



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master II

En sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des forêts

THEME

Utilisation des images satellites pour la cartographie

de l'occupation des terres dans la forêt des Beni

Ghobri wilaya de Tizi Ouzou

Soutenu le : 22/09/2024

Présenté par : Hebani Zineb et Chekhar Mounir

Devant les jurys

Présidente	Mme Meddour-Sahar Ouahiba	Professeure à l'UMMTO
Promoteur	Mr. Zanndouche Ouahid	Maître de Recherche B à l'INRF
Co Promoteur	Mr Larbi Mohamed Yamine	Maître Assistant à l'UMMTO
Examineur	Melle Dib Tassadit	Maître Assistant à l'UMMTO
Invité	Mr Guettas Ali	Attaché de Recherche à l'INRF

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

Nous remercier en premier lieu « Allah » le tout puissant de nous avoir donné le courage ainsi que la volonté pour préparer ce mémoire.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance à notre promoteur **Mr. Zannouche Ouahid** Maître de Recherche B INRF pour nous avoir confié, dirigé et encadré ce travail, merci pour sa patience tout au long de la réalisation de ce mémoire, pour son écoute, pour son aide et son soutien.*

*Nos remerciements également à notre Co-promoteur **Mr. Larbi Mohamed Yamine** Maître Assistant A UMMTO pour avoir partagé avec nous ses conseils judicieux, son inspiration et son orientation.*

*Nos remerciements vont également Mme **Meddour-Sahar Ouahiba** Professeure à l'UMMTO d'avoir accepté de présider le jury .*

*Nous remercions aussi **Melle Dib Tassadit** d'avoir pris le temps d'examiner notre travail .*

*Un grand merci pour **Mr Guettas Ali** Attaché de Recherche à l'INRF d'avoir eu la gentillesse de nous guider et accompagner sur le terrain.*

Dédicaces

*Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU
de m'avoir donné la force et le courage de mener
À bien ce modeste travail.*

*Je dédie ce modeste travail à : Mes très chers parents qui m'ont
Beaucoup soutenu et encouragé.*

*A mes frères Ali et Omar a ma chère sœur Dahbia. Merci pour votre soutien
vous êtes ma source de joie et de force, je vous aime énormément.*

A l'homme de ma vie merci d'avoir été toujours là à m'encourager.

A Nassim Mansour je suis infiniment reconnaissante pour votre aide

A mes oncles, mes tantes et leurs familles.

A tous mes Amis et mes collègues

Enfin, je dédie ce travail à A Mon binôme Chekhar Mounir .

Hebani Zineb

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à : Mes parents, Pour leur amour inconditionnel et leur soutien constant tout au long de mon parcours.

À mes frères et ma sœur, Pour les moments de joie et de complicité qui ont illuminé mes journées.

À ma binôme, Pour notre collaboration enrichissante et notre amitié précieuse, qui ont rendu cette aventure encore plus mémorable.

À mon professeur promoteur, Pour sa guidance, ses conseils avisés et son encouragement qui m'ont permis d'atteindre cet objectif.

À toute l'équipe de la foresterie, Pour leur soutien et leur expertise, qui ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Chekhar Mounir

SOMMAIRE

Introduction général

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Télédétection et imagerie satellitaire

1.1 Généralités sur l'utilisation de la télédétection	3
1.2. Potentialité et limite de la télédétection	4
1.3 Notion d'utilisation et d'occupation des terres.....	4
1.4 .Les bases physiques de la télédétection	5
1.5. La notion d'image et de résolution	6
1.6. Traitements numériques	6
2. La cartographie et les SIG	7
2.1. La cartographie	9
2.1.1. Aperçu sur l'histoire de la cartographie	9
2.1.2. La carte	9
2.1.3. Règles Cartographiques	9
2.1.4. Domaines d'applications de la cartographie	9
2.1.5. Importance de la cartographie en foresterie	10
2.1.6. La cartographie et l'informatique	10
2.2 Systèmes d'information géographique (SIG)	10
2.2.1 Définition d'un système d'information géographique(SIG)	10
2.2.2 Domaines d'application des SIG.....	10
2.2.3 Les composants des SIG	11
2.2.4 Mode de représentation de l'information géographique dans un SIG	12
2.2.5 Avantages et inconvénients du SIG	12

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	15
1.2. Géologie , sol et Topographie	16
1.5. Climat et bioclimat.....	17
1.6. La Végétation	19
1. Méthodologie globale	
2.1. Cartographie de l'occupation des terres	20
2.1.1. Matériels utilisés pour la création des cartes	20
2.1.2. Choix du logiciel SIG : QGIS	21
2.1.3. Étapes pour la création d'une carte d'occupation des sols avec QGIS.....	22
2.1.4. Traitement des images satellites et classification	24
2.1.5. Gestion et manipulation des données.....	25
2.2 Échantillonnage phytoécologique.....	26
2.2.1. Choix du type d'échantillonnage	26
2.2.2. Matériels utilisés sur le terrain	26
2.2.3. Placette d'échantillonnage	27
2.2.4. Composition du relevé phytoécologique	28
2.2.5. Données relatives à la végétation	29
2.3. Les incendie de forêt	30

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction

1. Création de la carte synthétique	32
1.1. Physionomie des formations végétales	32
1.2. Densité des formations végétales.....	33
2. Création des couches thématiques.....	34

2.1. Couches thématiques Forêts	35
2.1.1. Couches thématiques forêt de Quercus suber (chêne-liège).....	36
2.1.2. Couches thématiques forêt de Quercus canariensis (chêne-zéen).....	38
2.1.3 Couche thématique Forêt mixte a Quercus suber et Quercus canariensis	39
2.2. Couches thématiques Matorral	40
2.3. Couches thématiques Maquis	41
2.4. Couches thématiques des tranchées pare-feu	42
2.5. Couches thématiques Agriculture	43
2.6. Couches thématiques Agglomération	44
2.7. Couches thématiques des routes et pistes	45
2.8. Couches thématiques des sols nus	46
2.9. Couches thématique forêts incendiée	46
3. Carte de l'occupation des terres de la forêt de Béni ghobri	47
4. Les incendiées	48
4.1. Motifs des incendies de forêt	49
4.2. Carte des cantons	50
4.3. Présentation des données obtenue sur les incendies	51
4.4. Interprétation de tableau	53
4.5. Discussion.....	53
Conclusion générale	54

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: IMAGE D'UN SATELLITE	6
FIGURE 2: LES COMPOSANTS D'UN SIG	10
FIGURE 3: SITUATION DU MASSIF FORESTIER DE BENI GHOBRI WILAYA DE TIZI OUZOU,	14
FIGURE 4:DIAGRAMME OMBRO-THERMIQUE DE LA COMMUNE D'AZAZGA (KEMMOUM, 2022)	16
FIGURE 5: SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DE DEFFERENTES STATIONS METEROLOGIQUES SUR LE CLIMAGRAMMED'EMBERGER (RABHI, 2011)	17
FIGURE 6 : COMPOSITION INFRAROUGE EN FAUSSES COULEURS DE LA ZONE D'ETUDE	24
FIGURE 7: EMLACEMENT DES PLACETTES D'ECHANTILLONNAGE PHYTOECOLOGIQUE	27
FIGURE 8: COUCHE DES FORETS DE QUERCUS SUBER.	35
FIGURE 9: COUCHE DES FORETS QUERCUS CANARIENSIS	35
FIGURE 10: COUCHE DES FORETS MIXTE	36
FIGURE 11: COUCHE DES MATORRALS	37
FIGURE 12: COUCHE DES MAQUIS	38
FIGURE 13: COUCHE DES TRANCHEES PARE-FEU	39
FIGURE 14: COUCHE DES ZONES AGRICOLES	40
FIGURE 15: COUCHE DES AGGLOMERATIONS	41
FIGURE 16: COUCHE DES ROUTES ET DES PISTES	42
FIGURE 17: COUCHE SOLS NUS	43
FIGURE 18: COUCHE DES FORETS INCENDIEES	44
FIGURE 19: CARTE DE L'OCCUPATION DES TERRES	45
FIGURE 20: CARTE DES CANTONS DE ZONE D'ETUDE	50
FIGURE 21 : INCENDIE DE FORET : REPARTITION ANNUELLE ET PAR CANTONS (2015 A 2023)	52

Liste des tableaux

TABLEAU I: TYPES DE FORMATIONS VEGETALES SELON LEUR HAUTEUR ET LEUR DENSITE (IONESCO ET SAUVAGE, 1962)	29
TABLEAU II: BILANS DES INCENDIES POUR LA PERIODE DE 2015 A 2023	51

Résumé

La télédétection a évolué la gestion des ressources naturelles en offrant des outils avancés pour surveiller et analyser les écosystèmes forestiers. Grâce aux satellites, nous pouvons recueillir des données précises et actualisées sur la couverture végétale. L'intégration de ces données dans des systèmes d'information géographique (SIG) facilite l'analyse spatiale et la détection des changements dans les forêts.

Cette étude avait pour but de cartographier l'occupation des terres dans la forêt de Beni Ghobri en utilisant des images satellites et le logiciel QGIS. Nous avons utilisé une image multispectrale du satellite Sentinel-2 accompagnée de techniques de classification. La composition en fausses couleurs infrarouges s'est révélée être la plus efficace pour une classification optimale. Toutefois, la petite taille de la zone d'étude n'a permis que de déterminer la physiognomie des formations végétales. L'échantillonnage sur le terrain a été crucial pour identifier les formations et déterminer la composition floristique, révélant 119 espèces.

Les résultats ont permis de créer une carte de l'occupation des terres de la forêt de Beni Ghobri, distinguant trois principales formations : matorrals, forêts et maquis, couvrant 1 019 hectares. En ajoutant les 195 hectares occupés par des tranchées pare-feu, des zones agricoles, des agglomérations et des sols nus, la superficie totale couverte atteint 1 214 hectares.

Mots clés : Forêt de Beni Ghobri, Télédétection, Cartographie, Sentinel-2, Systèmes d'information géographique (SIG).

Abstract

Remote sensing has evolved natural resource management by providing advanced tools for monitoring and analyzing forest ecosystems. Satellites allow us to gather accurate and up-to-date data on vegetation cover. Integrating these data into Geographic Information Systems (GIS) facilitates spatial analysis and detection of changes in forests.

This study aimed to map land use in the Beni Ghobri forest using satellite images and QGIS software. We employed a multispectral image from the Sentinel-2 satellite along with classification techniques. The false-color infrared composition proved to be the most effective for optimal classification. However, the small size of the study area only allowed us to determine the physiognomy of the vegetation formations. Field sampling was crucial for identifying formations and determining floristic composition, revealing 119 species.

The results led to the creation of a land use map for the Beni Ghobri forest, distinguishing three main formations: matorrals, forests, and maquis, covering 1,019 hectares. Adding the 195 hectares occupied by firebreak trenches, agricultural areas, settlements, and bare soils, the total covered area reaches 1,214 hectares.

Keywords: Beni Ghobri Forest, Remote Sensing, Mapping, Sentinel-2, Geographic Information Systems (GIS).

Introduction générale

La télédétection par satellite s'affirme comme une méthode essentielle pour surveiller et évaluer l'état des forêts, offrant ainsi une base solide pour une gestion durable des ressources forestières. Les images satellites permettent une vue d'ensemble des vastes étendues forestières, facilitant la détection des changements de couverture terrestre sur de larges échelles temporelles et spatiales. Grâce aux technologies avancées telles que les capteurs multi spectraux, il est possible d'analyser les variations de la végétation et d'identifier les zones affectées par des événements perturbateurs, tels que les incendies.

L'intégration des données satellitaires avec des systèmes d'information géographique (SIG) enrichit l'analyse des dynamiques forestières en offrant une compréhension approfondie des interactions entre les facteurs environnementaux et les activités humaines. En somme, la cartographie des forêts à l'aide d'images satellites constitue un outil précieux pour les chercheurs et les gestionnaires de ressources naturelles, contribuant ainsi à une meilleure préservation de l'environnement.

L'Algérie, située parmi les pays méditerranéens, se distingue par une diversité écologique remarquable, tant sur le plan bioclimatique que morphologique et floristique. Cette richesse se traduit par des paysages variés et des milieux naturels de haute qualité (Yefsah, 2016).

Notre étude se concentre sur le massif forestier de Yakouren, situé dans le centre-nord de l'Algérie, dans la wilaya de Tizi Ouzou, également connu sous le nom de massif forestier de Beni Ghobri, qui s'étend sur 6939 hectares (Bouedja et Tahani, 2013). Ce massif se caractérise par une biodiversité floristique particulièrement riche, dominée par différentes espèces de chênes, notamment le chêne zéen (*Quercus canariensis*), le chêne-liège (*Quercus suber*), et le chêne à afares (*Quercus afares*).

Cependant, la forêt domaniale de Beni-Ghobri est confrontée à des pressions anthropiques importantes, telles que le surpâturage, les coupes illicites et les incendies, exacerbées par l'absence d'une politique forestière adaptée pour assurer un développement durable (Messaoudene, 2008).

L'objectif de cette étude est de développer une méthodologie pour la cartographie de l'occupation des sols dans la forêt de Beni Ghobri, en utilisant des images satellites de haute résolution. À travers une série d'analyses, ce travail vise à démontrer comment ces techniques peuvent fournir une vue d'ensemble précise de l'état actuel de la zone d'étude.

Ce travail se décompose en trois parties :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique axée sur la télédétection, l'imagerie satellitaire, la cartographie et les SIG.

Le deuxième chapitre décrit la zone d'étude, ainsi que les méthodes et le matériel utilisés sur le terrain.

Le troisième chapitre présente et discute les résultats obtenus, suivi d'une conclusion générale.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Télédétection et images satellites

1.1. Généralités sur l'utilisation de la télédétection

La télédétection aérospatiale, qui se définit comme l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance (Ministère de l'éducation nationale et ministère de l'enseignement supérieure et de la recherche, 1980). L'acquisition et le traitement des images satellites permettant d'extraire régulièrement des informations sur l'état et l'évolution de la végétation sur l'ensemble de la surface terrestre.

Les deux types de la télédétection sont :

- **Télédétection Passive** : Utilise l'énergie naturelle, principalement la lumière solaire réfléchi. Les capteurs passifs ne fonctionnent que lorsque cette énergie est disponible.
- **Télédétection Active** : Émet sa propre source d'énergie pour éclairer les cibles observées. Cela permet de collecter des données à tout moment, indépendamment des conditions d'éclairage.

Les données de télédétection sont d'une importance capitale dans divers domaines tels que la cartographie, l'agriculture, la gestion des forêts, l'océanographie et la surveillance environnementale. Par exemple, elles permettent de surveiller l'évolution des cultures, de cartographier les forêts et même de suivre les changements climatiques

1.2. Potentialité et limites de la télédétection

➤ **Potentialité :**

La nouvelle génération des satellites, alliée à la révolution informatique, a fait de la télédétection un outil puissant pour l'analyse, la cartographie et la gestion de l'espace.

En effet, l'image satellitaire a permis l'universalité de l'information spatiale et sa disponibilité lorsqu'il n'existe pas d'autres moyens, ou lorsqu'elle concerne des régions dont l'accès est difficile (régions montagneuses par exemple). Le caractère répétitif de ces données multi-temporelles, multi-bandes, permet de suivre l'évolution des phénomènes (expansion urbaine, dégradation des forêts, désertification,...). La couverture spatiale étendue, l'informatisation des données, favorisent son utilisation par rapport aux moyens traditionnels. Enfin, la vision stéréoscopique, apportées par la nouvelle génération des satellites, a permis l'expansion de son utilisation à des échelles plus importantes.

➤ **Limites de la télédétection**

Selon Kergomard (2006), les limites de la cartographie sont les suivantes :

- **Dépendance à la météo** : Les satellites utilisés pour la télédétection peuvent avoir du mal à voir à travers les nuages, la pluie ou le brouillard. Cela signifie que parfois, quand il fait mauvais temps, les images satellites ne sont pas claires ou ne sont pas disponibles du tout.
- **Interprétation des images** : Parfois, il peut être difficile de dire exactement ce que montrent les images satellites. Les personnes qui analysent ces images doivent être très prudentes et bien formées pour ne pas se tromper dans leur interprétation.
- **Timing des observations** : Les satellites ne prennent des photos qu'à certains moments. Cela signifie qu'ils peuvent manquer des événements qui se produisent à d'autres moments, comme des inondations ou des feux de forêt, s'ils ne passent pas au-dessus de cette zone à ce moment-là.
- **Coûts et accès aux données** : Obtenir des images satellites de haute qualité peut être cher, et parfois, ces images ne sont pas disponibles pour tout le monde. Cela peut limiter ce que les gens peuvent faire avec la télédétection s'ils n'ont pas les moyens d'obtenir ces images.

1.3. Les notions d'utilisation et d'occupation des terres

- **Utilisation des terres** : La télédétection permet de cartographier et de surveiller comment les différentes zones de la surface terrestre sont utilisées par l'homme, que ce soit pour l'agriculture, l'urbanisme, la foresterie, etc. Cette information est cruciale pour la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles et la prise de décisions environnementales (Kergomard et al, 2002).
- **Occupation des terres** : L'occupation des terres se réfère à la répartition des différentes couvertures de surface, comme les zones urbaines, les terres agricoles, les forêts, les zones humides, etc. La télédétection permet de surveiller les changements dans l'occupation des terres au fil du temps, ce qui est essentiel pour évaluer les impacts environnementaux, les tendances d'utilisation des terres et les besoins en planification territoriale (Kergomard et al, 2002).

1.4. Les bases physiques de la télédétection

Les bases physiques de la télédétection reposent sur l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et la surface terrestre (Becker, 1978).

- **Le spectre électromagnétique** : Le rayonnement électromagnétique se compose d'ondes variant en longueur d'onde et en fréquence, allant des ondes radio de grande longueur d'onde aux rayons gamma de courte longueur d'onde. Les parties les plus pertinentes pour la télédétection sont le visible, l'infrarouge et les micro-ondes.

- **Interaction avec l'atmosphère** : Lorsque le rayonnement électromagnétique traverse l'atmosphère, il peut être absorbé, dispersé ou réfléchi par les gaz, les particules en suspension et les molécules d'air. Certains domaines du spectre, comme le visible et l'infrarouge thermique, peuvent passer relativement librement à travers l'atmosphère, tandis que d'autres sont fortement absorbés.

