un rôle dans la réduction du dioxyde de carbone (Abdelbaki, 2012).

D'autres travaux ont défini comme suite ; Le couvert végétal est un concept central dans plusieurs disciplines scientifiques, notamment l'écologie, la géographie, la climatologie et la gestion des terres. Il se réfère généralement à l'ensemble des plantes qui recouvrent une surface donnée, incluant aussi bien la végétation naturelle (forêts, prairies, zones humides)

que la végétation modifiée ou cultivée par l'homme (champs agricoles, plantations). Selon la (FAO, 2020), le couvert végétal est défini comme "*la couverture physique et biologique de la surface terrestre, comprenant la végétation naturelle, les cultures et les surfaces artificielles*", cette définition met en évidence son rôle dans la structuration des paysages et son importance pour les écosystèmes et les activités humaines. D'un point de vue écologique, le couvert végétal est essentiel pour le fonctionnement des écosystèmes. Il influence les cycles biogéochimiques, tels que le cycle du carbone et de l'eau, et sert d'habitat pour de nombreuses espèces animales et végétales (Lambin, Geist, & Lepers, 2003). Par exemple, les forêts, en tant que composante majeure du couvert végétal, jouent un rôle crucial dans la séquestration du carbone et la régulation du climat global (Bonan, 2008). En télédétection, le couvert végétal est souvent étudié à travers des indices spectraux, tels que l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI), qui permettent de quantifier la densité et la santé de la végétation à partir d'images satellitaires (Tucker, 1979). Ces outils sont largement utilisés pour surveiller les changements dans l'utilisation des terres, évaluer les impacts des sécheresses ou suivre la déforestation à grande échelle. Enfin, dans le contexte de la gestion des terres, le couvert végétal est un indicateur clé pour évaluer les impacts des activités humaines sur les écosystèmes. Il permet de distinguer les zones naturelles des zones anthropiques et de planifier des stratégies de conservation ou de restauration des paysages (FAO, 2020).

I.1.1 Etudier le couvert végétal

Le couvert végétal, couvre une très grande partie des continents et premier maillon de chaîne alimentaire en tant que producteur de matière organique ou biomasse, la végétation est un élément fondamental des écosystèmes terrestres. Les couverts végétaux régulent les échanges d'énergie et de matière à l'interface sol-végétation-atmosphère. Ils puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur développement et leur croissance dans le sol et produisent l'oxygène, via le processus de photosynthèse, indispensable à la vie sur terre (Abdelbaki, 2012). L'étude du couvert végétal est cruciale pour comprendre les écosystèmes, surveiller les changements environnementaux et gérer les ressources naturelles. Plusieurs modèles sont utilisés pour étudier et analyser le couvert végétal, chacun ayant ses propres avantages et méthodes d'application. Voici quelques modèles courants utilisés dans cette analyse :

- Modèles basés sur la télédétection : La télédétection utilise des données provenant de satellites, de drones ou d'autres capteurs pour observer et analyser le couvert végétal sur de grandes surfaces. Les modèles basés sur la télédétection permettent d'étudier des changements à long terme, d'identifier les types de végétation et de surveiller les tendances de déforestation ou de dégradation des sols. Ces modèles incluent ; NDVI, c'est l'un des indices les plus utilisés pour analyser la santé du végétal. Il permet de détecter la présence de végétation, d'estimer la densité et la couverture du couvert végétal en utilisant des bandes spectrales spécifiques (principalement l'infrarouge proche et le rouge). Il est particulièrement utile pour évaluer l'effet des sécheresses ou des changements saisonniers sur les écosystèmes.
Modèles de croissance des plantes : Ces modèles intègrent des facteurs comme la température, la lumière, l'humidité et les nutriments du sol pour simuler la croissance et la répartition de la végétation. Des exemples de tels modèles incluent le modèle SIMPL qui est basé sur la photosynthèse et la respiration des plantes, et CROPWAT, un modèle pour simuler les besoins en eau des cultures (Abdelbaki, 2012).
- Modèles de dynamique des écosystèmes : Ce type de modèle simule la succession des végétaux, c'est-à-dire le processus par lequel les espèces végétales se succèdent dans un écosystème donné. Le modèle CENTURY est un exemple utilisé pour estimer les flux de carbone et d'azote dans les écosystèmes et prédire les changements dans la couverture végétale à long terme.
- Modèles géo spatiaux avec SIG (Système d'Information Géographique) : Les SIG sont des outils puissants pour analyser les données spatiales relatives à la végétation. Ces modèles intègrent des informations géographiques avec des données de télédétection, de cartographie et d'observations au sol pour cartographier et analyser les changements dans le couvert végétal

I.1.2. Les zones écologiques de la Terre

L'étude des peuplements végétaux et animaux permet de définir différentes zones écologiques qui peuvent être distinguées les unes des autres par la nature de leur couvert végétal en distinguant (Décamps, 2020):

I.1.3. La géographie des peuplements végétaux et animaux

Les facteurs écologiques déterminent, à l'échelle du globe, l'existence de grandes formations végétales. Ces communautés, bien caractérisées et relativement homogènes du point de vue de leur physionomie, sont appelées des biomes, qui correspondent à de grandes biocénoses. Ces formations présentent une extension généralement considérable, en relation avec les grandes zones climatiques. La prairie de l'Ouest américain, les forêts de feuillus ou les savanes africaines constituent des exemples de formations végétales aisément identifiables. Au sein de chaque formation, il est possible de distinguer des ensembles plus homogènes, constituant de plus petites biocénoses les différentes formations végétales sont peuplées par des ensembles variés d'animaux par exemple, savanes et prairies sont les domaines des grands herbivores. La répartition des animaux, ou zoogéographie, a conduit à la définition de grandes provinces faunistiques l'étude de la répartition des êtres vivants correspond à la biogéographie, celle des végétaux constitue la phytogéographie et celle des animaux la zoogéographie (Piebeng, et al., 2023).

I.1.1.1 Les grandes formations végétales

Une formation végétale est une communauté de végétaux caractéristique d'un écosystème ou d'un biome. Terme englobant, la formation végétale peut être reconnue facilement à la vue d'un paysage, sans analyse poussée, selon l'importance et la taille des types de végétaux qui la composent : herbes, buissons, arbustes, arbres...etc. On distingue ainsi, parmi les types de formation les plus courants, la prairie, la forêt, la savane, la taïga, la steppe...etc. Une formation végétale fermée recouvre entièrement le sol (forêt), contrairement à une formation ouverte (steppe) (Piebeng, et al., 2023). Certaines formations végétales sont dites climaciques (elles auraient un profil comparable sans intervention extérieure), d'autres sont secondaires, par exemple les savanes qui prennent la place d'une forêt tropicale après déboisement, ou encore les maquis et garrigues méditerranéens (Beaux, 2011), on distingue : Les forêts couvrent une grande partie de la surface du globe, avec des formations très différentes selon la latitude, des forêts denses, équatoriales et tropicales, à la forêt du nord de l'Amérique et de l'Asie. Les savanes sont constituées de plantes herbacées hautes et rigides. Dans les régions où la saison sèche est longue, on observe la savane herbeuse, dépourvue d'arbres sauf en bordure des cours d'eau (forêt-galerie). Lorsque la saison sèche est moins longue, c'est la savane arborée, parsemée d'arbres (comme le baobab) et de buissons, qui se développent, Enfin, dans les régions bénéficiant d'une humidité plus régulière, on trouve la savane boisée ou savane parc,

comportant de nombreux arbres à feuilles caduques. Les savanes tropicales peuvent représenter des formes de transition entre forêts humides et zones plus sèches. Les steppes ou prairies sont des formations végétales herbacées souvent observées dans les zones sèches des régions tempérées, par exemple à l'intérieur des continents (grandes plaines de l'Amérique du Nord, de l'Asie, ou pampa de l'Argentine). Dans des environne semi-aride, les steppes apparaissent sous forme de tapis végétaux discontinus dont les espèces sont adaptées à la sécheresse. Dans les sols plus riches en eau, elles ont place à des prairies dont les espèces sont plus diversifiées. La toundra est la formation végétale la plus septentrionale. Elle est constituée de plantes rases, lichens, mousses et plantes herbacées. Dans les parties principales et méridionales apparaissent des bouleaux et des saules nains (Piebeng, et al., 2023) (Fig. 1).

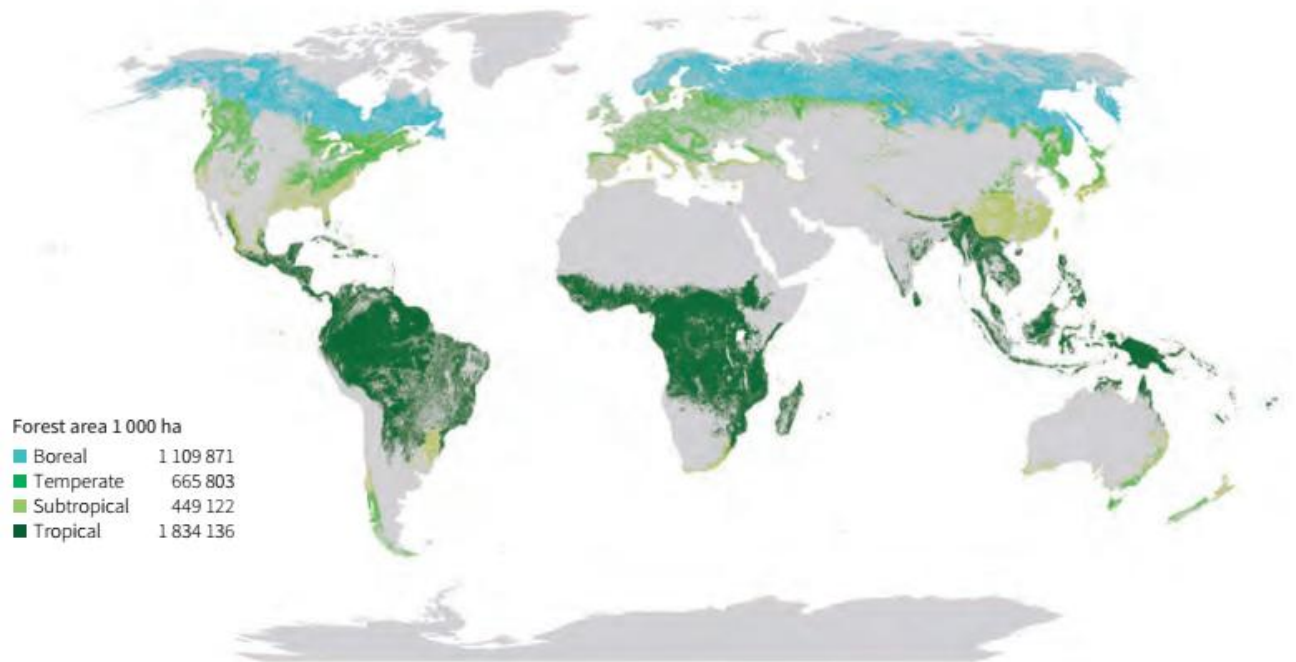


Figure 1. La répartition mondiale des forêts, par domaine climatique (FAO, 2020).

Les adaptations générales des espèces végétales aux conditions de milieu et leurs mécanismes ont été décrits dans tous les groupements végétaux (Beaux, 2011). Dans les situations de sécheresse très longue et sévère, cette réduction peut devenir complète. Dans les zones arides, les rigueurs climatiques obligent les espèces végétales à des adaptations nécessaires à leur survie. Des déficits hydriques plus longs induisent des changements plus irréversibles, notamment de morphologie (réduction des surfaces d'évaporation). Dès qu'un déficit hydrique apparaît la plante ajuste, rapidement et de façon réversible, les flux

d'eau qui la traversent par la fermeture de ses stomates. On sait en particulier que chez les plantes, le rythme des modifications saisonnières (dit rythme phréologique) est calqué sur le rythme saisonnier prévalant dans la région, et principalement le rythme de l'aridité atmosphérique (Salemkour, Aidoud, Chalabi, & Chefrou., 2016).

I.1.5. Les principaux groupements végétaux en Algérie

Définit le groupement végétal comme « un ensemble de plantes réunies dans une même station, par suite d'exigences écologiques identiques ou voisines » (Salemkour, Aidoud, Chalabi, & Chefrou., 2016). La répartition des communautés végétales reste déterminée en grande partie par leur relation avec les conditions offertes par le milieu où elles vivent. Dans ce contexte, il est classique de distinguer, les groupements végétaux de type zonal et les groupements végétaux de type azonal (Salemkour, Aidoud, Chalabi, & Chefrou., 2016).

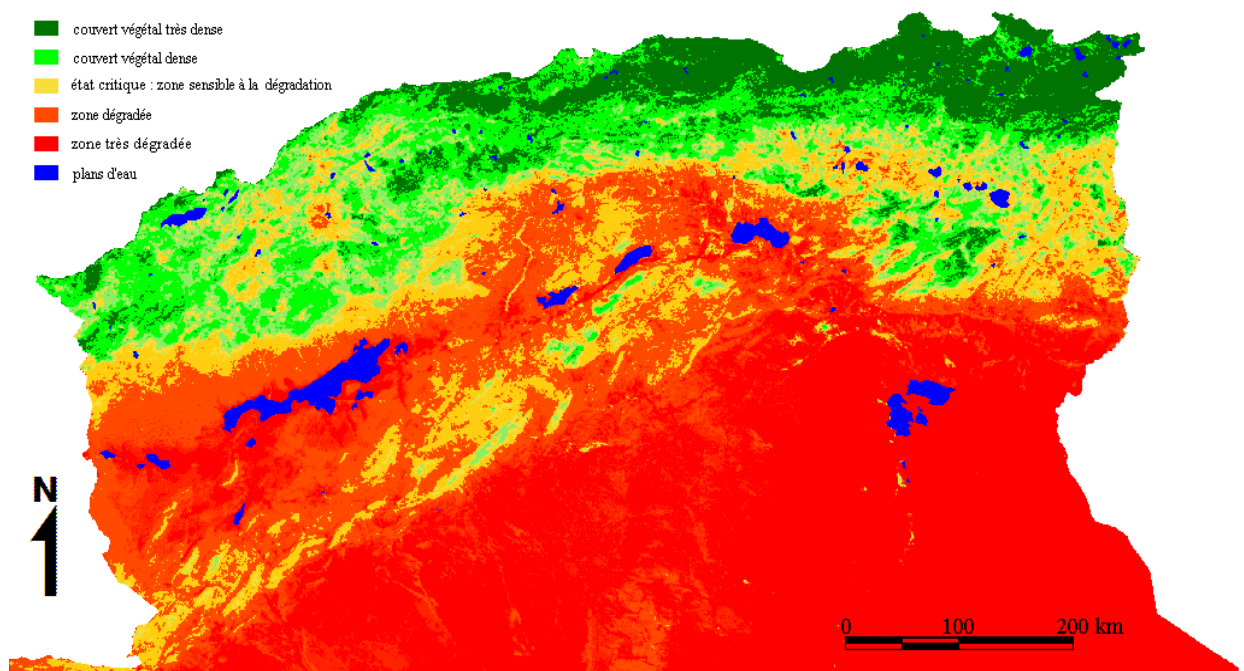


Figure 2. Carte de la densité du couvert végétale et sensibilité à la désertification dans l'Algérie (Benslimane, Hamimed, El Zerey, Khaldi , & Mederbal, 2008).

I.1.5.1. Les groupements végétaux de type zonal

Tels que les groupements forestiers et steppiques correspondent à une végétation naturelle déterminée par le climat. Du Nord au Sud de l'Algérie, nous passons des forêts, maquis et matorrals aux steppes semi-arides et arides puis vers les écosystèmes désertiques (Salemkour, 2011), ce groupement correspond à des taillis et forêts de Chêne vert mésophiles, entre 700 et 1 400 m, sur terrains souvent pentus et substrats variés. Il s'agit

généralement de chênaies vertes à couvert assez dense, où règne une ambiance forestière et fraîche, sur le versant sud du Djurdjura (Tikjda). L'intensité de l'action anthropique est attestée par la présence de *Calicotome spinosa* (L.) Link, *Ampelodesmos mauritanica* (Poir.) T. Durand et Schinz, *Genista tricuspidata* Desf., et par l'abondance particulière des espèces liées au surpâturage (*Asphodelus ramosus* L., *Ferula communis* L.), et surtout des thérophytes plus ou moins nitrophiles (Salemkour, Aidoud, Chalabi, & Chefrou, 2016).

I.1.5.2. Les groupements végétaux de type azonal

Caractérisent la végétation directement soumise à l'influence des facteurs édaphiques déterminant (Salure, Nappe d'eau, ...etc.).

- **Les groupements halophiles** : Plusieurs définitions ont été données concernant les espèces halophiles. Les halophytes sont toutes les espèces qui poussent sur un sol salé (Aronson, 1989). Selon d'autres auteurs comme toutes les espèces qui ont seulement une tolérance vis-à-vis du sel. Pour les espèces halophiles correspondent aux espèces qui se trouvent exclusivement dans les conditions écologiques naturelles sur des sols salés on dans un environnement salin, mais aussi en rencontre ; Les hypohalophytes ces espèces tolèrent les taux de salinité relativement faible. Les halophytes ces espèces peuvent supporter des concentrations élevées, c'est le cas de *Tamarix* sp, *Atriplex* sp, *Spartina* sp. Les hyper halophytes ces espèces se développent dans des concentrations salines excédant celle de l'eau de mer telle *Halocnenum strobilaceum*.
- **Les plantes calcicoles et les plantes calcifuges** : **La** simple observation sur le terrain montre que la flore n'est pas identique sur des terrains installés sur des sols calciques et des sols siliceux. En forêt ; le pin d'Alep (*Pinups halepensis* willd) se trouve sur sol calcaire. Il est calcicole. De son côté ; le châtaignier plantes calcicoles poussent sur des terrains contenant du calcium. Tandis que, les calcifuges préfèrent les sols siliceux (Sadfi, 2008)

I.2. Méthodes d'étude des végétations

La caractérisation des habitats naturels et semi-naturels est, aujourd'hui plus qu'hier, une priorité de la connaissance du vivant afin de mettre en œuvre des mesures de protection, de gestion de la biodiversité, tant les espèces que leurs assemblages, au sein des communautés (Salemkour, 2011). L'étude des groupements végétaux est l'une des clés d'un aménagement rationnel des espaces naturels et cultivés d'une manière durable.

