

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf : .....

## Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Écologie et de l'Environnement

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

### Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Protection des Écosystèmes

Thème :

## Évaluation des services écosystémiques potentiels de la Biodiversité dans la région de Mila

Présenté par :

- Sameri Cheima Nour El Houda
- Lebcir Ibtissam

Devant le jury :

<b>Président :</b>	Bouzegag Abdelaziz	MCA	Centre universitaire de Mila.
<b>Examineur :</b>	Laala Ahmed	MCA	Centre universitaire de Mila.
<b>Promoteur :</b>	Tabet Slimane	MAA	Centre universitaire de Mila.

Année Universitaire : 2023/2024



# *Remerciement*

En premier lieu, nous tenons à remercier Dieu le Tout-Puissant, qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail. Nous exprimons notre profonde gratitude à M. Slimane Tabet, notre encadreur, pour sa présence constante, son aide précieuse et ses conseils avisés qui ont été déterminants dans l'accomplissement de ce mémoire.

Nos remerciements vont également au Dr. Abdelaziz Bouzegag, maître de conférences A au Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, pour avoir accepté de présider le jury.

Nous adressons nos vifs remerciements au Dr. Ahmed Laala, maître de conférences A au Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant de l'examiner.

Nous remercions également le directeur de la circonscription des forêts de Grarem-Gouga, en particulier le chef de district Mr. Imad Boudjouraf, ainsi que le directeur du district Mr. Abdelmalek Lemgoureb et ses adjoints Youcef Boulgalia et Slimane Boukarch, pour leur soutien durant nos sorties sur le terrain, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à tous les collègues de la promotion 2023/2024 pour leur amitié sincère.

*Merci*

# الإهداء 🎓

## بسم الله الرحمن الرحيم

من قال أنا لها "نالها" وأنا لها إن أبت رغما عنها أتيت بها.

الحمد لله الذي ما نجحنا وما علونا ولا تفوقنا إلا برضاه الحمد لله الذي ما اجتزنا دربا ولا تخطينا جهدا إلا بفضلته وإليه ينسب الفضل والكمال والإكمال؛

إلى من زين اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل سندي وقوتي وملاذي بعد الله . فخري واعتزازي؛ والدي "فؤاد" رحمك الله،

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها، من سهلت لي الشدائد بدعائها، سر قوتي ونجاحي.

جنتي والدي "مونية" متعها الله بالصحة والعافية؛

إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي إلى قرّة عيني أخواني "سلسبيل، إسراء" وأخي "أحمد عبد الرحمان"

إلى عائلتي إلى من كان عوننا وسندا في هذا الطريق.... للأصدقاء الأوفياء ورفقاء السنين لأصحاب الشدائد والأزمات؛

إلى من ضاقت السطور عن ذكره فوسعه قلبي؛ "سامي" من كان سندا لي في الحياة .

إلى صديقتاي و رفيقتا دربي و اختي الثانية "ريان""ملاك"

إلى عمتي حبيبتي حفظها الله "ليندا" إلى خالتي الحنونة "أميرة"

إلى أصدقائي عائلتي الثانية، إلى من جعلتم هذه الرحلة جميلة ومثمرة؛ اهديكم هذا الإنجاز وثمره نجاحي الذي لطالما تمنيته، ها أنا اليوم أتممت أول ثمراته بفضل من الله عز وجل؛

فالحمد لله على ما وهبني وأن يعينني ويجعلني مباركة أينما كنت

*Chaima*

# الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

من قال أنا لها "نالها" وأنا لها إن أبت رغما عنها أتيت بها.

الحمد لله الذي ما نجحنا وما علونا ولا تفوقنا إلا برضاه الحمد لله الذي ما اجتزنا دربا ولا تخطينا جهدا إلا بفضلته وإليه ينسب الفضل والكمال والإكمال؛

إلى من زين اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل سندي وقوتي وملاذي بعد الله.

فخري واعتزازي؛ والدي " عبد العالي " إلى من جعل الله

الجنة تحت أقدامها، من سهلت لي الشدائد بدعائها، سر قوتي ونجاحي.

جنتي والدي " فتيحة " متعها الله بالصحة والعافية؛ إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي

إلى قرة عيني أختي " سارة " واخواني " بوعلام، طارق نصرالدين، محمد علي "

إلى عائلتي إلى من كان عوننا وسندا في هذا الطريق.... للأصدقاء الأوفياء ورفقاء السنين لأصحاب الشدائد والأزمات؛

إلى صديقتاي ورفيقتا دربي واختي الثانية "شروق" "بلقيس" إلى أصدقائي عائلتي الثانية،

من جعلتم هذه الرحلة جميلة ومثمرة؛ اهدىكم هذا الإنجاز وثمره نجاحي الذي لطالما تمنيت،

ها أنا اليوم أتممت أول ثمراته بفضل من الله عز وجل؛

فالحمد لله على ما وهبني وأن يعينني ويجعلني مباركة أينما كنت.

*Abtissam*

## **Résumé**

L'étude souligne l'importance capitale de la biodiversité en Algérie, où une diversité d'écosystèmes contribue essentiellement au maintien des services écosystémiques, comprenant notamment la fourniture de ressources Biologique telles que le bois et les plantes médicinales. Menée dans la région de Mouia en Algérie, elle met en évidence la diversité significative des couvertures terrestres et des services écosystémiques associés. La cartographie des formations végétales, réalisée à partir de l'analyse d'images satellites, fournit des informations cruciales pour la gestion et la conservation des ressources naturelles, soulignant l'importance de prendre en compte la diversité des écosystèmes dans les stratégies de préservation des terres.

Une méthodologie qualitative est appliquée, pour appréhender et spatialiser les services écosystémiques dans la région de Mouia. Ce qui permettra la gestion durable de ces ressources pour maintenir l'équilibre écologique et répondre aux besoins socio-économiques des populations locales.

Cette étude offre une perspective approfondie des services écosystémiques dans la région de Mouia, soulignant l'interdépendance entre les formations végétales et les services qu'elles fournissent. Ces résultats fournissent une base solide pour l'élaboration de politiques de gestion environnementale et de conservation des ressources naturelles, visant à assurer la durabilité des écosystèmes et le bien-être des communautés locales.

**Mots clés :** Services Ecosystématique, Forêt de Mouia, Occupation du sol, Télédétection, SVM,

## **Abstract**

The study highlights the paramount importance of biodiversity in Algeria, where a variety of ecosystems play a crucial role in maintaining ecosystem services, including the provision of Biological resources such as wood and medicinal plants. Conducted in the Mouia region of Algeria, it underscores the significant diversity of land covers and the associated ecosystem services. The mapping of plant formations, based on satellite image analysis, provides crucial information for the management and conservation of natural resources, emphasizing the importance of considering ecosystem diversity in land preservation strategies.

A qualitative methodology is applied to understand and spatialize the ecosystem services in the Mouia region. This will enable the sustainable management of these resources to maintain ecological balance and meet the socio-economic needs of local populations.

This study offers an in-depth perspective on the ecosystem services in the Mouia region, highlighting the interdependence between plant formations and the services they provide. These results provide a solid foundation for developing environmental management and natural resource conservation policies, aiming to ensure the sustainability of ecosystems and the well-being of local communities.

**Keywords:** Ecosystem Services, Mouia Forest, Land Use, Remote Sensing, SVM

### ملخص

تُبرز الدراسة الأهمية القصوى للتنوع البيولوجي في الجزائر، حيث تساهم مجموعة متنوعة من النظم البيئية بشكل أساسي في الحفاظ على خدمات النظم البيئية، بما في ذلك توفير الموارد البيولوجية مثل الخشب والنباتات الطبية. أُجريت الدراسة في منطقة موياء بالجزائر، وتُظهر التنوع الكبير في تغطيات الأراضي والخدمات البيئية المرتبطة بها. يوفر تخطيط التكوينات النباتية، المستند إلى تحليل صور الأقمار الصناعية، معلومات حاسمة لإدارة الموارد الطبيعية والحفاظ عليها، مما يؤكد على أهمية مراعاة تنوع النظم البيئية في استراتيجيات حفظ الأراضي.

تُطبق منهجية نوعية لفهم وتوزيع خدمات النظم البيئية في منطقة موياء. سيتمكن هذا من الإدارة المستدامة لهذه الموارد للحفاظ على التوازن البيئي وتلبية الاحتياجات الاجتماعية والاقتصادية للسكان المحليين.

تقدم هذه الدراسة منظورًا معمقًا لخدمات النظم البيئية في منطقة موياء، وتبرز الاعتماد المتبادل بين التكوينات النباتية والخدمات التي تقدمها. توفر هذه النتائج أساسًا قويًا لتطوير سياسات إدارة البيئة وحفظ الموارد الطبيعية، بهدف ضمان استدامة النظم البيئية ورفاهية المجتمعات المحلية.

**الكلمات المفتاحية :** خدمات النظم البيئية، غابة موياء، استخدام الأراضي، الاستشعار عن بعد، SVM

---

# *Sommaire*

---

**Sommaire**

<b>Remerciement.....</b>	<b>.....</b>
<b>Dédicace .....</b>	<b>.....</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>.....</b>
<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>.....</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>.....</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>.....</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>i</b>
<b>Chapitre I :Les services écosystémiques contextes, objectifs et définitions</b>	
<b>1. Histoire et contexte du développement du concept de services éco systémiques.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Fondements de l'Intégration du Concept services écosystémiques .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Concept.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Comment peut-on définir le concept de services écosystémiques ? .....</b>	<b>5</b>
<b>5. Définition des services écosystémiques .....</b>	<b>6</b>
<b>6. Les services écosystémiques comme outil de sensibilisation .....</b>	<b>7</b>
<b>7. Les services écosystémiques comme cadre d'évaluation .....</b>	<b>7</b>
<b>.8 Les services écosystémiques comme science.....</b>	<b>8</b>
<b>9. Définition du concept de services écosystémiques.....</b>	<b>9</b>
<b>10. Classification des services écosystémique .....</b>	<b>12</b>
<b>10.1. Services de soutien .....</b>	<b>13</b>
<b>10.2. Services de régulation .....</b>	<b>13</b>
<b>10.3. Services culturels.....</b>	<b>14</b>
<b>10.4. Services d'approvisionnement.....</b>	<b>14</b>
<b>11. Le Système national de classification des services écosystémiques (NESCO) des Etats Unis.....</b>	<b>15</b>
<b>12. Évaluation des services écosystémiques .....</b>	<b>17</b>
<b>12.1. Les services écosystémiques des forêts .....</b>	<b>19</b>
<b>13. Application de la cartographie .....</b>	<b>21</b>
<b>13.1. La cartographie des services écosystémiques.....</b>	<b>21</b>
<b>13.2. Pourquoi la cartographie des SE ? .....</b>	<b>22</b>
<b>13.3. Méthodes utilisées pour la cartographie des SE .....</b>	<b>23</b>
<b>13.4. Cartographie des changements d'occupation du sol .....</b>	<b>24</b>

**CapitreII :Notion de bases en Télédétection**

1. Qu'est-ce que la télédétection ? .....	26
2. L'application de télédétection pour l'étude de la végétation .....	26
3. L'imagerie satellitaire .....	27
3.1. Définition de l'imagerie satellite.....	27
3.2. Caractéristiques des images satellitaires .....	28
3.3. Avantage des images satellitaires.....	29
3.4. Utilité des images satellites dans la foresterie.....	29
3.5. Présentation générale des satellites utilisés dans la télédétection .....	29
3.6. Caractéristiques des satellites .....	30
4. Techniques de classification.....	32
5. Les indices de végétation.....	34

**Chapitre III :Matériel et méthodes**

1. Présentation de la forêt domaniale de Mouia .....	37
1.1. Localisation géographique .....	37
1.2. Situation administrative et juridique.....	37
1.3. Formation géologique.....	38
1.4. Pédologie .....	38
1.5. Relief .....	39
1.6. Climat .....	43
1.6.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	46
2. Données disponibles .....	47
3. Approche méthodologique.....	49
3.1. Exploitation des données disponible .....	49
3.2. Classification d'image satellite.....	49
3.2.1. Etablissement du diagramme bidimensionnel .....	49
3.2.2. Evaluation de la signature spectrale des zones teste choisies (ROI) .....	49
3.2.3. Préparation des Données d'Entraînement .....	50
3.2.4. Classification de l'Image.....	50
3.2.5. Performance et évaluation de la classification .....	50
3.3. Evaluation qualitative (Methode indirecte) des services écosystémiques (SE) potentiels .....	51
3.4. Détermination des services écosystémiques .....	51
3.5. Attribution des valeurs.....	52

**Chapiter VI : Résultats et discussion**

<b>4. Résultats et discussion.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1. Analyse des informations issu du questionnaire.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2. Cartographie des services écosystémiques .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2.1. Classification d'image satellite .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2.1.1. Diagramme bidimensionnel .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.1.2 Séparabilité entres les zones d'intérêt. ....</b>	<b>60</b>
<b>4.3. Carte des différentes formations végétales issu de la classification .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4. Performance et évaluation de la classification .....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>4.4. Cartographie des Services écosystème dans la région de Mouia .....</b>	<b>65</b>
<b>4.4.1. Service Bois et fibre.....</b>	<b>65</b>
<b>4.4.2. Service écosystème ; la chasse .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.3. Service écosystème ; Ressources médicinale .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4.4. Service Pâturage.....</b>	<b>69</b>
<b>4.4.5. Service Thermorégulation .....</b>	<b>71</b>
<b>4.4.6. Services Lutte contre l'érosion .....</b>	<b>72</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>74</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>77</b>

## Liste des abréviations

- BNEF** : Bureau National des Etudes Forestières
- MEA** : *Millennium Ecosystem Assessment (EEM)* Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire
- FFES** : Flux de Services Ecosystémiques Finaux
- TEEB** : The Economics of Ecosystems and Biodiversity
- NESCS** : Système National de Classification des Services Ecosystémiques
- NDVI** : Indice de végétation par différence normalisée
- NESCS** : Le Système national de classification des services écosystémiques
- SE** : Services Ecosystémiques
- SIG** : Systèmes Information Géographique
- UICN** : Union Internationale pour la Conservation de la Nature et ses ressources naturelles
- E SRI** : Environmental Systems Research Institute. (2009).
- SIG** : Système d'information géographique