- **Interaction avec la surface terrestre** : Une fois le rayonnement parvenu à la surface terrestre, il interagit avec celle-ci de différentes manières en fonction de ses propriétés physiques. Ces interactions comprennent la réflexion, l'absorption et l'émission thermique. La façon dont le rayonnement est réfléchi ou absorbé dépend des caractéristiques de la surface, telles que la rugosité, la composition et l'humidité.

- **Capteurs de télédétection** : Les capteurs utilisés en télédétection sont conçus pour mesurer le rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par la surface terrestre. Ils peuvent être montés sur des satellites, des avions ou d'autres plateformes de collecte de données. Ces capteurs peuvent être passifs, en mesurant le rayonnement naturellement émis par la surface, ou actifs, en émettant leur propre rayonnement et en mesurant la réponse.

1.4. La notion d'image et de la résolution spatiale

La télédétection repose sur la compréhension de l'image, qui est une représentation visuelle de la surface terrestre obtenue à partir des données collectées par des capteurs embarqués sur des satellites. Ces images sont constituées de pixels, chaque pixel représentant une portion de la surface terrestre et contenant des informations sur ses caractéristiques.

La résolution spatiale est, par définition, la taille du plus petit élément qu'il est possible de distinguer sur l'image (la taille du pixel) plus la résolution est fine, plus la fauchée du capteur est limitée (CCT 2016)

Il est important de noter que la résolution spatiale et l'espacement des pixels sont liés mais distincts. L'espacement des pixels réfère à la distance entre eux sur l'écran, tandis que la résolution spatiale indique la taille réelle de la zone représentée par chaque pixel sur le terrain.

En résumé, en télédétection, une image est une représentation visuelle composée de pixels, et la résolution spatiale détermine sa capacité à distinguer les détails sur le terrain, en spécifiant la taille du plus petit élément identifiable sur l'image.

1.6. Traitement numérique des données en télédétection

Selon Girard (2017), le traitement numérique des données en télédétection est une étape importante pour utiliser efficacement les images satellites. Il consiste à utiliser des ordinateurs pour améliorer la qualité des images, les classer en différentes catégories et mesurer des choses comme la température de surface.

Il existe trois principaux types de traitement numérique : amélioration de l'apparence des images, classification automatique des pixels et analyse des propriétés physiques des surfaces.

Ces traitements permettent d'améliorer la qualité visuelle des images, de les rendre superposables pour les comparer dans le temps et de les intégrer dans des systèmes d'information géographique (SIG). Cependant, cela nécessite des ordinateurs puissants et une certaine expertise en physique et en géomatique.

1.7. Les satellites :

Parmi les satellites nous avons Landsat, SPOT et Sentinel qui sont des instruments clés pour l'observation de la Terre, chacun ayant été lancé par différentes agences et pour des objectifs variés. Les satellites jouent un rôle essentiel en facilitant les communications la navigation l'observation de la terre et la recherche scientifique.

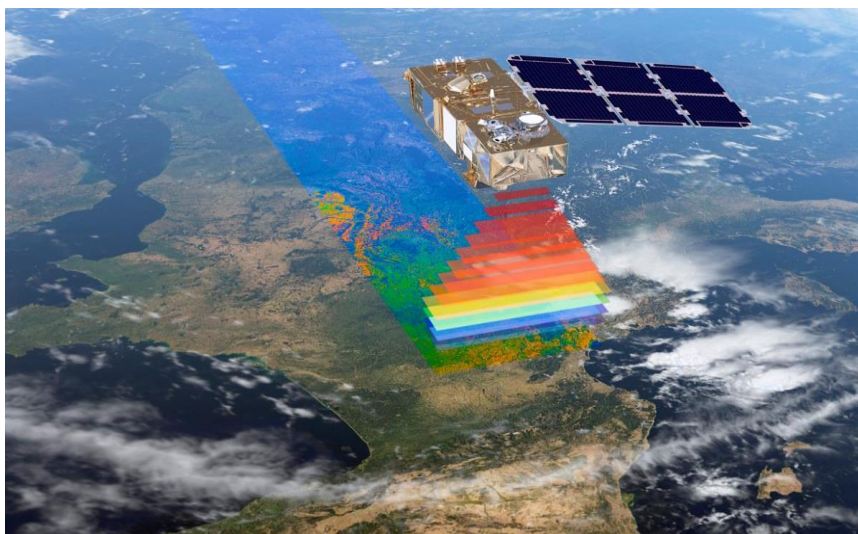


Figure 1: Image d'un satellite

Landsat : Lancé par la NASA, le premier satellite Landsat a été mis en orbite le 23 juillet 1972. Le programme Landsat a été développé pour surveiller les ressources terrestres et a permis de collecter des données sur les changements environnementaux au fil des décennies. Des chercheurs comme Wulder et Coops (2018) ont utilisé les données Landsat pour étudier la dynamique des forêts et les impacts du changement climatique.

SPOT : Le programme SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) a été lancé par le Centre National d'Études Spatiales (CNES) de France en 1986. SPOT a été pionnier dans l'imagerie de haute résolution et est utilisé pour la cartographie, l'agriculture et l'urbanisme..

Sentinel : Les satellites Sentinel font partie du programme Copernicus, géré par l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Sentinel-2A a été lancé le 23 juin 2015, suivi de Sentinel-2B en juillet 2016. Ces satellites fournissent des données cruciales pour l'agriculture, la gestion des ressources naturelles et la surveillance des catastrophes.

Ces programmes illustrent l'importance croissante des satellites dans la recherche scientifique et la gestion des ressources naturelles.

2. La cartographie et les SIG

2.1. La cartographie

2.1.1. Aperçu sur l'histoire de la cartographie :

L'évolution de la cartographie est une histoire longue et captivante, allant des premiers dessins sur parchemins de l'Antiquité aux cartes numériques interactives d'aujourd'hui. Pendant le Moyen Âge, les cartes étaient fréquemment décorées de monstres et de créatures fantastiques, témoignant ainsi des connaissances géographiques limitées de l'époque. À partir du XVe siècle, la cartographie est devenue une problématique gouvernementale, avec l'exploration des mers et la conquête des colonies. L'essor de la photographie aérienne au 19e siècle a donné lieu à la création de cartes statistiques et thématiques plus précises. En raison de la révolution numérique du 20e siècle, la cartographie a été métamorphosée en un outil interactif et puissant, qui est utilisé dans divers domaines tels que la navigation, l'urbanisme, le marketing et la recherche scientifique. La cartographie est en constante évolution aujourd'hui, proposant de nouvelles possibilités.

2.1.2 La carte :

Une carte est une image simplifiée et codifiée de l'espace géographique .qui représente ses

caractéristiques et son organisation. Elle résulte de l'acte créateur et des choix de son auteur (Lambert et Zanin, 2016).

Les cartes sont d'une grande utilité et elles n'ont jamais auparavant été publiées par un si grand nombre de moyens de diffusion. La carte est un moyen de communication efficace entre un producteur et un utilisateur, et grâce au GPS, beaucoup de choses peuvent être localisées sur une carte. Pendant longtemps le papier a été la matière la plus utilisée pour les cartes.

De nos jours, la plupart des cartes sont réalisées grâce à des logiciels cartographiques et sont distribuées sur le net, mais les règles cartographiques restent identiques quel que soit le mode de diffusion .

2.1.3. Domaines d'applications de la cartographie

La cartographie est utilisée dans divers domaines, l'agriculture, l'écologie, la pédologie... Selon Larbi (2000), la cartographie est aussi pratiquée à des fins d'aménagement du territoire et l'étude des communautés végétales. En effet la cartographie reflète la réalité du terrain afin de pouvoir organiser les données qualitatives ou quantitatives.

2.1.4. Importance de la cartographie en foresterie

Selon Lalanne (2001), la cartographie des biotopes forestiers a pour objectif de donner une vision d'ensemble de la biodiversité d'une forêt, elle permet d'étudier l'ensemble des associations végétales, leur état de conservations et leur distribution dans l'espace sylvatique. La cartographie en milieu forestier permet d'identifier :

- les écosystèmes forestiers naturels à conserver ;
- les habitats non forestiers associés ainsi que les habitats de substitution à préserver ;
- les différentes successions végétales possibles pour retourner aux écosystèmes proches de l'état naturel ou aux écosystèmes semi-naturels à haute valeur patrimoniale.

2.1.5. La cartographie et l'informatique :

L'informatique joue un rôle essentiel dans la cartographie moderne, permettant de représenter graphiquement différents types de données géographiques. Grâce au développement des nouvelles technologies comme les satellites et les ordinateurs puissants, la cartographie assistée par ordinateur est devenue un outil important d'aide à la prise de décision. Elle permet

de modéliser chaque entité étudiée et d'aboutir à un document de synthèse mettant en évidence les éléments essentiels.

En résumé, l'informatique a révolutionné la cartographie en permettant une représentation rapide, précise et interactive des données géographiques, au service de l'analyse et de la prise de décision

2.2 Système d'information géographique

2.2.1. Définition d'un système d'information géographique(SIG) :

Selon Padmanabhan et al. 2019 un SIG est un système informatique permet aux utilisateurs de collecter, gérer et analyser de grande volume de données attributaires référencées spatialement et associées.

Les SIG sont des outils d'aide à la décision, ils permettent une meilleure gestion des aléas naturels (tels que les mouvements de terrain, les inondations,...). Ces systèmes utilisent des données spatiales issues de plusieurs moyens d'acquisition (la topométrie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection...).

2.2.2. Les composants d'un SIG :

Les principaux composants d'un SIG sont : le matériel, les logiciels, les données, les méthodes et le personnel (figure 2).

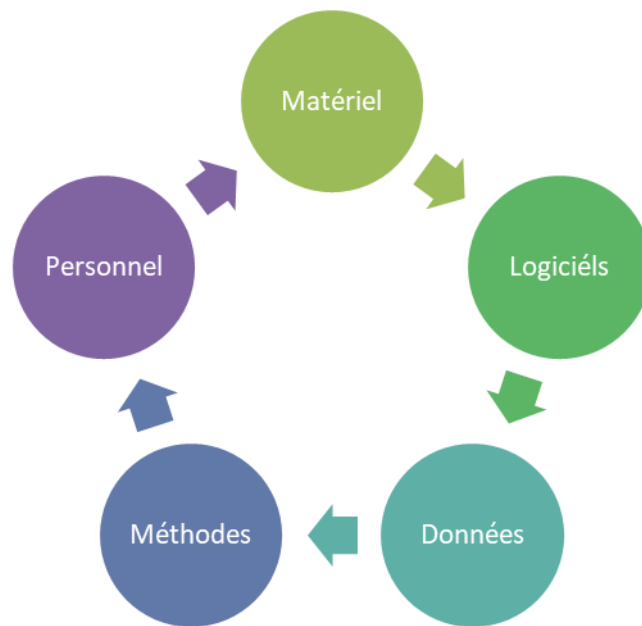


Figure 2: Les composants d'un SIG

Le matériel : Le matériel SIG comprend :

- Des ordinateurs pour le traitement des données, le stockage des données : Les SIG fonctionnent sur tout type d'ordinateurs, allant des ordinateurs personnels portables aux superordinateurs multi-utilisateurs (De By, 2001).

Les appareils d'entrées/sorties : cela inclut les tables à digitaliser et scanners pour la numérisation de données spatiales ; les imprimantes et traceurs pour les rapports et cartes papier ; les récepteurs GPS et appareils mobiles pour le travail sur le terrain (Delaunay *et al.*, 1990).

Les logiciels : Ce composant regroupe les fonctions et les outils d'acquisition, de stockage et de traitement des données et ceux d'affichage et de communication des résultats. Une énorme gamme de logiciels qui sont labellisés SIG et qui sont disponibles pour presque toutes les plateformes informatiques (Malczewski, 2004).

Les données : C'est le composant le plus important du système. Dans les SIG deux catégories de données sont utilisées ; données spatiales et non spatiales qui proviennent d'une ou

plusieurs sources (De By, 2001). Comme pour tout système d'information, la base de données est le cœur du SIG. Donc, les données doivent enfin être organisées de manière à être disponibles pour les utilisateurs et mises en relation entre elles lors d'interrogations plus ou moins complexes (Joliveau, 1996).

Les méthodes : Un SIG réussi fonctionne selon un plan bien conçu, des règles commerciales, des procédures et des méthodes propres à chaque organisation. Pour être efficace, un SIG doit être associé à une stratégie globale, c'est-à-dire, de l'achat du matériel et logiciels jusqu'au personnel concerné.

Le personnel : Cela concerne les responsables, les professionnels, les utilisateurs, etc. Ils définissent les objectifs et assurent les tâches. Une formation de base est plus que nécessaire pour tous les utilisateurs du SIG et en fonction de la nature du travail à effectuer, les tâches demandant plus de précision et de patience doivent être confiées à un personnel plus expérimenté (Khoum *et al.*, 1996).

2.2.3. Mode de représentation de l'information géographique dans un SIG :

- Mode vecteur :

Ce mode répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématiques (relief, routes, bâtiments...) structurées dans des bases de données numériques.

Décomposition du monde réel en couches d'information

Une couche réunit généralement des éléments géographiques de même type. Les éléments géographiques (objets spatiaux) peuvent être représentés sur une carte par des points, des lignes ou des polygones (Ndong Akue Pelayo et Antonio, 2021).

- Mode raster

Les données raster ont comme élément essentiel le pixel (Picture/ /Elément). Elles proviennent soit d'un scannage d'une carte, soit d'une image numérique telle que les photos satellitaires. Ce mode décrit l'image sous la forme d'une matrice de pixels. Chaque matrice représente une couche d'information. Les pixels sont répartis dans un raster de façon régulière. Les lignes et les surfaces ne peuvent être représentées que par l'enchaînement de pixels uniques. Un objet ne peut donc être représenté que de façon approximative, c'est ainsi que la taille du pixel conditionne l'exactitude de la représentation (Attouche et Amrouche, 2021).

Ces deux modes sont complémentaires. Le raster est mieux adapté à certains types d'applications (télédétection) et apporte une réponse économique à certains besoins. L'exploitant d'un réseau pourrait par exemple se contenter de scanner des fonds de plans En les conservant au format raster et en numérisant par-dessus son réseau en mode vecteur (qui nécessite une définition par formes géométriques). Le vecteur correspond à l'ensemble des besoins courants en gestion de données localisées (Ndong Akue Pelayo et Antonio , 2021).

2.2.3. Domaines d'application des SIG :

L'utilisation des SIG est tellement vaste voici quelques domaine d'application

- Aménagement du territoire
- Gestion urbaine
- Circulation et conduite automobile
- Agriculture
- Protection de l'environnement
- Risques naturels et technologique majeurs

2.2.5. Les avantages et les Inconvénients des SIG

Avantages (Benatiallah, 2014) :

- Capacité et fiabilité de stockage.
- Rapidité de restitution des données (gain de temps).
- Intégration et combinaison de données de sources différentes
- Précision des processus cartographiques.
- Facilité de mise à jour (Outils de suivi).
- Analyse des relations spatiales (Intégration, requête spatiale, Combinaison et superposition de carte)
- Production de carte (bon rapport qualité/ prix).

Inconvénients (Jappiot, 2000)

- cout du matériel, du logiciel, de la maintenance.
- cout d'acquisition des données
- formation indispensable des utilisateurs

Chapitre II : Matériel et méthode

1. Présentation de la zone d'étude.

1.1- Situation géographique de la forêt de béni ghobri

La forêt de Béni Ghobri est localisée dans la wilaya de Tizi-Ouzou, en Algérie, au cœur de la région de Kabylie d'une superficie de 6939 hectares. Géographiquement, elle est encadrée par les forêts domaniales de Tamgout et Azouza au nord, la forêt d'Akfadou à l'est, et est bordée à l'ouest par la vallée de l'Oued Sebaou. Ses coordonnées géographiques sont 36°43'60" N, 4°28'0" E (en DMS), positionnant la forêt dans un cadre naturel à la fois riche et diversifié (figure 3).

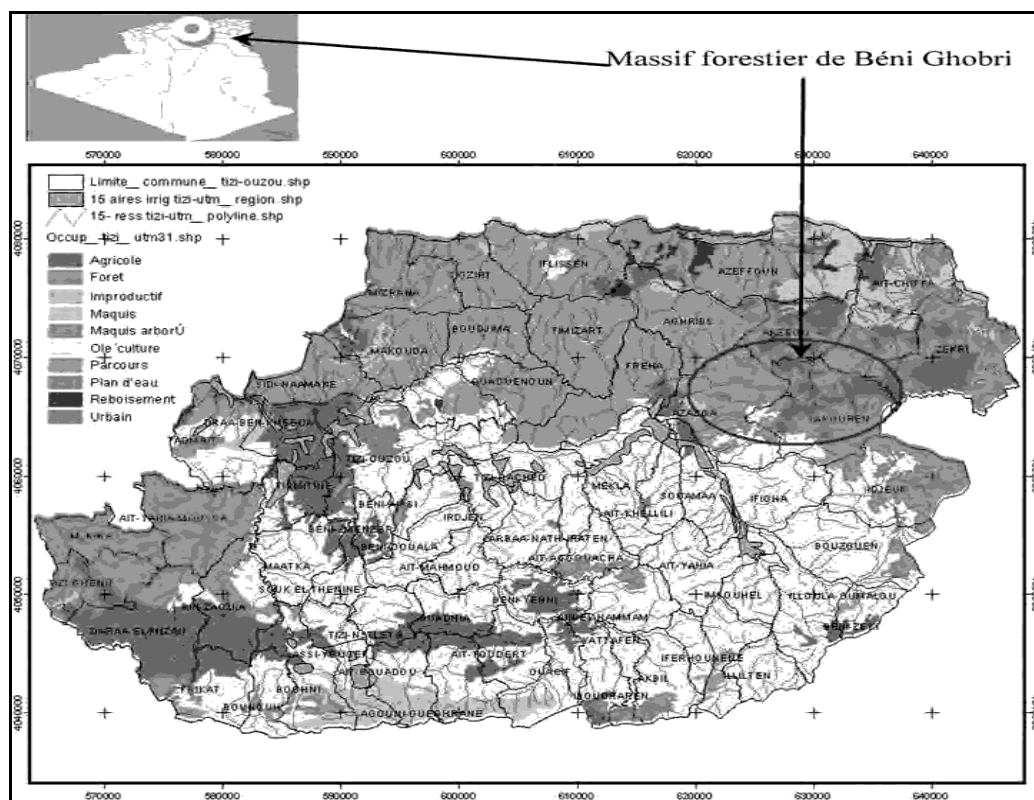


Figure 3: Situation du massif forestier de Beni Ghobri wilaya de Tizi Ouzou, Algérie (Boudedja et Tahani, 2013).