I.2.1. Méthodes dynamiques

C'est l'étude des séries de végétation. Elle permet de se rendre compte de l'évolution de la végétation. La dynamique de la végétation est le phénomène par lequel différentes plantes vont succéder à un même endroit au cours du temps, en fonction des conditions du milieu, et notamment du type de sol. Plus le sol est épais, plus de grandes plantes peuvent s'y développer ; en même temps (Sadfi, 2008)

I.2.2. Méthodes phytosociologies

Mise au point par Braun-Blanquet, la phytosociologie est la discipline botanique qui étudie les communautés végétales et leur relation avec le milieu, en se basant sur des listes floristiques les plus exhaustives possibles. Elle est l'une des branches de la géobotanique, laquelle peut s'appuyer sur d'autres types d'approches (physionomiques, climatiques, éco morphologiques, agricoles sylvicoles, etc.). Son objet est l'étude synthétique des communautés de végétaux spontanées, pour les définir et les classer selon des critères floristiques et statistiques (Sadfi, 2008)).

I.2.2.1. Analyse de la végétation

Etape analytique : Présente dans une station (biotope) donnée, c'est également l'ensemble des opérations qui le permettent. Les relevés phytosociologiques peuvent être effectués dans des quadrats ou le long de transectes (Sadfi, 2008). Technique des relevés. Un relevé floristique se dit de l'inventaire des espèces végétales

Choix et délimitation des emplacements : Lorsqu'on fait des relevés, on se livre obligatoirement à un échantillonnage dirigé. C'est un travail assez délicat, exigeant quelque pratique, en tout cas, certaines précautions élémentaires. Au terrain, la phytosociologie choisit l'emplacement de ses relevés selon deux niveaux de la couverture végétale à un impact profond sur le déroulement des cycles biogéochimiques dans la biosphère, elle est le premier absorbeur de flux d'énergie reçu par le soleil, qui est la seule source d'énergie. La dynamique de la végétation est l'étude de la succession du couvert végétal au fil du temps. Une compréhension de la succession est nécessaire pour comprendre la protection des ressources. On attend par dynamisme de la végétation, les modifications et transformations survenues durant un temps bien précis. Perception successive (Bonan, 2008), une première vision à l'échelle paysagère l'amène à choisir les éléments majeurs, significatifs, représentatifs et répétitifs du paysage végétal (formations végétales) qu'il veut

étudier ; une deuxième vision à l'intérieur de l'élément paysager choisi guidera le choix de l'emplacement du relevé et de ses limites

I.2.3. Méthode d'étude à distance du couvert végétal (Télédétection)

La télédétection est définie comme le processus d'acquisition d'informations sur un objet, une surface ou un phénomène sans entrer en contact avec eux. Notre œil magique est un bon exemple d'appareil pour estimer la quantité et la nature de l'énergie lumineuse visible qui nous est réfléchi dans notre champ visuel et pour déduire l'environnement. Cette énergie est générée par une source externe, généralement le soleil. Contrairement aux thermomètres qui ont besoin d'informations sur notre contact avec un objet pour mesurer sa température, la télédétection collecte des informations sur de longues distances. Cette définition est assez générale. Il a également été suggéré de réserver le terme d'énergie électromagnétique. Ainsi, la surface de la terre sans contact direct avec elle. La télédétection englobe l'ensemble du processus qui va des matériaux à la surface de la terre et la télédétection estime les interactions pour capturer et enregistrer l'énergie du rayonnement à l'aide de ces informations. C'est une science qui permet de prendre des photos de la terre à distance. Dans ce cas, il mesure et permet d'étudier la réponse spectrale de l'état de surface de la terre électromagnétique utilisée en fonction de la longueur d'onde de (C F KH, 2018)

I.3. Dynamique de couvert végétal

La couverture végétale a un impact profond sur le déroulement des cycles biogéochimiques dans la biosphère, elle est le premier absorbeur de flux d'énergie reçu par le soleil, qui est la seule source d'énergie. La dynamique de la végétation est l'étude de la succession du couvert végétal au fil du temps. Une compréhension de la succession est nécessaire pour comprendre la protection des ressources (Faso, 2021). On attend par dynamisme de la végétation, les modifications et transformations survenues durant un temps bien précis.

I.3.1. Evolution du couvert végétal

Lorsque les facteurs de dégradations n'existent plus, la végétation évolue progressivement pour revenir à l'état initial avant la dégradation, c'est ce qu'on appelle la résilience d'un écosystème. Cette évolution de la végétation est aussi appelée dynamique progressive. L'évolution du couvert végétal s'exprime en deux types une évolution linéaire et l'évolution cyclique. L'évolution linéaire c'est l'ensemble des processus pilotant l'évolution de la

végétation à partir des espaces dégradées alors que l'évolution cyclique c'est l'ensemble des dynamiques permettant à la végétation de revenir à sa phase de maturité (climax) (Sadfi, 2008).

I.3.2. Dégradation du couvert végétal

La dégradation de quelque façon qu'elle se soit produite, passe par différents stades, qui peuvent varier selon l'intensité de la dégradation, la localité géographique où elle se produit (donc avec des aspects floristiques différents et le substrat). La dégradation des parcours dans les régions semi-arides et arides est fortement médiatisée mais mal appréhendée. Vue sous un angle écologique, elle se manifeste par une évolution de la végétation s'éloignant d'une forme climacique. Malheureusement en zone aride on ne connaît pas bien le climax. On sait seulement que la dégradation suit à peu près le schéma suivant (Daget , 1982):

Espèces appétibles

Espèces moins appétibles

Espèces envahissantes

Dégradation du couvert végétal

Désertification

I.3.4. Les facteurs de dégradation de couvert végétal

La dégradation de n'importe quel écosystème passe par plusieurs étapes, les facteurs de dégradations varient entre une région et une autre, mais même si ces facteurs n'existent plus, il est difficile de revenir à l'état initial ; l'intensité des facteurs de dégradation jouent un rôle majeur dans l'échelle temporelle de la dégradation, et au fil du temps, la capacité de l'auto restaurations ne peut pas être achevée par l'écosystème sauf s'il y'avait une forte intervention humaine (Daget , 1982).

I.3.4.1. Le surpâturage

Une des causes directes de la désertification de vastes espaces, car touchant des écosystèmes caractérisés par des sols pauvres et une faible pluviométrie.

Les conséquences en sont connues (Daget , 1982): Diminution du couvert végétal exposant les sols à une intense érosion éolienne, réduction du potentiel fourrager,

disparition des espèces les plus apprêtées par le bétail au profit des espèces les moins utiles, compactage des sols, conséquence de la surcharge de surfaces de plus en plus réduite Stérilisation des zones situées à proximité des rares points d'eau

I.3.4.2. Les incendiés

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps ni dans l'espace. La combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant, nécessitant une source d'énergie pour être initiée. Pour que « ça brûle », il faut donc du combustible, du comburant et une source d'énergie. C'est ce que l'on appelle le « triangle du feu » (Beaux, 2011)

L'érosion hydrique dans le cas de l'érosion hydrique les eaux de pluie n'arrivent plus à s'infiltrer à cause du colmatage des pores du sol par les particules argileuses ou limoneuses. Il en résulte une baisse du niveau de la nappe aquifère et le milieu devient de moins en moins favorable à la croissance ou à la repousse des plantes. Pour arrêter l'érosion, un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité à la surface du sol. Cependant, il est difficile d'évoquer l'action protectrice d'un couvert végétal sans préciser les techniques culturales au sens le plus large, utilisées pour l'obtenir (FAO, 2020).

I.3.4.3. L'érosion hydrique

Dans le cas de l'érosion hydrique les eaux de pluie n'arrivent plus à s'infiltrer à cause du colmatage des pores du sol par les particules argileuses ou limoneuses. Il en résulte une baisse du niveau de la nappe aquifère et le milieu devient de moins en moins favorable à la croissance ou à la repousse des plantes. Pour arrêter l'érosion, un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité à la surface du sol. Cependant, il est difficile d'évoquer l'action protectrice d'un couvert végétal sans préciser les techniques culturales au sens le plus large, utilisées pour l'obtenir (FAO, 2020).

I.4. Conservation du couvert végétal

Il existe deux méthodes différentes largement acceptées dans le monde, utilisées pour conserver la diversité biologique. Le premier d'entre eux est la conservation "*In Situ*" qui vise à protéger les plantes dans leurs propres zones de croissance naturelles. L'autre système est la conservation « *Ex Situ* » qui envisage la protection des caractéristiques de la diversité biologique en dehors de leurs aires de vie naturelles (Abdelbaki, 2012). Bien qu'il soit possible de protéger un grand nombre d'espèces végétales en les déplaçant vers des zones extérieures à leurs écosystèmes au moyen de méthodes de conservation *Ex Situ*, le moyen le plus important de protéger les espèces végétales est de les protéger dans les habitats où elles vivent. La raison en est que tous les êtres vivants dépendent les uns des autres dans un écosystème. Aucune espèce dans la nature n'a un environnement isolé et les espèces interagissent avec les autres de plusieurs façons. Un autre avantage de la conservation *in situ* est que la protection d'une population d'espèces efficace dans son propre habitat est plus facile par rapport à la conservation *ex situ*. En conséquence, les méthodes de conservation *ex situ* apparaissent uniquement comme des méthodes de soutien aux côtés de la conservation *in situ*. Cependant, les jardins botaniques permettant de voir de nombreuses espèces de plantes ensemble et d'en apprendre davantage sont importants, notamment en termes d'éducation et de recherche scientifique. De même, les banques de semences et de tissus gagnent de plus en plus d'importance avec les méthodes biotechnologiques à croissance rapide. Cependant, chez les espèces avec l'environnement physique dans son ensemble pour protéger les écosystèmes, l'avenir sera garanti. La Stratégie mondiale pour la conservation des plantes est un catalyseur pour travailler ensemble à tous les niveaux - local, national, régional et mondial - pour comprendre, conserver et utiliser de manière durable l'immense richesse mondiale de la diversité végétale tout en promouvant la sensibilisation et en renforçant les capacités nécessaires à sa mise en œuvre (Tassin, 2017).

Chapitre II : Apport de SIG et télédétection dans les études environnementales

Les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection ont révolutionné les études environnementales en offrant des outils puissants pour collecter, analyser et visualiser des données spatiales à différentes échelles. Ces technologies permettent de mieux comprendre les dynamiques complexes des écosystèmes, de surveiller les changements environnementaux et de soutenir la prise de décision en matière de gestion durable des ressources naturelles (Longley, Goodchild, Maguire, & Rhind, 2015).

La télédétection, grâce à sa capacité à acquérir des données sur de vastes étendues géographiques de manière répétée, fournit des informations précieuses sur l'état et l'évolution du couvert végétal, des sols, des ressources en eau et des zones urbaines (Jensen, 2009). Par exemple, les images satellitaires permettent de suivre la déforestation, de mesurer l'impact des sécheresses ou d'évaluer la santé des écosystèmes.

Les SIG, quant à eux, offrent une plateforme intégrée pour organiser, analyser et interpréter les données spatiales. Ils permettent de modéliser des phénomènes environnementaux, de cartographier les risques naturels et de planifier l'utilisation des terres de manière optimale (Goodchild, 2010). Combinés, ces outils constituent une approche puissante pour aborder des défis environnementaux complexes, tels que le changement climatique, la perte de biodiversité et la dégradation des sols.

Ce chapitre explore l'apport des SIG et de la télédétection dans les études environnementales, en mettant en lumière leurs applications, leurs avantages et leurs limites. Il s'appuie sur des études de cas et des références scientifiques pour illustrer leur rôle dans la compréhension et la gestion des enjeux environnementaux contemporains.

II.1. Système d'information géographiques (SIG)

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont des outils technologiques qui permettent de collecter, stocker, analyser, gérer et visualiser des données spatiales et attributaires. Selon (Burrough, 1998), un SIG est "un système informatique permettant de capturer, stocker, vérifier, intégrer, manipuler, analyser et afficher des données référencées spatialement". Cette définition met l'accent sur la capacité des SIG à traiter des informations géographiques de manière structurée et à fournir des analyses spatiales précises.

Les SIG sont utilisés dans une multitude de domaines, notamment l'aménagement du territoire, la gestion des ressources naturelles, la cartographie, les études environnementales et la planification urbaine. Par exemple, ils permettent de modéliser des scénarios d'utilisation des terres, d'analyser des risques naturels (comme les inondations ou les glissements de terrain) ou de suivre l'évolution des écosystèmes (Goodchild, 2010). Ils jouent également un rôle clé dans la prise de décision en fournissant des cartes et des analyses spatiales précises et accessibles.

En résumé, les SIG combinent des technologies, des méthodes et des données pour offrir une plateforme d'analyse spatiale complète, facilitant ainsi une compréhension approfondie des phénomènes géographiques et une gestion optimale des ressources.

II.1.2 L'utilisation de SIG

Les utilisateurs (spécialiste en géomatique, géographe etc.). Les processus de travail (principes et méthodes) (méthodes de collecte de données, de structuration et d'entreposage, norme intégrité des données...). Les données géographiques structurées : Base de données à référence spatiale (accès, qualité et sécurité des données) ; sources fiables (ANSD, ANAT, CSE...). Matériel physique (tels les ordinateurs, serveur, tablette électronique...). Les logiciels (Arc GIS, QGIS, MapInfo...). Nous présentons ci-dessous les composantes d'un système d'information géographique (Fig. 3)



Figure 3. Les composantes d'un système d'information géographique

II.1.3. Objectifs des SIG

En définissant les objectifs d'utilisation des SIG comme (Goodchild, 2010) suite : 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 intégrable 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.

L'objectif du SIG, est une technologie clé pour l'analyse, la gestion et la présentation des données spatiales. Son objectif principal est de permettre l'intégration et l'analyse de données géographiques pour mieux comprendre les phénomènes territoriaux, environnementaux, sociaux et économiques. Les SIG combinent des informations géographiques (cartes, images satellites, données topographiques) et des données non géographiques (données statistiques, socio-économiques, etc.) pour créer des modèles et des analyses permettant de prendre des décisions éclairées (Boukli Hacene, 1989).

II.1.4. Domaine d'application des SIG

Les approches ont mis en évidence le fait qu'un système d'information géographique est un outil de gestion et d'aide à la décision. C'est un outil de gestion pour le technicien qui doit au quotidien assurer le fonctionnement d'une activité. Le SIG doit aussi être un outil d'aide à la décision pour le décideur (directeur, administrateur, autorité...etc.) qui doit bénéficier de sa puissance et disposer de cartes de synthèses pour prendre les meilleures décisions. C'est cette finalité qui permet d'employer le terme de système d'information et de donner aux SIG les domaines d'applications suivants :

II.1.4.1. Pour des grandes échelles

La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul de surfaces). La planification urbaine (plan d'occupation des sols et d'aménagement. La gestion des transports (voies de circulations, signalisation routière). La gestion des réseaux (assainissement, AEP, gaz, électricité, téléphone ...). La gestion du patrimoine (espaces verts, parcs, jardins ...). Les applications topographiques (travaux publics et génie civil) (Abdelbaki, 2012)

II.1.4.2. Pour des échelles moyennes et petite

Les études d'impact (implantation d'un centre commercial ou d'une école). Les études d'ingénierie routière (constructions de routes ou d'autoroutes). Les applications liées à la sécurité civile (prévention des risques naturels). La gestion des ressources naturelles (protection de l'environnement, études géologiques, climatologiques ou hydrographiques) (Boukli Hacene, 1989).

II.1.5. Quelques logiciels SIG

II.1.5.1. Logiciels libres utilisés

GRASS GIS : Il rassemble des propriétés de traitement d'images satellitaires et des fonctionnalités à base topologique. **MapServer** : Logiciel libre d'édition des cartes sur le web. **QGIS** : Il permet de visualiser les cartes ainsi que leurs transformations. Il présente une qualité qui le rend très simple à utiliser. **Post GIS** : C'est une extension pour la base de données Postgre SQL, qui permet de faire des requêtes SQL et spatiales. **uDig, gvSIG** : Logiciels libres développés en Java pour Linux et Windows (Pinol, 2012).

II.1.5.2. Logiciels Commerciaux

ArcGIS : (Arc Info, ArcView, etc.) éditées par ESRI. **GeoMapGIS** : Métiers s'appuyant sur l'environnement Autodesk (AutoCAD, Autodesk AP, AutodeskMapGuide, etc.). **Manifold** : Logiciel novateur (serveur, géocodage, 3D, script.net (Pinol, 2012),

II.1.6. L'importance du SIG

Les SIG présentent des caractéristiques qui leur donnent une certaine importance scientifique et économique (Pinol, 2012) :

Déterminisme : existence justifiée

Observabilité : Observation des méthodes et moyens et des phénomènes

Fonctionnel : Nécessité du rôle individuel dans l'ensemble

Quantifiabilité : Mise sous forme d'ensembles quantifiables

Mesurabilité : Mesure utilisant l'instrument et les unités pour des mesures

Équilibre interne : Entretien de la stabilité individuelle

Composition : Complémentarité individuelle dans un ensemble

Maintenabilité : Possibilité d'entretien

Fiabilité : Rôle prouvé dans l'ensemble

Robustesse : Tolérance aux fautes suite au différent chargement du système

Dépendance : Entretien et collaboration (Pinol, 2012).

II.2. La télédétection

La télédétection s'avère être un outil très adapté pour étudier les activités et selon l'évolution de la végétation. Grâce aux à l'image satellitaires, il est possible de cartographier de couvert végétal à des échelles spatiales et temporelles très différentes, ils permettent également d'estimer l'irradiance solaire globale, ainsi que certains paramètres caractéristiques du couvert végétal, comme la quantité de biomasse ou le rayonnement photosynthétique actif. Outils pour mieux comprendre les processus physiques et biologiques qui régissent la dynamique des écosystèmes, les données de télédétection peuvent également être utilisés pour connaître les conséquences d'éventuelles modifications de la répartition du couvert végétal, pour mettre en place des solutions de gestion plus durables (Ouattarat, 2013)

C'est un ensemble de connaissances et de techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures prises à distance, sans aucun contact physique avec eux. Il permet, à l'aide d'un capteur, d'observer et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi par n'importe quelle cible sans entrer en contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'approcher certaines propriétés de cette cible : géométrie (position, forme et taille), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physicochimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, pH massique, matière organique du sol). De plus, la télédétection est le résultat de l'interaction entre trois facteurs fondamentaux : sources d'énergie, cibles et capteurs, et comprend la mesure des signaux électromagnétiques émis ou réfléchis par une cible (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015)

II.2.1. L'importance de la télédétection

L'importance de la télédétection se résume comme suite : Un satellite couvre de très grandes surfaces en quelques secondes gaines du temps. Le coût de construction, de lancement et d'opération d'un satellite est partagé entre plusieurs milliers d'utilisateurs qui achètent les images pour leurs propres projets. Un satellite peut acquérir plusieurs images d'une même

région et les ordinateurs peuvent détecter avec précision les changements entre les différentes images acquises. Pour le suivi de changements rapides (feux de forêt, inondations) ou lents (cultures, expansion des villes), La télédétection nous montre exactement ce qui se passe, où ça se passe et avec quelle ampleur. Elle n'est pas fondée sur la mémoire ou sur l'expérience humaine. La télédétection est fiable et permet de répéter l'information avec une précision mesurable (Ouattarat, 2013).