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Évaluation des services écosystémique (modifie).....	8
<b>Figure 2:</b> Schéma de récapitulation de l'économie des écosystèmes et de la biodiversité (TEEB), d'après Haines-Young & Potschin (2009) (Modifier).....	10
<b>Figure 3:</b> Exemples de services écosystémiques pour chaque classe.....	14
<b>Figure 4:</b> Les quatre groupes de classification formant la structure de la NESCS 16	
<b>Figure 5:</b> Les services écosystémiques des forêts.....	21
<b>Figure 6:</b> L'étude de la végétation par la télédétection.....	27
<b>Figure 7:</b> Représentation du principe de pixel (.....)	28
<b>Figure 8:</b> Caractéristiques des satellites les plus couramment utilisés.....	30
<b>Figure 09:</b> schéma représentant la résolution spatial.....	32
<b>Figure 10:</b> Situation géographique de la région de Mouia.....	37
<b>Figure 11:</b> Carte d'altitude de la zone d'étude ; Foret dominicale de Mouia.....	39
<b>Figure 12:</b> Classe des altitudes de la région de Mouia (en mètre).....	40
<b>Figure 13:</b> Carte des pentes de la région d'étude.....	41
<b>Figure 14:</b> Classe des pentes de la région de Mouia.....	42
<b>Figure 15:</b> Carte d'exposition topographique de la région d'étude.....	42
<b>Figure 16:</b> Classes d'exposition de la région de Mouia.....	43
<b>Figure 17:</b> La température moyenne mensuelle maximale (ligne rouge) et minimale (ligne bleue).....	44
<b>Figure 18:</b> Courbe de précipitations mensuelles.....	45
<b>Figure 19:</b> Vitesse moyenne du vent à Mila.....	46
<b>Figure 20:</b> Direction des vents dominants dans la région de Mila.....	46
<b>Figure 21:</b> Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la zone d'étude....	47
<b>Figure 22:</b> Distribution spatiale des points de reconnaissances sur terrain.....	48
<b>Figure 23:</b> Capacité d'offre en SE Formation forestière de chêne zen.....	55
<b>Figure 24:</b> Capacité d'offre en SE Formation forestière mixte co-dominance de chêne-liège et chêne zeen.....	56
<b>Figure 25:</b> Capacité d'offre en SE Formation forestière mixte avec co-dominance de chêne liège et d autre esp.....	57
<b>Figure 26:</b> Capacité d'offre en SE Formation herbacée.....	57
<b>Figure 27:</b> Capacité d'offre en SE Sol nu.....	58
<b>Figure 28:</b> Diagramme bidimensionnel entre la bande proche de l'infrarouge PIR et la bande rouge RED.....	59
<b>Figure 29:</b> Profil spectraux des zones études.....	60
<b>Figure 30:</b> Profil de Séparabilité.....	61
<b>Figure 31:</b> Carte des différentes formations végétales issues de la classification.....	63
<b>Figure 32:</b> Distribution de la végétation de la zone d'étude.....	64
<b>Figure 33:</b> Caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 34:</b> Carte de service Bois et fibre.....	66
<b>Figure 35:</b> Carte de service de la chasse.....	67
<b>Figure 36:</b> Carte de service ressources médicinale.....	68
<b>Figure 37:</b> Carte de service pâturage.....	70
<b>Figure 38:</b> Carte de service pâturage.....	71
<b>Figure 39:</b> Carte de service lutte contre l'érosion.....	72

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Exemples de définitions données à la notion de services écosystémiques .....	11
<b>Tableau 2:</b> Structure et système du codage du NESCS.....	17
<b>Tableau 3:</b> Résolution de quelques satellites.....	32
<b>Tableau 4:</b> Les indices de végétation les plus utilisés.....	35
<b>Tableau 5:</b> Précipitation par le nombre des jours .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Tableau 6:</b> Vitesse moyenne du vent à Mila .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Tableau 7:</b> Tableau de précipitation et température de diagramme ombrothermique	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

---

# *Introduction*

---

## **Introduction**

L'Algérie, par sa diversité biologique remarquable, abrite une variété d'écosystèmes allant des côtes méditerranéennes aux vastes étendues sahariennes en passant par les montagnes de l'Atlas, joue un rôle crucial dans la fourniture des services écosystémiques essentiels à la société humaine et à la durabilité environnementale. Les services écosystémiques, définis comme les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes, incluent la régulation du climat, la conservation des sols, la purification de l'eau, et la fourniture de ressources naturelles comme le bois et les produits alimentaires (Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, 2005). Ces services sont indispensables pour la résilience des écosystèmes face aux perturbations et pour atténuer les effets du changement climatique, en préservant la santé des sols et des ressources en eau (Díaz et al., 2006).

L'évaluation des services écosystémiques revêt une importance cruciale pour orienter les politiques de conservation et de gestion durable en Algérie. La perte de biodiversité pourrait compromettre la capacité des écosystèmes à fournir ces services, ce qui aurait des répercussions directes sur l'économie et la qualité de vie des populations locales (Costanza et al., 1997). Ainsi, la valorisation et la protection de la biodiversité en Algérie ne sont pas seulement des impératifs écologiques, mais aussi des priorités socio-économiques, nécessitant l'intégration des savoirs traditionnels et des approches scientifiques modernes pour une gestion intégrée des ressources naturelles (MEA, 2005).

Les forêts, en tant qu'écosystèmes clés, fournissent une multitude de services écosystémiques essentiels pour l'environnement et la société. Outre le stockage de carbone et la régulation climatique, les forêts contribuent à la biodiversité, à la régulation des ressources en eau, à la fourniture de ressources renouvelables, ainsi qu'à la régulation de la qualité de l'air et du sol, tout en soutenant le bien-être humain par des activités récréatives et économiques (Rives et al., 2016).

Pour appréhender et spatialiser les services écosystémiques dans la région de Mouia (wilaya de Mila), située dans le grand domaine de l'Atlas Tellien en Algérie, une méthodologie qualitative inspirée de Burkhard et al. (2009) a été adoptée. Cette approche repose sur l'identification des formations végétales sur le terrain et l'évaluation des services écosystémiques associés, en utilisant des scores attribués en fonction de la capacité de chaque formation à fournir ces services, à partir de connaissances scientifiques et d'entretiens locaux (Burkhard et al., 2009). L'implication des communautés locales est essentielle pour intégrer les savoirs traditionnels

dans ce processus d'évaluation, ceux-ci étant souvent indispensables pour comprendre la valeur et l'impact des services écosystémiques (Froger et al., 2012).

L'utilisation de données d'imagerie satellitaire, notamment à partir du satellite LANDSAT 8, est cruciale pour classifier les types d'occupation du sol dans la région, y compris les formations forestières, grâce à des techniques avancées de classification comme la machine à vecteurs de support (SVM) (Mountrakis et al., 2011). Cette cartographie des services écosystémiques permettra de spatialiser les informations dans la région de Mouia, fournissant des indications précieuses pour la prise de décision en matière de développement durable, en identifiant les zones prioritaires pour la conservation et la gestion des écosystèmes (Le Clec'h et al., 2014).

Cette évaluation fournit une base solide pour informer les décideurs de conservation et de gestion durable, en intégrant les savoirs traditionnels et les approches scientifiques modernes pour une gestion intégrée des ressources naturelles en Algérie.

pour comprendre la valeur et l'impact des services écosystémiques (Froger et al., 2012). Les résultats de l'évaluation doivent être intégrés dans la prise de décision pour promouvoir la gestion durable des écosystèmes et la conservation de la biodiversité, afin de garantir le bien-être des sociétés humaines à long terme (Froger et al., 2012).

L'utilisation de données d'imagerie satellitaire, notamment à partir du satellite LANDSAT 8, permettra de classier les types d'occupation du sol dans la région, notamment les formations forestières, grâce à des algorithmes de classification tels que la machine à vecteurs de support (SVM) (Mountrakis et al., 2011). Cette cartographie des services écosystémiques fournit des informations pour la spatialisation des services écosystémiques dans la région de Mouia et des indications précieuses pour la prise de décision en matière de développement durable, en identifiant les zones prioritaires pour la conservation et la gestion des écosystèmes (Le Clec'h et al., 2014).

L'évaluation des services écosystémiques dans la région de Mouia en Algérie met en lumière l'importance des forêts dans la fourniture de ces services vitaux pour l'homme et l'environnement. Cette évaluation fournit une base essentielle pour informer les politiques de conservation et de gestion durable, intégrant les savoirs traditionnels et les approches scientifiques modernes pour une gestion intégrée des ressources naturelles en Algérie.

---

# *Chapitre I*

---

*Les services écosystémiques contextes,  
objectifs et définitions*

---

## **1. Histoire et contexte du développement du concept de services éco systémiques**

La compréhension du concept de services écosystémiques est une tâche complexe qui nécessite une exploration de son histoire et de son contexte. Dans un premier temps, nous retracerons l'évolution chronologique de la terminologie liée à cette idée. Selon la littérature, le concept de services écosystémiques a émergé à la fin du siècle dernier aux États-Unis, apparaissant pour la première fois en 1981 par Ehrlich & Ehrlich. Houzé (2020) explique qu'il s'agit d'une réflexion basée sur la reconnaissance de la dépendance humaine à l'égard d'une nature fournissant des ressources qu'il est essentiel de valoriser et protéger.

Pendant les années 1970, la recherche explorant la relation entre l'écologie et la socioéconomie a prospéré, avec des travaux tels que ceux de Meadows et *al.* (1972). Tous convergent vers une conclusion commune : le système économique, consommateur de ressources fossiles et destructeur des écosystèmes, menace la survie des sociétés humaines actuelles, nécessitant des changements systémiques (Ezzine de Blas et *al.*, 2016). Ces idées, Ils'agit d'une réflexion qui souligne la nécessité de reconnaître la dépendance des êtres humains envers la nature qui fournit des ressources essentielles, et qui doit être préservée en les valorisant.

Ensuite, Eckholm (1978) a parlé des "fonctions écologiques" cruciales pour la société, utilisant l'expression "biens et services écologiques" dans son avertissement sur l'importance des extinctions. La notion de services écosystémiques a ensuite évolué dans les institutions mondiales, apparaissant dans divers accords et conventions internationaux. En 1981, l'UICN utilise la phrase "biens et services fournis par les écosystèmes" dans le contexte de la gestion durable des forêts. En 1987, le rapport Brundtland mentionne les services écosystémiques, soulignant les contributions significatives des espèces et des écosystèmes naturels au bien-être humain (Potschin et *al.*, 2016).

Dans les années 1990, le concept de services écosystémiques prend place dans l'agenda politique mondial. Selon Norgaard (2010), il s'est imposé au milieu de cette décennie, marquant la tentative du courant conservationniste d'intégrer la biodiversité à l'agenda politique mondial en utilisant les arguments de l'économie de marché (Daily, 1997).

## **2. Fondements de l'Intégration du Concept services écosystémiques**

La motivation derrière la création du concept de services éco systémiques, lesquelles ont évolué depuis son apparition. À ses débuts, ce concept est né en réponse à la détérioration écologique et économique des écosystèmes, exprimant ainsi une préoccupation écologique et économique

face aux effets néfastes d'un modèle de développement sur l'état des écosystèmes. Cette inquiétude a été amplifiée par la réalisation de la dépendance croissante des sociétés humaines à l'égard du fonctionnement des écosystèmes. Par la suite, il a été étendu pour englober une gamme plus large de perspectives interdisciplinaires, servant ainsi à la sensibilisation, à la gouvernance politique, à la compensation des dommages, à l'obtention de bénéfices, etc.

### **3. Concept**

Aujourd'hui le concept de services écosystémiques est exploré par diverses disciplines, selon différentes méthodes et approches. Mais quand l'idée de services écosystémiques est apparue pour la première fois, les disciplines initiales qui étaient à l'origine de son apparition étaient l'écologie, qui étudie les fonctions des écosystèmes (Braat & De Groot, 2012) et l'économie, qui s'occupe de la quantification des services écosystémiques (Carpenter et al., 1995). (Sarrazin et al. 2016) expliquent que « les approches de conservation et de gestion de la biodiversité par les services écosystémiques sont intégrer historiquement et conceptuellement dans l'écologie fonctionnelle et dans l'économie de l'environnement »

Le concept de services écosystémiques a émergé comme une réponse à la fois écologique et économique à la dégradation des écosystèmes. Cette réponse a été motivée par l'inquiétude exprimée par les scientifiques quant aux conséquences d'un modèle de développement économique sur l'état des écosystèmes, amplifiée par la dépendance croissante des sociétés humaines à l'égard des processus écologiques. Par la suite, ce concept a été généralisé en adoptant une approche interdisciplinaire plus large, comme souligné par Chaudhary et al. (2015). Il est désormais utilisé à des fins de sensibilisation, de gouvernance politique, de compensation des dégradations, d'obtention de bénéfices, et bien d'autres applications.