1.2. Géologie, sol et topographie

La région de Beni Ghobri possède une géologie variée, avec différents types de roches.

Les roches sédimentaires, volcaniques et métamorphiques sont présentes. Les roches sédimentaires contiennent souvent des fossiles, tandis que les roches volcaniques peuvent

renfermer des minéraux précieux. Les roches métamorphiques ont été transformées par la chaleur et la pression. Ensemble, ces formations géologiques créent un environnement unique qui influence la biodiversité et les caractéristiques écologiques de la forêt.

Selon GELARD 1978 in Rahmani 2012 le massif forestier de BENI GHOBRI repose sur trois types de substratum géologiques :

Les grès numidiens, dominant et occupant toutes les crêtes.

Les argiles sous numidiennes de l'oligocène.

Les flyschs a microbrèche du Sénonien.

La topographie de la région se distingue par deux unités géomorphologiques majeures a savoir, les glacis et les versants. Ces dernière occupent une superficie importante de la foret (2/4 environ), notamment dans ces parties centrales et orientales. (Rahmani 2012)

D'un point de vue pédologique, les sols de la foret sont des sols lessivés acides, par endroits. La texture est limono-sableuse en surface pour les sols de la foret sont des lessibés acides, elle devient argileuse au niveau de l'horizon illuvial. Pour les sols iso-humique, la texture est argileuse en surface et limono-argileuse en profondeur (Ganoun et Oumokrane, 1997).

1.5. Climat et le bioclimat

Dans les régions méditerranéennes, les principaux facteurs qui influent sur la répartition des plantes sont le manque d'eau (sécheresse) et le froid ou le gel pendant l'hiver. Ce stress thermique hivernal conditionne divers aspects de la biologie et de l'écophysiologie des espèces, la distribution, la reproduction, la productivité, et les taux de survie des ligneux en fonction des accidents abaissant brusquement et longuement les minimas hivernaux (Meddour, 2010).

Les variations de végétation dans cette région sont principalement influencées par les précipitations, les températures et les périodes sèches.

Les précipitations représentent un facteur écologique fondamental dans les écosystèmes terrestres, car elles conditionnent avec la température, la structure et la productivité primaire de ces derniers (Kemoum ,2022).

Les températures varient en fonction des saisons et de l'altitude en générale elles sont modérées. Selon Laribi et *al.*, (2008) la forêt de Beni-Ghobri appartient aux bioclimats

humide tempéré et frais per humide .

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен est un outil graphique utilisé en climatologie pour analyser les variations mensuelles des températures et des précipitations d'une région donnée. Ces dernières sont reliées par la relation : $P = 2T$. (Figure 4)

Il permet de visualiser la durée et l'intensité des périodes sèches et humides au cours de l'année

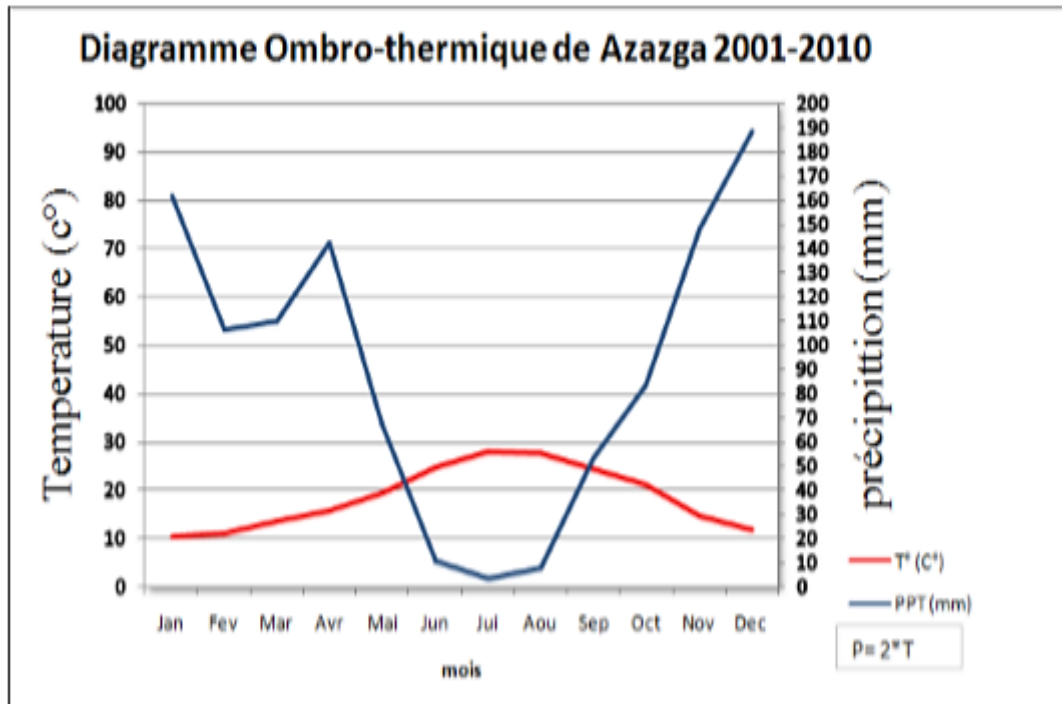


Figure 4: Diagramme Ombrothermique de la commune d'Azazga (Kemmoum, 2022)

Les stations peuvent être localisées sur le climagramme d'Emberger en utilisant le calcul du quotient pluviométrique (Q2) et de la valeur de la température minimale du mois le plus froid.

Q2 est calculé de la manière suivante : $Q2 = 43,3 P / M - m$

Q2 : Quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°k) ;

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en (°k).

M-m : Amplitude thermique, exprimés en degrés absolus ($T^{\circ} K = T^{\circ} C + 273,2$)

La figure montre l'étage bioclimatique auquel est inféodée notre zone d'étude selon le climagramme d'Emberger (Figure 5)

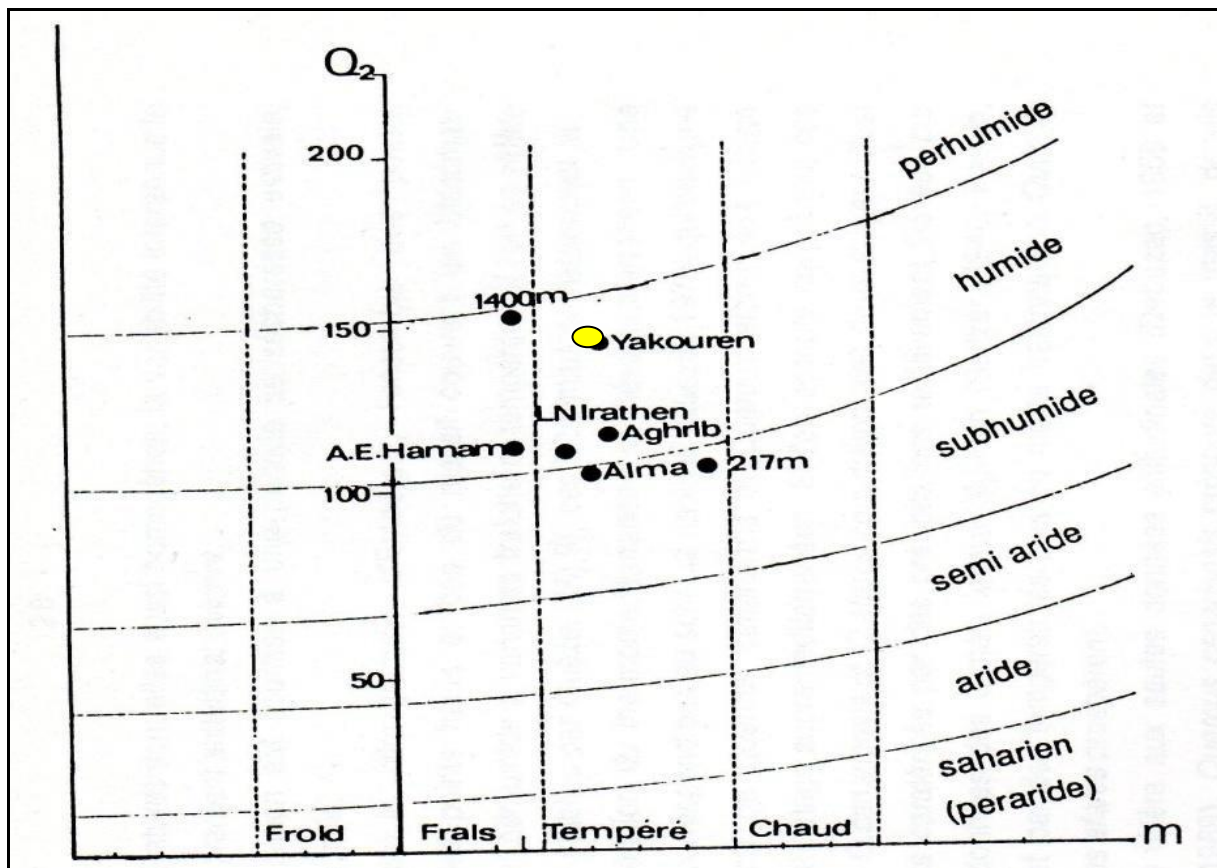


Figure 5: Situation de la zone d'étude et des différentes stations météorologiques sur le climagramme d'Emberger (Rabhi, 2011)

1.6. La végétation

La forêt de Beni Ghobri est un écosystème riche en biodiversité, abritant une variété d'espèces végétales voici un aperçu de sa végétation par strates :

Strate arborescente :

Les essences forestières dominantes de la forêt de Béni Ghobri sont :

Quercus suber L. (Chêne liège)

Quercus canariensis (Chêne zeen)

Quercus afares (Chêne Afarès)

Selon Messaoudene (1986), ces trois essences sont souvent combinées et ont des dominantes Est et Nord-Ouest, ainsi que dans les bas-fonds et les crêtes élevées. Sur les versants Nord, on retrouve toujours le *chêne zeen* avec le *chêne afarès*, situé entre 950m et 1100m.

Les basses altitudes sont occupées par le *chêne liège*, qui peut parfois atteindre une altitude

extrême de 900 à 1100 m, tandis que le chêne afarès descend jusqu'à 720 m au contact de la subéraie.

- **Strate arbustive :**

Sur le plan de la richesse, la végétation arbustive du massif est dense. Elle est composée de:

Erica arborea (La bruyère)

Genista tricuspidata (Le genêt)

Cytisus triflorus (La cytise à trois fleures)

Cistus monspeliensis (Le ciste de Montpellier)

Arbutus unedo (L'arbousier)

Calycotome spinosa (Le Calycotome)

Rubus ulmifolius (La ronce)

Lavandula stoechas (La lavande)

Pistacia lentiscus (Le lentisque)

Myrtus communis (Le myrte)

- **La strate herbacée**

La strate herbacée regroupe les espèces Sylvatiques montagnardes caractéristiques de la classe des *Quercetea pubescentis* et les espèces Sylvatiques de basse altitude caractérisant la classe des *Quercetea ilicis* (Messaoudène et al., 2008).

Méthodologie globale

La cartographie de l'occupation des terres est essentielle pour la gestion et la conservation des ressources naturelles, notamment dans des écosystèmes sensibles comme la forêt de Beni Ghobri en Algérie. Ce site est crucial pour la biodiversité locale et les communautés voisines. En raison de la pression accrue des activités humaines et des changements environnementaux, il est vital de disposer d'informations précises et à jour sur l'état et l'évolution de ces terres.

Les images satellites sont particulièrement efficaces pour cet objectif, offrant des vues détaillées et étendues de la couverture terrestre. Elles permettent de suivre la déforestation, l'urbanisation, et autres changements dans l'occupation du sol avec une fréquence et une couverture géographique importantes.

Cette étude utilise des images satellites pour cartographier l'occupation des terres dans la forêt de Beni Ghobri. Elle inclut la collecte et le prétraitement des images, l'analyse des changements à l'aide de techniques de classification et de détection des changements, et la validation des résultats. L'objectif est de produire des cartes détaillées pour comprendre les tendances actuelles et soutenir une gestion durable et une conservation efficace de cette forêt. En intégrant les technologies satellitaires et des méthodes d'analyse avancées, cette étude contribue significativement à la gestion des terres de la forêt de Beni Ghobri et aide à développer des stratégies de conservation adaptées aux défis actuels.

1. Cartographie de l'occupation des terres

La cartographie de l'occupation des terres en forêts est essentielle pour la gestion durable des ressources forestières et la conservation de la biodiversité. Elle permet de comprendre la répartition des forêts, leur état, et les différentes utilisations qui leur sont associées, telles que la sylviculture, la protection environnementale, et les activités récréatives. Ce chapitre explore les méthodes et technologies spécifiques utilisées pour cartographier les forêts, les types de données collectées, et les applications de ces cartes pour une gestion efficace des ressources forestières.

1.1. Matériels utilisés pour la création des cartes

La création de cartes précises et fonctionnelles nécessite une combinaison de matériel informatique, de technologies avancées et de logiciels spécialisés. Les outils utilisés influencent directement la qualité, la précision et l'efficacité des travaux cartographiques. Voici les principaux équipements nécessaires :

- **Ordinateur**

Un ordinateur performant est essentiel pour le traitement des données complexes et volumineuses. Les spécifications requises incluent :

- Processeur puissant : Pour gérer les calculs intensifs.
- Mémoire vive (RAM) élevée : Idéalement 16 Go ou plus pour le multitâche et le traitement rapide des données.

- Carte graphique dédiée : Pour le rendu et l'analyse des images haute résolution.
- Disque dur rapide (SSD) : Pour un stockage et des accès rapides aux fichiers.

- **Connexion Internet**

Une connexion Internet stable et rapide est indispensable pour :

- Téléchargement des données : Accès aux images satellites et aux bases de données géospatiales.
- Mises à jour logicielles : Pour maintenir les logiciels à jour.
- Collaboration : Partage et échange de données avec d'autres professionnels.

- **Images Satellitaires (Sentinel-2B)**

Les images satellites, notamment celles des satellites Sentinel-2B, sont cruciales pour :

- Résolution spatiale : Permet une observation précise des caractéristiques du sol.
- Bandes spectrales variées : Facilitent l'analyse détaillée des éléments tels que la végétation, les plans d'eau et les minéraux.

- **Logiciel SIG (Système d'Information Géographique)**

Les logiciels SIG, comme QGIS, sont au cœur de la cartographie. QGIS est particulièrement apprécié pour :

- Visualisation et analyse : Outils puissants pour manipuler les données géographiques.
- Flexibilité et fonctionnalités : Large gamme de plugins et d'outils pour des analyses spatiales avancées.

- **Disque de Stockage Externe**

Les disques de stockage externe sont essentiels pour :

- Gestion des données : Stockage et sauvegarde des images satellites et des fichiers de projet SIG.
- Capacité et vitesse : Assurer une capacité suffisante et des vitesses de transfert rapides pour une gestion efficace des données.

En comprenant et en utilisant ces matériels, on peut optimiser la création de cartes et garantir des résultats précis et utiles pour divers projets cartographiques.

2.1.2. Choix du logiciel SIG : QGIS

QGIS est un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) gratuit et open source, compatible avec plusieurs plateformes, y compris Linux, Windows, macOS et Androïde. Il offre une solution puissante et flexible pour la gestion et l'analyse des données géographiques.

Il se distingue par ses nombreuses fonctionnalités, qui permettent de structurer, ordonner, saisir, représenter, traiter et mettre à jour l'information géographique. Le logiciel assure une liaison efficace entre les données géographiques (représentées par des objets géométriques tels que des lignes, des polygones ou des points) et les attributs ou informations sémantiques associées. Grâce à ces capacités, QGIS facilite le traitement et l'organisation de grandes quantités de données géographiques.

L'une des caractéristiques notables de QGIS est son composeur d'impression. Ce composant permet de créer des cartes de haute qualité en offrant divers outils pour la mise en page et l'édition. Le composeur d'impression permet également d'ajuster la représentation visuelle des données, facilitant ainsi la création et la distribution de cartes finales précises et adaptées aux besoins spécifiques des utilisateurs (Hassani, 2021).

QGIS se distingue par sa flexibilité et son extensibilité grâce à une vaste gamme de plugins et d'extensions, permettant aux utilisateurs d'adapter le logiciel à des besoins spécifiques et d'intégrer de nouvelles fonctionnalités selon les exigences de leurs projets.

2.1.3. Étapes pour la création d'une carte d'occupation des sols avec QGIS

La création d'une carte d'occupation des sols dans QGIS comprend plusieurs étapes essentielles, chacune conçue pour préparer et représenter les données de manière efficace. Selon Denis (2019), les étapes suivantes doivent être suivies pour réaliser cette carte :

Étape 1 : Chargement des Données dans QGIS

1. Lancer le logiciel : Ouvrez QGIS sur votre ordinateur.
2. Créer un nouveau projet : Allez dans `Fichier > Nouveau projet` pour commencer un nouveau projet cartographique.

3. Ajouter des données : Cliquez sur l'icône `Ajouter une couche` et sélectionnez Ajouter une couche raster. Importez les données raster nécessaires à la création de votre carte d'occupation des sols.

Étape 2 : Traitement des Données

1. Sélectionner la zone d'intérêt : Définissez la zone spécifique sur laquelle vous souhaitez vous concentrer.

2. Découper les données : Utilisez l'outil de découpe en accédant à `Raster > Extraction > Découper le raster par couche de masque`. Sélectionnez la couche raster d'occupation des sols ainsi que la couche représentant votre zone d'intérêt pour générer un raster découpé correspondant à cette zone.

3. Vérifier les résultats : Assurez-vous que la couche découpée affiche uniquement les données pertinentes pour votre zone d'intérêt.

Étape 3 : Classification des Données

1. Accéder à la boîte à outils de traitement : Ouvrez la boîte à outils de traitement via `Traitement > Boîte à outils`.

2. Utiliser un algorithme de classification : Sélectionnez et appliquez un algorithme de classification pour organiser les données en différentes catégories.

3. Définir les échantillons : Utilisez l'outil de création de points d'échantillonnage pour identifier et marquer des zones d'échantillonnage correspondant à chaque type d'occupation des sols (par exemple, végétation, zones brûlées, routes, etc.).