L'information de télédétection est numérique et peut être analysée et comparée par ordinateur. Les décisions peuvent donc être prises rapidement et avec précision.

La télédétection est reconnue pour son efficacité dans la collecte, l'analyse et l'interprétation de données spatiales à différentes échelles temporelles et géographiques. Ainsi, son efficacité réside dans sa capacité à fournir des informations précises, actualisées et à grande échelle, tout en réduisant les coûts et les efforts par rapport aux méthodes traditionnelles de collecte de données. Voici quelques aspects clés qui démontrent son efficacité (Zhu, et al., 2020; Zhang & Kovacs, 2012; Jensen, 2009; Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015) :

- Couverture spatiale étendue : La télédétection permet d'observer de vastes zones géographiques de manière synoptique, ce qui est impossible avec des méthodes de terrain traditionnelles. Par exemple, les satellites comme Landsat ou Sentinel fournissent des images couvrant des centaines de kilomètres carrés en une seule acquisition.
- Répétitivité et suivi temporel : Les capteurs satellitaires et aériens acquièrent des données à intervalles réguliers, permettant de suivre les changements dynamiques dans le temps. Cette répétitivité est essentielle pour surveiller des phénomènes comme la déforestation, l'urbanisation ou les impacts des catastrophes naturelles.
- Précision et résolution améliorées : Les avancées technologiques ont permis d'augmenter la résolution spatiale, spectrale et temporelle des données de télédétection. Par exemple, les satellites à haute résolution comme WorldView-3 peuvent capturer des détails de moins de 30 cm, ce qui est crucial pour des applications précises comme la cartographie urbaine ou l'agriculture de précision.
- Réduction des coûts et des efforts : Comparée aux méthodes de terrain, la télédétection réduit considérablement les coûts et les efforts nécessaires pour collecter des données sur de grandes étendues. Elle permet également d'accéder à des zones difficiles d'accès, comme les forêts denses ou les régions montagneuses.

- Applications multidisciplinaires : La télédétection est efficace dans une multitude de domaines, notamment l'agriculture, la foresterie, la gestion des catastrophes, la climatologie et la planification urbaine. Par exemple, elle est utilisée pour prédire les rendements agricoles, surveiller les feux de forêt ou évaluer les impacts du changement climatique.
- Intégration avec d'autres technologies : La télédétection est souvent combinée avec des systèmes d'information géographique (SIG) et des modèles numériques pour améliorer l'analyse et la visualisation des données. Cette intégration permet de créer des outils puissants pour la prise de décision.

II.2.2. Domaines d'application

La télédétection suscite de nombreux intérêts dans plusieurs domaines notamment (Abdelbaki, 2012) :

- L'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie) où elle permet d'assurer une couverture globale et très fréquemment répétée de la planète entière ;
- L'océanographie où elle offre l'avantage de permettre une vision synoptique de vastes régions qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux) ;
- L'Agriculture où elle permet la surveillance des cultures, l'évaluation des dommages etc.
- La foresterie où elle permet une bonne gestion des ressources forestières à travers l'évaluation des surfaces forestières et leur évolution spatiotemporelle
- La géologie et bien d'autres applications terrestres.

II.2.3. Traitements en télédétection

L'observation de la terre par les satellites peut être décomposée en cinq étapes ou processus, depuis la source d'énergie qui éclaire la surface terrestre jusqu'à la réception des données par la station satellite au sol (Abdelbaki, 2012).

II.2.3.1. La source d'énergie

Trois sources d'énergie sont utilisées en télédétection à savoir le soleil, la surface terrestre (domaine thermique ou celui des micro-ondes passives) et le capteur satellite (domaine des hyperfréquences) (Ouattarat, 2013).

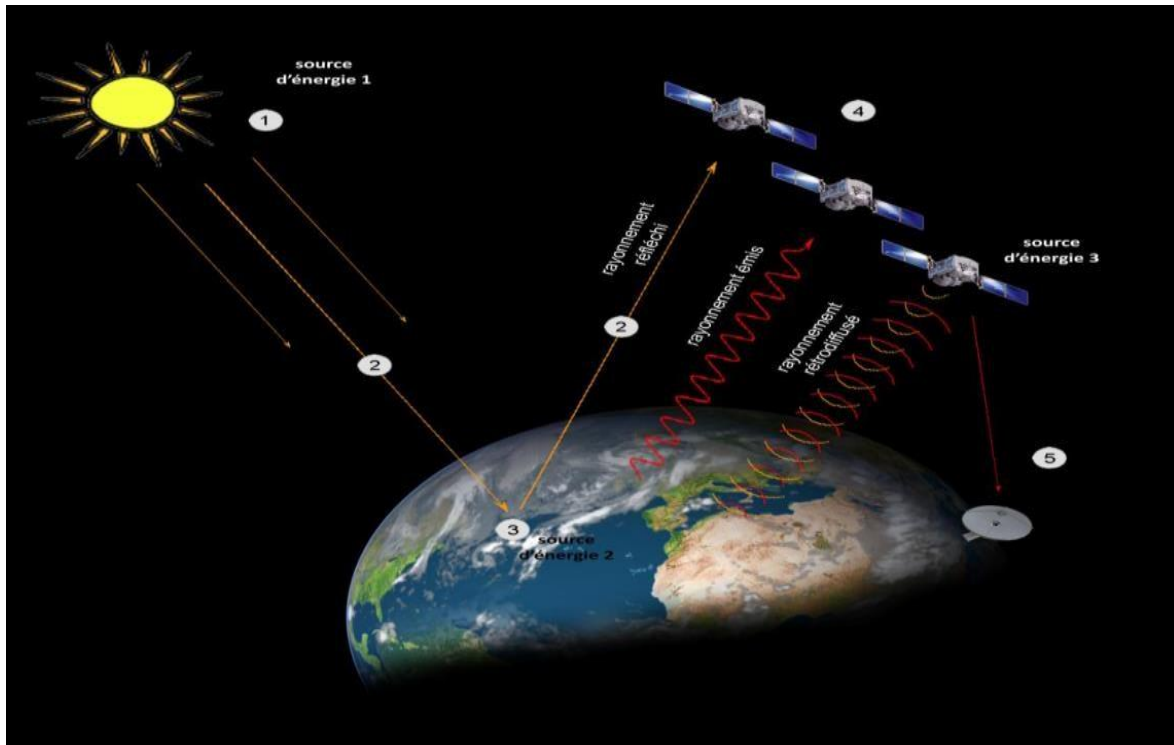


Figure 4. Télédétection à l'aide des satellites (CPS, 2011).

II.2.3.2. Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère

Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, celui-ci doit traverser une certaine épaisseur d'atmosphère. Les particules et les gaz dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident. Ces effets sont causés par les mécanismes de diffusion et d'absorption (CPS, 2011).

Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre Lorsque le rayonnement parvient à la surface de la terre, il va interagir avec celle-ci. La nature des interactions est fonction à la fois du rayonnement et des propriétés spectrales des surfaces (CPS, 2011).

L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire. L'énergie réfléchi, émise ou rétrodiffusée par la surface de la terre est captée puis enregistrée et discrétisée au niveau du capteur satellitaire d'observation en orbite géosynchrone orbites géosynchrones : Ce sont des satellites géostationnaires avec une inclinaison nulle par rapport à l'équateur, ils circulent à une altitude de 36.000 km ou 42.164 km du centre de la terre telle que les satellites METEOSAT et GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) (Burrough, 1998)

II.2.3.3. La transmission et la réception des données

Une fois l'énergie reçue par le capteur, elle est transmise vers une station de réception et de traitement où elle est convertie en données numériques (CPS, 2011).

II.2.4. Principes de la télédétection

La télédétection utilise des appareils : les capteurs ont pour rôle de mesurer l'énergie émise ou transmis par tout corps dans l'atmosphère ou à la surface de la terre. Mais avant qu'il le corps ou la cible doit recevoir une certaine quantité d'énergie interagira avec cible avant d'être mesurée par le capteur. Par conséquent, selon la source d'énergie, nous fera la distinction entre la télédétection passive et la télédétection active (Ouattarat, 2013)

II.2.4.1. La télédétection passive

La télédétection passive utilise des capteurs passifs qui peuvent seulement percevoir l'énergie réfléchi lorsque le soleil illumine la terre (Fig. 4). La source d'énergie est donc le soleil et conséquemment c'est l'énergie dégagée naturellement par la cible qui peut être perçue par le capteur le jour ou la nuit tandis qu'il n'y a pas d'énergie solaire réfléchi le soir (Ouattarat, 2013).

II.2.4.2. La télédétection active

La télédétection active utilise des capteurs actifs qui produisent leur propre énergie pour illuminer la cible : ils dégagent un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible (Fig. 5). Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Cependant, il doit produire une énorme quantité d'énergie pour bien illuminer une cible et utilise des longueurs d'onde qui ne sont pas produites en quantité suffisante par le soleil telles que les hyperfréquences (Ouattarat, 2013).

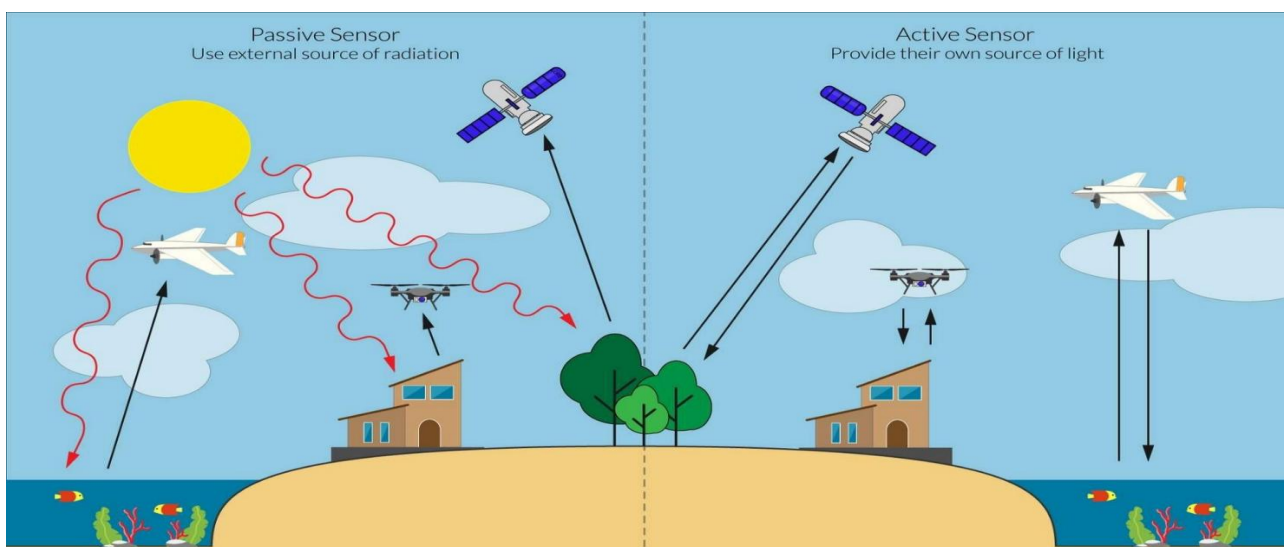


Figure 5. Illustration de la télédétection active et passive dans l'étude de l'Environnementale

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

Bouhmama est une commune rurale de la wilaya de Khenchela, située dans la région des Aurès au nord de l'Algérie. Cette zone montagneuse présente des caractéristiques agro écologiques particulières, offrant un terrain vierge d'étude pertinent pour des recherches en sciences agronomiques ou environnementale, où les systèmes de production agricole sont bien développés dans la région et surtout la plaine de Malagou qui présente la majorité de production agricole notre étude se focalise sur cette zone dans ce chapitre nous essayons de présenter cette la zone d'étude et justifier notre choix.

III.1. Situation géographique

Bouhmama est une région montagneuse située dans l'ouest de la wilaya de Khenchela au nord de l'Algérie. Caractérisée par sa vocation agricole notamment la pomiculture et ses montagnes imposantes, en particulier le massif des Aurès qui domine la région. Les paysages sont souvent escarpés et offrent des vues panoramiques spectaculaires. Elle est limitée (Fig. 6) (DSAK, 2024) :

- Au Nord par les communes de Chelia et Yabous ;
- Au Sud par la commune de Kheirane ;
- A l'Est par la commune de Tamza ;
- A l'Ouest par la commune de M'Sara et Medina.

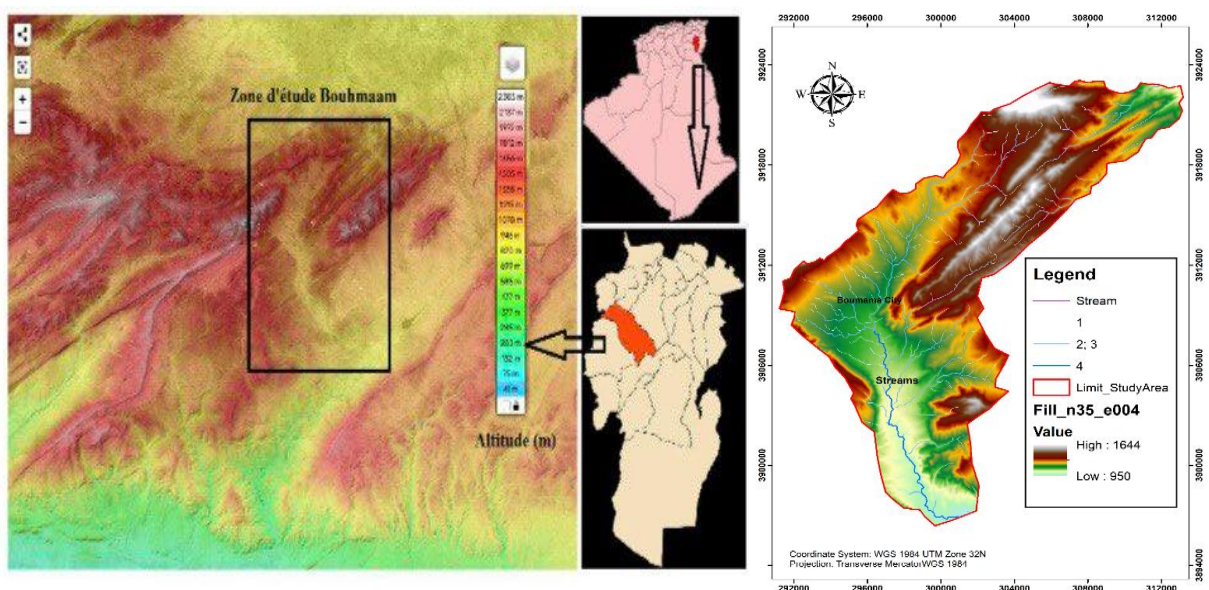


Figure 6. Carte des reliefs de la zone d'étude Bouhmama Khenchela (Algérie)

III.2. Aperçu climatique

Dans le cadre de présenté le climat de la zone d'étude, nous avons exploité des données recueillies au niveau de la station météorologique d'El Hamma (SME) gérée par l'office national de la météorologie car la région de Bouhmama ne dispose pas d'une station météorologique, et cela pour la période d'observation de 2009 à 2019 pour la station d'El Hamma, a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan hydrique de la région.

Tableau 1. Les caractéristiques de la situation météorologique d'El Hamma..

Coordonnée	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'observation
Station El Hamma	7°05'E	35°28'N	928.5 m	2009-2019

Source : (SME, 2019)

III.2.1. Les précipitations

La répartition spatiale des pluies obéit à deux paramètres, la répartition hypsométrique et la disposition du relief, selon la carte des précipitations moyennes mensuelles de l'Est algérien établie par l'A.N.R.H (1993). Il a été constaté que la région de Khenchela apparaît à un secteur sec dont les précipitations moyennes mensuelles varient entre 8 et 37 mm où les valeurs les plus élevée sont marque au mois de Septembre, Janvier et avril, par contre le mois le moine arrosé est celle de Juillet avec 8 mm

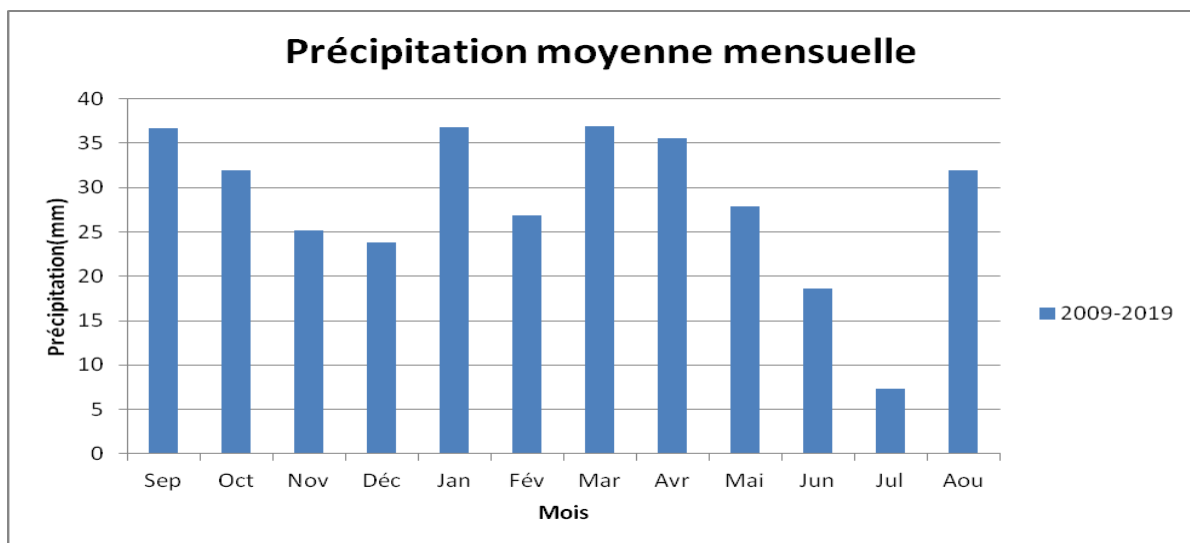


Figure 7. Variation des précipitations moyenne mensuelle de Khenchela SME, 2019

III.2.2. Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de totalité des espèces de communautés d'être vivant dans la présentation de la zone d'étude (SME ,2019). Les températures moyennes mensuelles durant 10 années (2009 à 2019), sont représentées dans le tableau 2 ci-dessous, où les températures les plus élevée sont marquer au mois de Juin et Juillet presque 30°C, tandis que les mois les plus froides sont celle de Décembre et Janvier qui ne dépassent pas les 7°C.