### **4. Comment peut-on définir le concept de services écosystémiques ?**

Il est crucial de clarifier le concept de services écosystémiques afin de rendre plus transparents les compromis qui ont émergé autour de cette notion. Mais jusqu'à maintenant, il est difficile de trouver un consensus sur une seule définition, même si le concept services-écosystémiques paraît simple. En écologie, Un Ecosystème = Biocénose Biotope (Claude Faurie, 2011). En économie, le terme "Services" fait référence au "Travail" (Braat et De Groot, 2012), selon le Dictionnaire d'économie et de sciences sociales, Nathan, Paris, (1993) un service est une prestation qui consiste en « la fourniture d'un travail directement utile pour l'utilisateur, sans transformation de matière ». Mais la définition du concept de « services écosystémiques » et

beaucoup plus complexe que de définir les vocables qui la composent. Dufour et *al.* (2016) « en effet, cette notion est à la fois simple (dans son appréhension intuitive) et complexe (dans son interprétation et son usage) ». Si le terme de SE représente, pour les écologues, un moyen de décrire les propriétés ou le fonctionnement d'un écosystème. Les économistes n'y voient que des biens commercialisables et substituables parmi d'autres (Plant et *al.*, 2016). Alors que les politiques et les gestionnaires le considèrent comme un outil d'aide à la décision. Ainsi, le concept de "services écosystémiques" est utilisé et défini de différentes manières et à différentes fins (Jax et *al.*, 2013). Sa définition dépend du prisme à travers lequel il est étudié. C'est pourquoi, Levrel et *al.* (2016) souligne que « de nombreuses définitions des services écosystémiques existent. Elles prennent leurs racines dans l'un ou l'autre des champs disciplinaires qui s'intéressent actuellement à cette notion et envisagent ainsi cette dernière selon différents contours ». C'est un concept pluridisciplinaire et multidimensionnel. Par conséquent, l'exercice qui sert à le définir est accompagné par le risque de tomber dans l'erreur de parallaxe, mais reflète l'aspect polysémique du concept de services écosystémiques (Plant et *al.*, 2016). Le concept de services écosystémiques est en cours d'élaboration. C'est un concept, à plusieurs embranchements, dont le sens et l'application ont rapidement évolué dans tous les domaines (Haines Young & Potschin, 2009). Lorsque des écologues l'ont inventé, la première fois, ils avaient pour objectif de montrer l'intérêt considérable de l'écosystème dans son intégralité, c'est-à-dire l'ensemble de la biosphère, pour le bien-être des sociétés humaines (Plant et *al.*, 2016). Ehrlich & Ehrlich (1981) ne lui ont pas donné une définition, puisqu'ils le considéraient comme une métaphore et non pas comme un concept tel quel.

## **5. Définition des services écosystémiques**

Les services écosystémiques regroupent les fonctions des écosystèmes et leurs contributions au fonctionnement de notre société ainsi qu'à notre bien-être général. Ce concept plutôt récent a permis un autre regard de la nature, surtout à destination des décideurs politiques qui n'ont pas forcément la formation nécessaire, les connaissances ou l'intérêt de protéger l'environnement. (Méral, P et *al.*, 2016).

Comme son nom l'indique, c'est un service, gratuit, rendu par la nature, qui nous permet de vivre et offre un confort à la l'être humain. Ce sont toutes les contributions de la nature qui nous affectent directement.

## 6. Les services écosystémiques comme outil de sensibilisation

Les services écosystémiques ont été introduits dans le discours en réponse à la croissance démographique et à l'exploitation croissante des ressources naturelles limitées, comme indiqué par Potschin et *al.* (2016). À l'origine, ce terme n'était qu'une métaphore, comme le souligne Norgaard (2010), utilisée pour réfléchir à notre relation avec la nature. Cependant, il est rapidement devenu un concept central dans l'approche de l'avenir de l'humanité et de l'évolution biologique.

L'utilisation rationnelle du commerce visait à rapprocher une société immergée dans une économie mondiale et de plus en plus détachée des processus naturels, en raison de sa démographie croissante (Potschin et *al.*, 2016). Cette approche était perçue comme un moyen de sensibiliser les gens aux liens étroits entre les sociétés et la nature, en soulignant le rôle essentiel des écosystèmes dans le maintien de la vie et du bien-être humain (Sarrazin et *al.*, 2016). Elle mettait en lumière la façon dont la biodiversité contribue au bien-être humain, tout en alertant sur la fragilité des écosystèmes face à l'activité humaine, notamment la surconsommation d'énergie et de ressources (Jax et *al.*, 2013). Le concept de service écosystémique permet ainsi de mieux faire comprendre la valeur de la nature aux individus.

Dans le cadre de la sensibilisation, le concept de service écosystémique est souvent utilisé de manière générale ou symbolique, sans nécessité pour l'utilisateur de faire des distinctions détaillées entre les processus écologiques, les avantages et les valeurs, ni de quantifier la valeur biophysique ou économique des services écosystémiques (Jax et *al.*, 2013).

## 7. Les services écosystémiques comme cadre d'évaluation

La notion de service écosystémique s'est développée, car son caractère métaphorique seul n'était pas suffisant pour résoudre les problèmes environnementaux actuels (Norgaard, 2010). La métaphore est devenue, lors du déroulement du MAE, un cadre central (Figure 01) pour l'évaluation scientifique de l'évolution des écosystèmes (*Millennium Ecosystem Assessment*, 2005). La transcription de la métaphore dans un cadre scientifique a transformé le concept de services écosystémiques en un paradigme pour la réflexion sur le développement et la gestion de l'environnement (Pagiola et *al.*, 2004 ; Ranganathan et *al.*, 2008). Cette transition a été suivie d'une multiplication de l'utilisation du terme "services écosystémiques" dans les revues scientifiques (Fisher et *al.*, 2009)

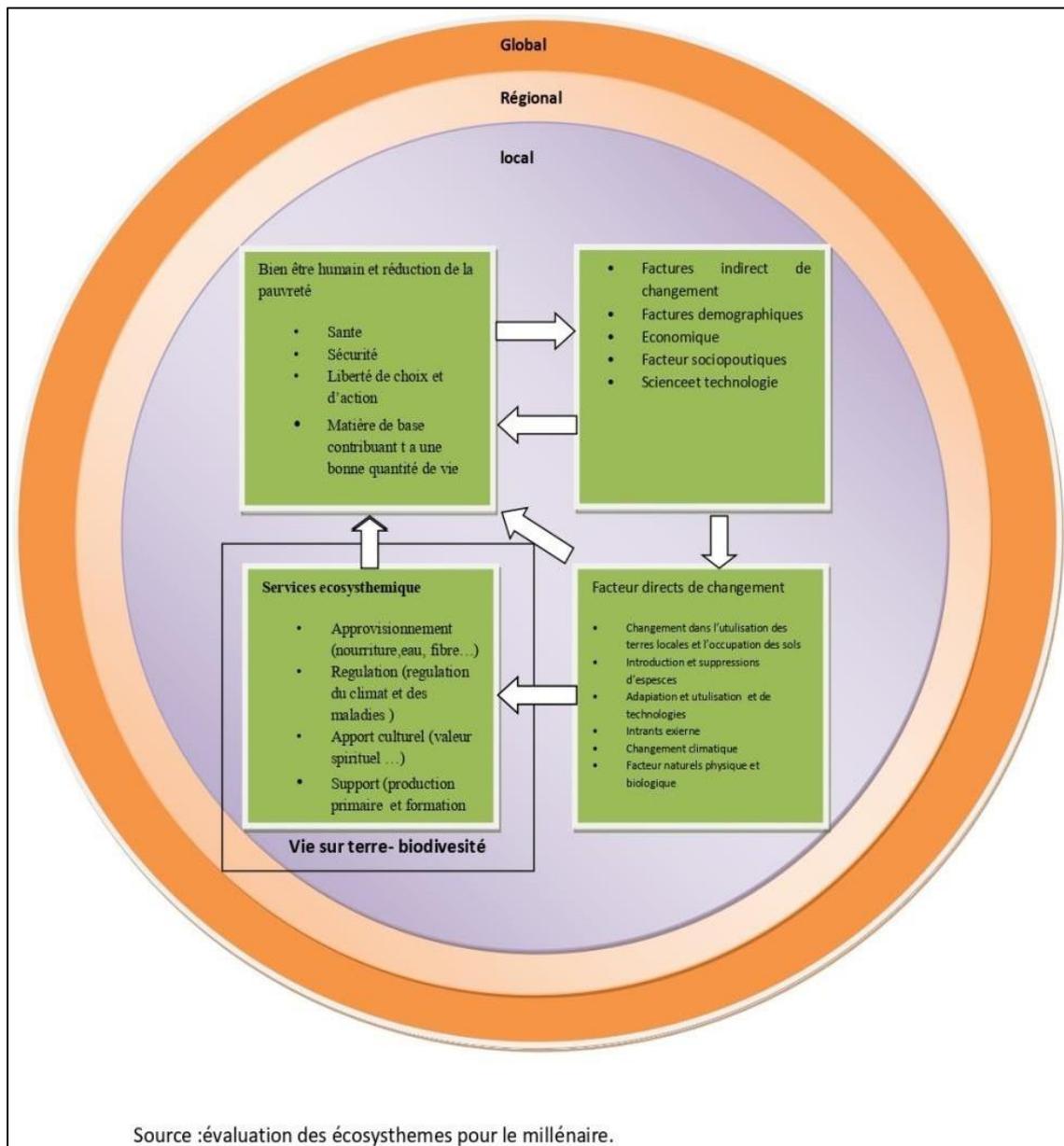


Figure 01:Évaluation des services écosystémique (modifie).

## 8. Les services écosystémiques comme science

Le concept des services écosystémique a évolué pour devenir une discipline scientifique à part entière. L'Évaluation pour le Millénaire (MEA) a encouragé les écologistes à se concentrer sur l'élaboration d'un cadre conceptuel solide et sur la collecte de preuves empiriques quant à la façon dont la nature fournit des services. Cette demande a entraîné une augmentation significative des publications universitaires sur les "services écosystémiques". Ce contexte a nécessité une nouvelle approche métaphorique et a préparé le terrain pour l'émergence d'un nouveau modèle.

La naissance de la science des services écosystémiques est considérée comme une "révolution

scientifique" selon le modèle Kuhnien , modifiant notre manière de concevoir la nature. Cette science se distingue des autres disciplines naturelles et sociales par son caractère "transdisciplinaire". Selon Potschin et *al.* (2016), la science des services écosystémiques possède une caractéristique fondamentale d'une science "post-normale", la distinguant des sciences plus traditionnelles. Elle est véritablement "transdisciplinaire".

## **9. Définition du concept de services écosystémiques**

La définition du concept de services écosystémiques est cruciale pour dissiper les compromis qui l'entourent. Cependant, jusqu'à présent, il est difficile de parvenir à un consensus sur une seule définition, même si le concept semble simple à première vue.

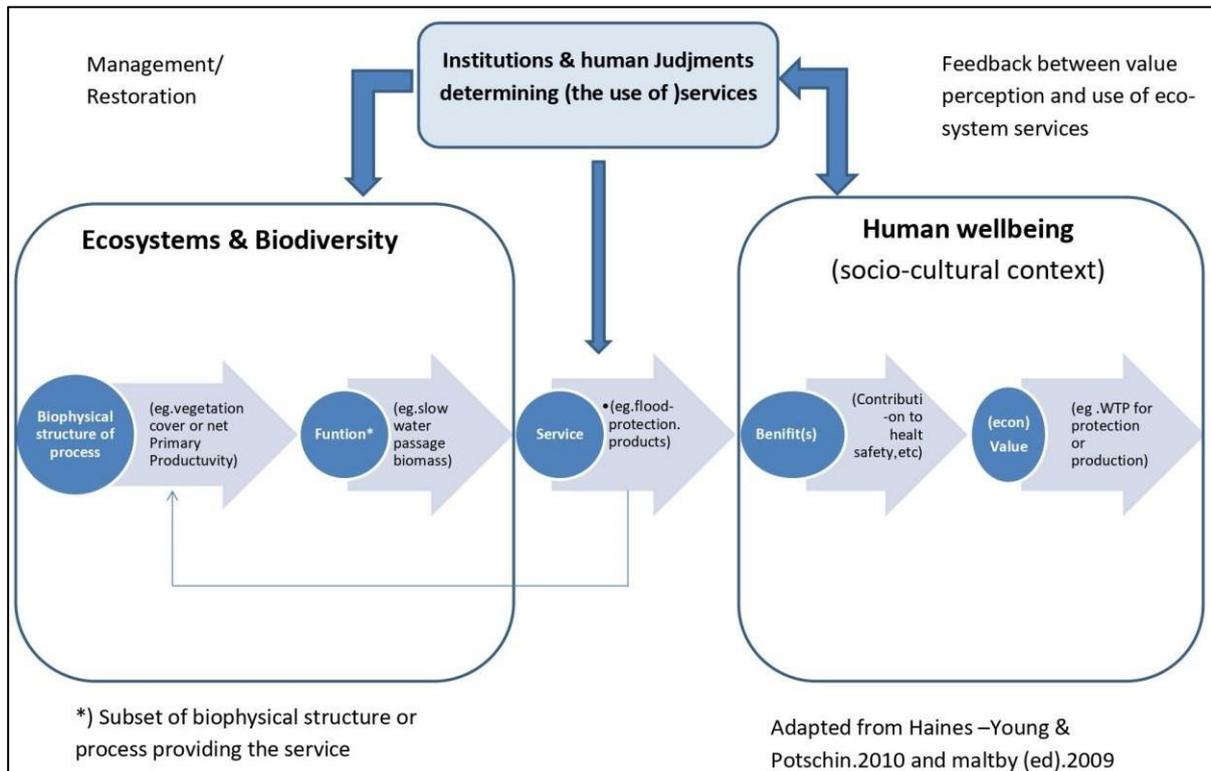
En écologie, un écosystème est défini comme une biocénose d'interactions avec un biotope (Faurie, 2011).

En économie, le terme "services" renvoie au "travail" (Braat & De Groot, 2012). Selon le Dictionnaire d'économie et de sciences sociales de Nathan, Paris (1993), un service est une prestation qui consiste à fournir un travail directement utile pour l'utilisateur, sans transformation de matière. Cependant, la définition du concept de "services écosystémiques" est bien plus complexe que la simple définition de ses termes composants. Comme le soulignent Dufour et *al.* (2016), cette notion est à la fois simple dans sa compréhension intuitive et complexe dans son interprétation et son utilisation.

Pour les écologues, le terme de services écosystémiques représente un moyen de décrire les propriétés ou le fonctionnement d'un écosystème, tandis que pour les économistes, il s'agit de biens commercialisables et interchangeables (Plant et *al.*, 2016). Les politiques et les gestionnaires, quant à eux, le considèrent comme un outil d'aide à la décision.

Ainsi, le concept de services écosystémiques est utilisé et défini de différentes manières et à différentes fins (Jax et *al.*, 2013). Sa définition dépend du point de vue à travers lequel il est étudié. C'est pourquoi, selon Levrel et *al.* (2016), de nombreuses définitions des services écosystémiques existent, prenant racine dans différents champs disciplinaires qui s'intéressent à cette notion et l'envisagent selon divers contours. C'est un concept pluridisciplinaire et multidimensionnel, et par conséquent, l'exercice visant à le définir comporte le risque de tomber dans l'erreur de parallaxe, tout en reflétant l'aspect polysémique du concept de services écosystémiques (Plant et *al.*, 2016).