4. Lancer la classification : Suivez les étapes du plugin pour classer les pixels en fonction de leurs caractéristiques spectrales et obtenir une carte classifiée.

Étape 4 : Mise en Forme de la Carte

1. Accéder à la mise en page d'impression : Créez une nouvelle mise en page en sélectionnant `Projet > Nouvelle mise en page`.

2. Ajouter la carte : Cliquez sur l'icône `Ajouter une carte` et dessinez un rectangle dans la fenêtre de mise en page pour y insérer la carte générée.

3. Ajouter des éléments supplémentaires : Incluez des éléments tels qu'une échelle graphique et un titre en utilisant les outils disponibles dans la barre d'outils de mise en page.

4. Personnaliser la symbologie : Cliquez avec le bouton droit sur la couche d'occupation des sols dans le panneau des couches, sélectionnez `Propriétés`, puis `Symbologie`. Modifiez le type de symbole en `Catégorisé` et choisissez la colonne correspondant aux types d'occupation des sols. Cliquez sur `Classer` pour attribuer des couleurs distinctes à chaque catégorie.

5 La légende : La légende est un élément indispensable de toute carte, car elle aide les utilisateurs à comprendre et à interpréter correctement les informations présentées. Pour une communication efficace, une légende bien conçue doit être claire, bien organisée, et facile à lire, ce qui facilite l'interprétation des données.

2.1.4. Traitement des images satellites et classification

Les écosystèmes forestiers sont souvent étudiés à l'aide de données de télédétection optique pour mesurer leurs caractéristiques spectrales et cartographier les différentes classes d'occupation du sol. Ces études se concentrent principalement sur l'utilisation d'images en moyen-infrarouge et d'indices de végétation pour suivre les changements dans le temps. La télédétection optique, en particulier les images SENTINEL-2, est considérée comme un compromis optimal entre coût et efficacité pour la cartographie et le suivi des types de végétation, notamment les forêts. Dans notre étude, nous avons utilisé une image multi-spectrale SENTINEL-2B, disponible en accès libre, ainsi que des techniques de classification pour analyser les écosystèmes forestiers. Cependant, la classification des images satellitaires est un processus complexe, influencé par divers facteurs, tels que la méthode de classification choisie et la variabilité des zones étudiées. Pour détecter les changements environnementaux, nous avons utilisé plusieurs méthodes, dont la composition colorée, les indices de végétation, et la classification, en sélectionnant la méthode la plus adaptée en fonction des objectifs de l'étude et de l'expertise de l'analyste.

2.1.5. La composition colorée

Les compositions colorées représentent l'une des formes de visualisation des images satellitaires les plus connues et spectaculaires. Basées sur le principe de la synthèse des couleurs, elles combinent plusieurs images en un document unique et coloré, permettant ainsi de rassembler une grande quantité d'informations. Cependant, l'interprétation des variations de couleurs est laissée à l'observateur, faisant de ces compositions un support analogique

privilegié pour l'analyse, comparable à une photographie en couleurs (Donnay, 2000). Dans notre étude, nous avons réalisé plusieurs essais de compositions colorées, et seule la composition en fausses couleurs infrarouges s'est avérée efficace pour une classification optimale (figure 6).

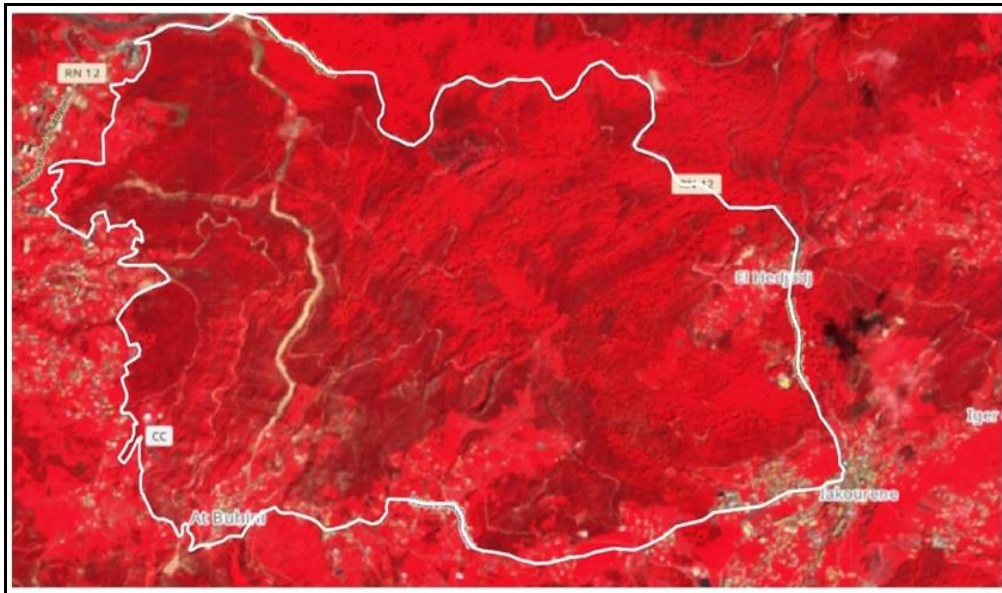


Figure 6 : Composition infrarouge en fausses couleurs de la zone d'étude

Cette composition, qui est particulièrement utile pour l'analyse de la végétation, consiste à mapper la bande spectrale de l'infrarouge proche avec les bandes rouges et vertes sur les composants RGB.

Les bandes spectrales utilisées, désignées par des numéros sur le satellite SENTINEL-2, sont les suivantes : B2 (Bleu), capturant la lumière bleue visible à environ 490 nm, utile pour observer les plans d'eau ou la végétation; B4 (Rouge), capturant la lumière rouge visible à environ 665 nm, couramment utilisée pour surveiller la santé de la végétation en raison de l'absorption par les plantes; et B8 (Infrarouge proche, NIR), capturant la lumière infrarouge proche à environ 842 nm, essentielle pour évaluer la densité et la santé de la végétation. Sur une image en fausses couleurs infrarouges, la végétation à forte activité photosynthétique apparaît en rouge vif, l'eau en noir, et les surfaces minérales en bleu à blanc, permettant ainsi une visualisation précise et informative de la végétation.

2.1.7. Gestion et manipulation des données

Le logiciel QGIS a joué un rôle crucial dans la gestion et la manipulation des données pour notre étude. Grâce à ses fonctionnalités avancées, nous avons pu déterminer avec précision la superficie totale de notre zone d'étude, ainsi que les superficies respectives de chaque élément présent dans la forêt. Cette capacité à quantifier les différentes composantes de l'écosystème forestier est essentielle pour une analyse approfondie et pour la prise de décision éclairée concernant la gestion des ressources naturelles.

En outre, QGIS nous a permis d'intégrer et de superposer les données collectées sur le terrain avec les données satellitaires. Cette intégration géospatiale a facilité la visualisation et l'analyse des données sur des cartes détaillées, améliorant ainsi notre compréhension de la répartition et de l'état des différents éléments dans la zone d'étude. La possibilité de croiser les données terrain avec les données issues de la télédétection nous a permis de valider les observations sur le terrain et d'ajuster les modèles de classification des images satellitaires pour obtenir des résultats plus précis et fiables.

QGIS a été un outil indispensable pour l'analyse spatiale et la gestion des données, offrant des capacités robustes pour la quantification des superficies et la superposition des données géospatiales, ce qui a grandement contribué à la réussite de notre étude.

2.2. Échantillonnage phytoécologique.

L'échantillonnage phytoécologique est une méthode essentielle pour étudier la diversité, la distribution et l'abondance des espèces végétales dans un écosystème. Cette approche permet de collecter des données représentatives sur la composition des communautés végétales, d'évaluer leur répartition spatiale et de comprendre leur dynamique temporelle. En définissant des protocoles rigoureux pour la collecte et l'analyse des échantillons, l'échantillonnage phytoécologique fournit des informations cruciales pour la gestion des écosystèmes, la conservation de la biodiversité et l'évaluation des impacts environnementaux.

2.2.1. Choix du type d'échantillonnage

L'échantillonnage vise à sélectionner des éléments de manière à obtenir des informations objectives et précises sur l'ensemble de l'écosystème (Gounot, 1969). Dans notre recherche, nous avons opté pour l'échantillonnage subjectif, une méthode qui convient bien à notre étude. Selon Ariouatte et Redjal Hachanae (2016), l'échantillonnage subjectif est une approche simple où les emplacements des relevés sont choisis de manière intuitive, en ciblant des zones

perçues comme suffisamment homogènes et représentatives de la formation végétale. Cette méthode permet de concentrer les efforts sur des secteurs jugés significatifs pour l'analyse de la végétation.

2.2.2. Matériels utilisés sur le terrain

Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé une variété de matériels sur le terrain, chacun jouant un rôle crucial dans la collecte et l'enregistrement des données :

- GPS (Système de Positionnement Global) : Nous avons utilisé deux types de GPS pour garantir la précision des coordonnées géographiques.
- Appareil photo numérique : Un appareil photo numérique a été utilisé pour capturer des images détaillées des différents éléments de la végétation et des caractéristiques du terrain. Ces photographies ont servi à documenter visuellement les observations et à fournir un complément précieux aux données recueillies par d'autres moyens.
- Ruban mètre : Un ruban mètre a été utilisé pour mesurer les dimensions et les distances des différentes caractéristiques végétales et du terrain. Cette mesure précise des superficies et des distances était essentielle pour effectuer une analyse quantitative des échantillons.
- Images satellitaires : Les images satellitaires ont joué un rôle clé en fournissant une vue d'ensemble détaillée et à grande échelle de la zone d'étude. Elles ont été utilisées pour la cartographie, l'analyse des changements de couverture végétale, et la validation des données collectées sur le terrain.

En combinant ces outils, nous avons pu obtenir une compréhension approfondie de la zone d'étude, en intégrant des données géospatiales, visuelles et quantitatives pour une analyse complète et précise.

2.2.3. Placette d'échantillonnage

En juin 2024, nous avons réalisé 30 relevés phytoécologiques dans notre zone d'étude, la forêt de Beni Ghobri (figure 7). Le choix des emplacements et des limites des placettes d'échantillonnage a été guidé par des critères fondamentaux définis par Meddour (2011), pour garantir la représentativité et la précision des données collectées.

- **Homogénéité floristique** : Il est crucial que les placettes choisies présentent une homogénéité floristique répétitive. Cela signifie que la combinaison des espèces végétales doit être statistiquement répétitive, assurant ainsi une représentativité cohérente de la végétation sur l'ensemble de la placette. L'homogénéité floristique est définie par une

combinaison stable et répétitive d'espèces dans l'échantillon, permettant une analyse fiable de la diversité végétale.

- **Homogénéité écologique** : L'homogénéité écologique concerne la cohérence dans la physionomie et la structure de la végétation au sein de la placette. Pour garantir cette homogénéité, la station d'échantillonnage doit présenter des caractéristiques environnementales uniformes telles que l'exposition, la lumière, la microtopographie et l'humidité du sol. A l'intérieur de chaque placette, il ne doit pas y avoir de variations significatives dans la composition floristique ou les conditions environnementales. Cela assure que les relevés sont effectués dans des conditions écologiques similaires, permettant une comparaison et une analyse plus précises des données.

En suivant ces critères, nous avons pu sélectionner des placettes d'échantillonnage qui fournissent des informations représentatives et fiables sur la composition et la structure de la végétation dans la forêt de Beni Ghobri.

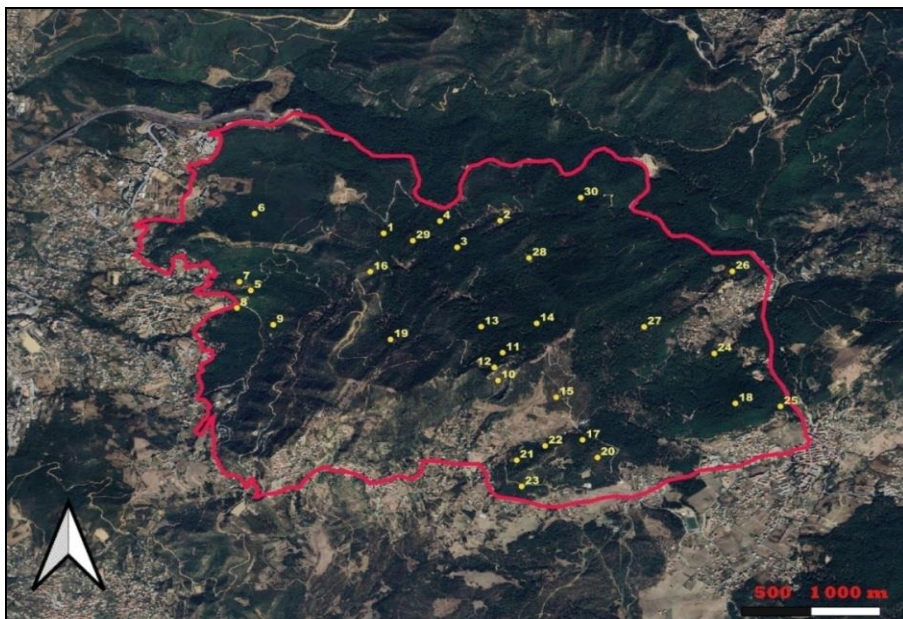


Figure 7: Emplacement des placettes d'échantillonnage phytoécologique.

2.2.4. Composition du relevé phytoécologique

Pour chaque relevé phytoécologique effectué, nous avons consigné directement sur le terrain un ensemble de caractéristiques essentielles afin de garantir une documentation complète et précise des observations. Les éléments enregistrés incluent :

La date : La date à laquelle le relevé a été réalisé, permettant de situer les observations dans le temps et de suivre les variations saisonnières ou annuelles.

Le numéro du relevé : Un identifiant unique attribué à chaque relevé pour assurer une gestion et une traçabilité efficaces des données.

Les coordonnées géographiques : Les coordonnées précises (latitude et longitude) du site d'échantillonnage, fournissant un repère spatial exact pour la localisation des données.

L'altitude : La hauteur au-dessus du niveau de la mer, qui peut influencer la composition floristique et les conditions écologiques du site.

L'exposition : La direction de l'orientation du site par rapport au soleil, affectant les conditions de lumière et la croissance des plantes.

La pente : L'inclinaison du terrain, influençant les processus de drainage et l'accumulation de matière organique.

Le recouvrement total : La proportion de la surface de la placette couverte par la végétation, mesurée pour évaluer la densité et la couverture végétale.

La densité : Le nombre d'individus par unité de surface, permettant de quantifier la densité de la végétation et la structure du peuplement.

Liste floristique : L'inventaire des espèces végétales présentes dans la placette, incluant leur nom scientifique et leur abondance relative, pour une évaluation complète de la biodiversité végétale.

Cette approche détaillée garantit une collecte de données, essentielle pour une analyse approfondie de la végétation et de l'écosystème dans notre zone d'étude.

2.2.5. Données relatives à la végétation

Dans notre étude, nous avons recueilli et analysé des données détaillées sur la végétation en utilisant deux principales méthodes d'évaluation : l'abondance-dominance et la classification des formations végétales.

- **Abondance-dominance** : Pour évaluer la couverture et l'abondance des espèces végétales dans chaque station d'échantillonnage, nous avons utilisé l'échelle de Braun-Blanquet (1959).

Cette échelle permet de décrire la couverture végétale en termes d'abondance et de recouvrement avec les catégories suivantes :

- + : Recouvrement et abondance très faibles.
- 1 : Espèce très abondante mais recouvrement faible, inférieur à 5 %.
- 2 : Espèce très abondante avec un recouvrement compris entre 5 et 25 %.
- 3 : Recouvrement compris entre 25 et 50 %, avec une abondance variable.
- 4 : Recouvrement compris entre 50 et 75 %, avec une abondance variable.
- 5 : Recouvrement supérieur à 75 %, avec une abondance variable.

Cette classification permet de quantifier précisément l'importance relative de chaque espèce dans la végétation et d'évaluer leur influence sur la structure globale du couvert végétal.

- **Formation végétale** : En suivant la classification d'Ionesco et Sauvage (1962), nous avons décrit les différents types de formations végétales en fonction de leur hauteur et densité. Ces formations végétales sont classifiées et présentées dans le tableau I. Cette classification aide à comprendre les structures dominantes de la végétation et à identifier les types de couvert végétal prédominants dans la zone d'étude.

Tableau I : Types de formations végétales selon leur hauteur et leur densité (Ionesco et Sauvage, 1962)

Type de formation	Hauteur (m)	Densité (R)
Forêt haute	$h > 15 \text{ m}$	Très dense ($R > 75 \%$) Dense $50 \% < R < 75\%$ Peu dense $25 \% < R < 50\%$ Clair $R < 25 \%$
Forêt moyenne	$10 \text{ m} < h < 15 \text{ m}$	
Forêt basse	$7 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$	
Matorral haut	$4 \text{ m} < h < 7 \text{ m}$.	Clair $R < 25 \%$
Matorral moyen	$2 \text{ m} < h < 4 \text{ m}$.	
Matorral bas	$0,6 \text{ m} < h < 2 \text{ m}$	
Matorral arboré	Quelques Arbres $> 7 \text{ m}$	

En combinant ces deux méthodes d'évaluation, nous avons pu obtenir une vue d'ensemble détaillée de la composition et de la structure de la végétation, fournissant des informations essentielles pour l'analyse écologique et la gestion des écosystèmes.

2.2 Les incendies de forêt :

Les incendies de forêt sont des incendies incontrôlés qui se propagent dans la végétation, causés par des facteurs naturels ou humains. Ils peuvent se développer rapidement, aggravés par des conditions climatiques.

Afin d'obtenir des informations sur les incendies, nous nous sommes rendus dans la circonscription des forêts d'Azazga et nous avons recueilli les bilans des incendies des années [2015 à 2023] de toute la forêt de Beni Ghobri. Ensuite, nous avons identifié les cantons qui couvrent notre zone d'étude et sélectionné les données qui correspondent à notre recherche. Ensuite nous avons réalisé la carte des cantons et calculer les superficies par le logiciel QGIS.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction :

La cartographie de l'occupation des sols dans la forêt de Beni Ghobri permet d'analyser et de visualiser les diverses classes d'utilisation du sol. En utilisant des images satellites, les données collectées, ainsi que les 30 relevés phytoécologiques réalisés sur le terrain, nous avons élaboré cette carte synthétique. Celle-ci nous a permis d'identifier les formations végétales, de définir l'état actuel de chaque placette et d'examiner la répartition de la végétation. Ce chapitre comprendra également une discussion sur les forêts incendiées dans la zone d'étude.