Tableau 2. Températures moyennes mensuelles à la station de d'El Hamma pour la période (2009- 2019) en (T°C) : SME, 2019

Mois	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	Moyenne /an
2009 à 2019	22.4	17.2	11.2	7.6	6.2	9.2	10.0	14.3	18.0	26.1	27.6	21.9	16.0

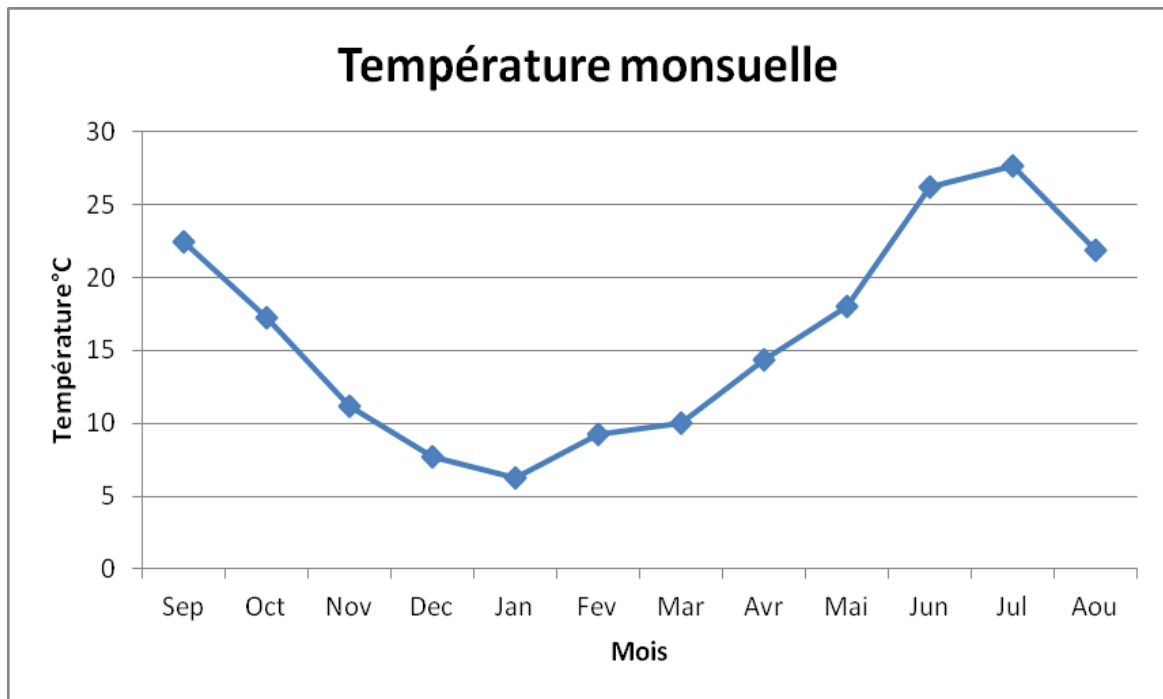


Figure 8. Variation mensuelle des T° de la région d'étude Bouhmama (SME 2009-2019)

III.2.3. Le vent

Le vent joue un rôle crucial et varié en agriculture, influençant de nombreux aspects de la production agricole. Il contribue significativement à la pollinisation de nombreuses cultures, en particulier pour les plantes anémophiles, assurant ainsi la reproduction et la diversité génétique. Sur le plan de la gestion des cultures, le vent affecte l'évapotranspiration et peut accélérer le dessèchement des sols, nécessitant une gestion adaptée de l'irrigation. Il peut aussi influencer la température des cultures, avec des effets potentiellement bénéfiques ou néfastes selon les conditions. Cependant, des vents forts peuvent causer des dommages mécaniques aux plantes, augmenter l'érosion des sols, et dans les cas extrêmes, conduire à des pertes de récoltes significatives. Le vent joue également un rôle dans la dispersion des pesticides et des herbicides, ce qui peut affecter leur efficacité et avoir des implications environnementales. Dans notre région la vitesse moyenne annuelle des vents est de 3,18 m/s avec un maximum au mois de mars et un minimum au mois de décembre il est à craindre durant le mois de mai à juillet la manifestation du sirocco qui est un vent chaud et sec favorise l'évapotranspiration causant ainsi de sérieux dégâts aux végétaux et notamment les cultures (SME, 2019) (Fig. 9).

)

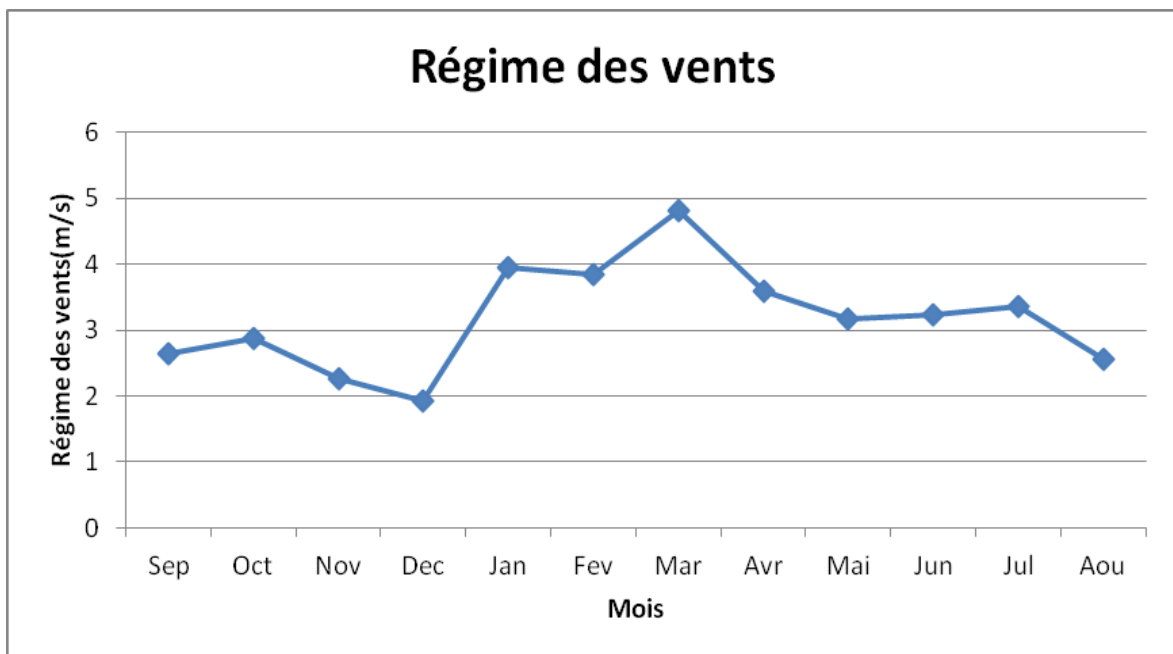


Figure 9. Diagramme des moyennes des vitesses des vents de la SME (2009-2019)

III.3. Caractères naturels de la zone étudiée

III.3.1. Végétation et le sol

Le potentiel agricole se progresse à la haute plaine de Mellagou à Bouhmama (où les sols sont

relativement de bonne qualité). Les terres sont privées, en général sans titre, appartenant aux Arouch (tribus). Le reste du territoire est constitué l'espace forestier domaniale soit, 70 % de la superficie totale de la commune équivalent à 25 % de la superficie forestière totale de la Wilaya. Le pin y constitue le principal arbre. Le chêne vert, le frêne et le jujubier sont aussi représentés. Vers l'extrême Nord-Ouest de Bouhmama (Mont Chelia), se trouve une cédraie en partie sujette à un dépérissement (INAF, 2007).

L'arboriculture et la céréaliculture à Khenchela

L'arboriculture est la plus importante filière agricole au niveau de la wilaya de Khenchela car elle représente plus de 50% de la valeur de la production. Notamment l'espèce pommier constitue une activité lucrative importante et participe par 25% de la production nationale, cette culture occupe 13 705 ha à travers la wilaya (D.S.A., 2022).

La superficie plantée en pommiers dans la wilaya de Khenchela a diminué, passant de 6 046 ha en 2011 à 5 960 ha en 2021. Il est évident que les rendements et la production restent faibles et fluctuent à travers la wilaya. Cela peut être attribué, au moins en partie, à l'impact des ravageurs du pommier, qui sont mal contrôlés dans cette région en raison d'un certain nombre de causes, y compris l'utilisation non raisonnée des pesticides (INAF, 2007).

III.3.2. Ressources en eau

Le réseau hydrographique est dense au niveau de la zone mais la quasi-totalité des Oueds sont des petits cours d'eau et rares, ceux qui sont à écoulement permanent tels que Oued Mellagou pour Bouhmama et Oued El Ma pour M'Sara. Il n'y a pas de barrage mais seulement trois petites retenues (2 à Bouhmama et 1 à M'Sara) d'une capacité totale de 215.000 m³. Ce sont les prises d'eau sur Oueds qui sont le plus utilisées pour capter les eaux de surface (30 à Bouhmama et 39 à M'Sara) en 2007 pour l'irrigation. Le nombre de sources existantes est de 35 pour Bouhmama avec des débits variants entre 0,1 et 2 l/s. Les ressources souterraines sont constituées par une nappe alluvionnaire d'une profondeur variée de 150 à 250 m. En 2007, Il y avait 150 forages au niveau de Bouhmama avec des débits variants entre 2 et 35 l/s, ils servent aussi bien à l'irrigation qu'à l'AEP. Il y a aussi des puits plus nombreux à Bouhmama (environ 143) avec des débits faibles (INAF, 2007).

III.4. Impact de la dynamique agricole sur la région

III.4.1. Impact écologique

L'impact écologique de la dynamique agricole apparaît sous plusieurs formes et peut avoir des conséquences tant positives que négatives sur l'environnement (SAB, 2024)

III.4.2. Impact Négatif

Les engrais et pesticides peuvent contaminer les rivières, lacs et nappes phréatiques, affectant la qualité de l'eau et la biodiversité aquatique. Ainsi certaines pratiques agricoles, notamment le labour excessif et le défrichage, peuvent entraîner une érosion des sols réduisant leur fertilité sur le long terme.

Concernant la biodiversité ; l'agriculture intensive peut mener à la perte d'habitat pour de nombreuses espèces, réduisant ainsi la biodiversité agricole locale par la monoculture où même par la mono variété, et peut être très consommatrice en ressources naturelles. Notamment en eau et en énergie et c'est le cas dans notre région il souffre de manque d'eau en quantité et qualité à cause de la multiplication des superficies agricole avec l'exploitation excessif des ressources en eau souterraine et le manque des précipitations (SAB, 2024).

III.4.3. Impact positif

Les pratiques agricoles durables (comme l'agriculture biologique, l'agro écologie) peuvent réduire l'impact environnemental en utilisant moins de produits chimiques (intrants), en améliorant la santé des sols et en préservant la biodiversité. (le développement durable) ; le meilleur exemple est que les agriculteurs commencent d'intégrer la lutte biologique comme chez quelques agriculteurs sont entraînés d'utiliser la technique de lutte par confusion sexuelle pour la première fois contre le carpocapse qui a donné des résultats efficaces et significatifs donc une lutte biologique et conservatrice 100% (SAB, 2024).

III.4.4. Impact social

La population rurale est étroitement liée à l'activité agricole, L'agriculture affecte grandement l'aspect social des sociétés, et les plus importants. Dont la population est estimée au 2019 à 489 500 habitants et une répartition de commune de Bouhmma est 13 440.

- L'agriculture offre de nombreuses opportunités d'emploi, ce qui contribue à réduire les taux de chômage et à augmenter les revenus des familles.
- Augmentation de la production agricole, le niveau de vie de la population peut être amélioré, car l'agriculture fournit de la nourriture et des ressources de base.
- Développement rural : L'agriculture contribue au développement des zones rurales en améliorant les infrastructures et en fournissant des services de base tels que l'éducation et les soins médicaux.
- L'agriculture joue un rôle dans le façonnement de la culture locale, dans la mesure où les coutumes et les traditions sont influencées par les pratiques agricoles (SAB, 2024).

III.4.5. Impact économique

Les exploitations agricoles sont des unités de productions, qui ont des relations directes ou indirectes avec leur environnement économique. Ces relations sont soit d'ordre d'approvisionnement en certains facteurs de production notamment (Engrais, produit phytosanitaires, semence ...etc.) ou d'ordre de commercialisation de certains productions (fruits, légumes ...etc.). L'agriculture est considérée comme la principale source de nourriture, ce qui contribue à assurer la sécurité alimentaire et réduire la dépendance à l'égard des importations. Elle améliore l'activité économique dans les communautés locales en soutenant les industries associées telles que l'emballage et la distribution. Les produits agricoles peuvent constituer une source importante de revenus grâce à l'exportation. L'agriculture durable contribue à préserver l'environnement et à fournir des ressources aux générations futures avec l'introduction de nouvelles technologies qui peuvent augmenter la productivité et réduire les coûts telle que le pommier intensif. La main-d'œuvre agricole, c'est près de 50% des emplois de la région. En raison de ce potentiel économique, la disponibilité de la ressource humaine et naturelle favorise l'investissement agricole. D'après l'ANADE de Khenchela a reçu, l'an dernier, un total de 857 dossiers de création de micro-entreprises agricoles dans divers domaines tels que l'élevage bovin, laitier, aviculture, apiculture et les cultures maraîchères. Cependant, la valeur ajoutée à l'économie locale de la wilaya de Khenchela, vient essentiellement de la filière de l'arboriculture. Le pommier tient le haut de l'affiche, avec une production annuelle qui dépasse 1,8 million de quintaux. Donc l'agriculture affecte des secteurs tels que l'industrie et les services, car de nombreuses industries dépendent des matières premières agricoles (SAB, 2024).

III.5. Matériels et Méthodes

III.5.1. Matériels

Cette section présente les différentes données et outils utilisés pour mener à bien notre étude. Les données proviennent de sources satellitaires, de visites au terrain et de bases de données géospatiales, tandis que les logiciels choisis permettent leur traitement et leur analyse.

Données utilisées :

- *Données satellitaires* : Pour suivre l'évolution de l'occupation des sols, des images optiques multi-temporelles à moyenne et haute résolution spatiale ont été utilisées, tel que : Landsat (5, 7, et 8) : Fournissant des images depuis les années 1980 avec une

résolution de 30 m (visible, infrarouge), idéales pour les études à long terme (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Concernant la période d'étude : Les images ont été sélectionnées sur une période de 30 ans (1994, 2004, 2014, et 2024) pour capturer les tendances évolutives.

- *Données auxiliaires* : Pour améliorer la précision de la classification et l'interprétation des changements, les données suivantes ont été intégrées : Cartes topographiques, pour la délimitation précise de la plaine et l'extraction des courbes de niveau. Données pédologiques et de couvert végétale de la région (DSA). Données climatiques : Précipitations et températures (SM d'Elhama) pour corréliser les changements avec les sécheresses ou inondations.

Logiciels et outils informatiques :

- Traitement d'images et télédétection : ArcGIS : Logiciel spécialisé pour le traitement des images satellitaires (corrections radiométriques, classification supervisée).
- Systèmes d'Information Géographique (SIG) : ArcGis : Logiciel libre pour la cartographie, la superposition des couches et l'analyse spatiale.
- Autres outils : Excel : Pour organiser les données tabulaires et calculer les matrices de transition.

III.5.2.Approche méthodologique

Notre approche méthodologique est basée sur les concepts de base, des techniques de classification d'imagerie satellitaire disponibles dans la télédétection liée à la cartographie de la végétation ont été introduits (traitement, analyse, et comparaison). La méthodologie appliquée était semi-automatique, utilisant différentes étapes dans le traitement et classification d'images par le biais d'un logiciel ArcGis 10.3. Les étapes de travail sont organisées dans l'organigramme (Fig. 10).