Le concept de services écosystémiques est en cours d'élaboration. C'est un concept à plusieurs ramifications, dont le sens et l'application ont rapidement évolué dans tous les domaines (Haines Young & Potschin, 2009). Lorsque des écologues l'ont inventé pour la première fois, leur objectif était de mettre en évidence l'importance considérable de l'écosystème dans son ensemble, c'est-à-dire l'ensemble de la biosphère, pour le bien-être des sociétés humaines (Plant et al., 2016). Ehrlich & Ehrlich (1981) ne lui ont pas donné de définition, le considérant comme une métaphore plutôt qu'un concept à part entière.



**Figure 02:** Schéma de récapitulation de l'économie des écosystèmes et de la biodiversité (TEEB), d'après Haines-Young & Potschin (2009) (Modifier).

La définition la plus couramment adoptée dans la littérature, proposée par l'Évaluation pour le Millénaire (MEA) en 2005, stipule que les services écosystémiques sont les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes. Cette définition met en lumière le lien entre les écosystèmes et le bien-être humain, introduisant ainsi une nouvelle conception gestionnaire de l'écologie (Dufour et al., 2016).

L'économis des ecosystèmes et de la biodiversité (*The Economics of Ecosystemes and Biodiversity*) (TEEB) (2010) propose une définition qui, dans l'ensemble, rejoint celle de l'MEA, mais fait une distinction entre les services et les bénéfices, précisant que les services peuvent profiter directement et/ou indirectement aux personnes. Selon Dominati et al. (2010),

les services ne sont pas des processus. Jax et *al.* (2013) mettent en avant l'idée d'appropriation et précisent que les processus peuvent devenir des services s'il existe un bénéficiaire pour en profiter. Maris (2014) adopte une vision critique, basée sur un principe biocentré, des idées menées par le concept de services écosystémiques.

Après avoir examiné les différentes définitions, les services écosystémiques sont définis ici comme les avantages matériels ou moraux (potentiels ou réels) qu'un écosystème procure, directement ou indirectement, à travers ses composants physiques, chimiques, biologiques ou écologiques, aux êtres vivants (humains et toutes les autres formes de vie), qu'ils soient utilisés ou non-utilisés.

**Tableau 1:** Exemples de définitions données à la notion de services écosystémiques

	<b>Auteur</b>	<b>Année</b>	<b>Définition des Services Ecosystémiques (SE)</b>	<b>Discipline</b>
<b>1</b>	<b>Costanza et al.</b>	<b>1998</b>	Les SE sont les <b>bénéfices</b> que les populations <b>humaines</b> tirent <b>directement ou indirectement</b> des fonctions des écosystèmes.	Economie écologique
<b>2</b>	<b>Rosimeiry Portela &amp; Ida Rademacher</b>	<b>2001</b>	Les SE sont les <b>conditions</b> et <b>processus écologiques</b> qui assurent le <b>bien-être</b> .	Pluridisciplinaire
<b>3</b>	<b>MEA</b>	<b>2005</b>	Les SE sont les <b>bénéfices (les avantages)</b> que les <b>humains</b> tirent des écosystèmes.	Pluridisciplinaire
<b>4</b>	<b>James Boyd &amp; Spencer Banzhaf</b>	<b>2007</b>	Les SE sont les <b>composants écologiques</b> directement consommés ou appréciés pour réaliser le <b>bien-être humain</b> .	Economie de l'environnement
<b>5</b>	<b>Brendan Fisher et al.</b>	<b>2009</b>	Certaines <b>dimensions des écosystèmes</b> utilisés activement ou passivement pour produire du <b>bien-être humain</b> .  Le concept de SE est devenu <b>un modèle</b> important pour relier le <b>fonctionnement des écosystèmes</b> au <b>bien-être humain</b> .	Sciences de l'environnement et des ressources naturelles

6	Dominati Estelle <i>et al.</i>	2010	Les SE sont des <b>flux</b> bénéfiques provenant des stocks de <b>capital naturel</b> et répondant aux besoins <b>humains</b> . <u>SE les ne sont pas des processus</u> mais des flux (quantité par unité de temps), par opposition aux stocks (quantité).	Agronomie Pédologie
7	UK NEA	2011	Les <b>composants et processus biophysiques</b> menant au <b>bien-être humain</b> sont appelés «services écosystémiques»	Pluridisciplinaire
8	Kurt Jax <i>et al.</i>	2013	<b>Les processus et / ou composants</b> de l'écosystème ne deviennent ou ne mènent à des SE que si <b>quelqu'un les requiert, les demande ou les utilise</b> , de manière active ou passive.	Biologie de la conservation. Recherche environnementale
9	Simon Dufour <i>et al.</i>	2014	-Un SE est un <b>intermédiaire</b> entre le <b>capital naturel</b> et le <b>bénéfice anthropique</b> .  -Dans la notion de SE, il existe <b>l'idée d'appropriation individuelle ou sociétale</b> ce qui signifie qu'un SE n'existe que s'il possède un ou des <b>bénéficiaires</b> , réels ou théoriques.	Géographie Sciences sociales

## 10. Classification des services écosystémiques

La catégorisation des services écosystémiques est essentielle pour rendre le concept pratique et utilisable. De plus, elle facilite la transformation de ce concept abstrait en variables tangibles et mesurables. Cette classification fournit une organisation structurée en catégories, regroupant les services similaires et distinguant les services différents, en se basant sur des critères prédéterminés qui dépendent de l'objectif spécifique de la mise en place d'un système de classification. Elle permettrait de réaliser des analyses comparatives entre les écosystèmes, de caractériser, de quantifier et d'évaluer les services écosystémiques, élargissant ainsi la base d'informations utiles pour la prise de décision en matière de gestion des ressources naturelles. Bien qu'établir une seule classification mondiale des services écosystémiques reste un défi, il existe plusieurs propositions en la matière, telles que celles de Daily *et al.* (1997), De Groot *et al.* (2002). L'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire (MEA, 2005), Boyd et Banzhaf (2007), Fisher et Turner (2008), Staub *et al.* (2011), Haines-Young et Potschin (2013), Landers et Nahlik (2013) et l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (USEPA, 2015).

Ces propositions partagent toutes l'objectif commun d'identifier et de décrire les diverses façons dont les écosystèmes contribuent au bien-être humain. Cependant, elles présentent des différences significatives dans leurs perspectives. Chaque classification a son propre objectif politique, sa propre définition des services écosystémiques, sa terminologie, ses critères de regroupement et sa structure spécifique pour atteindre l'objectif commun. Un point majeur de divergence entre ces approches de classification est de savoir si les processus ou fonctions naturels doivent être considérés comme des services eux-mêmes, et si les services et les bénéfices doivent être traités comme des synonymes. Chaque classification présente ses propres avantages et inconvénients en fonction du contexte spécifique dans lequel elle a été développée. Les classifications principales adoptées à l'échelle mondiale ou locale sont présentées ci-dessous, avec leurs objectifs, leurs structures, leurs avantages et leurs limites, afin de mettre en lumière l'évolution de cette approche et d'insister sur sa complexité.

La classification des services écosystémiques est une démarche visant à organiser et à catégoriser les multiples bénéfices que les écosystèmes procurent aux êtres humains. Cette classification repose généralement sur la nature de la contribution des écosystèmes aux besoins humains et à la société en général. Les services écosystémiques sont souvent regroupés en quatre grandes catégories :

### **10.1. Services de soutien**

- Formation des sols : Les écosystèmes contribuent à la création et à la préservation des sols en favorisant des processus tels que la décomposition des matières organiques (Maris, V, 2014).
- Cycle des éléments nutritifs : Les écosystèmes régulent les cycles biogéochimiques, tels que le cycle de l'azote et du phosphore, essentiels à la vie des plantes et des animaux. (Maris, V, 2014)
- Photosynthèse : Les plantes convertissent la lumière du soleil en énergie, fournissant ainsi la base de la chaîne alimentaire. (Maris, V, 2014)

### **10.2. Services de régulation**

- Régulation climatique : Les écosystèmes, en particulier les forêts, absorbent le dioxyde de carbone et contribuent à réguler le climat global (Maris, V, 2014)
- Purification de l'air et de l'eau : Les écosystèmes agissent comme des filtres naturels en éliminant les polluants de l'air et en filtrant l'eau. (Maris, V, 2014)

Prévention des catastrophes naturelles : Certains écosystèmes, tels que les mangroves, agissent comme des barrières naturelles contre les tempêtes et les inondations. (Maris, V, 2014)

### 10.3. Services culturels

-Tourisme : Les écosystèmes attractifs, tels que les parcs nationaux et les réserves naturelles, attirent les touristes. (De Sartre et al, 2014)

-Récréation : Les espaces naturels offrent des opportunités de loisirs, de détente et d'activités récréatives. (De Sartre et al, 2014)

-Valeur esthétique et spirituelle : Les paysages naturels ont une valeur esthétique et spirituelle importante pour de nombreuses cultures. (De Sartre et al, 2014)

### 10.4. Services d'approvisionnement

- Nourriture : Les écosystèmes fournissent une grande variété de denrées alimentaires, des cultures agricoles aux produits de la pêche. (De Sartre et al, 2014)

-Bois et fibres : Les forêts sont une source majeure de bois de construction, de papier et d'autres produits dérivés. (De Sartre et al, 2014)

- Ressources médicinales : De nombreuses plantes et organismes des écosystèmes fournissent des composés utilisés en médecine traditionnelle. (De Sartre et al, 2014)

Services de Support/Soutien	Services de Approvisionnement	Services de Régulation	Services Culturels
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cycle de la matière</li> <li>• Cycle de l'eau</li> <li>• Formation des sols</li> <li>• Conservation de la biodiversité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentation</li> <li>• Eau</li> <li>• Fibres</li> <li>• Combustible</li> <li>• Ressources génétiques</li> <li>• Produits biochimiques et pharmaceutiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Du climat</li> <li>• De la qualité de l'air</li> <li>• Des flux hydriques</li> <li>• De l'érosion</li> <li>• Des maladies</li> <li>• Des parasites</li> <li>• De la pollinisation</li> <li>• Des risques naturels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valeurs spirituelles et religieuses</li> <li>• Valeurs esthétiques</li> <li>• Récréation et écotourisme</li> </ul>

**Figure 03:** Exemples de services écosystémiques pour chaque classe (De Sartre et al, 2014)

La classification des services écosystémiques permet de mieux comprendre la diversité des

avantages que nous tirons de notre environnement naturel et de cibler les efforts de Conservation et de gestion en conséquence. Elle aide également à sensibiliser à l'importance de maintenir l'intégrité des écosystèmes pour garantir la durabilité de ces services essentiels. (Walter, C et *al.*, 2015)

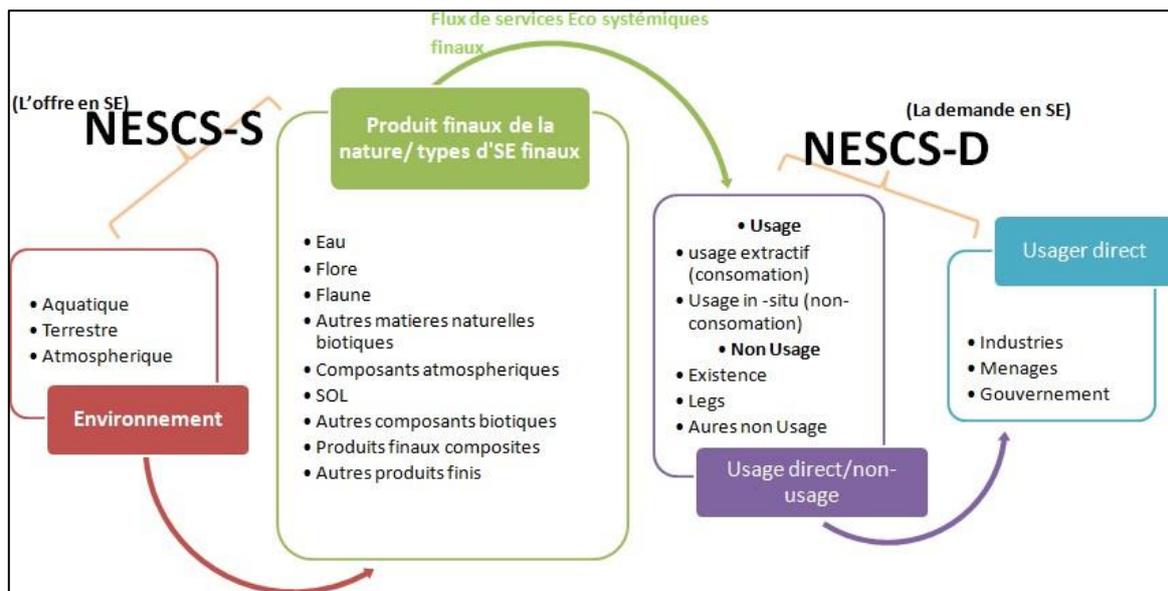
## **11. Le Système national de classification des services écosystémiques (NESCO) des Etats Unis.**

Le Système national de classification des services écosystémiques (NESCO) des États-Unis a été développé en 2015, inspiré par les principes et la structure de la comptabilité économique. Son cadre conceptuel repose sur la liaison entre deux systèmes distincts : d'une part, le système écologique produisant des services écosystémiques (SE), et d'autre part, le système humain utilisant directement ces services (USEAP, 2015).

Cette approche de classification définit les SE comme un flux, allant d'un fournisseur à un consommateur, plutôt que comme un stock, en se concentrant sur les Flux des Services Écosystémiques Finaux (FFES). Selon La Notte et *al.* (2017), la NESCO met l'accent sur la relation entre le "produit final de la nature" et les "utilisations directes" par l'homme en tant que bénéfices tangibles et intangibles. La NESCO a pour objectif d'identifier et de classer de manière exhaustive tous les FFES pouvant être utilisés par l'industrie, les ménages ou le gouvernement (La Notte & Rhodes, 2020).

La structure du NESCO se compose de quatre classifications : l'environnement, les produits finaux écologiques, l'usage/non-usage et les usagers (Russell et *al.*, 2020 ; La Notte et *al.*, 2017). Les deux premiers groupes sont considérés comme le côté de l'offre (NESCO-S), tandis que les deux derniers groupes représentent les destinataires des FFES et peuvent être interprétés comme le côté de la demande (NESCO-D) (Figure 1) (USEAP, 2015 ; Russell et *al.*, 2020).