1. Création de la carte synthétique

Une carte synthétique est une représentation cartographique qui présente une vue d'ensemble simplifiée d'une région ou d'un sujet spécifique, en intégrant et en combinant diverses données et informations. Contrairement aux cartes topographiques ou spécialisées, qui montrent des détails précis et techniques, une carte synthétique se concentre sur l'essentiel en regroupant plusieurs aspects ou catégories d'information sur une seule carte.

Dans le cas de la forêt de Beni Ghobri, la carte de l'occupation des terres illustre la couverture biophysique de la surface terrestre en la classant en différentes catégories telles que les forêts, les zones aménagées, les plans d'eau, et d'autres types de paysages. En intégrant des données collectées sur le terrain avec des images satellites, cette carte permet de visualiser la répartition et la nature des divers éléments présents sur le sol. Elle facilite l'identification des différentes communautés végétales et offre une évaluation détaillée de la structure et de la composition de la végétation, fournissant des informations essentielles pour la gestion et la conservation de la forêt. Les formations végétales sont classifiées selon leur composition, structure et physionomie, permettant une évaluation globale de leur rôle écologique et de leur impact environnemental.

1.1. Physionomie des formations végétales

La classification des formations végétales selon leur hauteur est cruciale pour appréhender leur structure et leur rôle écologique. Voici les principales catégories de hauteur utilisées pour caractériser ces formations :

- Forêt haute : hauteur supérieure à 15 mètres

Les forêts hautes sont dominées par une végétation arborée dépassant les 15 mètres. Elles se composent souvent de grands arbres formant un couvert dense et continu. Ces forêts jouent un

rôle essentiel dans les écosystèmes en offrant un habitat pour une grande variété d'espèces animales et végétales, en régulant le climat local et en contribuant à la séquestration du carbone.

- Forêt moyenne : hauteur comprise entre 10 et 15 mètres

Les forêts moyennes sont caractérisées par des arbres mesurant entre 10 et 15 mètres de hauteur. Elles sont généralement moins denses que les forêts hautes et peuvent présenter une canopée moins continue. Ces forêts offrent également un habitat important pour la faune et la flore, mais leur structure moins élevée peut influencer différemment la biodiversité et les interactions écologiques par rapport aux forêts plus hautes.

- Forêt basse : hauteur comprise entre 7 et 10 mètres

Les forêts basses se composent d'arbres dont la hauteur varie entre 7 et 10 mètres. Elles se développent souvent dans des conditions où la croissance des arbres est limitée par le sol ou le climat. Ces forêts peuvent présenter une diversité spécifique adaptée aux conditions locales et jouent un rôle important dans la stabilisation des sols et la régulation des cycles hydriques.

- Matorral haut : hauteur comprise entre 4 et 7 mètres

Les matorrals hauts sont des formations dominées par des buissons ou de petits arbres, avec une hauteur variant entre 4 et 7 mètres. Ces formations peuvent résulter de conditions climatiques sèches ou de perturbations environnementales. Elles sont souvent constituées de plantes adaptées aux environnements arides ou perturbés, et jouent un rôle crucial dans la conservation du sol ainsi que la fourniture de nourriture et d'abri pour certaines espèces animales.

Chaque catégorie de hauteur fournit des informations sur la structure des formations végétales et leur fonction écologique, influençant la biodiversité et les processus environnementaux locaux. En combinant ces données avec d'autres informations écologiques, nous pouvons mieux comprendre les dynamiques des écosystèmes et les impacts des changements environnementaux sur ces formations végétales.

1.2. Densité des formations végétales

La densité des peuplements végétaux est un paramètre clé pour évaluer la couverture du sol et la structure des formations végétales. Elle est généralement mesurée en pourcentage de recouvrement global, reflétant la proportion de surface terrestre couverte par la végétation. Voici les différentes catégories de densité utilisées pour caractériser ces peuplements :

- Peuplement très dense : Recouvrement global > 75%

Les peuplements très denses présentent un recouvrement végétal supérieur à 75 % de la surface étudiée. Dans ces zones, la végétation est abondante et forme un couvert presque

continu, laissant peu d'espace visible entre les plantes. Cette haute densité favorise une riche biodiversité en offrant des habitats variés pour de nombreuses espèces. Elle contribue également à la protection contre l'érosion du sol et à la stabilité du microclimat. Les peuplements très denses sont souvent observés dans les forêts matures ou les zones de végétation luxuriante.

- Peuplement dense : 50% < Recouvrement global < 75%

Les peuplements denses présentent un recouvrement végétal compris entre 50 % et 75 %. Bien que la couverture ne soit pas aussi continue que dans les peuplements très denses, la végétation reste relativement abondante. Ces zones offrent toujours un habitat riche et sont souvent caractérisées par des canopées qui laissent passer moins de lumière au sol. Elles jouent un rôle significatif dans la régulation du climat local et le maintien de la biodiversité, mais peuvent avoir une structure végétale plus hétérogène.

- Peuplement clair : 25% < Recouvrement global < 50%

Les peuplements clairs ont un recouvrement végétal variant entre 25 % et 50 %. Dans ces zones, la végétation est plus espacée, avec des espaces ouverts entre les plantes. Cette configuration peut résulter de conditions environnementales moins favorables ou de perturbations. Les peuplements clairs offrent des niches écologiques spécifiques, mais tendent à avoir une biodiversité moins dense que les peuplements plus denses. Ils sont souvent observés dans des prairies, des zones de broussailles ou des forêts dégarnies.

- Peuplement très clair : Recouvrement global < 25%

Les peuplements très clairs sont caractérisés par un recouvrement végétal inférieur à 25 %. Dans ces zones, la végétation est éparse, avec de grandes portions de sol visible. Cette faible densité peut être due à des conditions extrêmes, telles que la sécheresse, les sols pauvres ou les perturbations anthropiques ou naturelles. Les peuplements très clairs offrent moins de couverture et peuvent être sujets à une érosion accrue. Ils sont souvent trouvés dans des environnements semi-arides ou fortement perturbés, où la végétation est très clairsemée.

Chacune de ces catégories de densité a des implications pour l'écologie du site, la gestion des ressources naturelles et la conservation des habitats. Comprendre les variations de densité des peuplements permet d'évaluer les impacts environnementaux, de planifier des stratégies de gestion adaptées et de surveiller les changements dans les écosystèmes au fil du temps.

2. Création des couches thématiques

Pour analyser la répartition des formations végétales et des utilisations du sol, nous avons utilisé le logiciel QGIS, un outil de Système d'Information Géographique (SIG). Ce logiciel a

permis de digitaliser les informations géographiques, c'est-à-dire de les convertir en données numériques et de les superposer sous forme de couches thématiques sur une carte de base.

Nous avons ainsi créé des couches distinctes pour chaque type de couverture du sol : Forêts, Matorrals, Maquis, Tranchées pare-feu, Agriculture et Agglomération. Cette approche a permis de mesurer précisément les superficies de chaque catégorie et de visualiser leur répartition spatiale. En combinant ces données avec d'autres informations écologiques, nous obtenons une vue d'ensemble détaillée qui facilite la planification environnementale et la gestion des ressources naturelles, tout en permettant une évaluation approfondie des impacts environnementaux.

2.1. Couche forêts

La création de la couche thématique des forêts a été facilitée par la taille des surfaces clairement identifiables sur les images satellites. Cependant, les images de Sentinel ne permettaient pas de distinguer les différentes espèces d'arbres avec précision. Pour surmonter cette limitation, nous avons utilisé des images de Google Earth, qui offrent une résolution plus élevée et permettent une identification plus précise des espèces.

Les forêts de la zone d'étude se caractérisent par des formations ligneuses où les arbres dépassent 7 mètres de hauteur et présentent une densité de 100 arbres par hectare (Smaoui, 2015). Elles couvrent une superficie totale de 581 hectares, représentant environ 48% de la surface totale de la zone d'étude. Ces forêts sont réparties sur diverses expositions topographiques de la région, et on y distingue principalement deux types de forêts :

2.1.1. Forêt de *Quercus suber* (chêne-liège)

La forêt de *Quercus suber* couvre une superficie de 131 hectares et se situe à l'ouest du canton de Bouhini, au sud du canton de Sidi Brahem, et au nord-ouest du canton d'Ain El Anœur (figure 8).

- **Forêt dense de *Quercus suber*** : Dominée par le chêne-liège, cette formation présente un sous-bois riche en *Phillyrea latifolia*, *Calicotome spinosa*, et *Pistacia lentiscus*.

- **Forêt claire de *Quercus suber*** : Ici, le sous-bois est moins dense et composé principalement de *Asphodelus ramosus*, *Cistus salviifolius* et *Genista scorpius*.

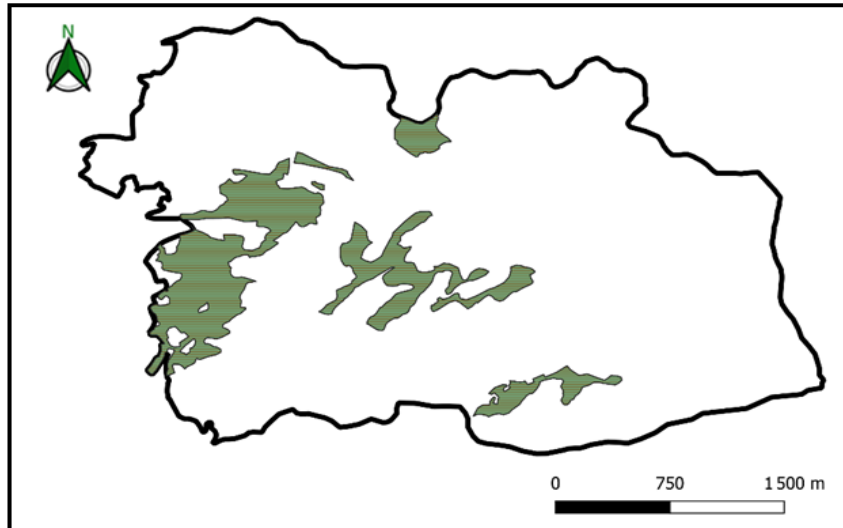


Figure 8: Couche des forêts de *Quercus suber*.

2.1.2. Forêt de *Quercus canariensis* (chêne-zéen)

Elle couvre une superficie de 136 hectares et se situe dans le canton Sidi Brahem, Ain El Anœur et Aboud (figure 9) .

- **Forêt dense de *Quercus canariensis*** : Composée d'arbres de grande et moyenne taille, elle présente un sous-bois dominé par *Cytisus villosus*, *Erica arborea* et *Lavandula stoechas*.
- **Forêt claire de *Quercus canariensis*** : Les arbres sont généralement de taille moyenne, avec un sous-bois constitué principalement de *Cistus salviifolius*, *Myrtus communis* et *Asphodelus ramosus*.

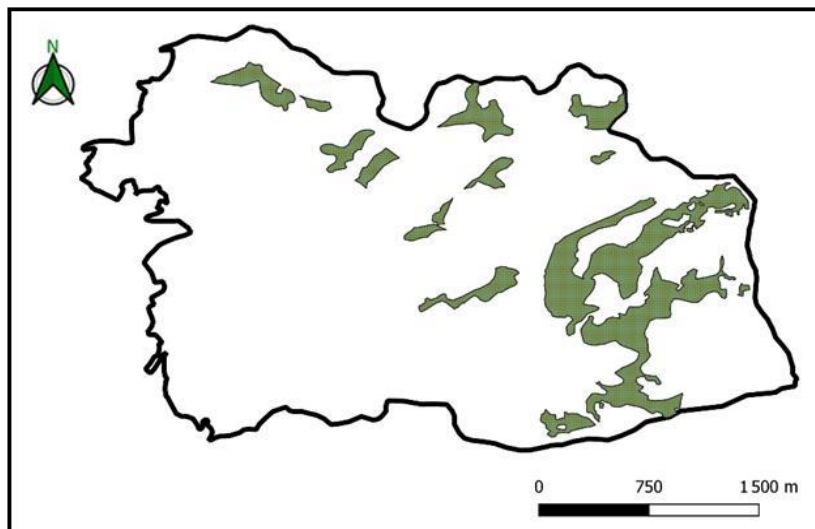


Figure 9: Couche des forêts *Quercus canariensis*

Ces formations forestières jouent un rôle essentiel dans la biodiversité régionale en offrant des habitats variés pour de nombreuses espèces végétales et animales. Leur répartition et leur composition dépendent des conditions environnementales locales, telles que l'exposition, l'altitude et les caractéristiques du sol.

2.1.3. Forêt mixte de *Quercus suber* et *Quercus canariensis*

Cette forêt, qui couvre une superficie de 303 hectares, est située à l'est et au nord-est de la zone, dans les cantons de Sidi Brahem, Ain El Anœur et Aboud (figure 10). La forêt se caractérise par les formations suivantes :

- **Forêt mixte dense** : Principalement constituée de *Quercus canariensis* et *Quercus suber* avec un sous-bois composé de *Erica arborea*, *Cytisus triflorus* et *Cytisus villosus*.
- **Forêt mixte claire** : Dominée par *Quercus suber* et *Quercus canariensis* avec un sous-bois principalement composé de *Cistus salviifolius*, *Myrtus communis* et *Asphodelus ramosus*.

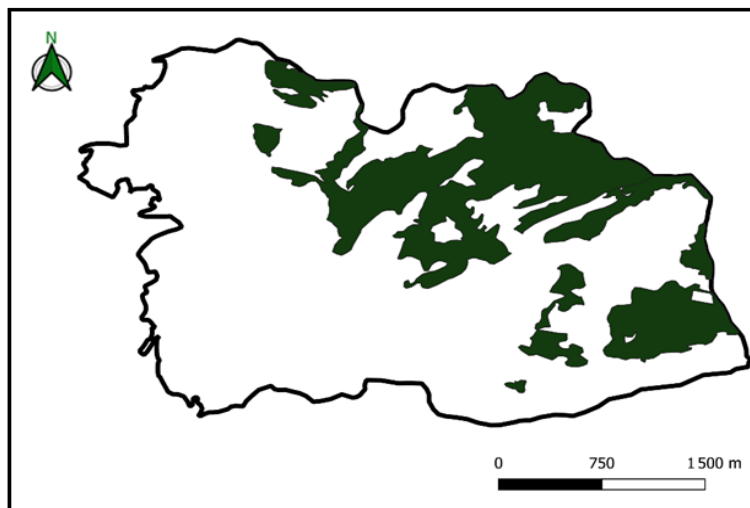


Figure 10: Couche des forêts mixte

2.2. Couche matorrals

Selon Ionesco et al (1966), le matorral est une formation végétale ligneuse ne dépassant pas 7 mètres de hauteur, qui dérive directement de la forêt par dégradation ou qui ne parvient pas à atteindre le stade forestier en raison de conditions naturelles très locales (telles que le vent, les embruns, ou un substrat trop rocheux). Le matorral se retrouve donc dans les mêmes étages bioclimatiques que la forêt.

Dans notre zone, ces formations couvrent une superficie totale de 436 hectares. Elles sont situées dans diverses orientations et à des altitudes variées, dans les cantons d'Aboud, Ain El

Ançeur, Bouhini, et Sidi Brahem (figure 11). présente un sous-bois dominé par, *Lavandula stoechas*, *Asphodelus ramosus* et *Pinus halepensis*.

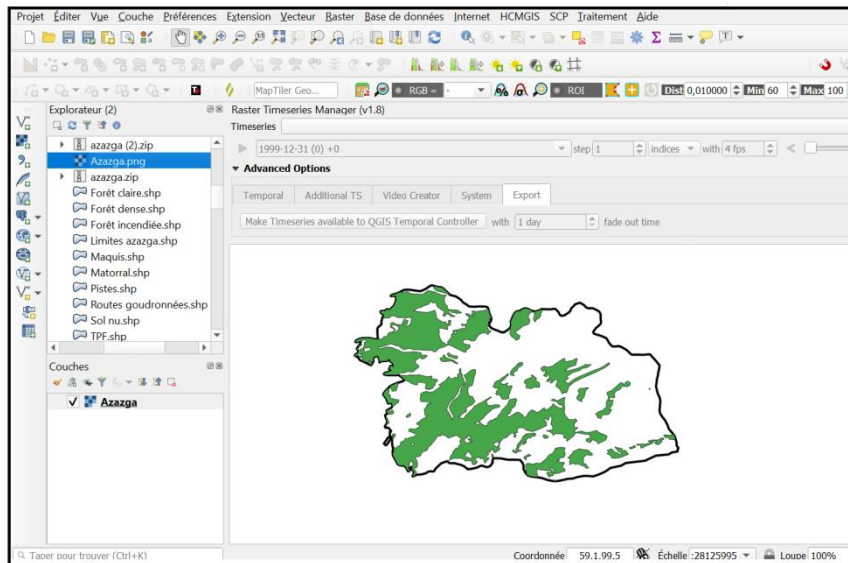


Figure 11: Couche des matorrals

2.3. Couche maquis

Le maquis est une formation végétale dense et haute, associée à un substrat siliceux et à une pluviométrie annuelle moyenne de 600 mm (Smaoui, 2015).

Ce maquis, qui s'étend sur une superficie de 2 hectares, est situé au sud-est du canton de Sidi Brahem (Figure 12), à une altitude de 700 mètres.