III.5.3.Collecte des données (image satellitaire)

Notre étude vise à mettre en évidence l'évolution de l'occupation des sols agricoles permanent de la plaine de Malagou. Il s'agit donc de caractériser l'évolution de l'occupation des sols agricoles permanents et prendre en considération les éventuels changements d'occupation des

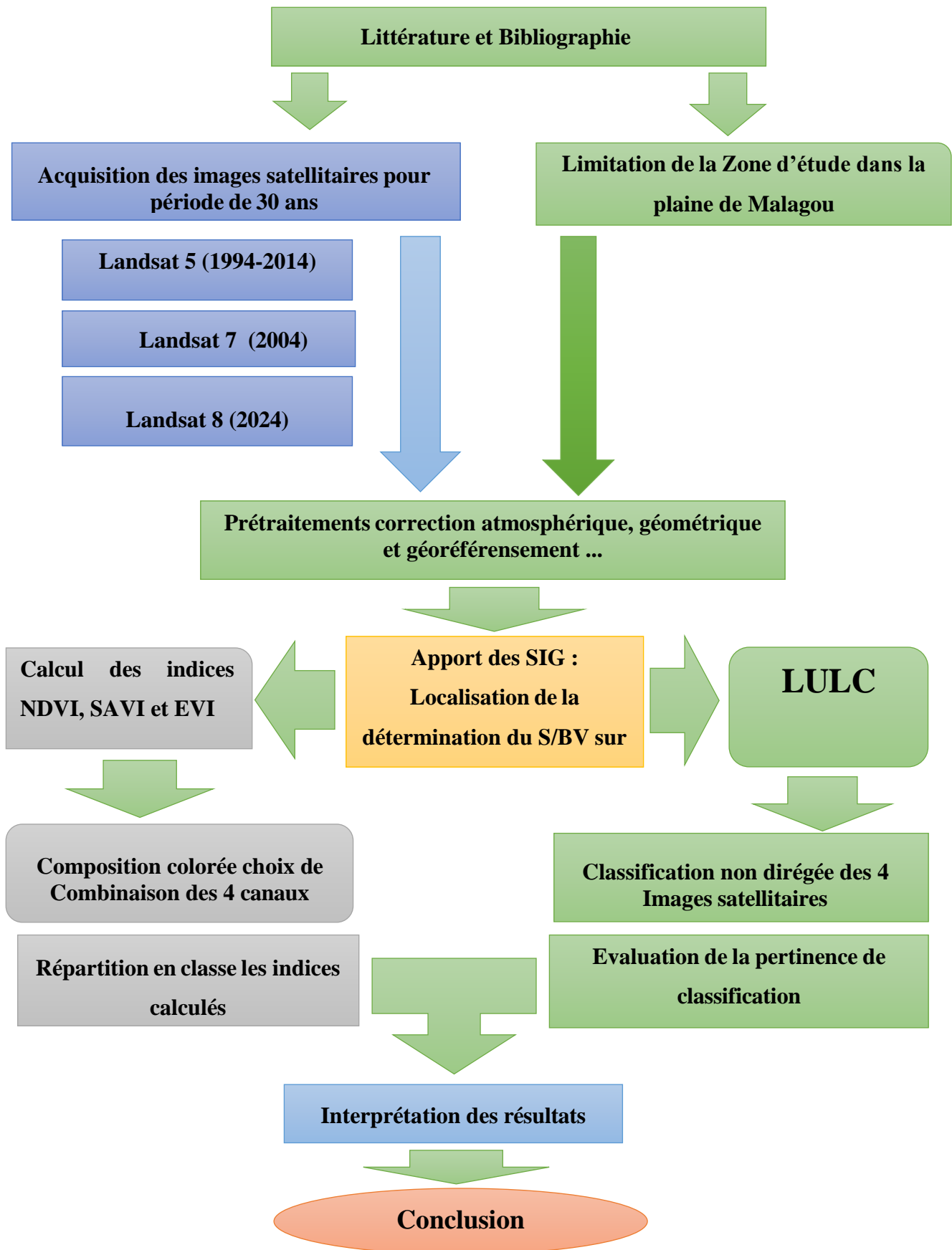


Figure 10. Organigramme de l'approche méthodologique à suivre

sols agricole. Il nous faut donc choisir des dates d'acquisition des images. Cependant, il faut aussi choisir une date où la végétation est en court plus verte pour le détecter sans oublier la disponibilité de ces images. Dans la région d'étude la végétation saisonnière repousse après la saison des pluies. En effet, notre choix des images satellitaires a été focalisé pour des images prises durant la période estivale (Mai à Septembre) et sur un duré du temps de 30 ans (1994, 2004, 2014, et 2024) et un pat d'observation chaque 10 ans et cela pour raison de minimiser l'effet de l'atmosphère (nuage) sur la qualité des images, et de réaliser notre comparaison très proche de la réalité. Les images utilisées dans notre étude, sont collectés au prié de site USGS spécialisé dans l'étude spatiale et le suivi des changements environnementales, qui mettre en libre disponibilité des cartes et des images satellitaires, généralement les satellites disponibles sont de Landsat 5,7, 8, et 9 avec des résolutions de 30 m (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) dans les caractéristiques sont résumés dans le tableau (Tableau 3) (Kallel, 2012).

Tableau 3. Caractéristique des images satellitaires utilisées dans l'étude Plain de Malagou

Capteur	Résolution spatiale	Bandes spectrales	Date d'acquisition	Satellite
Landsat TM	30 m	B1-B7	08/05/1994	Landsat 5
Landsat ETM	30 m	B1-B7	17/07/2004	Landsat 7
Landsat TM	30 m	B1-B7	17/05/2014	Landsat 5
Landsat ETM	30 m	B1-B11	05/07/2024	Landsat 8 OLI

III.5.4. Classification d'analyse d'une image

Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories : les méthodes de classification supervisée et les méthodes de classification non supervisée.

III.5.4.1. Classification supervisée

La classification supervisée repose sur l'utilisation d'échantillons d'entraînement fournis par l'utilisateur (appelés truth data). Ces échantillons représentent les différentes classes thématiques (forêt, eau, zone urbaine, etc.). L'algorithme analyse les signatures spectrales des pixels dans les échantillons, puis attribue chaque pixel de l'image à une classe (Pal & Mather, 2005). Les étapes :

- Sélection de classes d'entraînement (à partir de données terrain ou images connues).
- Extraction des signatures spectrales.
- Application de l'algorithme de classification.

- Validation à l'aide de données indépendantes.

Les avantages de cette méthode s'expriment par haute précision si les données d'entraînement sont représentatives, et une flexibilité avec les algorithmes modernes (SVM, RF, CNN). Tandis qu'il présente des inconvénients, tel que, nécessite des données d'entraînement de qualité et sensible aux erreurs de terrain (ground truth) (Belgiu & Drăguț, 2016).

III.5.4.2. Classification non-supervisée

La classification non supervisée n'utilise pas d'échantillons d'entraînement. L'algorithme regroupe automatiquement les pixels ayant des signatures spectrales similaires en clusters, qui sont ensuite interprétés manuellement et classés (Jensen J. , 2021), cela passe par différentes étapes :

- Application de l'algorithme de clustering (e.g., K-means).
- Génération de groupes (classes spectrales).
- Interprétation manuelle de chaque classe (post-classification).

Cette technique est avantageuse où elle n'est pas besoin de données d'entraînement aussi est utile pour l'exploration initiale de données. Tandis qu'elle a des inconvénients, tel que, est moins précis que les méthodes supervisées et les classes spectrales peuvent ne pas correspondre à des classes thématiques réelles (Habba & Ishak, 2019)

III.6.1. Prétraitement d'image

Le prétraitement des images a été effectué par le logiciel Arc Gis. Les traitements se focalisent sur des corrections géométriques et atmosphériques on utilise la formule suivante par Earth explorer :

$$pA' = Mp * Qcal + Ap \text{ Où :}$$

pA' : réflectance TOA, non corrigé de l'angle d'incidence solaire

Mp : facteur de redimensionnement multiplicatif spécifique à la bande à partir de la métadonnée ; Réflectance-MULT-Band-X, x est le numéro du band

Ap : Facteur redimensionnement additif spécifique à la bande à partir de la métadonnée ; Réflectance-ADD-Band-X, x est le numéro du band

$Qcal$: Valeurs fournées par la BAN-x

$$pA = pA' / \sin(\text{Theta-s}) \text{ Où :}$$

pA : est la réflectance TOA corrigée de l'indice solaire Theta-s : angle d'élévation du soleil au

centre de l'image fournie dans la métadonnée SUN-ELEVATION

LULC : L'étude de la couverture et utilisations des terres, généralement cette étude peut être effectuée sur les images satellitaires par deux manières supervisées et non supervisées. Dans cette étude notre choix a été adopté pour la méthode de classification non-supervisée. La classification non-supervisée est le processus le plus fréquemment utilisé pour les analyses quantitatives des données d'images de télédétection. Les sites de déformation ont été sélectionnés conformément à Landsat Image, Google Earth et Google Map. L'opération de séquence de base suivie lors de la classification non-supervisée était :

- Définition des sites d'entraînement
- Extraction de signature.
- K-means : Définition d'un nombre de classes (*k*) à l'avance. Itérations pour minimiser la variance intra-classe. (Gower, 1988)

III.6.1.2. Calcul des indices de végétation

Les indices de végétation sont très utilisés d'une part, pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux, comme la biomasse, l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétique actif, etc. En effet, on rencontre le développement de deux types principaux d'indices de végétation : l'indice simple et l'indice justifié. Mettez votre citation.

Les indices de végétation sont des indicateurs quantitatifs dérivés du traitement des bandes spectrales des images satellitaires. Ils exploitent les propriétés optiques uniques de la végétation, notamment sa forte réflectance dans le proche infrarouge (NIR) et son absorption dans le rouge due à la chlorophylle (Tucker, 1979). Ces indices permettent d'évaluer divers paramètres biophysiques comme la vigueur végétative, la couverture foliaire ou le stress hydrique, avec des applications cruciales en agriculture et en écologie.

Principes Physiques Sous-jacents : La végétation présente une signature spectrale caractéristique :

- Réflectance élevée dans le NIR (700-1300 nm) : Liée à la structure interne des feuilles
- Absorption marquée dans le rouge (600-700 nm) : Due à la chlorophylle
- Comportement spécifique dans l'infrarouge moyen (SWIR) : Indicatrice de la teneur en eau
- Ce contraste spectral permet de développer des indicateurs robustes pour distinguer la végétation des autres types de couverture terrestre (Jensen J. , 2015).

Les indices classiques NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Le NDVI repose sur le principe fondamental de la réflectance différentielle de la végétation dans le spectre électromagnétique. Les plantes présentent : Une absorption marquée (80-90%) dans le rouge (600-700 nm) par les pigments chlorophylliens. Une réflectance élevée (40-60%) dans le proche infrarouge (700-1100 nm) due à la structure interne des feuilles (mésophile). Développé par Tucker en 1979, le NDVI reste l'indice le plus largement utilisé. Ses valeurs varient théoriquement de -1 à +1, avec :

Formule de calcul

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

- NIR : réflectance dans le proche infrarouge (~800 nm)
- RED : réflectance dans le rouge (~660 nm)

La valeur du NDVI varie entre -1 et +1. Pour interpréter les valeurs on peut baser sur ces valeurs :

- Valeurs > 0,6 : végétation dense et saine
- Valeurs 0,2-0,5 : végétation clairsemée ou stressés
- Valeurs < 0 : surfaces non végétales (eau, sol nu)

Applications : Généralement cet indice est appliqué où : Suivi des cycles culturels (Pettorelli, et al., 2011). Détection précoce des stress hydriques. Estimation de la productivité primaire

Limites de cet indice : Sensibilité aux effets atmosphériques. Saturation pour les couverts denses. Influence des sols nus en milieu aride

Les indices corrigés Le SAVI (Indice de Végétation Adjusté au Sol)

C'est un indice spectral conçu pour corriger l'influence du sol nu sur les mesures de végétation, particulièrement utile dans les zones où la couverture végétale est faible (ex : zones arides, cultures émergentes) (Huete A., 1988).

Formule du SAVI (Huete A., 1988)

$$SAVI = (NIR + Rouge + L) / (NIR - Rouge) \times (1 + L) \quad \text{Où}$$

NIR : Réflectance dans le proche infrarouge.

Rouge : Réflectance dans le rouge.

L : Facteur de correction du sol (généralement 0.5 pour une couverture végétale modérée).

Choix du facteur L

Valeur de L	Application
L = 0	Équivalent au NDVI (pas de correction sol).
L = 0.5	Zones de végétation clairsemée (défaut recommandé).
L = 1	Zones très arides ou sols très brillants.

Avantages par rapport au NDVI :

- Moins sensible à la réflexion du sol (réduit le bruit dans les zones peu végétalisées).
- Meilleure précision pour les faibles couverts végétaux (ex : stades précoces des cultures).
- Utilisable sans calibration terrain dans de nombreux cas.

Applications typiques :

- Suivi des cultures en zones semi-arides (ex : Sahel).
- Détection précoce du stress hydrique.
- Études de restauration des sols dégradés.

L'indice corrigé EVI (Enhanced Vegetation Index)

Le EVI a été développé pour corriger certaines limites du NDVI, notamment : Saturation dans les zones très végétalisées (NDVI plafonne). Sensibilité atmosphérique (brume, aérosols, etc.). Influence du sol et de l'ombre (Huete, et al., 2002).

Formule : $EVI = G \times [(NIR - Rouge)/(NIR + C1 \times Rouge - C2 \times Bleu + L)]$ où

- G : facteur de gain (en général 2.5)
- C₁, C₂ : coefficients de correction atmosphérique (6 et 7.5 respectivement)
- L : facteur de correction du sol et des ombres (1)
- BLUE : réflectance dans la bande bleue

Cet indice présente des avantages : moins sensible à la saturation dans les forêts tropicales ou zones agricoles intensives. Corrige l'effet des aérosols et de la diffusion atmosphérique. Aussi est utile pour les séries temporelles à partir de capteurs comme MODIS, Sentinel-2, etc. Tandis qu'est limité dans, Nécessite la bande bleue (pas toujours disponible ou fiable sur certains capteurs). Aussi est plus complexe à calculer que le NDVI ou le SAVI.

Tableau 4. Comparaison entre les trois indices de végétation les plus utilisés et leur importance

Caractéristique	NDVI	SAVI	EVI
Correction du sol	X	Oui	Oui
Correction atmosphérique	X	X	(via BLUE)
Sensibilité à la saturation	Élevée	Moyenne	Faible
Complexité du calcul	Simple	Moyenne	Complexe
Données nécessaires	RED, NIR	RED, NIR	RED, NIR, BLUE
Utilisation recommandée	Végétation moyenne	Zones semi-arides	Zones très végétalisées

Chapitre IV : Evaluation de l'évolution spatiotemporaire de l'occupation du sol dans la plaine de Malagou

La plaine de Malagou, par sa position géographique et ses caractéristiques écologiques, constitue un territoire d'une importance majeure sur les plans environnemental, agricole et socio-économique et surtout sa vocation agricole. Cependant, sous l'effet combiné des pressions anthropiques et des variations climatiques, son paysage a connu des mutations significatives au cours des dernières décennies. Dans ce chapitre nous visons à analyser l'évolution spatiotemporelle de l'occupation du sol dans cette plaine, afin d'en comprendre les dynamiques, les facteurs de transformation et les implications pour la gestion durable des ressources. A travers l'exploitation d'images satellitaires multi dates, de données terrain et d'outils de traitement géo spatial, nous évaluerons les changements intervenus dans l'utilisation des terres (zones agricoles, forêts, zones urbaines, etc.) sur une période donnée de 30 ans. Cette analyse permettra d'identifier les tendances d'évolution, les zones les plus vulnérables et les enjeux futurs pour l'aménagement du territoire. Une telle approche est essentielle pour orienter les politiques de conservation et de développement adaptées aux spécificités de la plaine de Malagou. Cette étude s'inscrit ainsi dans une perspective à la fois rétrospective et prospective, offrant des clés de lecture pour une gestion équilibrée et résiliente des espaces naturels et anthropien et d'avoir donnée une vision globale sur la région pour donner une possibilité de proposée des projets de développement durable et préservatif des ressources. En effet, le sol est d'une grande importance et présente de nombreux avantages sociaux et environnementaux, c'est pourquoi nous constatons sa diversité et sa différence d'une région à l'autre. La conservation et la valorisation de cette ressource est un objectif primordial pour tous les pays. Pour réaliser cette préoccupation, il faut une surveillance et évaluation spatiotemporelle de ces ressources est une étape principale pour un développement durable. L'intégration de la télédétection permet de surveiller notre environnement sur de larges étendues et de faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace afin de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes.

Dans ce contexte ce travail a été développé, dont l'objectif principale est l'intégration de la télédétection dans l'évaluation de l'évolution de l'occupation des sols agricoles dans la plaine de Malagou. Pour réaliser ce travail notre choix a été adopté pour une période de 30 ans, par l'utilisation des images satellitaire Landsat de quatre décennies.

IV.1 Résultats et Discussions

Les résultats de traitement des images satellitaires sont résumés dans trois objectifs la premier est d'identifier l'évolution de l'occupation et utilisation des sols dans la région (LULC), la deuxième est d'identifier la situation de l'occupation des sols agricoles de la zone d'étude, avec évaluation de l'évolution des sols par le calcul de deux indices NDVI, EVI et SAVI.

IV.1.1 Etude de l'occupation et utilisation des terres (LULC)

Dans le cadre de réaliser et identifier l'occupation et utilisation des terres dans la plaine de Malagou on a adopté la technique de classification non supervisée, où on a réussi de faire sortir six classes comme suite : La forêt, La végétation, les zones urbaines, les zones agricoles, sol nu, garrigue, Et cela pour les quatre périodes de prélèvements des images (1994, 2004, 2014, 2024) (tableau 5).

Tableau 5. Evolution de l'occupation du sol durant 30 ans

Année	Forests	Garrigue	Agriculture	Vegetation	Bare soil	Tillage land
1994	6087,96	4831,92	1008,63	3226,95	5521,05	0
2004	4802,67	5690,61	2823,48	0	7408,89	918,9
2014	2161,62	13454,55	414,27	0	5722,02	1459,89

IV.1.1.1 Calcul et identification de LULC de plaine de Malagou

LULC 1994

Dans les années 1994, nous remarquons que les forêts, occupe la plus grande superficie avec 28%, vient en deuxième position sol nu avec garrigue qui sont presque égaux, par contre la présence de l'agriculture n'était pas très importante présente seulement 5%. Tandis que les zones urbaines, elle n'occupe pas une grande superficie par rapport à la végétation qui présente quinze pour cent 15% et aussi les soles labourées qui occupe une superficie négligeable. De ce fait, les terres de la région sont réparties d'une manière diversifier (Fig. 11).