La première partie du NESCO concerne la classification de l'environnement, divisant la Terre en zones distinctes ayant des caractéristiques biophysiques similaires, telles que les forêts, les océans ou les rivières.



**Figure 04:** Les quatre groupes de classification formant la structure de la NESCS (version condensée). Source (USAEP, 2015)

**Tableau 2:** Structure et système du codage du NESCS (source)

	NESCS-S		NESCS-D	
Groupe	<b>Produit final</b>	<b>Utilisation directe/non-utilisation</b>	<b>Produit final</b>	<b>Utilisation directe/non-utilisation</b>
Définition	Composants biophysiques de la nature qui sont directement utilisés ou appréciés par les humains.	Différentes manières dont les produits finis sont utilisés ou appréciés par les humains.	Composants biophysiques de la nature qui sont directement utilisés ou appréciés par les humains.	Différentes manières dont les produits finis sont utilisés ou appréciés par les humains.
Hiérarchie et système de codification				
Code NESCS pour FFES* : WW.XX.YYYY.ZZZZZZ				
Classe	<b>W</b>	<b>WW.X</b>	<b>WW.XX.Y</b>	<b>WW.XX.YYYY.Z</b>
Sous-classe	<b>WW</b>	<b>WW.XX</b>	<b>WW.XX.YY</b>	<b>WW.XX.YYYY.ZZZ</b>
Détail			<b>WW.XX.YYYY</b>	<b>WW.XX.YYYY.ZZZZZZ</b>
Exemple 1 : L'eau de l'océan est utilisée comme moyen de transport de marchandises.				
Code NESCS pour FFES : 15.12.1202.1483111				
Classe	Aquatique : 1	Eau : 1	Utilisation directe : 1	Industrie : 1
Sous-classe	Océan et mers ouverts : 15	Eau liquide : 12	Utilisation in-situ : 12	Transport et entreposage : 148
Détail			Moyen de transport : 1202	Transport de fret en haute mer : 1483111
Exemple 2 : L'eau des rivières est extraite pour le jardinage domestique.				
Code NESCS pour FFES : 11.12.1105.201				
Classe	Aquatique : 1	Eau : 1	Utilisation directe : 1	Ménages : 2
Sous-classe	Rivières et ruisseaux : 11	Eau liquide : 12	Utilisation extractive : 11	Ménages : 201
Détail			Soutien à la production végétale ou animale : 1105	

**Note :** le code à 15 chiffres et le niveau de représentation le plus utilisé

## 12. Évaluation des services écosystémiques

L'évaluation des services écosystémiques est une démarche complexe visant à quantifier, valoriser et comprendre l'ensemble des bénéfices que les écosystèmes fournissent aux êtres humains. Cette évaluation est cruciale pour prendre des décisions éclairées en matière de

gestion environnementale, de conservation de la biodiversité et de développement durable.

Voici les principaux aspects de l'évaluation des services écosystémiques :

- **Identification des Services Écosystémiques** : Avant de les évaluer, il est essentiel d'identifier clairement les services écosystémiques fournis par un écosystème particulier. Cela peut inclure la définition des services de soutien, de régulation, culturelle et d'approvisionnement. (Walter, C *et al*, 2015)
- **Quantification et Mesure** : Les services écosystémiques peuvent être quantifiés de différentes manières, en fonction de leur nature. Certains services, tels que la production de bois, peuvent être mesurés de manière relativement directe. D'autres, comme la valeur esthétique d'un paysage, peuvent être plus difficiles à quantifier et nécessiter des approches plus qualitatives. (Walter, C *et al*, 2015)
- **Évaluation Économique** : Une approche courante consiste à attribuer une valeur économique aux services écosystémiques. Cela peut impliquer l'utilisation de méthodes telles que l'évaluation contingente, qui demande aux gens combien ils seraient prêts à payer pour un service donné, ou l'évaluation de remplacement, qui estime la valeur monétaire en se basant sur le coût de remplacement des services fournis. (Walter, C *et al*, 2015)
- **Modélisation** : Des modèles mathématiques et informatiques peuvent être utilisés pour simuler les interactions complexes entre les écosystèmes et les services qu'ils fournissent. Ces modèles aident à prédire les changements potentiels dans la prestation de services en réponse à des perturbations ou à des changements environnementaux. (Walter, C *et al*, 2015)
- **Participation Communautaire** : Impliquer les communautés locales dans le processus d'évaluation est crucial. Les connaissances locales et l'expérience des populations autochtones sont souvent essentielles pour comprendre pleinement la valeur des services écosystémiques et les impacts de leur perte. (Forger, G *et al*, 2012)
- **Intégration dans la Prise de Décision** : Les résultats de l'évaluation des services écosystémiques doivent être intégrés dans le processus de prise de décision. Cela peut inclure
- des recommandations pour la gestion durable des écosystèmes, la conservation de la

biodiversité, la planification urbaine et d'autres politiques environnementales. ( Froger, G *et al*, 2012)

- **Suivi et Réévaluation** : Les écosystèmes évoluent et changent avec le temps. Il est donc important de mettre en place des systèmes de suivi continu pour évaluer les changements dans la prestation des services écosystémiques et réévaluer périodiquement leur valeur. (Froger, G *et al*, 2012).

- **Les services écosystémiques sont étudiés comme une discipline scientifique :**

Le concept des services écosystémiques a évolué pour devenir un domaine scientifique à part entière. L'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA) a encouragé les écologues à concentrer leurs efforts sur le développement d'un cadre conceptuel solide ainsi que sur une base empirique robuste pour comprendre comment la nature fournit des services. Cette incitation a conduit à une augmentation significative des publications académiques sur les "services écosystémiques". Cette évolution a nécessité une réévaluation de la métaphore utilisée et a ouvert la voie à l'émergence d'un nouveau paradigme. La naissance de la science des services écosystémiques est considérée comme une véritable "révolution scientifique" dans notre compréhension de la nature, selon la perspective de Kuhn. Cette discipline se distingue des autres sciences naturelles et sociales par son caractère "transdisciplinaire".

### 12.1. Les services écosystémiques des forêts

Les services écosystémiques des forêts se réfèrent aux nombreux avantages et services que les forêts fournissent à l'environnement, à la société et à l'économie. Ces services peuvent être divisés en plusieurs catégories, chacune étant essentielle pour le maintien de l'équilibre écologique et le bien-être humain. Voici une explication détaillée de certains de ces services :

- **Stockage de carbone et régulation du climat** : Les forêts absorbent le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère lors de la photosynthèse et stockent le carbone dans leur biomasse nommée aussi puits de carbone et dans leur sol.
- **produits ligneux** : Elles jouent ainsi un rôle crucial dans la régulation du climat en atténuant les effets du changement climatique en réduisant la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. (Rives, F *et al*, 2016)
- **Biodiversité et habitat** : Les forêts abritent une grande diversité d'espèces végétales,

animales, fongiques et microbiennes. Elles fournissent des habitats cruciaux pour de nombreuses espèces, contribuant ainsi à la préservation de la biodiversité et au maintien de l'équilibre des écosystèmes. (Rives, F et al, 2016)

- **Régulation des ressources en eau :** Les forêts jouent un rôle important dans la régulation des cycles de l'eau en retenant l'eau dans le sol, en régulant le ruissellement et en maintenant la qualité de l'eau des rivières et des bassins versants. Elles aident à prévenir l'érosion du sol et les inondations, tout en assurant un approvisionnement en eau stable pour les écosystèmes et les communautés humaines. (Rives, F et al, 2016)
- **Fourniture de ressources :** Les forêts fournissent une multitude de ressources renouvelables telles que le bois, les fibres, les médicaments, les aliments sauvages, les plantes ornementales, etc. Ces ressources sont essentielles pour les économies locales et mondiales, ainsi que pour les modes de vie traditionnels de nombreuses communautés. (Rives, F et al, 2016) **Régulation de la qualité de l'air et du sol :** Les forêts agissent comme des filtres naturels en absorbant les polluants atmosphériques et en améliorant la qualité de l'air. De plus, elles jouent un rôle crucial dans la régulation de la fertilité du sol, en le protégeant contre l'érosion et en favorisant sa structure et sa biodiversité microbologique. (Rives, F et al, 2016) **Récréation et bien-être humain :** Les forêts offrent des espaces naturels pour la détente, la récréation, la méditation et la revitalisation. Elles contribuent au bien-être physique et mental des individus en offrant des opportunités de loisirs en plein air, de tourisme écologique et de contact avec la nature. (Rives, F et al, 2016).
- **Soutien économique :** Les forêts sont une source importante de revenus et d'emplois dans de nombreuses régions du monde, que ce soit à travers l'exploitation forestière durable, le tourisme écologique, la chasse, la pêche, la collecte de produits forestiers non ligneux, etc. (Rives, F et al, 2016).
- **Les services écosystémiques des forêts :** sont vitaux pour la santé de la planète et le bien-être des sociétés humaines. Protéger et gérer de manière durable les forêts est essentiel pour garantir la fourniture.



**Figure 05:** Les services écosystémiques des forêts (Rives, F et al, 2016).

### 13. Application de la cartographie

Aujourd'hui, la cartographie joue un rôle essentiel, étant indispensable dans de nombreux domaines. Les applications des cartes sont infinies, allant de l'analyse de l'occupation des terres, du cadastre, des prévisions météorologiques, de la planification routière, des interventions d'urgence, de la gestion forestière, de la navigation, du tourisme, et bien plus encore. En combinant les capacités de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG), la cartographie peut résoudre de nombreux problèmes. Deux exemples d'application de ces techniques, utilisées dans ce travail, seront présentés ci-dessous.

#### 13.1. La cartographie des services écosystémiques

Avec l'avancement des technologies de télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG), il est désormais possible de couvrir de vastes étendues à différentes

résolutions et échelles spatio-temporelles. La disponibilité de données spatiales revêt une importance capitale dans l'analyse des données liées à l'environnement, à la biodiversité et aux processus environnementaux. Malgré cela, selon Le Clec'h et *al.* (2014), moins de 5% des auteurs des soixante articles scientifiques identifiés sur Web of Science réalisent des cartographies spatiales des services écosystémiques (SE), préférant plutôt utiliser des indicateurs de SE à travers des processus physiques quantifiables et spatialisables, contrairement aux services écosystémiques stricto sensu. En effet, même si certains services écosystémiques, tels que la régulation du climat, ne peuvent pas être directement cartographiés, il est possible de spatialiser certains de leurs indicateurs, comme les stocks de carbone.

En pratique, il n'existe pas de méthodologie uniforme pour la cartographie des services écosystémiques. Les chercheurs, selon leur domaine d'expertise (économie, biologie de la conservation, agronomie), utilisent différentes méthodes, que nous détaillerons ci-dessous. L'approche la plus répandue pour la représentation spatiale des services écosystémiques repose sur l'utilisation de variables substitutives (proxy) (Seppelt et *al.*, 2011).

### **13.2. Pourquoi la cartographie des SE ?**

Les cartes fournissent un outil convivial, facile d'utilisation, regorgeant d'informations précieuses pour les décideurs impliqués dans les enjeux du développement durable, tout en servant de moyen de communication et de diffusion d'informations. La représentation des valeurs des services écosystémiques (SE), quelle que soit la méthode d'évaluation utilisée, a pris une importance considérable, notamment grâce à l'intégration des outils SIG, permettant de quantifier ces valeurs à différentes échelles (locale, régionale ou mondiale). De plus, les SIG ont la capacité d'analyser simultanément plusieurs données relatives à un ou plusieurs services, ainsi que leur relation avec d'autres paramètres sociaux ou économiques. Récemment, les SIG sont souvent utilisés pour modéliser et créer des scénarios, tels que les impacts potentiels de l'évolution de l'utilisation des sols sur les SE sur une période allant jusqu'à cinquante ans. Enfin, ils permettent de représenter graphiquement tous les résultats souhaités, notamment par la production de cartes.

Selon Hauck et *al.* (2013), les cartes jouent un rôle crucial dans plusieurs domaines : elles permettent de repérer les conflits et les synergies entre les services écosystémiques (SE), ainsi qu'entre ces services et l'utilisation des sols. De plus, elles facilitent l'identification des zones susceptibles de rencontrer des problèmes liés aux SE, tels que des menaces pour la biodiversité ou pour un écosystème. Enfin, les cartes aident à identifier les mesures politiques appropriées

et à améliorer la prise de décision en matière d'aménagement.

### 13.3. Méthodes utilisées pour la cartographie des SE

Malgré la variété des approches pour évaluer et cartographier les services écosystémiques (SE), la question de savoir "comment les spatialiser et les visualiser" reste un défi majeur. Parmi les méthodes fréquemment utilisées dans la littérature, on trouve les suivantes :

Les méthodes basées sur les écosystèmes : Elles prennent en compte la présence de capital naturel dans un écosystème donné et sa capacité à fournir des services (tels que les zones humides, les forêts, etc.). Dans ce cadre, la cartographie est réalisée en délimitant des entités spatiales selon une classification préétablie. Burkhard et *al.* (2009, 2012) ont proposé une méthode basée sur l'occupation des sols, évaluant les classes d'occupation définies par la classification européenne CORINE Land Cover selon leur capacité à produire des SE. D'autres auteurs ont adopté cette approche, combinant plusieurs classifications de l'occupation des sols (européennes et nationales) avec des données satellitaires (images LANDSAT, MODIS, etc.) pour évaluer les SE à l'échelle locale ou régionale, permettant ainsi d'obtenir des résultats plus détaillés (Egoh et *al.*, 2009 ; Eigenbrod et *al.*, 2010 ; Vihervaara et *al.*, 2010 ; Kandziora et *al.*, 2013).

Les méthodes économiques : Elles sont également largement utilisées. Parmi celles-ci, les transferts de bénéfices, les coûts de remplacement, les coûts d'opportunité et l'attribution de prix sur le marché sont les plus courants. Cependant, ces approches présentent des limites importantes et sont critiquées car elles ne prennent pas en compte les processus sous-jacents, ce qui rend difficile la compréhension des facteurs de contrôle et donc la mise en place de politiques publiques efficaces (Le Clec'h et *al.*, 2014).