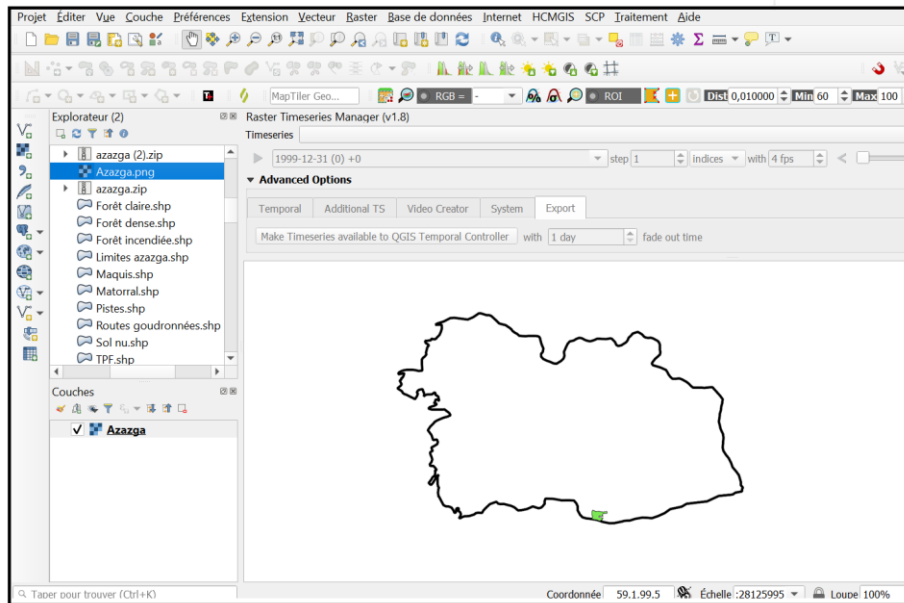


Figure 12: Couche des maquis

Il est principalement constitué de *Quercus suber*, avec un sous-bois dominé par *Phillyrea latifolia*, *Cistus monospliensis* et *Asphodelus fistulosus*.

2.4. Couche des tranchées pare-feu

Les tranchées pare-feu sont des discontinuités linéaires conçues pour compartimenter les espaces forestiers et contenir les incendies au sein des massifs ainsi isolés. Dans ces zones, la végétation est absente ou réduite à une strate herbacée très basse. Ces tranchées, réalisées soit par bulldozer, soit manuellement, ont une largeur minimale de 20 mètres, ce qui permet aux équipes de lutte contre les incendies de se déplacer et d'intervenir en toute sécurité (Boulemzaoud, 2015).

Dans notre zone d'étude, les tranchées pare-feu s'étendent sur une superficie totale de 11 hectares et se trouvent dans la partie ouest de la région, traversant les cantons d'Aboud et de Bouhini (figure 13). Bien que ces tranchées jouent un rôle crucial dans la compartimentation des espaces forestiers et la limitation de la propagation des incendies, leur surface actuelle s'avère insuffisante pour garantir une protection optimale.

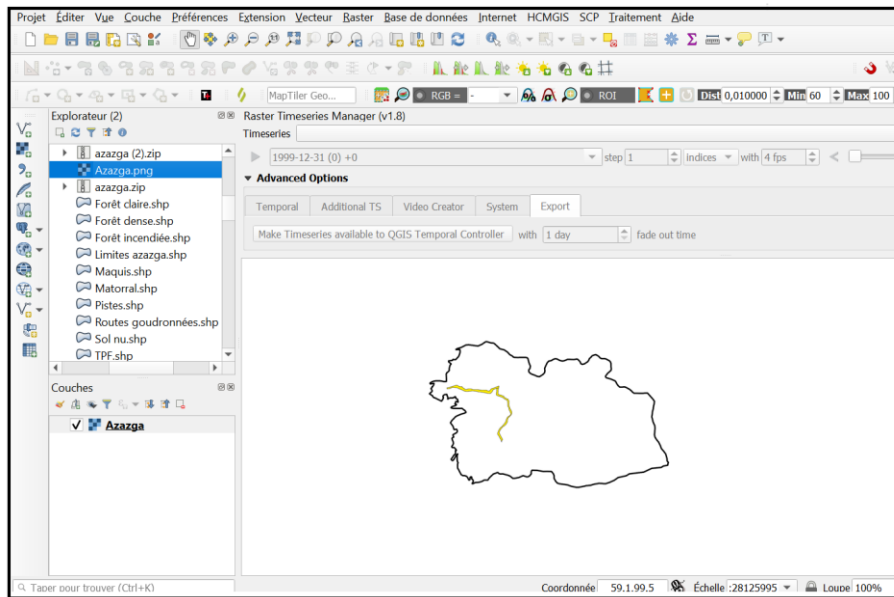


Figure 13: Couche des tranchées pare-feu

En effet, la dimension des tranchées pare-feu doit être adaptée à la taille et à la configuration des massifs forestiers environnants ainsi qu'à la densité de la végétation. Avec une superficie de 11 hectares, ces tranchées couvrent une surface relativement restreinte par rapport à l'étendue des zones forestières qu'elles sont censées protéger. Cela limite leur efficacité dans la gestion des incendies, particulièrement en cas de feux de grande envergure ou dans des conditions météorologiques extrêmes, telles que des vents forts ou une sécheresse prolongée. Pour améliorer la protection contre les incendies, il serait nécessaire d'élargir et d'augmenter le nombre de tranchées pare-feu, ainsi que de renforcer leur entretien régulier. Cela permettrait de créer des zones de confinement plus vastes et plus efficaces, réduisant ainsi le risque de propagation des incendies et facilitant les interventions des équipes de lutte. Une évaluation approfondie des besoins spécifiques de chaque zone forestière et l'intégration de stratégies complémentaires, telles que la gestion de la végétation et la surveillance proactive, seraient également essentielles pour optimiser la protection contre les incendies.

2.5. Couche Agriculture

L'agriculture englobe l'ensemble des pratiques humaines visant à cultiver des plantes, à élever des animaux et à produire des denrées alimentaires. Selon Boudedja et Tahani (2012), l'agriculture représentait la principale source de revenus et de survie en Kabylie. Les ressources naturelles y étaient souvent exploitées collectivement pour le pâturage et l'exploitation des forêts. À Yakouren, avant la colonisation française, les populations avaient

une relation étroite et dépendante de la forêt. Le système de production était essentiellement agroforestier, combinant arboriculture et élevage extensif comme principales activités agricoles. La forêt fournissait non seulement la nourriture pour les animaux, mais aussi le bois de chauffage nécessaire au quotidien.

Dans notre étude, les zones agricoles couvrent une superficie totale de 84 hectares. Ces zones se situent principalement dans la partie sud, à l'est et à l'ouest de la région (figure 14).

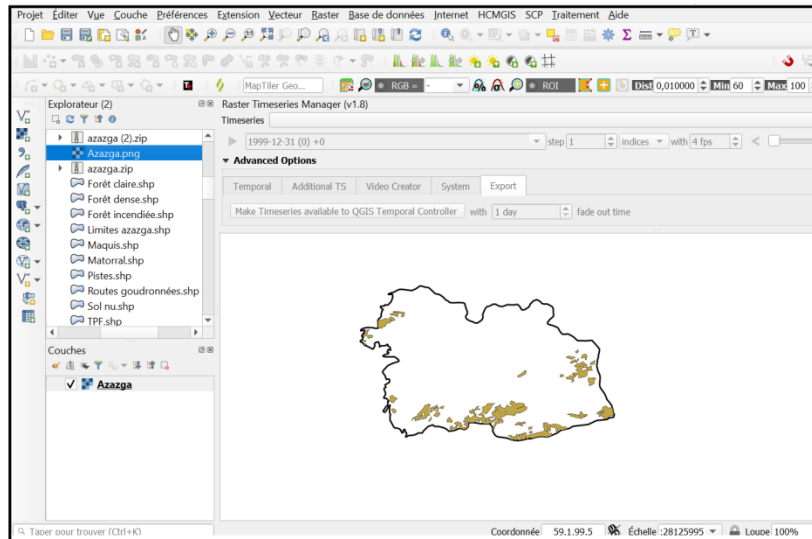


Figure 14: Couche des zones agricoles

L'agriculture dans cette zone est caractérisée par des pratiques traditionnelles et une dépendance notable à l'égard des ressources forestières pour le soutien des activités agricoles et l'approvisionnement en bois de chauffage.

2.6. Couche agglomération

Le terme "agglomération" est souvent utilisé pour désigner des zones urbanisées qui s'étendent au-delà des limites administratives d'une ville, englobant des zones résidentielles, commerciales et parfois industrielles. Dans le contexte de la forêt de Beni Ghobri, l'agglomération se distingue par une population qui, historiquement, a dépendu des ressources forestières telles que le bois et le liège (Bouedja, 2013).

Dans notre zone d'étude, l'espace urbain, qui englobe ces agglomérations, couvre une superficie totale de 54 hectares. Cette zone urbaine est située principalement dans la partie sud et sud-ouest de la région (figure 15).

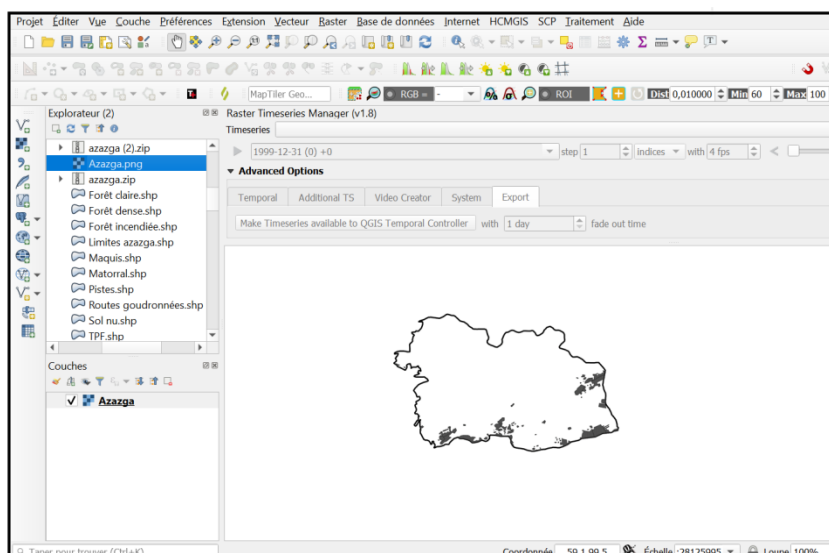


Figure 15: Couche des agglomérations

L'urbanisation dans cette zone a souvent entraîné une pression accrue sur les ressources forestières environnantes, avec des implications importantes pour la gestion durable des ressources et l'équilibre écologique local. L'interaction entre les activités urbaines et les ressources naturelles nécessite une planification urbaine qui prend en compte la préservation des écosystèmes forestiers tout en répondant aux besoins croissants de la population locale.

2.7. Couche des routes et pistes

La zone étudiée est desservie par un réseau de routes goudronnées et de pistes (figure 16). Les routes principales relient la forêt aux villages environnants ainsi qu'aux axes routiers majeurs, facilitant ainsi le transport des produits forestiers et le déplacement des habitants. Ces routes jouent un rôle clé en permettant un accès efficace et régulier aux différentes parties de la région.

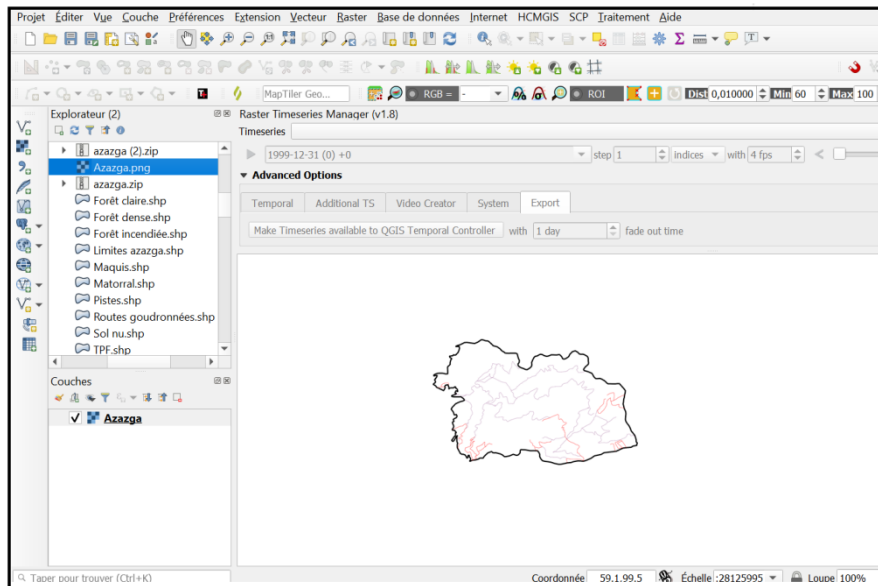


Figure 16: Couche des routes et des pistes

Les pistes, quant à elles, offrent un accès plus direct aux zones forestières. Elles soutiennent diverses activités telles que la récolte de produits forestiers et le tourisme. Les pistes permettent un accès rapproché aux sites d'intérêt naturel et aux zones de collecte, facilitant ainsi la gestion des ressources forestières et l'organisation des activités touristiques (Badkouf, 2021).

Toutefois, la présence de ces infrastructures peut avoir des impacts environnementaux notables. Les routes et les pistes peuvent entraîner des perturbations écologiques, telles que l'érosion du sol, la fragmentation des habitats et une exploitation accrue des ressources naturelles, en facilitant l'accès à des zones auparavant inaccessibles. Il est donc crucial de mettre en place des pratiques de gestion durable pour atténuer les effets négatifs de ces infrastructures sur l'écosystème forestier tout en tirant parti de leurs avantages pour le développement local et l'accès aux ressources.

2.8. Couche des sols nus

Dans la forêt de Beni Ghobri, les sols nus sont principalement le résultat d'incendies de forêt et de défrichement. Ces sols dégagés, qui couvrent une superficie totale de 46 hectares, se trouvent dans différentes expositions au sein de la zone étudiée (figure 17).

Les incendies de forêt sont l'une des principales causes de dénudation des sols. Lorsqu'un incendie se déclare, il peut brûler la couverture végétale, laissant les sols exposés aux éléments. Cette perte de végétation réduit la protection du sol contre l'érosion et la dégradation, augmentant ainsi le risque de perte de nutriments et d'altération des propriétés du sol. De plus, les incendies peuvent entraîner des changements dans la composition et la structure du sol, affectant la capacité du sol à soutenir la végétation future.

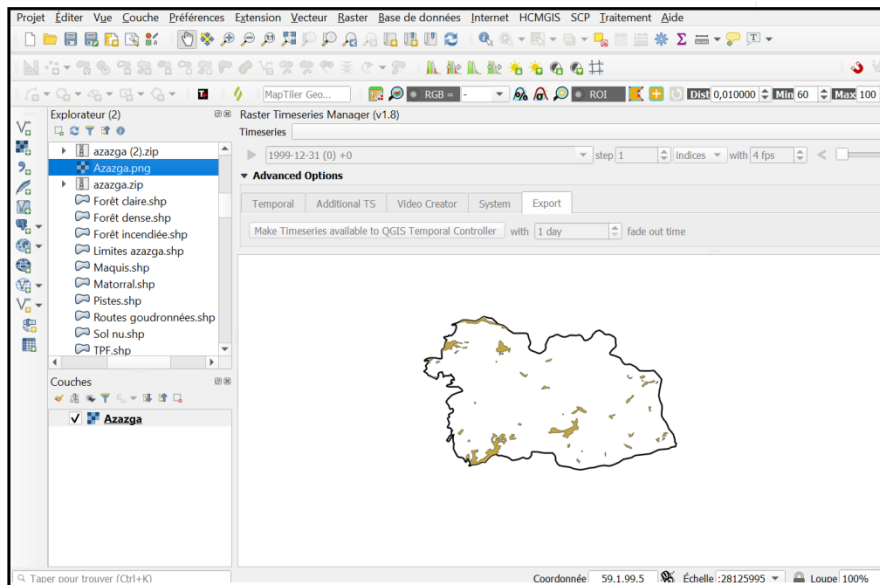


Figure 17: Couche sols nus

Le défrichage, quant à lui, est une pratique qui consiste à retirer la couverture végétale pour permettre l'agriculture ou d'autres activités humaines. Cette action expose également le sol, contribuant à l'érosion et à la perte de fertilité. En l'absence de couverture végétale, les sols défrichés sont plus vulnérables aux intempéries et à l'érosion, ce qui peut entraîner une détérioration continue de leur qualité.

La présence de sols nus dans différentes expositions de la zone est préoccupante, car elle indique des zones potentiellement sensibles aux problèmes de dégradation et d'érosion. La gestion de ces sols nécessite des interventions spécifiques, telles que la restauration de la couverture végétale, la mise en place de techniques de conservation du sol, et des pratiques de gestion durable pour prévenir la dégradation future. Des efforts de réhabilitation, comme la reforestation et la plantation de végétation protectrice, peuvent aider à stabiliser ces sols et à restaurer leur capacité à soutenir un écosystème sain.

2.9. Couche des forêts incendiées

Dans notre zone d'étude, nous avons identifié deux forêts ayant été récemment incendiées, totalisant une superficie de 11 hectares. Ces zones sont particulièrement sensibles en raison de la perte de végétation et des impacts écologiques associés aux incendies (figure 18).

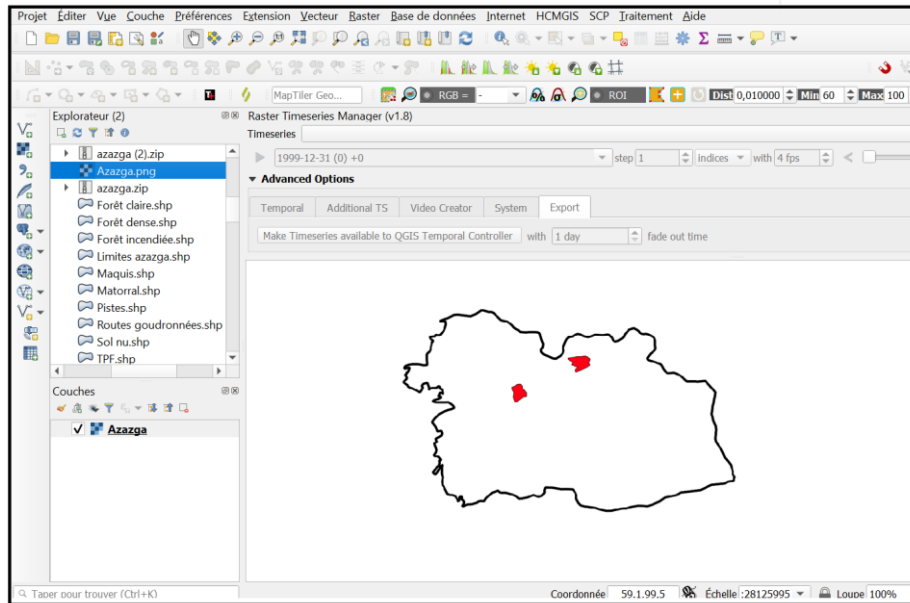


Figure 18: Couche des forêts incendiées

2.9.1. Forêt au Nord-Est : Cette forêt se situe dans le canton d'Ain El Anœur et est constituée principalement de *Quercus suber* et *Quercus canariensis*. L'incendie a eu lieu en 2023. La perte de ces espèces forestières mixtes a un impact significatif sur l'écosystème local, affectant non seulement la biodiversité mais aussi les fonctions écologiques essentielles telles que la régulation du climat local et la protection du sol contre l'érosion.