LULC 2004 :

Après 10 ans l'occupation des terres dans les années 2004, présente toujours les mêmes valeurs où, les forêts et les sols nus maintiennent la même surface qui occupent 30% de la surface totale. Tandis que, nous remarquons une augmentation des terres occupée par l'agriculture avec 13%. Le reste de surface (25%) des terres est occupé par une végétation naturelle (avec une régression) et 3% des terres sont occupée par les Zones urbaine (Fig. 12)

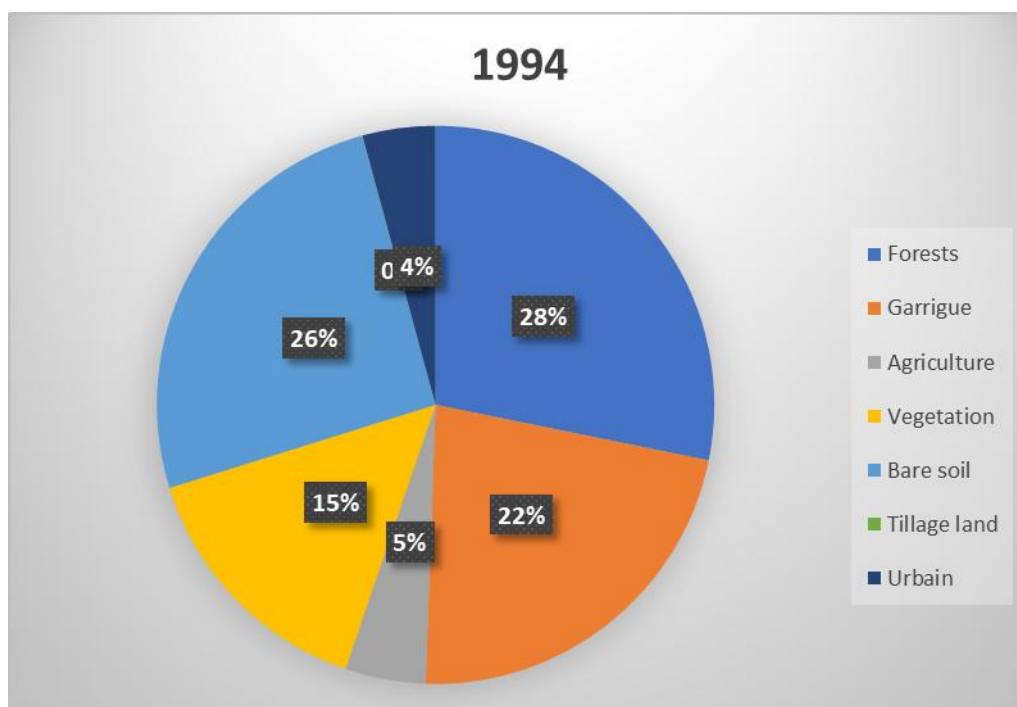


Figure 11. La répartition de l'occupation des terres de plaine de Malagou (1994)

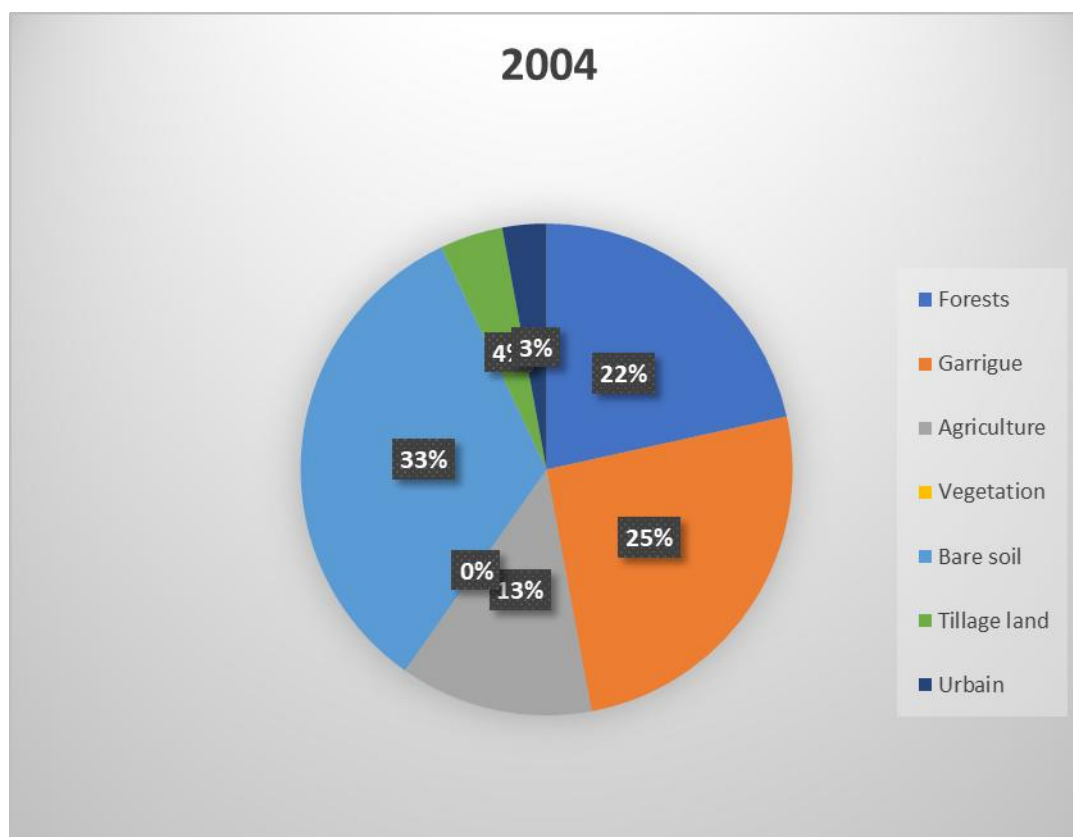


Figure 12. La répartition de l'occupation des terres de Plaine de Malagou (2004).

LULC 2014 :

A cette intervalle, l'occupation des terres de la région d'étude est dominée par les garrigues qui dépassent 50% et c'est un état de dégradation de la forêt. En deuxième position les terres sont occupées par des sols nu avec 24%, cela aussi indique une situation de dégradation de l'écosystème de forêt. Tandis que, la terre occupée par la forêt est de 9%, où plus de la moitié des terres forestière sont perdue. D'une autre coté, on a remarqué la diminution de la superficie des terres agricole, et une augmentation de l'occupation des terres par l'urbanisme cela indique une activité anthropique qu'est entraine de ce crée dans la région (Fig. 13).

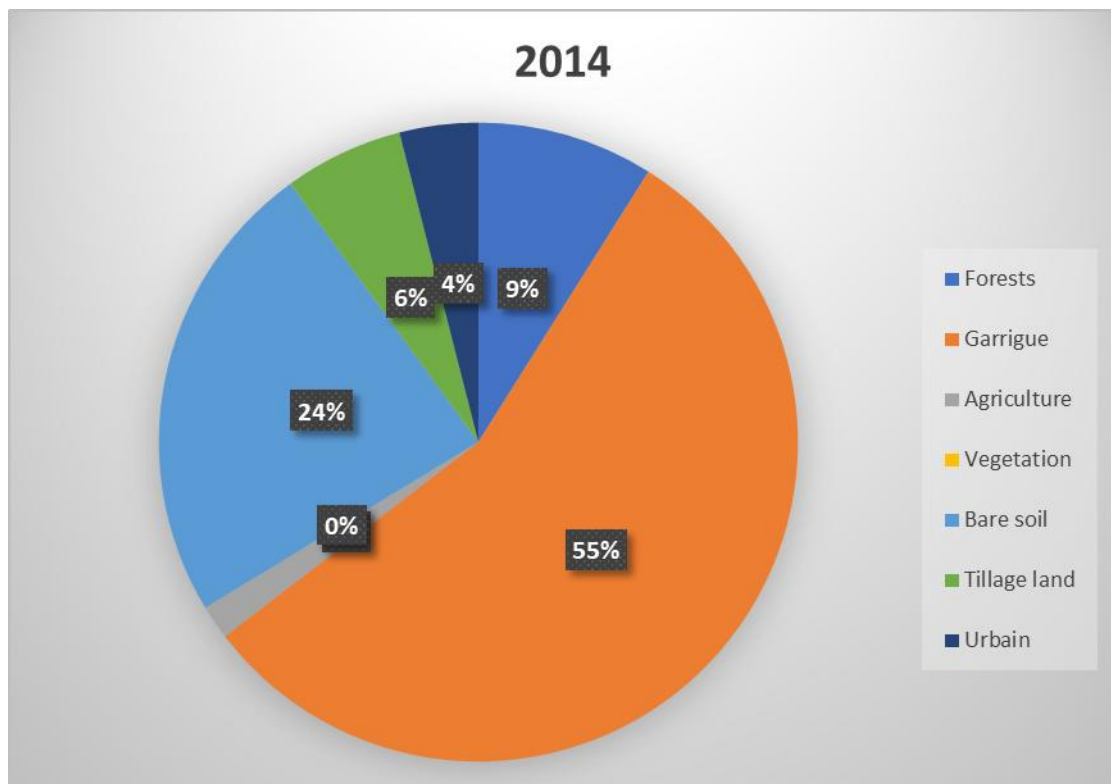


Figure 13. La répartition de l'occupation des terres de Plaine de Malagou (2014)

LULC 2024 :

Dans cette dernière décennie, nous remarquons que l'occupation des sols dans la région présente un changement radical d'une augmentation où : toujours les garrigues couvert la majorité de superficie, mais il présente une diminution importante car il ne dépasse pas les 30%. Cependant, les forets occupent de plus en plus de superficie avec 23% et cela peut s'expliquer les programmes de reboisement et la diminution des incendies des forêts dans la région. D'une autre part, l'agriculture dans la région occupe de plus en plus des terres d'une manière progressif, ainsi avec des investissements (pommier) dans le secteur agricole sont en

augmentation surtout cette dernière décennie. En troisième position viens les sols nus et la végétation qui occupent des terres non négligeables dans la partie centrale et sont visés comme un projet futur de mise en valeur agricole et urbain. Tandis que la zone urbaine présente une augmentation remarquable d'occupation des terres est proche de celle de la végétation, donc il y a une augmentation remarquable de la population et cela grâce à la dynamique commerciale et les commodités dans la région (Fig.14).

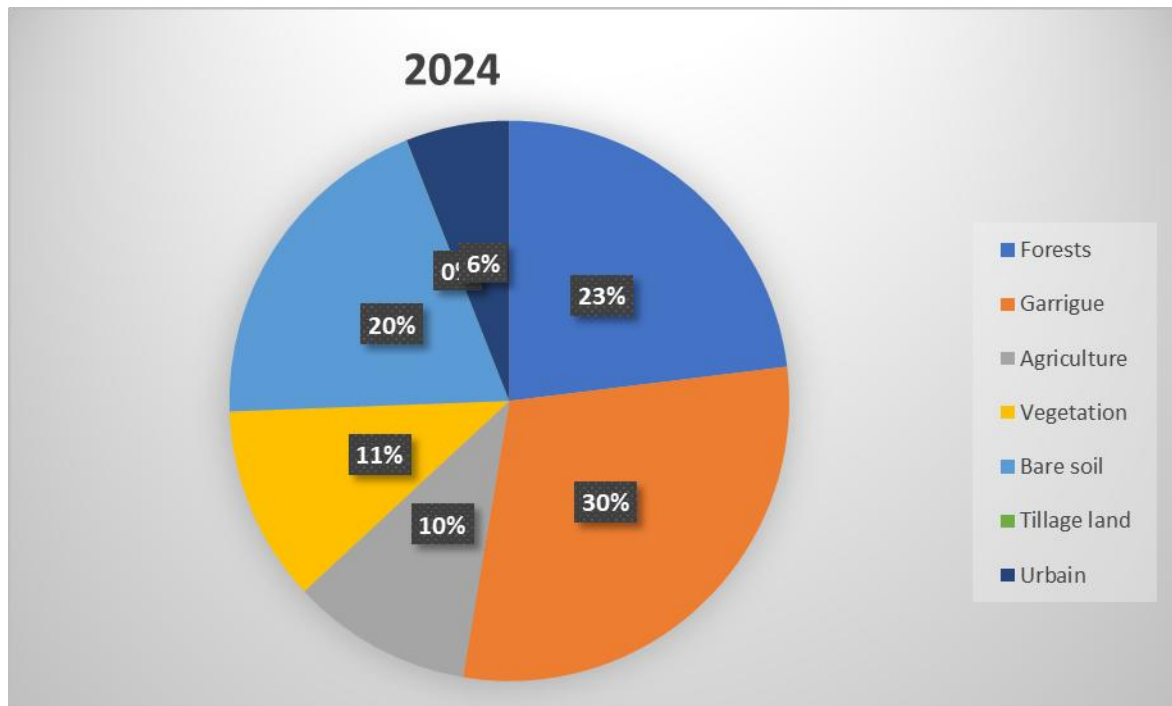


Figure 14. La répartition de l'occupation des terres de plaine de Malagou (2024)

IV.1.1.2 Contexte globale de l'évolution de l'occupation des terres (LULC)

L'estimation de l'occupation et de l'utilisation des terres (LULC) dans la région d'étude pour les quatre périodes d'observation (1990-2004, 2014 et 2024) par le biais de télédétection, a permis de faire une étude diachronique d'évolution de l'occupation des sols. Les résultats indiquent toujours la dominance des garigues et des forêts par rapport à toute autre entité, mais avec une augmentation remarquable des superficies de garigue au détriment des forêts jusqu'en 2014, en suite les forêts ont réussi à récupérer quelques terrains, et cela indique une dégradation de l'écosystème forestier dans la région sous la pression des facteurs naturels (changement climatique) et anthropiques (incendie, et agriculture). Concernant le couvert végétal, présente une fluctuation avec une diminution jusqu'en 2004, ensuite une augmentation à partir de 2014, cela peut s'expliquer par la fluctuation climatique saisonnière et annuelle. Tandis que, l'occupation des terres par l'activité agricole et urbaine présente aussi une

fluctuation mais en générale une augmentation progressif, donc d'occupation des terres de plus en plus. En outre, les sols nus présentent une augmentation progressive des terres jusque 2014 commencent une régression progressive, cela peut d'expliquer l'extension des terres agricole et des zone urbain au détriment de cette entité surtout la dynamique de mise en valeur des terres qui a été témoin la région (Fig.15).

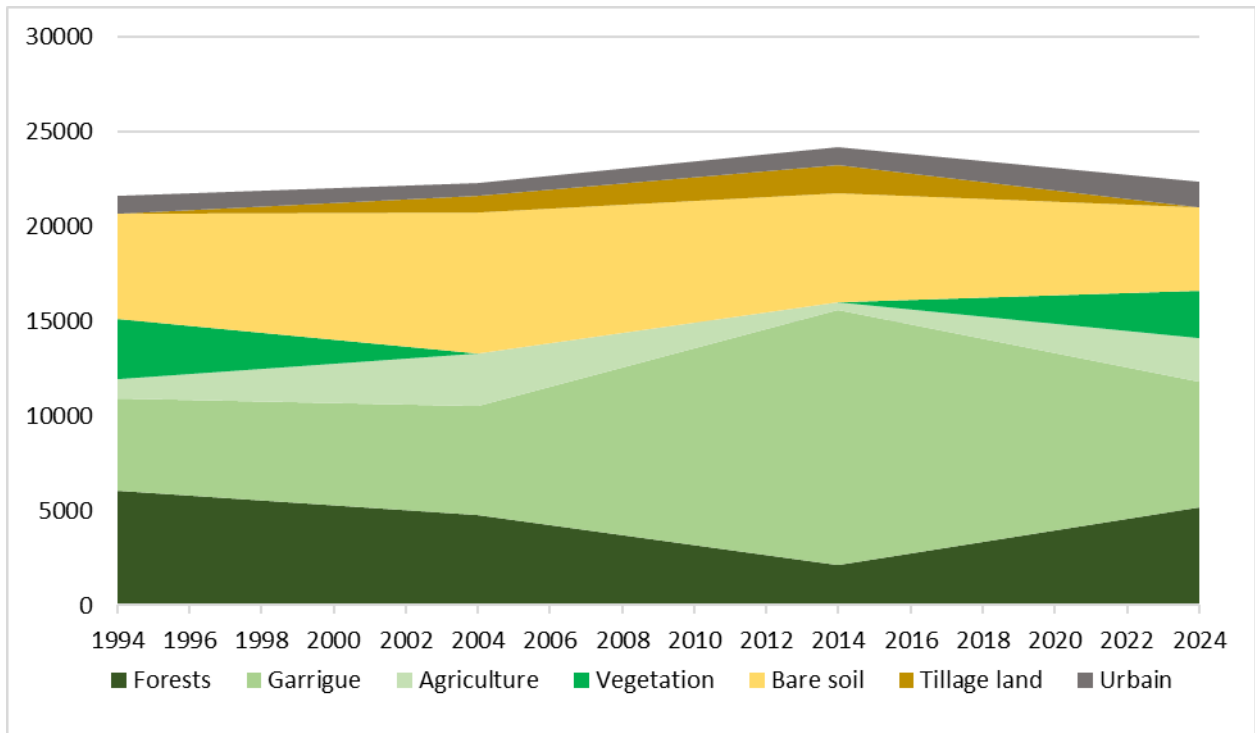


Figure 15. Graphe d'évolution de l'occupation des terres de la plaine de Malagou (1994-2004-2014-2024).

En outre, par le biais de SIG ont à réussi de réaliser des cartes de répartition spatiale de l'occupation et utilisation des terres pour la plaine de Malagou basons sur la méthode de classification non supervisé LULC, les résultats indiquent une répartition comme suite : Des forêts occupent la partie Sud de la région c'est les monts des Aurès, au centre de la région c'est des plaines ou ils sont occupés par des terres agricole, et la casé totalité sont des terres nue (Sol nu). Concernent l'évolution chronologique spatiale d'occupation des terres, nous remarquons que les terres agricoles présentent une diminution pour la première décennie en suite ils présentent une augmentation et cela en profitent des terres nue, tandis que les forêts et la végétation présentent une variabilité chronologique stable avec une régression remarquable dans la partie Nord-est de la région d'étude. Tandis que, l'urbanisme des terres dans la région occupe le centre de la région traditionnellement mais aussi il est élargi vers le Nord-est et au sud de la région accompagnent les terres de mise en valeur.