Malgré la diversité des méthodes et des outils utilisés pour cartographier les services écosystémiques (SE), la question de la définition de l'échelle demeure cruciale. À ce jour, aucune règle n'a clairement établi quelle échelle convient à quel service. L'échelle peut être déterminée soit par l'étendue, soit par la résolution : l'étendue se réfère à la taille ou à une dimension, comme la superficie d'une zone d'étude ou la durée correspondante, tandis que la résolution se rapporte à la précision des mesures effectuées (De Groot et *al.*, 2009). Cette notion d'échelle peut donc être considérée à divers niveaux, allant du local (tel que la pollinisation, la fourniture de matériaux) au national (comme les ressources en eau d'un pays) ou international (comme le cycle mondial de l'eau, la production totale d'oxygène, la conservation de la

biodiversité mondiale). De plus, les échelles varient également dans le temps : les cycles de l'eau et des éléments chimiques comme l'oxygène, le carbone et l'azote se déploient à travers la biosphère sur des durées très longues. Malgré l'importance de cette notion, peu d'études l'ont prise en compte dans l'évaluation des SE. À cet égard, Portman (2013) souligne dans son article la nécessité de développer une méthode précise pour évaluer les SE au-delà de l'échelle locale (ou dans certains cas, des unités paysagères) afin de les intégrer dans les politiques gouvernementales de gestion durable.

#### **13.4. Cartographie des changements d'occupation du sol**

La FAO (1994) définit l'occupation du sol comme étant "la couverture biophysique de la surface des terres émergées", ce qui implique les divers types d'utilisation (ou de non-utilisation) des terres par l'homme. Cette variable revêt une importance cruciale pour la planification régionale ainsi que pour la recherche et la compréhension de l'environnement (Foody, 2002). Dans de nombreuses régions du monde, cette occupation du sol subit des changements rapides et significatifs, notamment là où la pression anthropogénique est élevée. Ces changements se manifestent par l'expansion urbaine dramatique, l'intensification de l'agriculture et l'exploitation des ressources forestières (Khaznadar et Fenni, 2015). Ils peuvent être observés à différentes échelles, allant du global au local, et entraînent des perturbations dans les paysages naturels, influant sur la dynamique de la végétation, la configuration de l'occupation des sols et la biodiversité (Sitayeb et Benabdeli, 2008 ; Haines-Young, 2009). L'une des principales applications de l'imagerie satellitaire est la détection des changements, notamment dans les secteurs de la foresterie et de l'agriculture, grâce à la couverture répétée à de courts intervalles et à la qualité cohérente des images (Singh, 1989). Le concept de détection des changements repose sur la comparaison des différences entre les réponses spectrales d'une même région sur des images satellites prises à différentes dates (Durrieu et Deshayes., 1994). Pour ce faire, diverses techniques sont utilisées en fonction des objectifs spécifiques de chaque étude, telles que la post-classification, l'analyse en composantes principales, l'analyse de changement de vecteurs et le rationnement (Mas , 2000).

---

# *Chapitre II*

## *Notion de bases en Télédétection*

---

## **1. Qu'est-ce que la télédétection ?**

La télédétection implique l'enregistrement, l'observation et la perception à distance d'objets ou d'événements. Les capteurs utilisés ne sont pas en contact direct avec ce qui est observé. Cela englobe la collecte d'informations sur la surface terrestre et l'atmosphère à l'aide de capteurs installés sur des véhicules aériens tels que des avions, des ballons ou des satellites (Weng, 2010).

Une autre définition de la télédétection la décrit comme une technique permettant d'obtenir des informations sur la surface terrestre sans nécessiter de contact direct, en acquérant des images. Ce processus comprend la capture et l'enregistrement de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, suivi du traitement et de l'analyse des données, pour finalement appliquer ces informations (CCT, 2008).

En général, la télédétection se divise en deux catégories : active et passive. La télédétection passive consiste à enregistrer le rayonnement naturel, tel que la lumière ou la chaleur, qu'il soit émis, réfléchi ou réfracté (par exemple, les photographies aériennes) du paysage éclairé par la lumière du soleil, ainsi que certaines images satellitaires comme SPOT, LANDSAT, IKONOS. La télédétection active, quant à elle, enregistre le rayonnement réfléchi par l'objet ou le paysage éclairé par l'opérateur (par exemple, les images radar).

## **2. L'application de télédétection pour l'étude de la végétation**

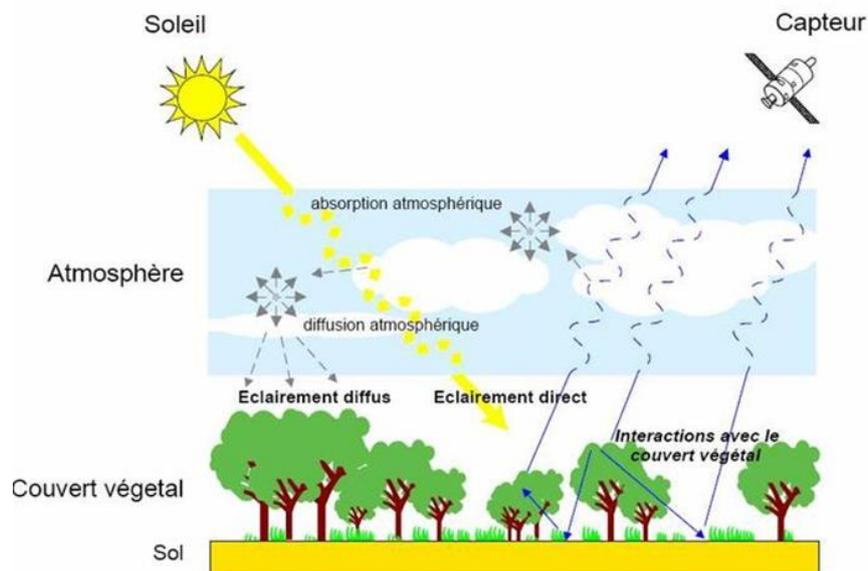
La télédétection offre une multitude d'applications pour l'étude de la végétation. Elle a été utilisée dans diverses recherches, notamment pour décrire, identifier et cartographier la végétation et l'occupation du sol, étudier la déforestation tropicale, la photosynthèse et l'évapotranspiration, évaluer la biomasse, la productivité des systèmes agricoles, la phénologie forestière, ainsi que pour étudier les coupes, la régénération, la défoliation foliaire et le dépérissement des couverts forestiers (Soudani, 2005).

Selon le CCT (2008), le principe de la télédétection pour l'étude de la végétation repose sur la capacité de la chlorophylle à absorber fortement le rayonnement dans les longueurs d'onde du rouge et du bleu, tandis qu'elle réfléchit le vert. Les scientifiques exploitent également l'infrarouge pour évaluer la santé de la végétation.

Selon le CCT (2008), les applications de la télédétection sont synthétisées comme suit :

- Actualisation de l'état du couvert forestier.
- Surveillance de la réduction des ressources forestières.

- Évaluation des caractéristiques biophysiques des forêts.
- Récolte d'informations sur les récoltes forestières.
- Actualisation des inventaires pour les autorisations de coupe.
- Classification des types de forêts et identification des espèces.
- Évaluation de la densité végétale.
- Mesure de la biomasse.
- Suivi de la qualité et de la santé des forêts.
- Surveillance de la diversité forestière mondiale.
- Détection des dommages subis par les forêts.
- Cartographie des zones affectées par les incendies



**Figure 06:**L'étude de la végétation par la télédétection (Source : Benhadj, 2008))

### 3. L'imagerie satellitaire

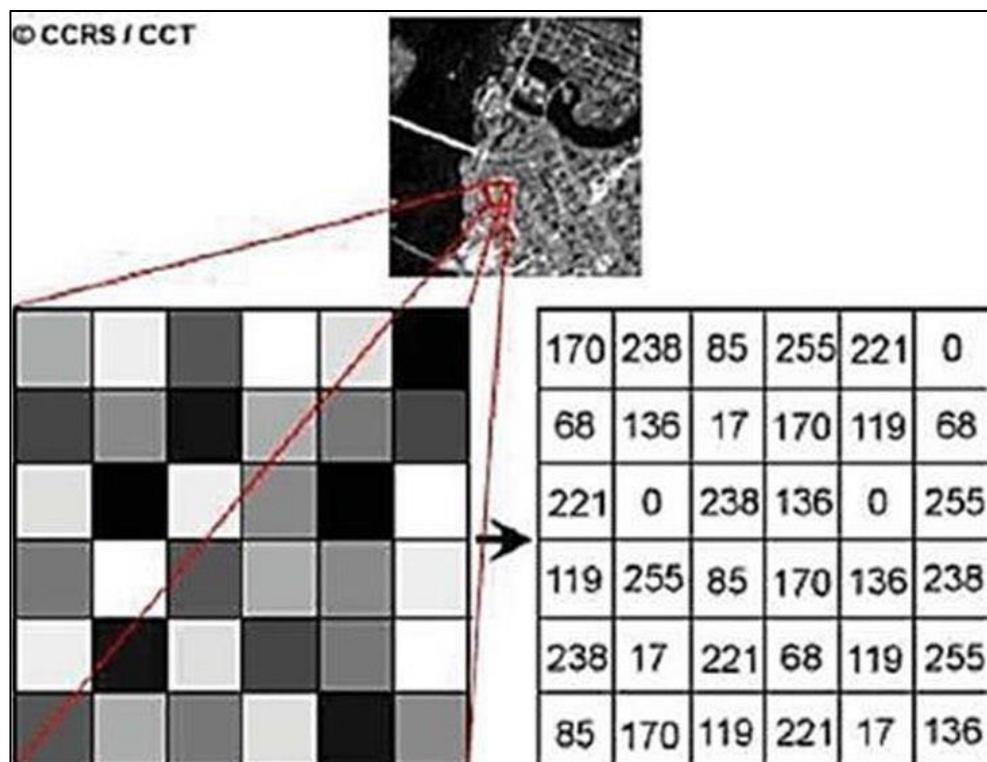
#### 3.1. Définition de l'imagerie satellite

Les images capturées par les satellites d'observation sont largement diffusées à la fois sous forme de reproductions photographiques et sous forme de données numériques. La distribution numérique se fait principalement sur des supports magnétiques, profitant des progrès technologiques actuels en matière d'affichage et de visualisation couleur, ainsi que de la

disponibilité étendue de logiciels de traitement informatique, résultant notamment de la prolifération généralisée de la micro-informatique (Gérard, 1987).

### 3.2. Caractéristiques des images satellitaires

L'énergie électromagnétique peut être capturée de deux manières : photographique ou électronique. Le processus photographique implique une réaction chimique sur une surface sensible à la lumière pour enregistrer les variations d'énergie. En télédétection, il est essentiel de différencier les termes "image" et "photographie". Une image est une représentation graphique de l'énergie électromagnétique, quelle que soit la longueur d'onde ou la méthode de capture utilisée. Une photographie, quant à elle, fait référence spécifiquement à une image capturée sur une pellicule photographique. Cette photographie peut être numérisée et affichée en format numérique en divisant l'image en petits éléments, appelés pixels, chacun représentant la luminosité par une valeur numérique. Dans le cas présent (Figure 7), la photographie a été numérisée, subdivisée en pixels, et chaque pixel a été attribué d'une valeur numérique correspondant à son niveau de luminosité. Ainsi, l'ordinateur affiche chaque valeur numérique comme une intensité lumineuse. Les capteurs enregistrent alors électroniquement cette énergie sous forme numérique, organisée en rangées de chiffres (CCT, 2008).



**Figure 07:** Représentation du principe de pixel (Source : CCT .2008)

### **3.3. Avantage des images satellitaires**

Selon Soubirane (2001), l'utilisation de l'imagerie satellitaire présente plusieurs avantages par rapport à d'autres méthodes d'observation du sol telles que l'imagerie aérienne, les relevés sur le terrain et les cartes géographiques :

**Rapidité** : Le délai nécessaire pour obtenir des images satellitaires d'une région spécifique dépend uniquement de la planification de l'orbite du satellite.

**Économie** : Les images satellitaires offrent une couverture très étendue à moindre coût.

**Universalité** : Elles sont indépendantes des frontières géographiques ou politiques.

**Facilité de mise à jour** : L'information peut être régulièrement renouvelée avec des délais courts.

**Richesse de détails** : Les capteurs sont sensibles à un large spectre de lumière, fournissant ainsi des informations variées sur l'occupation du sol.

### **3.4. Utilité des images satellites dans la foresterie**

Les bénéfices énumérés comprennent (Environmental Systems Research Institute. 2009) :

- Élaboration de cartes détaillées de la composition des forêts.
- Capacité à évaluer diverses caractéristiques telles que la superficie totale et la superficie au sol des forêts, la hauteur dominante des peuplements, le volume de bois, la croissance des peuplements, la productivité et la densité de la végétation.
- Actualisation des cartes topographiques et de l'occupation des sols.
- Détection des risques d'incendie forestier.
- Combinaison de données optiques et radar pour la cartographie forestière.
- Surveillance des changements dans l'étendue des forêts au fil du temps.

### **3.5. Présentation générale des satellites utilisés dans la télédétection**

Les satellites utilisés pour observer la Terre présentent une diversité de configurations, incluant leur orbite, leur cargaison utile, et les caractéristiques de leurs instruments d'imagerie tels que la résolution spatiale, les propriétés spectrales et la largeur de la bande de capture. Ces paramètres sont ajustés dès le début de la phase de conception de la mission en fonction de l'objectif spécifique pour lequel le satellite est destiné. Selon Lassieur (2006), la première étape d'un projet impliquant l'utilisation de données de télédétection consiste à sélectionner le capteur

le mieux adapté à l'étude. Ce choix doit satisfaire à plusieurs critères, incluant la fréquence de révision dans le cas d'analyses temporelles multiples, la disponibilité des archives de données et la continuité du programme. Il est également important que la portée de chaque scène individuelle corresponde à l'échelle de la zone à étudier, car il est généralement plus facile d'analyser une seule scène plutôt qu'une mosaïque de scènes. Les paramètres de résolution et les propriétés spectrales doivent être sélectionnés de manière à permettre l'identification adéquate du phénomène observé. Tous ces éléments doivent être combinés de manière à atteindre un compromis optimal. En outre, le coût des images est un facteur crucial dans la prise de décision finale. La plupart des capteurs actuellement disponibles offrent la possibilité d'acquérir des images dans une gamme de modes spectraux différents.