2.9.2. Forêt à l'Ouest : Située dans le canton d'Aboud, cette forêt est dominée par *Quercus suber*. Elle a été touchée par un incendie en 2021. La destruction de cette forêt de *Quercus suber* a également des conséquences importantes, notamment sur les habitats fauniques spécifiques et sur les ressources en bois et en liège qui sont cruciales pour les communautés locales.

Les forêts incendiées, en plus de leur impact immédiat sur la couverture végétale, ont des effets à long terme sur la qualité du sol, la biodiversité et les cycles hydrologiques. La restauration de ces zones nécessite des interventions adaptées, telles que la reforestation avec des espèces locales, des techniques de conservation du sol pour prévenir l'érosion, et la

gestion des invasions potentielles par des espèces non indigènes. Un suivi rigoureux est également nécessaire pour évaluer la régénération naturelle et ajuster les stratégies de restauration en fonction des besoins écologiques spécifiques de chaque forêt incendiée.

3. Carte de l'occupation des terres de la forêt de Béni Ghobri

La superposition des différentes couches thématiques nous a permis d'élaborer la carte de l'occupation des terres de la forêt de Béni Ghobri (figure 19). Cette carte distingue trois principales formations physionomiques : les matorrals, les forêts et les maquis, qui couvrent une superficie totale de 1 019 hectares. En outre, 195 hectares sont occupés par des tranchées pare-feu (TPF), des zones agricoles, des agglomérations et des sols nus, ce qui porte la superficie totale couverte par ces formations à 1 214 hectares.

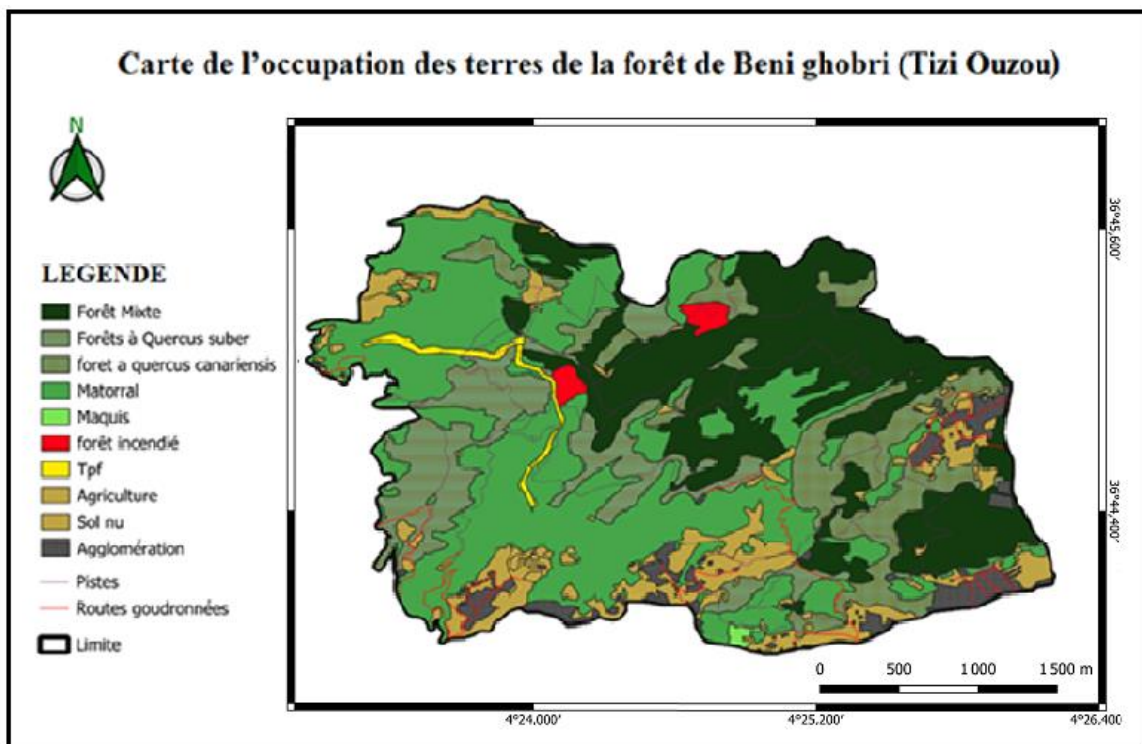


Figure 19: Carte de l'occupation des terres

L'échantillonnage a révélé la présence de 75 espèces végétales. Ce nombre, bien que significatif, semble relativement faible par rapport à la richesse floristique attendue dans cette zone, réputée pour sa grande diversité.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette sous-représentation apparente, notamment les conditions climatiques au moment des relevés. En effet, ceux-ci ont été effectués en juin, une

période qui, cette année, a été marquée par des températures exceptionnellement élevées et une sécheresse prolongée.

Les couleurs utilisées dans la carte d'occupation des terres servent à représenter les différentes classes de couverture terrestre de manière visuelle et intuitive. La légende de la carte permet une interprétation correcte des différentes zones.

- Matorrals, Forêts et Maquis : La couleur verte, dégradée selon la densité du couvert végétal, est utilisée pour représenter ces formations végétales.

- Forêts Incendiées : La couleur rouge est associée aux zones touchées par des incendies, indiquant la dégradation ou la perte de couverture forestière due aux feux.

- Tranchées Pare-feu (TPF) : Une couleur vive et distincte est choisie pour assurer une bonne visibilité des tranchées pare-feu sur la carte.

- Agglomérations : La couleur reflétant le béton est utilisée pour représenter les zones urbaines et agglomérées, offrant un contraste clair avec les espaces naturels.

Ces choix de couleurs facilitent la lecture et la compréhension de la carte, permettant d'identifier rapidement les différentes zones et leur état actuel, ainsi que d'évaluer les impacts de l'occupation des terres sur l'écosystème de la forêt de Beni Ghobri.

4. Les impacts négatifs dans la forêt de Beni Ghobri

La forêt de Beni Ghobri est confrontée à une dégradation significative, principalement due à diverses activités humaines qui compromettent son écosystème. Voici un aperçu des principaux enjeux :

- **Les Décharges Sauvages** : La forêt de Beni Ghobri, comme de nombreuses autres forêts dans la wilaya de Tizi Ouzou, est menacée par la pollution croissante, notamment les décharges sauvages qui se multiplient. Ces décharges, composées principalement de canettes, de bouteilles de bière et d'autres déchets, altèrent les paysages et polluent les sols et les eaux. La présence de ces déchets perturbe le tissu végétal local, entraînant une dégradation de la biodiversité et une altération des écosystèmes forestiers (Tedjani, 2010).

- **L'Urbanisation** : L'urbanisation rapide et souvent non contrôlée constitue une menace majeure pour le patrimoine forestier. L'expansion urbaine entraîne la fragmentation des habitats forestiers, provoquant l'extinction locale d'espèces sensibles aux perturbations et favorisant la prolifération d'espèces plus résistantes. Cette transformation du paysage modifie les dynamiques écologiques et réduit la biodiversité (McKinney, 2006).

- **Le Surpâturage** : Le pâturage intensif est une autre cause significative de la dégradation des espaces forestiers. En pâturant de manière excessive, le bétail dégrade la végétation, ce qui peut entraîner la transformation des forêts en formations de matorrals, moins diversifiées et moins résilientes. Cette pression continue sur les ressources végétales compromet la régénération naturelle et la stabilité écologique des forêts (Bouazza et al., 2001).

- **Le Tourisme Sauvage** : La fréquentation touristique accrue des dernières années, en l'absence de gestion appropriée, a conduit à la dégradation des sites naturels. L'absence de règles et de structures de gestion efficaces pour contrôler les activités touristiques entraîne une érosion du sol, la perturbation de la faune, et une détérioration générale des habitats naturels. Le tourisme sauvage exacerbe les impacts négatifs sur les écosystèmes forestiers déjà fragilisés.

- **Les Incendies de Forêts** : Les incendies de forêts représentent une menace grave pour l'écosystème forestier. Ces incendies, souvent causés par des actions humaines imprudentes ou des phénomènes naturels incontrôlables, détruisent les habitats forestiers et perturbent les cycles écologiques. Ils entraînent une perte massive de végétation, une modification des sols, et un déséquilibre dans les communautés fauniques locales (Jappiot et al., 2002).

4.1. Les incendies

Chaque année, l'Algérie est confrontée à des incendies de forêts dévastateurs qui ont des répercussions sévères sur ses écosystèmes forestiers. La forêt de Béni Ghobri n'échappe pas à cette réalité, ayant subi plusieurs incendies au cours des dernières années. Ces événements illustrent la vulnérabilité de cette région face aux risques d'incendie.

Les incendies dans la forêt de Béni Ghobri sont souvent exacerbés par des conditions climatiques extrêmes, telles que les vagues de chaleur et les périodes de sécheresse prolongée. Ces conditions créent un environnement propice à la propagation rapide des flammes, rendant les efforts de contrôle et d'extinction plus difficiles. Les incendies détruisent de vastes étendues de végétation, entraînant une perte significative de la couverture forestière. Cette destruction n'affecte pas seulement l'apparence du paysage, mais compromet également la biodiversité et les habitats naturels qui dépendent de la forêt pour leur survie.

Les impacts des incendies sont multiples :

4.1.1. Perte de Biodiversité : Les incendies entraînent la mort de nombreuses espèces végétales et animales, perturbant les équilibres écologiques et réduisant la diversité biologique de la forêt. Certaines espèces peuvent être décimées localement, tandis que d'autres peuvent être poussées à migrer ou à s'adapter à de nouvelles conditions.

4.1.2. Dégradation des Sols : La destruction de la végétation expose les sols aux intempéries, augmentant le risque d'érosion et de perte de fertilité. Sans la couverture végétale protectrice, les sols deviennent plus vulnérables à l'érosion par le vent et l'eau, ce qui peut entraîner des processus de dégradation à long terme.

4.1.3. Perturbation des Cycles Écologiques : Les incendies modifient les cycles naturels de la forêt, y compris les cycles de nutriments et les régimes de reproduction des plantes et des animaux. Cette perturbation peut avoir des effets en cascade sur l'ensemble de l'écosystème, affectant la dynamique des populations et les interactions entre les espèces.

4.1.4. Impact sur les Communautés Locales : Les incendies de forêt ont également des conséquences socio-économiques, affectant les communautés locales qui dépendent de la forêt pour leurs moyens de subsistance. La perte de ressources telles que le bois de chauffage, le liège, et les produits forestiers non ligneux peut avoir des répercussions importantes sur le bien-être économique des populations locales.

4.2. Motifs des incendies de forêt

Les causes des incendies de forêt demeurent en partie mystérieuses, cependant, des recherches ont révélé que la majorité des incendies sont attribuables à des actions humaines, qu'elles soient volontaires ou accidentelles, en excluant les causes naturelles. Les experts ont identifié plusieurs facteurs principaux responsables des incendies, mettant en lumière la prévalence des comportements humains dans la genèse de ces feux (Meddour et *al.*, 2016).

4.2.1. Incendies Volontaires :

- Brûlage des Décharges Sauvages (85,49 %) : Les décharges sauvages, souvent constituées de déchets divers, sont fréquemment incendiées de manière intentionnelle pour les éliminer, ce qui peut facilement se propager aux zones forestières environnantes.

- Renouveau de l'Herbe par les Pasteurs (65,93 %) : Dans certaines régions, les pasteurs utilisent le feu pour nettoyer les terres et favoriser la croissance de nouvelles herbes pour le pâturage. Cette pratique, bien que traditionnelle, peut échapper au contrôle et se propager aux forêts adjacentes.

4.2.2. Incendies Accidentels :

- Débris de Verre (79,18 %) : Les débris de verre, en particulier lorsqu'ils sont laissés en plein soleil, peuvent agir comme des lentilles, concentrant la lumière solaire et déclenchant des feux dans les zones sèches de la forêt.

- Lignes Électriques (70,66 %) : Les défauts ou les pannes dans les lignes électriques peuvent provoquer des étincelles qui, en présence de conditions sèches et venteuses, peuvent enflammer la végétation environnante.

4.2.3. Autres Causes Identifiées :

- Jet de Mégots de Cigarette (90 % des réponses) : Les mégots de cigarette jetés imprudemment peuvent être une source importante d'incendies, en particulier dans les zones sèches où les cendres peuvent enflammer les broussailles.
- Brûlage des Chaumes (82,97 %) : Le brûlage des chaumes après la récolte est une pratique agricole qui peut parfois échapper au contrôle et se propager aux zones forestières voisines.
- Jeux d'Enfants (65,30 %) : Les jeux d'enfants impliquant des allumettes ou des feux de camp peuvent également causer des incendies accidentels dans les forêts.

Les interprétations des causes des incendies varient en fonction de l'expérience, des connaissances des experts, ce qui peut influencer les perceptions et les réponses aux risques d'incendie.

Selon les pourcentages ci-dessus fournis par Meddour et *al.* (2016), la majorité des incendies sont attribuables à des comportements humains, soulignant ainsi l'importance de la sensibilisation, de la réglementation et de la gestion des pratiques pour réduire le risque d'incendie dans les forêts. La mise en place de programmes éducatifs, le renforcement des réglementations sur l'élimination des déchets et la promotion de pratiques agricoles sûres sont essentiels pour minimiser ces risques et protéger les écosystèmes forestiers.

4.3. Analyse des incendies dans la zone d'étude

Notre zone d'étude est divisée en quatre cantons : Aboud, Ain El Anœur, Sidi Brahem et Bouhini, chacun présentant des caractéristiques écologiques et des conditions variées pour les écosystèmes (figure 20).

- Canton de Sidi Brahimi

Le canton de Sidi Brahimi, s'étendant sur 403 hectares, se distingue par sa grande diversité écologique. On y trouve des forêts de chêne-liège, des chênaies mixtes, des maquis, des matorrals, ainsi que des forêts de *Quercus canariensis*.

- Canton d'Ain el Anœur

Le canton d'Ain el Anœur, couvrant 259 hectares, présente également une grande diversité d'écosystèmes. On y observe des forêts de *Quercus suber*, des matorrals de *Quercus suber*, des forêts de *Quercus canariensis*, ainsi que des forêts mixtes.

- Canton d'Aboud

Le canton d'Aboud, avec une superficie de 266 hectares, abrite principalement des forêts de *Quercus canariensis* et des matorrals de *Quercus suber*.

- Canton de Bouhini

Le canton de Bouhini, couvrant 286 hectares, est exclusivement constitué de forêts de *Quercus suber* L.

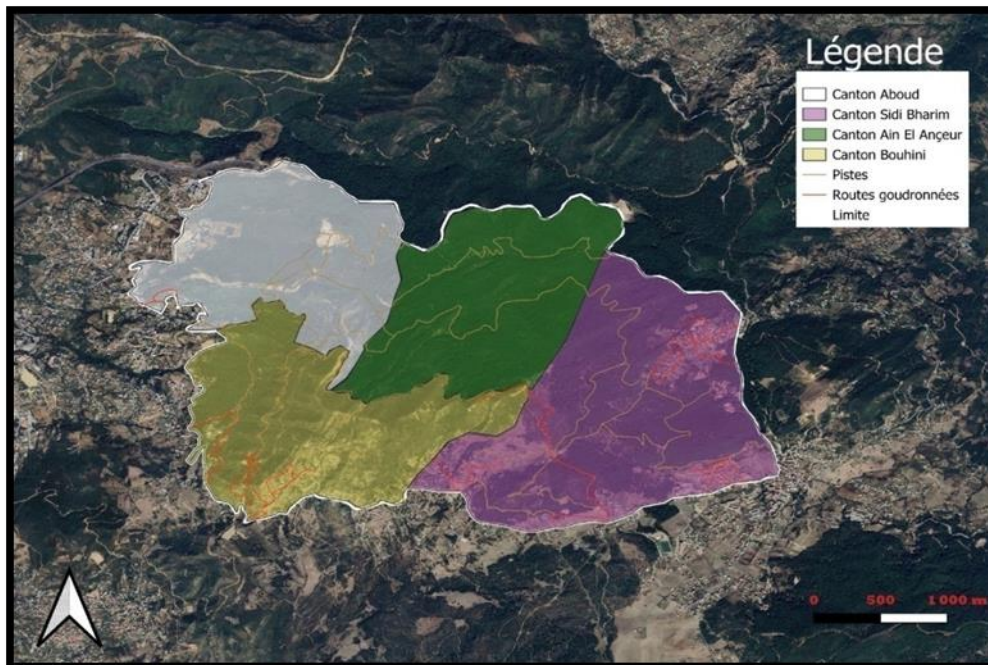


Figure 20: Carte des cantons de zone d'étude

Les bilans des incendies pour la période de 2015 à 2023, fournis par la circonscription des forêts d'Azazga (Tizi Ouzou), révèlent des variations significatives entre les quatre cantons étudiés. Les données sont présentées dans le tableau II, montrant les superficies touchées par les incendies au cours de cette période. L'analyse des données met en évidence plusieurs tendances notables :

L'analyse des données d'incendies de forêt entre 2015 et 2023 révèle des tendances significatives dans les cantons d'Aboud, Ain El Ainçer, Sidi Brahem et Bouhini.

Tableau II : Bilans des incendies pour la période de 2015 à 2023

Canton Année	Aboud	Ain El Ançer	Sidi Brahem	Bouhini
2015	8 ha chêne liège & broussailles.	8ha chêne zeen & litières	4 ha chêne zeen & chêne liège & broussailles	1 ha 50% chêne liège & 50% broussailles
2016	0 ha	2 ,5 ha chêne liège & broussailles Pente 10 %	1,5 ha chêne liège & broussailles	0 ha
2017	8 ha chêne liège & broussailles	1 ha chêne zeen	1 ha chêne zeen & broussailles)	2 ha chêne liège & broussailles) (5 ha chêne liège & broussailles)
2018	0 ha	0 ha	0 ha	0 ha
2019	0 ha	0 ha	0 ha	5 ha chêne liège & 3 ha broussailles
2020	0 ha	1ha chêne liège 3 ha maquis 5 ha chêne liège	0 ha	1 ,5 ha chêne liège & broussailles 4 ha chêne liège & ha broussailles 5 ha chêne liège & broussailles
2021	30 ha	40 ha	65 ha	280 ha
2022	0 ha	0 ha	0 ha	0 ha
2023	0 ha	0 ,5 ha broussailles 4 ha litières & chêne liège	0 ha	0 ha

Source : Circonscription des forêts de Azarga.