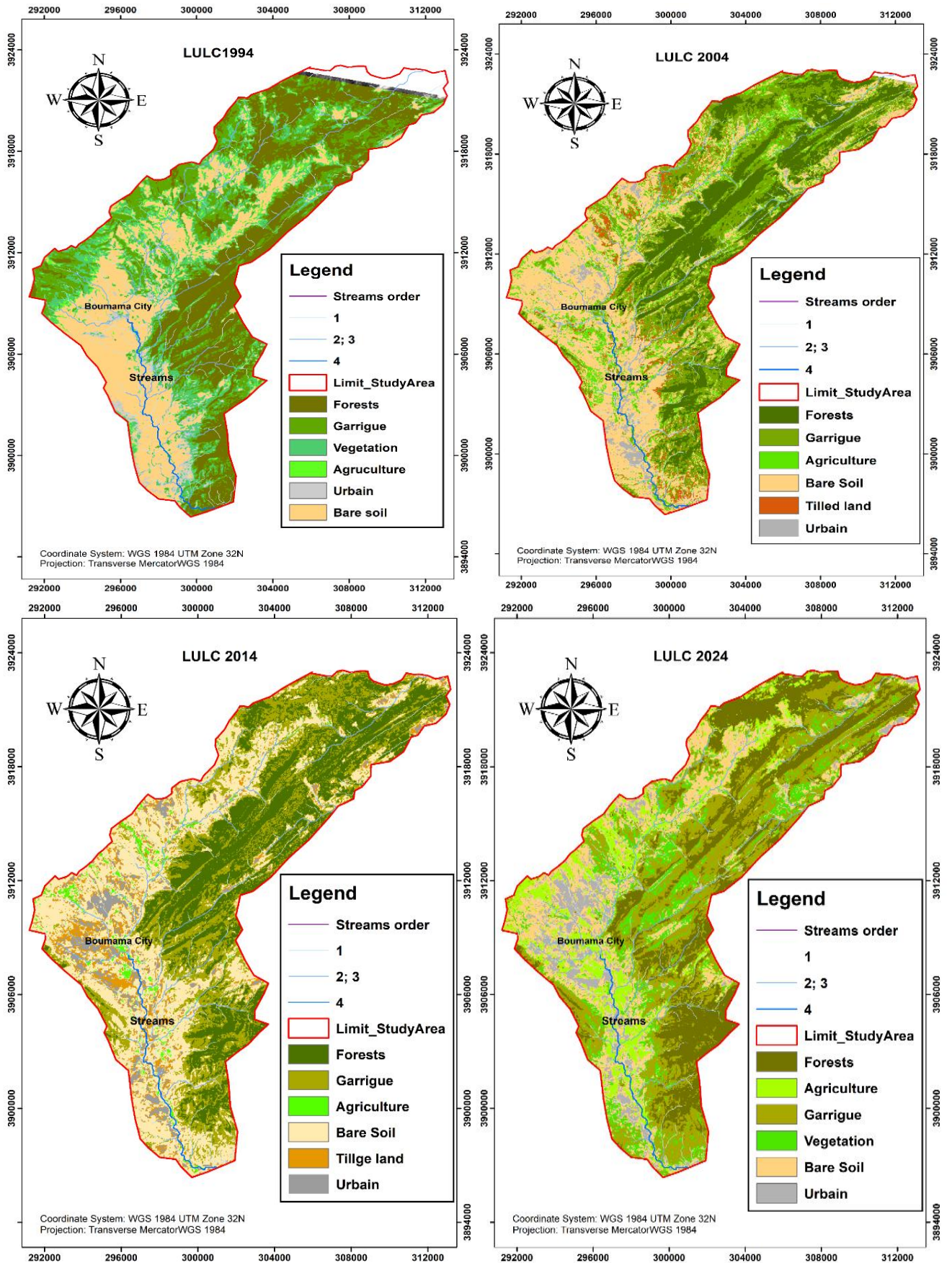


Figure 16. Carte de répartition de l'occupation et utilisation des terres du plaine Malagou (1994, 2004, 2014, et 2024).

Cependant, le plus remarquable est les terres occupées par les garrigues présentent une augmentation progressive au déterrement des forêts, cela signifie un état de dégradation de l'écosystème forestier surtout dans la partie est et la partie ouest de la région d'étude (Fig. 16).

IV.1.2 L'évolution du couvert végétale (NDVI)

Dans le cadre de plus de précision sur l'évolution de la végétation dans la région d'étude on a opté au calcul et cartographie de l'indice de végétation (NDVI) couramment utilisé et cela pour la période qui s'étale de 1994 à 2024, par le biais de logiciel ArcGis, a permis de faire une étude diachronique d'évolution de l'occupation des sols agricoles. Les résultats indiquent toujours la dominance des sols nus par rapport aux autres entités, ou a marqué une augmentation importante durant les deux premières décennies de 1994 à 2014 ensuite à marquer une régression jusqu'à 2024. C'est la même chose pour les terres agricoles, urbaines et labourées, présentent une occupation progressive des terres jusqu'en 2014 ils sont stagnés ou reculer. Par contre, les terres occupées par les forêts et les garrigues présentent une diminution remarquable jusqu'en 2004 ensuite les terres des forêts en continue la régression en face les terres des garrigues qui ont augmenté, par contre après 2014, c'est le contraire les terres des forêts ont présenté une augmentation en face les terres des garrigues qui ont diminué. Mais pour la dernière décennie, elle est caractérisée par une diminution de la superficie des forêts et de la classe des sols nus, en effet une augmentation remarquable pour la classe des eaux et la végétation agricole, qui résultent de l'investissement et subvention agricole dans les plaines de la région (Fig. 17).

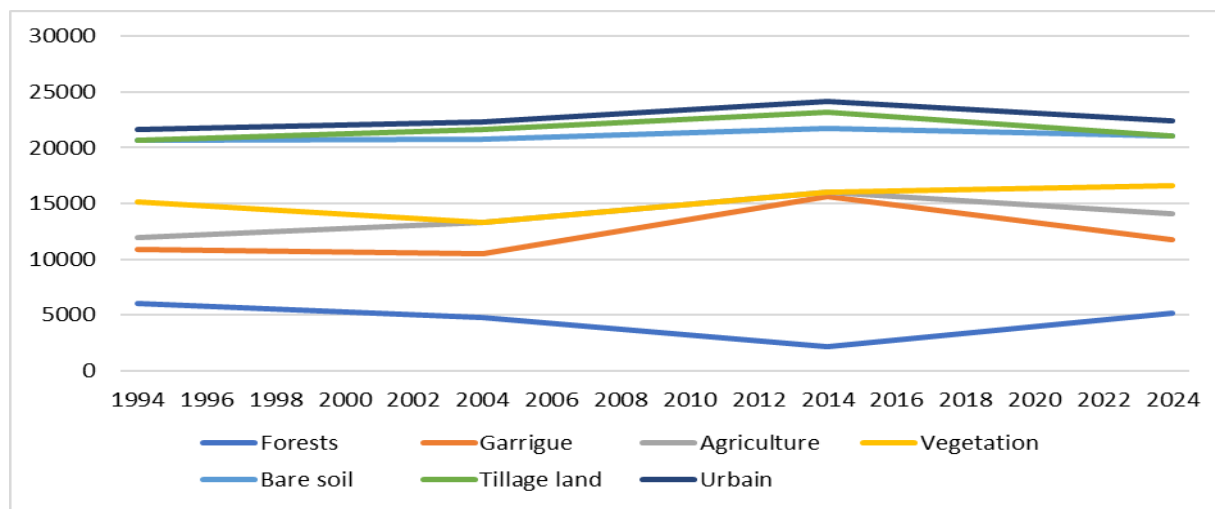


Figure 17. L'évolution des classes de l'indice de végétation (NDVI) de la plaine de Malagou (1994, 2004, 2014, et 2024)

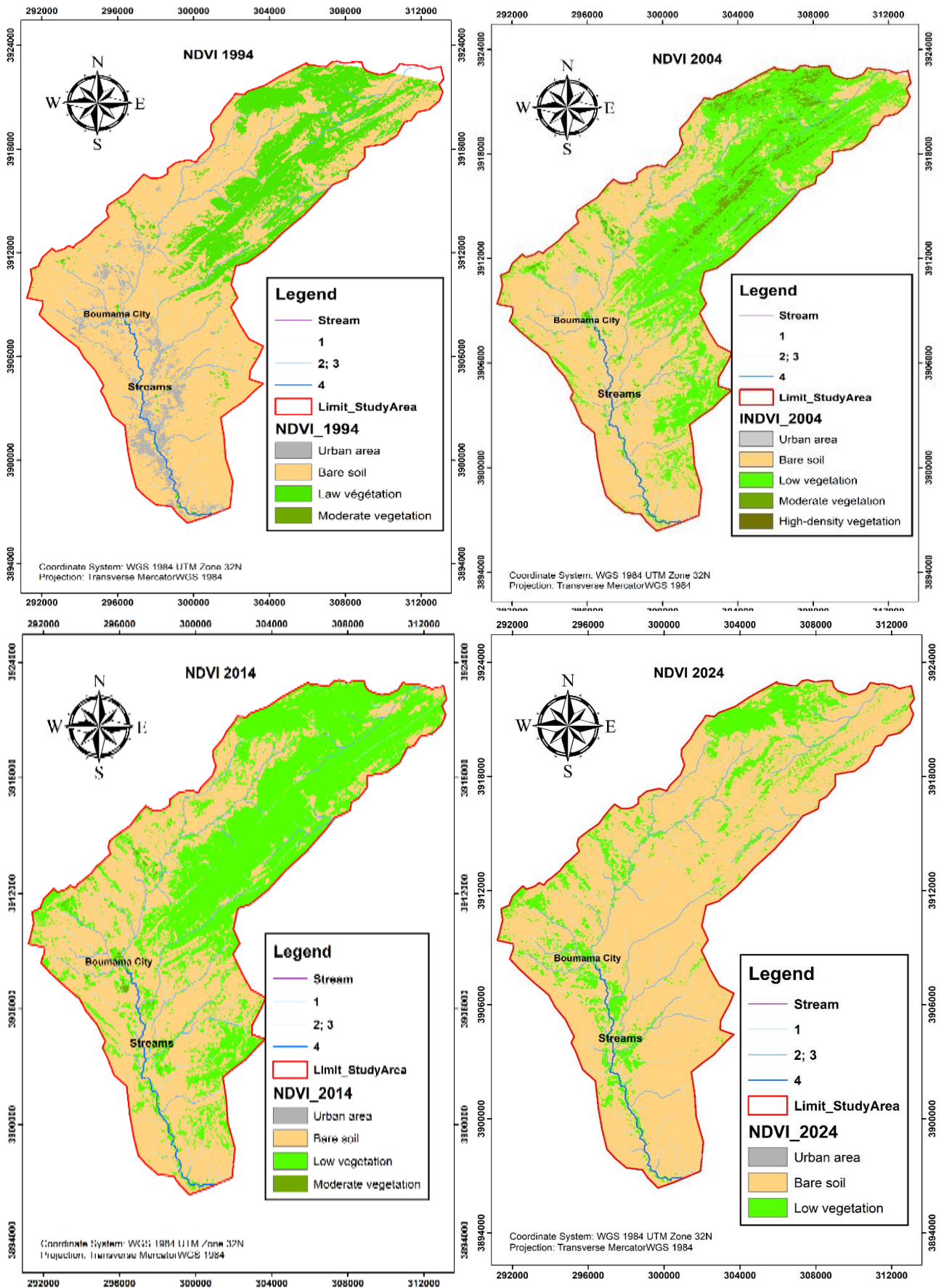


Figure 18. Cartes de répartition d'indice de végétation (NDVI) pour la plaine de Malagou (1994, 2004, 2014, et 2024)

IV.1.3 Cartographie de l'évolution des indices de la végétation de la plaine

En outre, par le biais de SIG ont à réussi aussi de réaliser des cartes de répartition spatiale des indices de végétation (NDVI) pour la plaine de Malagou. Les résultats indiquent une répartition comme suite : des forêts occupent la partie Ouest, Nord et Nord-est de la région, nous remarquons aussi une évolution significative de couvert végétale de 1994 à 2014 mais régression très remarquable jusque 2024, en effet l'intensité de la végétation augment de l'est à l'ouest. Cependant, le centre de la région c'est des plaines ou ils sont occupés par des terres agricoles, et la casé totalité des terres sont des terres nus (Sol nu). Concernent l'évolution chronologique spatiale d'occupation des terres, nous remarquons que les terres agricoles présentent une diminution pour la première décennie en suite ils présentent une augmentation très importante et cela en profitent des terres nues, tandis que les terres occupées par des forêts présentent une certaine stabilité. Cependant, les ressources d'eau superficielle dans la région sont très limitées dans la région présentée par des barrages qui sont créé dans ces dernières décennies (Fig. 18).

Concernant le deuxième indice celle de SAVI est souvent utilisée dans les régions où l'occupation des sols n'est pas intensive (Régions semi-aride et arides), on a réussi de calculer et de cartographie par le biais de ArcGis, les résultats sont comme suite : même chose comme NDVI le SAVI confirme que l'intensité végétatif augment passons de l'Est à l'Ouest et de Sud au Nord de la région. Concernant l'évolution de l'occupation des sols par la végétation augment progressivement de 1994 à 2024, mais l'intensité végétatif a été augmenté de 1994 à 2004 en suite elle marque une diminution de progressif jusque 2024 surtout dans les terres forestières, cela peut s'expliquer par l'effet de changement climatique à influencé l'intensité et la santé des arbres d'une part et d'une autre part les activités anthropiques où les incendiés de ces dernières année en ravager plusieurs hectare des forêts qui a influencé l'intensité des arbres et l'apparition des garigue qui on remplacer les forêts intensif, aussi l'activité agricole a augmenté la couverture des sols par la mise en valeurs des terres nues (Fig. 19).

Un autre indice de végétation amélioré (EVI - Enhanced Vegetation Index) a été calculée et cartographie pour la plaine de Malagou, un outil important en télédétection, particulièrement pour l'étude de la végétation, l'EVI intègre un ajustement pour réduire les effets des aérosols et de la diffusion atmosphérique, offrant des données plus précises même dans des conditions de brume ou de pollution, utilisée dans le suivi agricole pour l'estimation de la biomasse et de

la santé des cultures. Les résultats de notre zone d'étude indiquent ; confirme que la densité la plus élevée se trouve dans la partie Nord-ouest de la région (Forêt), avec une évolution remarquable et progressive du couvert végétale de 1994 jusque 2014, après ça il y a une certaine régression de densité forestière dans la partie Nord-ouest a cause de l'activité anthropiques (incendie et déboisement), par contre la partie nord de la région présente une évolution continue et positif. D'une autre coté cet indice indique plus précisément l'évolution du couvert agricole dans la zone où en remarque une évolution significative de couvert végétale au centre et au sud de la région (plaine de mise en valeurs), et cela, confirme le dynamique d'investissement agricole dans la région surtout dans la dernière décennie et cela avec l'installation des vergers de pommier et l'application des nouvelles techniques tel que l'intensif (3000 plan/ha) (Fig. 20).

En effet, d'après les résultats des trois indices on peut confirmer que les deux indices EVI et SAVI sont plus précise que NDVI, et que EVI est plus efficace dans la suive de couvert végétal en générale et surtout dans la zone semiaride et que le SAVI est très efficace dans le détectèrent de l'évolution du couvert végétale et plus précisément le couvert végétal agricole où on a réussi de séparer le couvert végétal naturelle et celle agricole. Donc pour notre cas d'étude nous recommandent l'utilisation de SAVI en première lieu pour le suivi du couvert agricole.

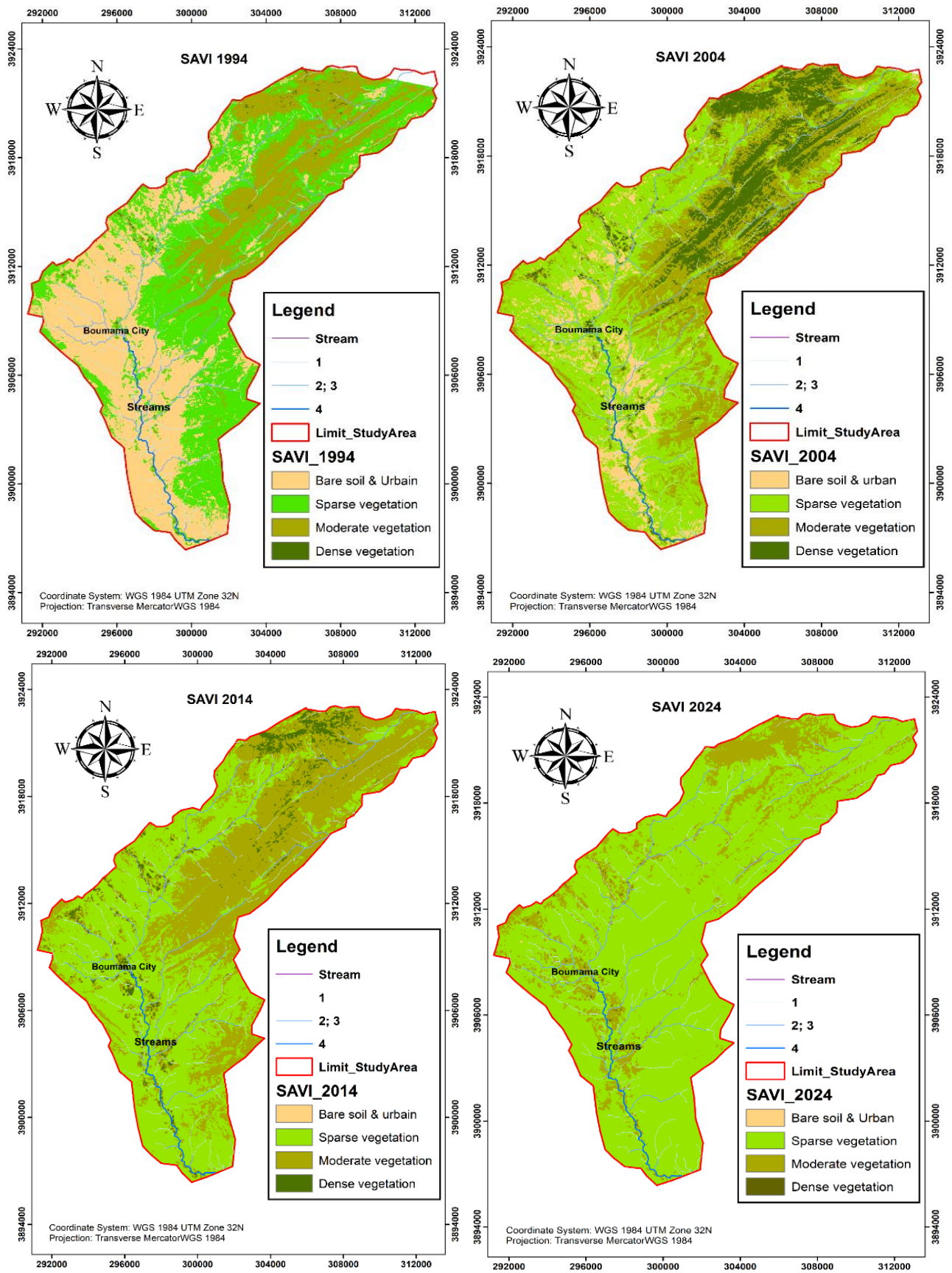


Figure 19. Cartes de répartition spatiale de l'indice de végétation (SAVI) pour la plaine de Malagou (1994, 2004, 2014 à 2024).