### 3.6. Caractéristiques des satellites

Différentes familles de satellites d'observation de la Terre existent, comprenant notamment Landsat, un satellite américain initialement lancé en 1972, Spot, un satellite français mis en orbite en 1986, ainsi que Quick Bird, Ikonos et Alsat, ce dernier étant un satellite algérien.

Pour choisir le capteur le plus approprié, les caractéristiques des satellites les plus fréquemment utilisés ont été synthétisées dans (Tableau)

	Satellite or sensor name	Launch date	Average revisit period	Resolution			Average swath in Km
				Pan	VNIR	SWIR	
<b>Meduim Resolution</b>	Aster (Terra)	12/15/99	16 days	None	15m	30m	60
	Landsat 7	04/15/99	16 days	15m	30m	30m	185
	Spot 5	05/04/02	26 days (variable)	10 up to 2.5m	10 up to 2.5m	None	120
<b>High Resolution</b>	Quick Bird II	10/18/01	1 to 3.5 days	0.6m	2.5m	None	16
	Ikonos II	09/24/99	3 days	1m	4m	None	11.3
	LISS (IRS)	10/17/03	24 days	6m	> 6m	None	24 to 140
	Orbview 3	06/26/03	1.5 days	1m	4m	None	8

**Figure 08:**Caractéristiques des satellites les plus couramment utilisés

La qualité des images numériques est déterminée par la densité de pixels par millimètre. En télédétection, la résolution des images est indiquée par la dimension de la zone représentée par un seul pixel. Chaque pixel dans l'image représente une section de la surface terrestre (Satellite Imaging Corporation, 2007).(figure 08 )

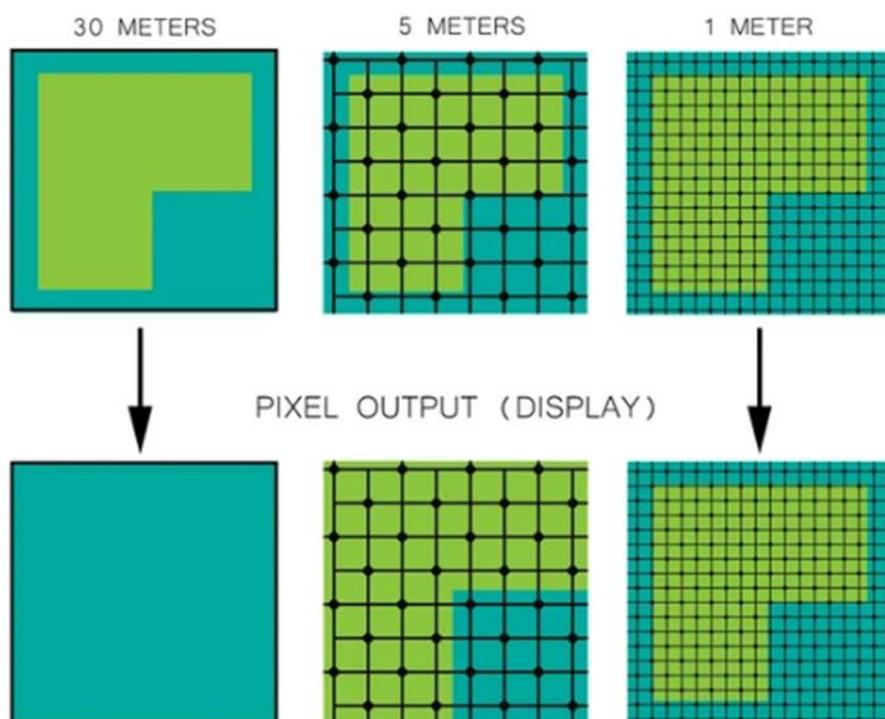
### **A) Résolution spectrale**

Les capteurs embarqués à bord des satellites enregistrent le rayonnement réfléchi ou émis par les objets terrestres dans des plages spécifiques de longueurs d'onde, en fonction de leurs spécifications techniques. La résolution spectrale se réfère à la capacité du capteur à différencier les diverses fréquences du rayonnement électromagnétique. Une résolution spectrale plus élevée est obtenue lorsque le capteur est plus réceptif aux variations fines des longueurs d'onde, c'est-à-dire à des intervalles de longueur d'onde plus étroits. Cette résolution dépend du dispositif de filtrage optique qui sépare l'énergie captée en bandes spectrales de différentes largeurs

### **B) Résolution spatiale**

La résolution des images numériques est établie en fonction du nombre de pixels par millimètre. En télédétection, la résolution des images est décrite en termes de la dimension de la zone qu'un pixel représente. Chaque pixel de l'image représente une fraction de la surface terrestre, ce qui est souvent désigné sous le nom de "résolution-sol".

Les spécifications de résolution des satellites les plus utilisés pour l'observation de la Terre sont répertoriées dans le tableau



**Figure 09:** schéma représentant la résolution spatiale (Satellite Imaging Corporation, SIC, 2007)

**Tableau 3:**Résolution de quelques satellites. (Source : Bertrand, 2002)

Satellite	Capteur	Resolution-sol
Landsat	MISS	80m
Landsat	Thematic Mapper	30m
Spot	XS (multispectral)	20m
Spot	Panchromatique	10m
Ikonos	Multispectral	4m
Ikonos	Panchromatique	1m

#### 4. Techniques de classification

L'objectif général des classifications est de convertir les informations spectrales en classes thématiques, telles que l'occupation du sol, par exemple. La segmentation de l'image en classes thématiques est également appelée zonage. Deux types de méthodes de classification sont utilisés pour analyser les changements environnementaux : la classification non supervisée et la classification supervisée. Selon Terras (2011), ces techniques sont décrites comme suit :

- **Classification non supervisée** : Cette méthode est réalisée sans l'utilisation de données de terrain. Il s'agit d'une segmentation entièrement mathématique des données radiométriques en un nombre prédéfini de classes. Des algorithmes de classification, comportant plusieurs itérations, sont utilisés pour regrouper les pixels ayant des signatures spectrales similaires. Ensuite, l'utilisateur identifie et nomme chaque classe créée par l'algorithme. Un exemple d'algorithme de classification non supervisée est la méthode "agrégation autour des centres mobiles" ou méthode ISODATA.
- **Classification supervisée** : Cette méthode consiste à attribuer des pixels à des classes thématiques en se basant sur une connaissance préalable de la zone d'étude. Les classes sont définies à partir de zones d'apprentissage, qui sont des échantillons représentatifs des classes. Les étapes de cette méthode de classification comprennent :
  - **Établissement de la légende** : sélection des catégories appropriées en fonction des objectifs de recherche.
  - **Identification des échantillons représentatifs** : pour chaque type d'occupation du sol, des zones représentatives appelées échantillons sont identifiées sur l'image. Idéalement, deux ensembles d'échantillons sont définis : des zones d'apprentissage, utilisées pour caractériser les classes en termes de valeurs, et des zones de test, utilisées pour vérifier la classification.
  - **Description des classes** : les caractéristiques des classes sont décrites en utilisant des paramètres statistiques tels que la moyenne, le minimum, le maximum, la variance, etc., calculés à partir des zones sélectionnées.
  - **Sélection d'un algorithme de classification** : le choix de l'algorithme de classification et des règles de décision appropriées est crucial. Les classifications reposent sur des critères de distance ou de probabilité (tel que le maximum de vraisemblance, la distance minimum, etc.). À ce stade, il est important d'évaluer la composition et la distinctivité des classes visuellement, en examinant des représentations graphiques des signatures spectrales (telles que des courbes de signatures, des histogrammes, des diagrammes bidimensionnels, etc.).
- **Évaluation de la classification** : le résultat de la classification est évalué en le comparant à des données de référence, pouvant être obtenues à partir de zones de test sélectionnées sur l'image, d'autres cartes ou images, ainsi que des relevés sur le terrain. L'interprétation des données multispectrales est souvent réalisée par une méthode statistique de classification par maximum de vraisemblance, généralement considérée comme la plus fiable.

## **5. Les indices de végétation**

Dans le domaine des études sur la végétation, les chercheurs ont développé des indices visant à mettre en évidence les différences spectrales en se basant sur l'absorption prononcée des plantes (grâce à la présence de chlorophylle) dans les longueurs d'onde rouge et proche infrarouge du spectre électromagnétique (Singh, 1989). Parmi ces indices, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est largement utilisé selon Gessesse, et Melesse, (2019). Selon Mas (2000), le NDVI permet d'atténuer les effets des variations de luminosité, de pente, de type de sol et de structure végétale, tout en fournissant des informations précieuses sur les différents types de végétation et l'état du couvert végétal. Le NDVI est calculé à l'aide de la formule suivante :  $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ , où NIR représente la réponse d'un pixel dans le proche infrarouge (à 0,65  $\mu m$ ) et R est la réponse dans la bande du rouge (à 0,45  $\mu m$ ) (Durrieu et Deshayes., 1994).

Les indices NDVI fournissent des indications sur la présence ou l'absence de végétation ainsi que sur sa densité, ce qui les rend précieux pour comparer des données qualitatives ou quantitatives lors d'études sur les changements dans l'occupation du sol, étant donné que la végétation est souvent le principal indicateur d'occupation du sol (Alphan and Derse, 2013). La technique de soustraction d'images est largement utilisée, elle repose sur la différence des valeurs numériques des pixels entre deux images satellites prises à des dates différentes (Singh, 1989).

Tableau 4: Les indices de végétation les plus utilisés

Dénomination	Formule	Auteurs
Différence	R - PIR	Monget (1980)
Rapport	RVI = PIR / R ou d'autres canaux Indice pigmentaire XS1 / XS2 (SPOT)	Knipling (1970), Viollier et al. (1985)
Indice de végétation par différence normalisée	NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)	Rouse et al. (1974), Tucker (1979)
Indice de végétation transformé	TVI = (NDVI + 0,5) <sup>1/2</sup>	Deering et al. (1975)
Indice perpendiculaire de végétation	PVI = (PIR - aR - b) / (a <sup>2</sup> +1) <sup>1/2</sup> où a est la pente de la droite des sols et b son ordonnée à l'origine	Richardson & Wiegand (1977)
Modèle "Tasseled cap"	formule générale: a1(V) + a2(R) + a3 (PIR) + a4(PIR) où a1, a2, a3, a4 sont des constantes dépendant du capteur (MSS ou TM)	Kauth & Thomas (1976)
Indice de verdure (issu du précédent)	GVI = -b1(V)-b2(R)+b3(PIR) +b4(PIR) où b1, b2, b3, b4 sont des constantes dépendant du capteur (MSS ou TM)	Jackson (1983)

---

# *Chapitre III*

*Matériel et méthodes*

---

## 1. Présentation de la forêt domaniale de Mouia

### 1.1. Localisation géographique

Appartenant au grand domaine de l'Atlas Tellien, la zone d'étude se situe à environ 30 Kms de Constantine par la Route Nationale n° 27, qui mène à la Wilaya de Jijel. Un autre itinéraire permet l'accès à la forêt domaniale de "Mouia" suivant la nouvelle Route Nationale et les chemins de Wilaya n° 102 et 8.

### 1.2. Situation administrative et juridique

Répartie essentiellement sur la bande extrême Nord de la Wilaya de Mila, la zone d'étude englobe la forêt domaniale des "Mouias" s'étend administrativement sur les communes de : Minar-Zarza, Teasala-Lematal, Amira-Arras, Terral-Bal-nem et Chigara. Quant à la Daira de Grarem-Gouga, seule la commune où est implanté le chef-lieu de Daira, renferme deux taches situées sur le versant Sud du Djebel de Sidi-Driss, couvrant une superficie de 2357 hectares.

La zone d'étude se localise, entre les coordonnées géographiques suivantes :  $36^{\circ}32'41''$  et  $36^{\circ}34'48''$  de latitude Nord, et entre  $6^{\circ}24'00''$  et  $6^{\circ}28'10''$  de longitude Est.

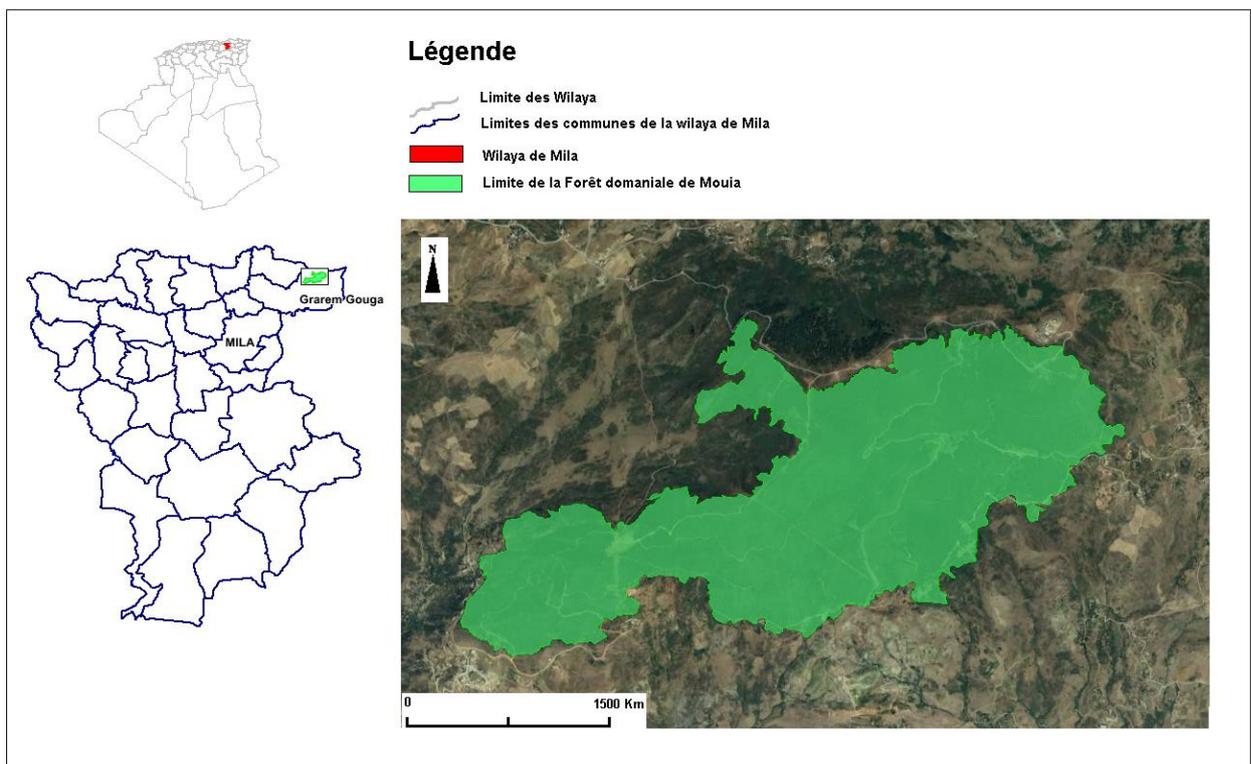


Figure 10: Situation géographique de la région de Mouia

### **1.3. Formation géologique**

La zone d'étude dans la chaîne Alpine d'Afrique du Nord se distingue par son contexte géologique complexe, marqué par la présence de nappes de charriage. Ces nappes représentent de vastes étendues de terrains allant de l'Antécambrien au Miocène inférieur, qui ont été déplacées horizontalement sur des distances considérables, se présentant sous forme d'écaillles épaisses. Leur dépôt s'est effectué selon des modalités diverses et complexes, comme le soulignent Caire (1971).