En 2021, une année particulièrement dévastatrice, il y a eu un pic de surfaces incendiées, notamment dans le canton Bouhini avec 280 ha brûlés, représentant 67% de la superficie totale incendiée dans l'année, suivie de Sidi Brahem avec 65 ha.

En contraste, les années 2018 et 2022 n'ont enregistré aucun incendie, soulignant l'impact d'éventuels facteurs environnementaux ou de gestion des forêts. Les cantons Aboud et Ain El Ançer montrent également des variations notables, en 2015 et 2017, où des superficies respectives de 8 ha ont été touchées (figure 21).

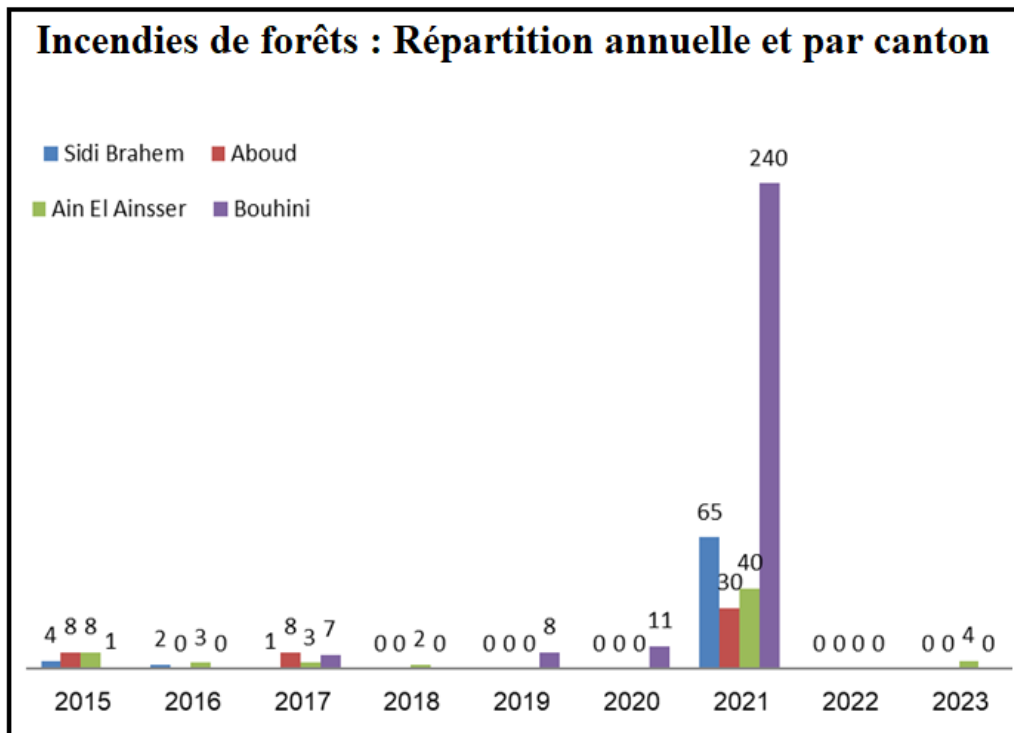


Figure 21 : Répartition annuelle des incendies par cantons (2015 à 2023)

Ces fluctuations peuvent être attribuées à des conditions climatiques variables et à la gestion des ressources forestières, suggérant une nécessité d'amélioration dans la prévention et la lutte contre les incendies.

Les incendies de forêt survenus à Beni Ghobri, notamment durant l'été 2021, ont eu des effets dévastateurs, détruisant de vastes étendues de végétation et menaçant gravement la biodiversité locale. Cet écosystème vital pour les communautés environnantes a subi une perte significative de son couvert forestier, entraînant des répercussions socio-économiques majeures pour les habitants dépendants de ces ressources.

Les causes des incendies incluent des facteurs humains et des conditions climatiques extrêmes, exacerbés par un manque de moyens de lutte contre le feu et une sensibilisation insuffisante.

Une approche proactive est nécessaire pour protéger cette forêt et assurer sa durabilité, en renforçant les capacités de réponse et en impliquant les communautés locales dans la gestion durable des forêts.

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation des images satellites pour la cartographie de l'occupation des terres est devenue une méthode révolutionnaire et efficace pour comprendre et gérer les dynamiques territoriales. La télédétection, en particulier à travers l'utilisation des satellites, a profondément transformé la gestion des ressources naturelles en fournissant des outils sophistiqués pour surveiller et analyser les écosystèmes forestiers. Les données recueillies via les satellites permettent d'obtenir des informations précises et régulièrement actualisées sur la couverture végétale, ce qui facilite leur intégration dans des systèmes d'information géographique (SIG). Cette intégration est cruciale pour réaliser des analyses spatiales détaillées et pour détecter les changements dans les forêts.

Dans le cadre de cette étude, nous avons visé à cartographier l'occupation des terres dans la forêt de Beni Ghobri en utilisant des images satellites et le logiciel QGIS. Pour cela, nous avons exploité une image multispectrale du satellite Sentinel-2, combinée à des techniques avancées de classification. L'utilisation de la composition en fausses couleurs infrarouges a été identifiée comme la méthode la plus efficace pour obtenir une classification précise. Cependant, en raison de la petite taille de la zone d'étude, l'analyse a été limitée à la détermination de la physionomie des formations végétales.

L'échantillonnage sur le terrain a été un aspect fondamental de cette étude, car il a permis de valider et d'enrichir les données obtenues à partir des images satellites. Cette approche de terrain est cruciale pour garantir la précision des informations et pour obtenir une compréhension plus nuancée des caractéristiques écologiques de la forêt de Beni Ghobri.

En parallèle, une analyse détaillée de la composition floristique a été effectuée, visant à recenser et identifier les espèces végétales présentes sur le terrain. Les échantillons collectés ont été examinés pour déterminer leur richesse en espèces et leur diversité, révélant la présence de 119 espèces différentes. Cette richesse en espèces fournit une vue d'ensemble précieuse de la biodiversité floristique de la forêt, reflétant ainsi la complexité écologique et la santé de l'écosystème forestier.

Les résultats de cette analyse floristique ont directement influencé l'élaboration de la carte détaillée de l'occupation des terres de la forêt de Beni Ghobri. En intégrant les données sur la diversité des espèces et leur répartition, la carte a permis de distinguer trois types principaux de formations végétales : les matorrals, les forêts et les maquis. Ces formations couvrent une superficie totale de 1 019 hectares. De plus, en ajoutant les 195 hectares occupés par des

tranchées pare-feu, des zones agricoles, des agglomérations et des sols nus, la superficie totale couverte par la carte atteint 1 214 hectares. Ainsi, l'analyse floristique a non seulement enrichi notre compréhension de la biodiversité locale, mais a également joué un rôle clé dans la précision et la pertinence de la cartographie de l'occupation des terres.

L'analyse des résultats révèle que la forêt de Beni Ghobri est confrontée à une dégradation significative, principalement due aux activités humaines et aux incendies, qui représentent une menace majeure pour l'écosystème. Cette dégradation souligne l'urgence de mettre en place des stratégies de gestion adaptées pour préserver et restaurer cet important patrimoine naturel.

L'utilisation des technologies satellitaires permet ainsi aux gestionnaires de concevoir des stratégies efficaces pour la conservation et la gestion durable des ressources forestières. En résumé, la cartographie par satellite s'avère essentielle pour optimiser la gestion forestière et relever les défis environnementaux actuels.

Références bibliographique

Aichouche Belhadj A. et Smara Y., 2003. Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie, p.4.

Alili N., 1998. Caractérisation et genèse de quelques sols rouges de la région de Beni-Ghobri en Algérie. Les cahiers de la géologie, n°2, p.15.

Ariouatte et Redjal Hachanae., 2016. Contribution à l'étude de la banque des graines des périmètres agricoles abandonnés et cultivés (Cas de la céréaliculture sous pivot), Ouargla

Attouche K. et Amrouche M., 2021. Cartographie SIG au 1/200 000 dans la région de l'Ougarta : Géologie et minéralisation associées. Application au feuilles de Oglet beraber, Ougarta et Beni Abbes, p.50.

Becker F., 1978. Groupe de Recherches en Télédétection Radiométrique. Université Louis Pasteur, Strasbourg.

Belhadj A., 2014. Surveillance par télédétection des changements de couverture terrestre dans le bassin de Cheliff-Zahrez (Algérie) à l'aide des données Landsat. Journal of African Earth Sciences, 100, p. 409-420.

Ben brahim K. et Eddoud A., 2021. L'utilisation des extraits aqueux des racines de quelques plantes sur la mise en évidence de la flore potentielle des périmètres agricoles abandonnes, p. 4.

Benatallah D., 2014 Etude et simulation de flux solaire avec intégration d'un système d'information géographique (S.I.G) pour la wilaya d'Adrar mémoire de magister université Africane Ahmed Draia Adrar 49p.

Benhammou A., 2017. Forestier des beni.ghobri facteurs de repartition des sols.

Bouabdallah K., 2020. Contribution à l'étude des principaux facteurs de dégradation des forets en Algérie : cas de la forêt de Beni Ghobri .P 32

Bouahmed A., 2022. Apport des SIG, des modeles de distribution des espèces (SDMs) et de la télédétection a la modelisation de l'aire potentielle de *Cedrus atlantica M.* Et a la cartographie des cedraies Algeriennes, P. 37- 41 .

Bouedja K. et Tahani A., 2012. Les acteurs et le développement local : outils etreprésentations. Cas des territoires ruraux au Maghreb ,p.28.

Bouedja K. et Tahani A., 2013. Émergence et résurgence de représentations territoriales face à des mutations socio-économiques dans un territoire rural forestier en Algérie, Autrepart 2013/3 (N° 66), p. 21-42

Boulemzaoud S., 2015. Les infrastructures de lutte contre les incendies de foret dans la région de

Djbel El ouahch (Constantine), P.5-7.

Bourrai A., année non spécifiée. Facteurs de répartition des sols dans la forêt de Beni-Ghobri. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p 23.

CCT (Centre Canadien de Télédétection), 2016. Notions fondamentales de télédétection. Un cours tutoriel. Centre canadien de télédétection. Ressources naturelles Canada, 266 p.

Dan A. et Rui L ., 2018. Qui a inventé la carte? Quelques remarques sur les plus anciennes représentations des espaces d'Occident et d'Orient, in M. Itinéraires de concepts Paris ? P.133-174 .

De By RA., 2001. Principles of Geographic Information Systems: An Introductory Textbook. ITC educational textbook series 1. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 490 p.

Delaunay D., Godard HR., Maximy Rd., Souris M., 1990. Les systèmes d'information géographique. ORSTOM Actualités. 30: 2-6.

Denis A., 2019. Manuel de formation SIG sous QGIS 3.8.1 à destination de l'Association intercommunale des Eaux du Condroz (AIEC), p.9.

Djelloul B., 2014. Etude et simulation de flux solaire avec intégration d'un système d'information géographique (SIG) pour la wilaya d'Adrar, P.28- 33.

Ferrahi M.O ., 2004. -Cartographie pédologique du massif forestier des Beni Ghobri,Annales de la Recherche Forestière en Algérie, Volume 7, Numéro 1, p. 3-9.

Ganoun N. et Oumokrane M., 1997. Contribution à l'étude comparative des différentes formations pédologiques du massif de Béni Ghobri. Dynamique de quelques constituants. M2MOIRE ing.agro. Univ. M. Mammeri, Tizi-Ouzou, 71 p.

Girard MC, Girard CM. 2017. Traitement des données de télédétection : Environnement et ressources naturelles. 2e édition. Technique et ingénierie. Dunod, 576 p.

Gounot M., 1969. Méthode d'étude quantitative de la végétation. p. 292

Hassani S., 2021. Le logiciel QGIS et son application en géographie linguistique berbère (kabyle), p. 34

Houali A. et Razem A .,2019. Mémoire sur la forêt de Béni Ghobri, Algérie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques, Département de biologie.

Ionesco T. et Mathez J., 1966. Le milieu Marocain, p.10.

Jappiot M., 2000. Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt à l'aide d'un SIG. Exemple d'un massif forestier du sud de la France.. Forêt Méditerranéenne, 2000, XXI (1), p 102

Jaurola. et Tesfamichael., 2020. Suivi de l'efficacité de la conservation dans la réserve de biosphère de Vhembe en Afrique du Sud à l'aide de l'imagerie Landsat, p.

- Joliveau T., 1996.** Gérer l'environnement avec des S.I.G. Mais qu'est-ce qu'un S.I.G. ? Revue de géographie de Lyon. 71, 2. Système d'information géographique et gestion de l'environnement: 101-110 p.
- Kaci K., 2017.** Cartographie de glissement de terrain de TALA N'Tgana, p. 55
- Kaci K. et Zeggane Z., 2021.** Evaluation socio-économique des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) d'origine végétale, Cas de l'arbousier (*Arbutus unedo*) au niveau de la forêt domaniale de Béni-Ghobri (Yakouren, Tizi-Ouzou) Mémoire fin d'études Université Ummto.
- Kemmoum I., 2022 .** Contribution à l'étude phytochimique, physicochimique, et biométrique de la rhizosphère sous la subéraie d'Ath Ghobri mémoire de fin d'étude Université Ummto, p.31-32.
- Kergomard C., 2006.** Sig et environnement atmosphérique urbain université de Lille 1 et Ecole Normale Supérieure, Département de Géologie, Paris p.196.
- Khelifi H., 1987.** Contribution a l'étude phytoecologique et phytosociologique des formations a chêne liège dans le Nord - Est Algérien.. Thèse. Doct. 3ème cycle. Univ. Sci. Technol. H. Boumedienne, p. 143.
- Khoum M., Bock L., Mathieu L., Engels P., 1996.** Systèmes d'informations géographiques et gestion des données de sols. Coll Surveillance des Sols dans l'Environnement par télédétection et systèmes d'information géographiques, ORSTOM, Paris: 35-51.
- Lalanne A., 2001.** La cartographie biotopique forestière : principes, méthodes, exemples d'utilisation pour le gestionnaire.. Revue Forestière Française, Volume 53, p. 67.
- Lambert N. et Zanin C., 2016.** Manuel de cartographie Principes, méthodes, applications Rystedt 2014, p. 12.
- Larbi M.Y., 2000.** Cartographie de la forêt périurbaine de Harouza (TO): approche morpho-pédologique et physiologique de la végétation. These de Magister UMMT, P. 75.
- Laribi M., Derridj A. et Acherar M., 2008.** Phytosociologie de la forêt Akfadou (Grande Kabylie, Algérie) Phytosociologie vol 45 : 77-91, 2008
- Malczewski J., 2004.** GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in planning. 62, 1: 3-65.
- Meddour R., 2010.** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. des groupements forestiers et pré forestiers de la Kabylie djurdjurèenne. Thèse de doctorat, UMMTO 461p
- Meddour R., 2011.** La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-blanqueto-Tuxenienne. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, p. 14-17.
- Meddour S., Meddour R., Leone V. et Derridj., 2014.** Motifs des incendies de forêt en Algérie ; analyse comparée des dires d'experts dz la protection civile et des forestiers par la méthode Delphi, p.1.

- Messaoudene M. et Tessier L., 1991.** Croissance de *Quercus canariensis* Willd et *Quercus afares* Pomel en Kabylie (Algérie). *Ecologia mediterranea*, 17 : 119-133.
- Messaoudene M., 1986,** Etude de la croissance radiale du chêne afarés *Quercus afarés* pomel dans la forêt de l'Akfadou et Beni-Ghobri Algérie, Rapport de D.E.A.Phytoécologie.
- Moulai-Mostefa N., 2017.** Cartographie de la végétation forestière de la région de Tizi Ouzou à partir d'images satellitaires Landsat." *Revue des Sciences de l'Eau*, 30(2), p. 125-136.
- Moussemlél Z. et Houtia C., 2020.** Détection des changements dans les images satellitaires. Université Ahmed Draia – Adrar, p.4-7.
- Nacer-bey N., 1997.** Contribution cartographique des groupements végétaux de la forêt dominale de Bainem (cas de la série Nord) au 1/10.000. *Mémoire ingénieur, Inst. nati. agro*, p. 75.
- Ndong Akue Pelayo L. et Antonio O.N., 2021.** Cartographie SIG au 1/1.000.000 de la Province métalogénique du Hoggar ; Essai de caractérisation des critères et guides de recherche des minéralisations aurifères, p.16.
- Obaïd A., Ka Ali T. et Abiy T.A., 2021.** Évaluation de l'utilité de l'utilisation de satellites à haute résolution de la génération actuelle (Sentinel 2 et Landsat 8) pour surveiller un grand barrage d'approvisionnement en eau en Afrique du Sud. Application de la télédétection : société et environnement, Elsevier.
- Ouali A., Bouhadef A. et Abiy T.A., 2018.** Utilisation de la télédétection pour la surveillance des feux de forêt dans la wilaya de Tizi Ouzou. Actes du 5ème Colloque International sur l'Eau, l'Energie et l'Environnement, Alger, Algérie. p.6.
- Padmanabhan G, Leipnik M, Yoon J., 2019.** A Glossary Of Gis Terminology (92-13). UC Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis Retrieved from : <https://escholarshiporg/uc/item/6d858764>: 67 p.
- Rabhi K., 2011.** Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. Mémoire de fin d'étude Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen, p. 24.
- Rahmani A., 2012** Etude de l'activité cambiale chez le chêne zéen (*Quercus canariensis* willd), au niveau de la forêt des Ait-Ghobri p 27-28
- Sauvage, C. & Ionescot, T., 1962.** Les types de végétation du Maroc. Essai de nomenclature et de définition, p. 75-85.
- Smaoui A., 2015.** Bioclimat et végétation de la Tunisie et des régions prospectées pendant le 12^{ème} ITER Mediterraneum de OPTIMA.- *Bocconea* 27(1) : 13-20. 2015, p. 17.
- Yefsah F., 2016.** Contribution à l'étude de la biodiversité floristique de la forêt domaniale de Beni-forêt domaniale de Beni-Ghobri mémoire de fin d'étude Université Ummto, p.13- 17.