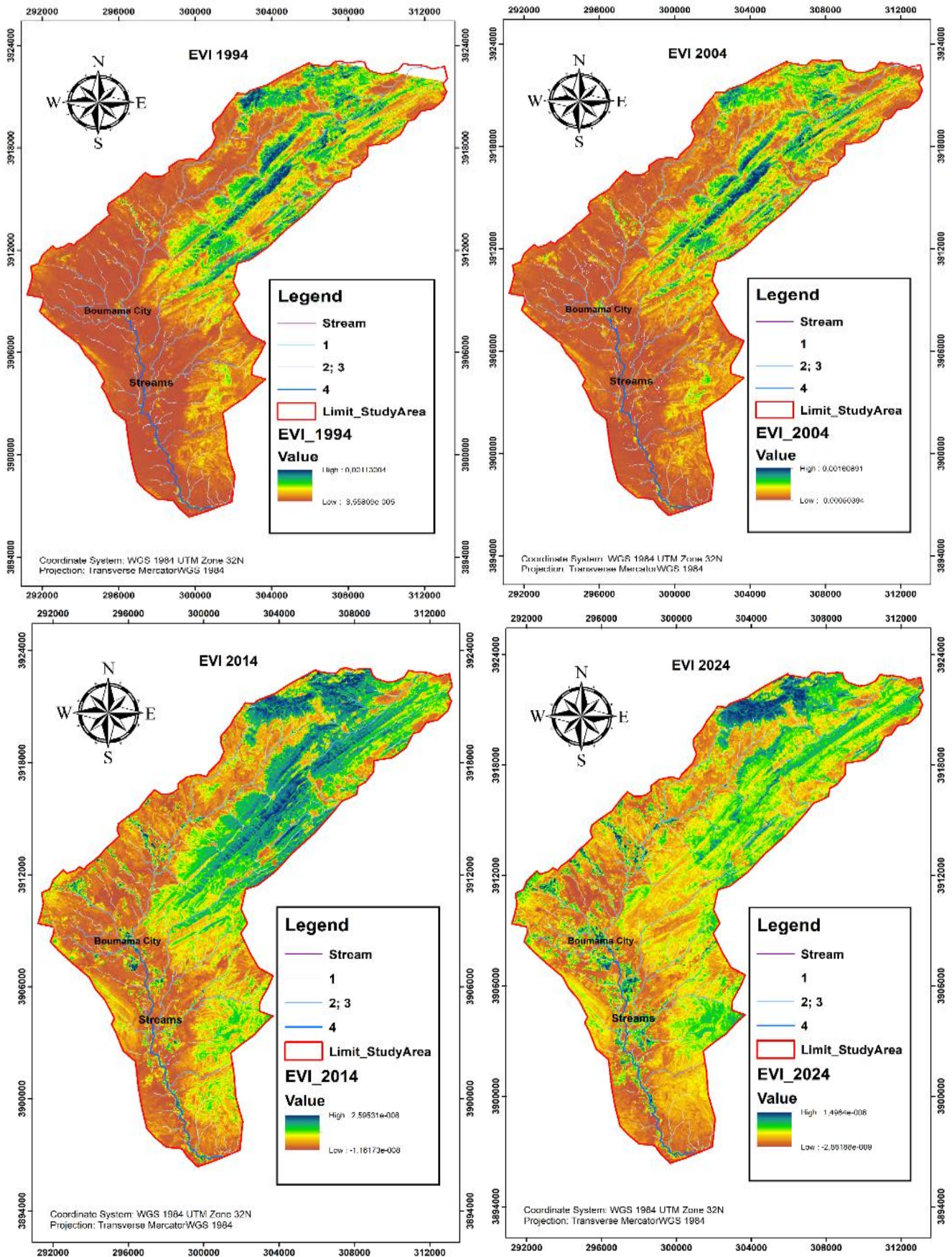


Figure 20. Carte de répartition spatiale de l'indice EVI pour la plaine de Malagou pour la période (1994, 2004, 2014 et 2024

IV.3. Conclusion

Objectif de cette étude était d'étudier l'évaluation de l'occupation des sols agricoles dans la plaine de Malagou. L'analyse des images satellitaires par l'utilisation de trois indicateurs de l'occupation des terres (LULC, NDVI, et SAVI), montre que le couvert végétal de la région est passé par trois périodes principales : La diminution du couvert végétal durant la troisième période des années 1994 qui a été expliquée par le délaissement des terres agricoles, la deuxième période est celle où est marqué par l'investissement important agricole dans la région avec une sécheresse qui a augmenté l'occupation des sols mais progressivement. La dernière période est celle de ces dernières années, la région a connu une augmentation importante cela peut s'expliquer par les résultats d'investissement agricole avec les conditions climatiques qui sont améliorées.

Conclusion Générale

Ce mémoire a permis d'étudier de manière approfondie l'évolution spatiotemporelle de l'occupation des sols dans la plaine de Malagou, située dans la commune de Bouhmama (wilaya de Khenchela), sur une période de trois décennies, de 1994 à 2024. En recourant à des outils modernes de télédétection, notamment les images satellitaires Landsat, et en appliquant des méthodes de classification supervisée et non supervisée, nous avons pu cartographier et quantifier les changements d'occupation des sols. L'utilisation d'indices de végétation (NDVI, SAVI, EVI) a permis d'évaluer la dynamique du couvert végétal, tandis que les systèmes d'information géographique (SIG) ont facilité l'analyse spatiale et temporelle des transformations observées. Les résultats obtenus révèlent des mutations significatives du paysage, marquées par une interaction complexe entre facteurs naturels et pressions anthropiques.

L'analyse diachronique a mis en évidence une évolution contrastée des différentes classes d'occupation des sols. Les forêts, qui couvraient initialement 28 % de la superficie en 1994, ont connu un déclin marqué, tombant à seulement 9 % en 2014 en raison de la déforestation, des incendies et de l'expansion agricole. Cependant, une légère reprise (23 % en 2024) a été observée, attribuable aux efforts de reboisement et à une meilleure gestion des incendies. Parallèlement, les garrigues, indicateurs de dégradation forestière, ont progressé, occupant près de 50 % des terres en 2014 avant de diminuer légèrement en 2024. Les zones agricoles, quant à elles, ont connu une expansion notable, passant de 5 % en 1994 à 13 % en 2024, en lien avec le développement de la pomiculture intensive, une filière clé dans la région. L'urbanisation, bien que modeste, a également progressé, reflétant la croissance démographique et l'essor des infrastructures locales.

L'évaluation des indices de végétation a permis d'affiner notre compréhension de la santé et de la densité du couvert végétal. Le NDVI, bien que largement utilisé, a montré des limites dans les zones arides et les couverts denses, où il tend à saturer. Le SAVI, en revanche, s'est avéré plus performant pour les milieux semi-arides, en corrigeant l'influence des sols nus, tandis que l'EVI a fourni une analyse plus précise de la biomasse végétale, notamment dans les zones forestières et agricoles intensives. Ces outils ont confirmé une dégradation partielle des écosystèmes naturels, mais aussi une amélioration de la productivité agricole dans les

plaines, où les investissements en irrigation et en techniques culturales modernes ont porté leurs fruits.

Les enjeux environnementaux identifiés sont multiples : érosion des sols, surexploitation des nappes phréatiques, et réduction de la biodiversité. Ces défis sont exacerbés par les changements climatiques, avec une diminution des précipitations et des épisodes de sécheresse plus fréquents, ainsi que par les vents violents (comme le sirocco) qui accentuent l'évapotranspiration et les risques de désertification. Toutefois, des opportunités se dessinent, notamment grâce à l'adoption de pratiques agricoles durables (lutte biologique, agroécologie) et à la modernisation des systèmes d'irrigation.

Pour une gestion durable de la plaine de Malagou, plusieurs recommandations peuvent être formulées :

- Renforcer la surveillance environnementale par l'utilisation combinée des indices SAVI et EVI, plus adaptés aux spécificités de la région.
- Promouvoir des politiques de reboisement ciblées et la restauration des écosystèmes dégradés.
- Optimiser l'usage des ressources en eau via des techniques d'irrigation efficaces et la recharge des nappes.
- Encadrer l'expansion urbaine pour limiter l'artificialisation des terres agricoles.
- Sensibiliser les acteurs locaux aux enjeux de préservation des sols et de la biodiversité.

En conclusion, cette étude démontre que la plaine de Malagou est un territoire en transition, où les dynamiques agricoles et urbaines coexistent avec des écosystèmes naturels fragilisés. La télédétection et les SIG se révèlent des outils indispensables pour suivre ces évolutions et orienter les décisions en matière d'aménagement du territoire. À l'avenir, une approche intégrée, associant innovation technologique, gouvernance locale et pratiques durables, sera essentielle pour concilier développement économique et préservation des ressources naturelles dans cette région des Aurès.

"La terre ne nous appartient pas, nous l'empruntons à nos enfants."

Références bibliographiques

- CPS. (2011). *Guide d'initiation à la télédétection appliquée à la pêche hauturière de thonidés*. Calédonie: Muriel Borderie.
- (Ouattara, 2013. (s.d.).
- (Préventica, 2021. (2021). *des nappes aquifere et le milieu devient de moi,s en moins fqyvorable a la croissance des plante*. paris.
- (Sadfi & Hassine, 2. (s.d.). *detoriation de nimportant ecosysteme dans les steppes algeriennes*.
- (UVED, 2008). (s.d.). *utilisation de la teledetection dans des etudes environne,ents pour determiner les caracteteristique physique et biologique*. chelf: chelf.
- Abdelbaki, A. (2012). *Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef)*. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (FSNV). Chlef: Université Hassiba Benbouali de Chlef. Consulté le 2025, sur http://dspace.univ-chlef.dz/bitstream/handle/123456789/113/archive_the70105.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aronson. (1989). *Plantes tolérantes au sel pour le monde — Une base de données mondiale informatisée sur les halophytes mettant l'accent sur leurs utilisations économiques*. *Journal of Environmental Protection*, 78.
- Beaux, J.-F. (2011). *L'environnement*. paris: Repères pratiques. Récupéré sur <https://bibliotheques.ctguyane.fr/PRET/doc/SYRACUSE/114667/l-environnement-jean-francois-beaux>
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Benslimane, M., Hamimed, A., El Zerey, W., Khaldi , A., & Mederbal, K. (2008, Decembre 13). Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. (Openedition, Éd.) *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 8(3), 3-8. doi:<https://doi.org/10.4000/vertigo.6782>

- Bonan, G. (2008, June 13). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. (AAAS, Éd.) *Sciences*, 320(5882), 1444-1449. doi:DOI: 10.1126/science.1155121
- Boukli Hacene, C. (1989). *domaine d'application dun systeme dinformation geographique*. Paris.
- Burrough, P. (1998). *Principles of geographical information systems*. (O. U. Press, Éd.) New Yourk, USA, USA: Oxford University Press. Récupéré sur <https://archive.org/details/principles-of-geographical-information-systems/page/n5/mode/2up>
- C F KH. (2018). *Conservation des forêts de la wilaya de Khenchela*. (C. d. Khenchela, Éd.) algerie: La Direction Générale des Forêts.
- Colasse, a. (2013). *methode d etude des vegetations pour la caracterisation des habitats natuels et semi naturel*.
- Daget , P. (1982). *Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés*. paris: Ecologie.
- Décamps, H. (2020). *Les écosystèmes*. (I. d. France, Éd.) Paris, France, France: Académie des Sciences. Récupéré sur https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/livret_6.pdf
- Esrifrance,. (2004). Formalisation de la description d'un environnement de sig et teledetection. *open science*, 50 70.
- FAO. (2020, June 23). *A fresh perspective Global Forest Resources Assessment 2020*. (FAO, Éditeur, FAO, Producteur, & FAO) doi:<https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- FAO, 1994. (s.d.).
- Flozers, a. (1986). *les groupements halophiles qui ont une tolerance seulement vis a vis du sel*. chelf.
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S., . . . Snyder, P. (2005, July 22). Global Consequences of Land Use. (Sciences, Éd.) *Science*, 309(5734), 570-574. doi:DOI: 10.1126/science.1111772
- Frontier , a. (2004). *les adaptations generales des especes vegetales* .

- Gausсен. (1952). *dégradation et l'évolution progressive consiste surtout dans le fait que, tandis que la première a lieu à brève échéance.*
- Geconfluences. (2020). *les grandes formations vegetales selon l importance et la taile des types vegetaux dans un ecosystemes.*
- Goodchild, M. (2010, Novembre 1). Twenty years of progress:GIScience in 2010. (L. u. Licens, Éd.) *JOURNAL OF SPATIAL INFORMATION SCIENCE*, 1, 3-20. doi:doi:10.5311/JOSIS.2010.1.2
- Gower. (1988). *he Fluorescence Line Imager:High-Resolution Imaging Spectroscopy Over Water and Land. Spectral Signatures of.* Paris.
- Grehu. (1980). *dynamique du couvert vegetal sur le deroulement des cycles bio geochimies dans la biosphere.*
- Habba, A., & Ishak, O. (2019). *La classification des images satellitaires par l'apprentissage profonde (deep learning).* Université Ahmed Draia - Adrar, Département des Mathématiques et Informatique. Adrar: Université Ahmed Draia - Adrar. Récupéré sur <https://dspace.univ-adrar.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/2186/1/La%20classification%20des%20images%20satellites%20par%20l%27apprentissage%20profonde%20%28deep%20learning%29.pdf>
- Hartwig, N., & Ammon, H. (2002, Novembre). Cover Crops and Living Mulches. (C. U. Press, Éd.) *Weed Science*, 50(6), 688-699. Récupéré sur <https://www.jstor.org/stable/4046641>
- Hedidi, D. (2010). *Impact des facteurs climatiques sur la dégradation de la forêt de Djebel Saadia. Diagnostic et perspectives d'amélioration.* Université chlef, FNLS. Chlef: These magister. Récupéré sur http://dspace.univ-chlef.dz/bitstream/handle/123456789/119/archive_the61063.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. doi:DOI:10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. doi:[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., & Ferreira, L. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- INAF. (2007). ZONES FORESTIERES DE BOUHMAMA ET M'SARAN. 45.
- Jensen, J. (2009). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective 2/e*. (Pearson, Éd.) Pearson Education,. Récupéré sur https://books.google.dz/books/about/Remote_Sensing_of_the_Environment_An_Ear.html?id=ge_nwDX-HBEC&redir_esc=y
- Jensen, J. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (Vol. 4th Edition). Barnham, UK: Pearson. Récupéré sur <https://www.amazon.com/Introductory-Digital-Image-Processing-Perspective/dp/013405816X>
- Jensen, J. (2021). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (Vol. IV). (Pearson, Éd.) Barnham, UK: Pearson Series in Geographic Information Science. Récupéré sur <https://www.amazon.com/Introductory-Digital-Image-Processing-Perspective/dp/013405816X>
- Kallel, A. (2012). *Apport et Analyse d'Images Satellites pour le Suivi de la Végétation: Intérêt de la Modélisation du Transfert Radiatif, la Fusion de Données et la ... des Images*. Paris, France: Presses Académiques Francophones. Récupéré sur <https://www.amazon.com/Apport-Analyse-dImages-Satellites-V%C3%A9g%C3%A9tation/dp/3838189167>
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003, Novembre). Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. (©. A. Reviews, Éd.) *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2015). *REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION* (Vol. Seventh Edition). (Wiley, Éd.) New Yourk, USA: John Wiley & Sons. Récupéré sur https://www.bkbcollege.in/upload/dpt_book/1669887716.pdf

- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2015). *Geographic Information Science and Systems, 4th Edition*. (Wiley, Éd.) New York, USA, USA: Wiley. Récupéré sur <https://www.wiley.com/en-us/Geographic+Information+Science+and+Systems%2C+4th+Edition-p-9781119128458>
- Nejraoui, D. (2003). *les groupements forestiers et steppiques correspondent à une végétation naturelle déterminée par le climat*. algeria: profil fourrager.
- Ouattarat. (2013). *Apport de la Télédétection et des SIG à l'étude des facteurs causant des pressions sur les surfaces forestières : cas du bloc de protection intégrale de la Réserve de Faune d'Abokouamékro*. CÔTE D'IVOIRE: Ecole Supérieure d'Agronomie. doi:10.13140/RG.2.2.35265.43369
- Ozenda . (1964). *les principaux groupements végétaux en algerie avec les conditions ouvertes par le milieu ou elles vivent*.
- Pal, M., & Mather, P. (2005). Support vector machines for classification in remote sensing. *Int. J. of Remote Sensing*, 26(5), 1007–1011. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160512331314083>
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejewska, B., & Lima, M. (2011). The normalized difference vegetation index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15-27. doi:DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00936>
- Pettorelli, N., Safi, K., & Turner, W. (2014, May 26). Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. (Crossmark, Éd.) *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369, 1-5. doi:<https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
- Piebeng, G., Tsakem, S., Tikela, K., Moise, B., Tamungang, S., Babale, M., . . . Michel, B. (2023). Perception des populations locales du Parc national de Bouba-Ndjidda sur les savoirs autochtones et l'impact du changement climatique sur la conservation de la biodiversité. (s. recherche, Éd.) *Open Journal of Ecology*, 13(2), 865-881. doi: doi:10.4236/oje.2023.1311053.
- Pinol, J.-L. (2012). Les systèmes d'information géographique et la pratique de l'histoire. *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 112-126.

- SAB. (2024). *Service de statistique, Direction des services agricole de la wilaya de Khenchela*. khenchella: SAB.
- Sadfi, H. (2008). *Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique*. algerie: université de msila. doi::10.13140/RG.2.2.36378.16327
- Salemkour. (2011). Évaluation des effets du contrôle de pâturage dans des parcours steppiques arides en Algérie. *open science*, 191.
- Salemkour, N., Aidoud, A., Chalabi, K., & Chefrour., A. (2016). *Évaluation des effets du contrôle de pâturage dans des parcours steppiques arides en Algérie* (Vol. 71). (H. I. hal-03532311, Éd.) Algerie. Récupéré sur <https://hal.science/hal-03532311/document>
- Tassin, C. (2017). *Paysages végétaux du domaine méditerranéen: Bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale*. (IRD, Éd.) Paris, France, france: IRD Éditions.
- Tucker, C. (1979, May). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. (Elsevier, Éd.) *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. doi:[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Tucker, C. (1979, June). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation,. (Elsevier, Éd.) *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. doi:[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).
- UVED. (2008). *caractéristique d'objet par des mesures prises à distance sans aucun contact physique avec eux*. chefl: open hall.
- Zhang, C., & Kovacs, J. (2012, July 12). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review . (S. N. Link, Éd.) *Precision Agric*, 13, 693–712. doi:<https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhu, Z., Zhang, J., Yang, Z., Alja, A., Cohen, W., Qiu, S., & Zhou, C. (2020, June). Continuous monitoring of land disturbance based on Landsat time series,. (Elsevier, Éd.) *Remote Sensing of Environment*, 238, 22-45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.009>