La géologie de cette région est intimement liée à celle du bassin versant de l'Oued El Kebir-Enja,. Ce bassin versant est composé de plusieurs régions géologiques, chacune correspondant à des zones litho-stratigraphiques et tectoniques distinctes(Quinquas, 2017).

### **1.4. Pédologie**

La forêt domaniale de Mouia est principalement constituée de roches sédimentaires, principalement du grès nu Les sols minéraux bruts se subdivisent en plusieurs catégories distinctes, reflétant les variations de leur formation et de leur évolution. Selon l'étude établie en 1994 par le Bureau National des Etudes Forestières (BNEF), Les grands types de sols représentatifs existants dans la forêt de Mouia se répartissent se classent en plusieurs catégories distinctes, chacune présentant des caractéristiques spécifiques. La première classe, celle des sols minéraux bruts, se subdivise en différentes sous-classes. Parmi celles-ci, on trouve les sols minéraux bruts non climatiques, qui à leur tour se divisent en plusieurs groupes, dont les Lithosols, caractérisés par leur présence sur les crêtes rocheuses, les escarpements et les affleurements rocheux de relief.

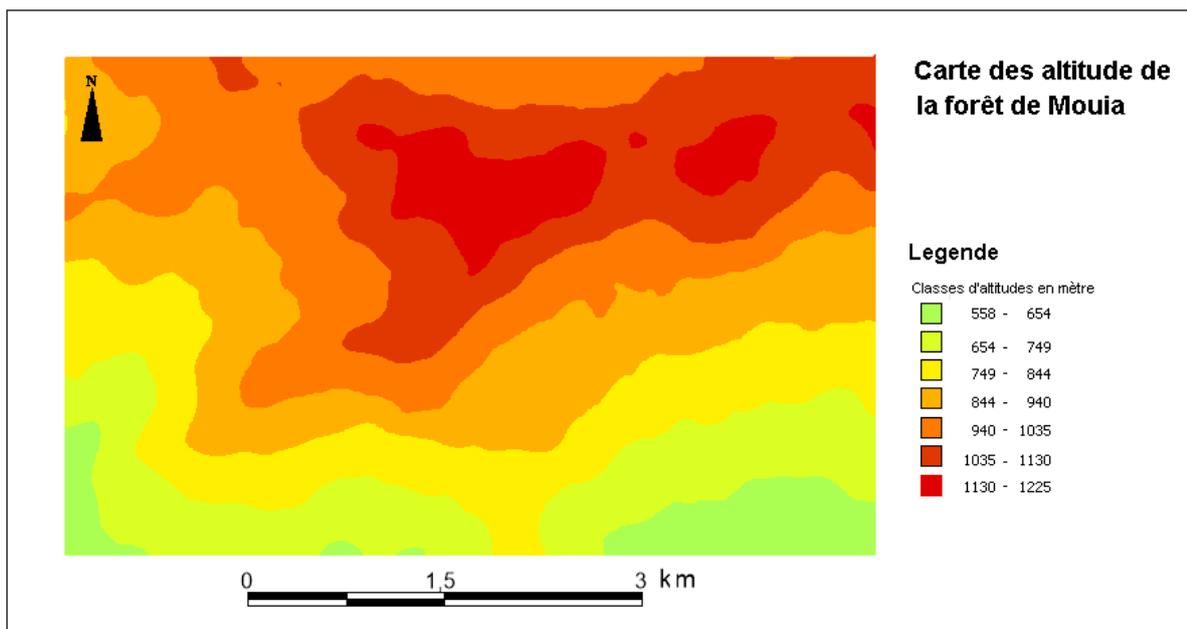
Ces Lithosols se composent principalement de roches gréseuses telles que le grès numidien ou le grès quartziteux. Dépourvus de matériau meuble, ils accumulent principalement des résidus dans les fissures rocheuses. La végétation qui les colonise est principalement herbacée, bien que dans certaines conditions favorables, elle puisse être arbustive. En termes d'utilisation. Les observations des sols dans la forêt domaniale Mouia ont permis décrit que la quasi-totalité des sols forestiers appartiennent à la classe des sols brunifiés. De plus, ces sols se révèlent tous être acides. Les espèces arborescentes présentes dans ces milieux sont typiquement calcifuges et acidophiles, comprenant notamment le chêne-liège et le chêne zeen, ainsi que diverses autres espèces arbustives. (BNEF, 1994).

### 1.5. Relief

Le massif boisé de Mouia domine la vaste dépression de Constantine dans la région montagneuse tellienne numide. Il présente un relief escarpé, orienté vers le sud, avec des pentes atteignant jusqu'à 25 %. En ce qui concerne les cours d'eau, il n'y a pas de rivières permanentes dans la forêt de Mouia ; seuls des écoulements se forment après de fortes pluies sur les pentes. Huit sources ont des débits allant de 1 à 5 litres. Plusieurs petits cours d'eau affluent dans l'Oued Smendou, dont le débit est régulé par l'action de la forêt (BNEF, 1994).

#### a) Altitude

La région de Mouia présente une variation d'altitude significative, allant de 558 à 1225 mètres, avec une prédominance de zones situées entre 844 et 1035 mètres. Les altitudes les plus basses (558-654 m) représentent seulement 0,59% de la région, suggérant des vallées ou des plaines restreintes. Les altitudes légèrement plus élevées (654-749 m) couvrent 15,64% de la région, indiquant des plaines surélevées ou de bas plateaux

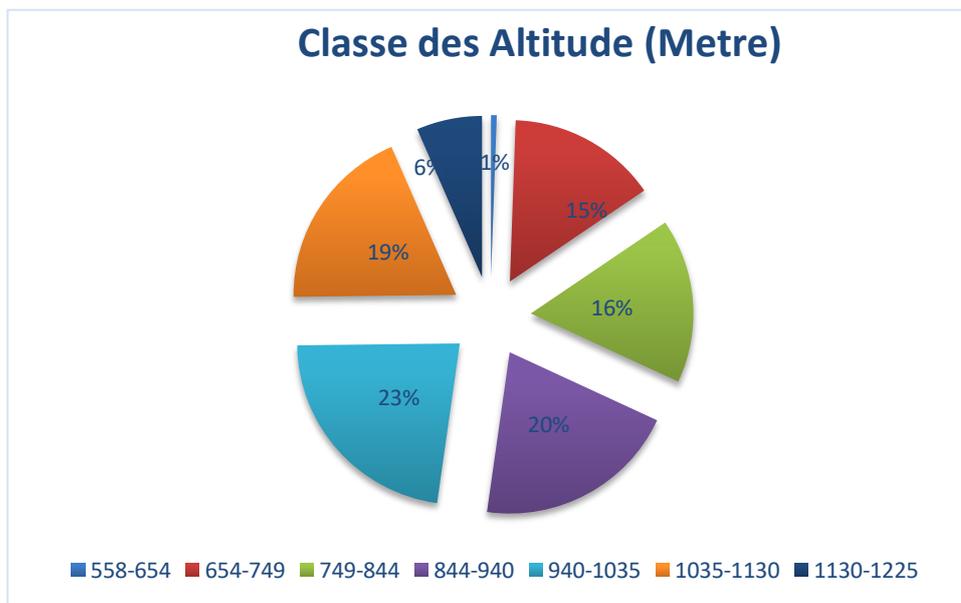


**Figure 11:** Carte d'altitude de la zone d'étude ; Forêt dominicale de Mouia

Les altitudes de 749 à 844 mètres couvrent 17,27% du relief, correspondant à des plateaux plus élevés ou des collines modérées. La majorité du relief se trouve entre 844 et 940 mètres (21,30%) et entre 940 et 1035 mètres (23,69%), ce qui indique des plateaux élevés et des montagnes modérées comme caractéristiques principales. Les altitudes entre 1035 et 1130 mètres, représentant 19,60%, suggèrent des sommets montagneux ou des hauts plateaux, tandis que les altitudes les plus élevées (1130-1225 m) couvrent 6,84%, indiquant des sommets ou

crêtes les plus élevés de la région. Cette distribution variée des altitudes suggère que la région de Mouia possède une diversité topographique, potentiellement associée à une variété de microclimats et d'habitats naturels influencés par ces variations d'altitude.

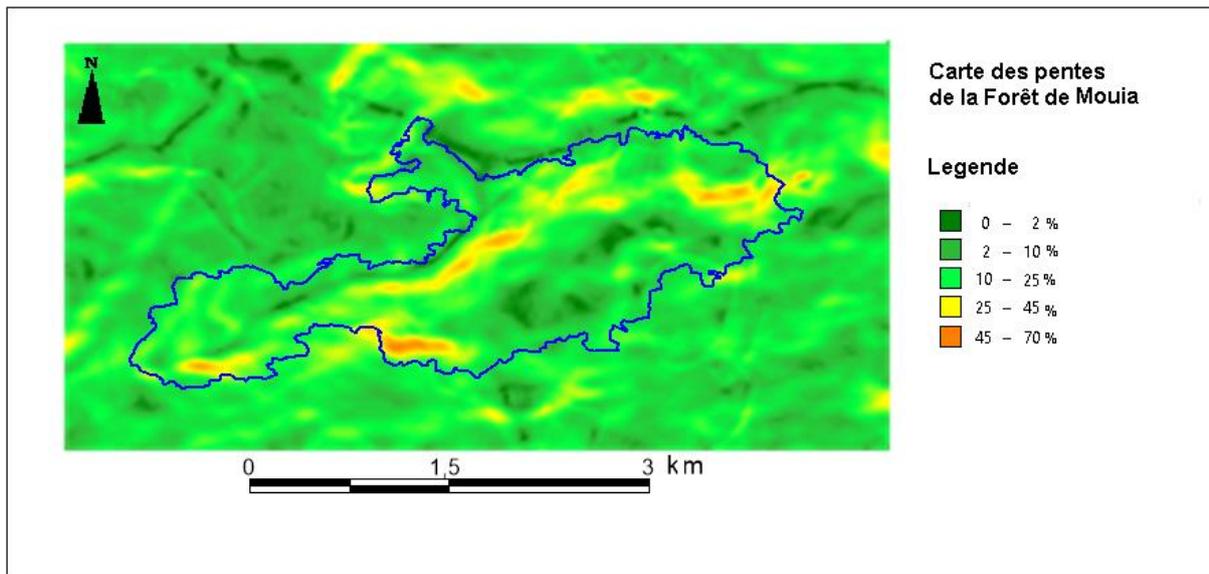
La répartition montre que la majorité de la région se situe entre 844 et 1035 mètres d'altitude, avec les classes 940-1035 m (23,69%) et 844-940 m (21,30%) ayant les proportions les plus élevées de pixels. Les classes extrêmes, 558-654 m et 1130-1225 m, sont les moins représentées, couvrant respectivement environ 0,59% et 6,84% de la région.



**Figure 12:** Classe des altitudes de la région de Mouia (en mètre)

### b) La pente

La région de Mouia est principalement constituée de pentes douces à modérées (2-25%), représentant environ 88.14% de la région. Ces zones sont favorables à l'agriculture et à l'implantation humaine avec des mesures de gestion appropriées. Les zones de pente plus raide (25-70%) sont moins courantes (environ 4.14%) et présentent des défis significatifs pour l'utilisation humaine sans des techniques de gestion du sol adéquates.



**Figure 13:** Carte des pentes de la région d'étude

La région de Mouia présente une diversité de classes de pentes, chacune ayant des implications spécifiques pour l'utilisation des terres. Les zones quasiment plates (0-2% de pente), représentant 7,71% de la surface, sont idéales pour les activités agricoles et les infrastructures en raison de la faible érosion et de la facilité de construction. Les terrains légèrement inclinés (2-10%), couvrant 44,68% de la région, sont également propices à l'agriculture et au développement urbain, bien que des mesures de gestion de l'eau soient parfois nécessaires pour prévenir l'érosion.

Les pentes modérément inclinées (10-25%), qui représentent 43,47% de la région, peuvent accueillir certaines cultures agricoles et des pâturages, mais nécessitent des pratiques de conservation des sols pour limiter l'érosion. Les zones assez pentues (25-45%), couvrant 3,09% de la région, sont moins adaptées à l'agriculture et sont souvent destinées à la sylviculture, nécessitant des techniques comme les terrasses pour réduire l'érosion. Enfin, les terrains très escarpés (45-70%), représentant 1,05% de la surface, sont généralement impropres à l'agriculture et sont souvent couverts de forêts ou laissés à l'état naturel, nécessitant une gestion stricte de l'érosion pour éviter les glissements de terrain. Globalement, la répartition des pentes indique que la région de Mouia a un potentiel pour diverses utilisations, mais que des pratiques spécifiques de gestion des sols et de l'eau sont nécessaires pour assurer une utilisation durable des terres.

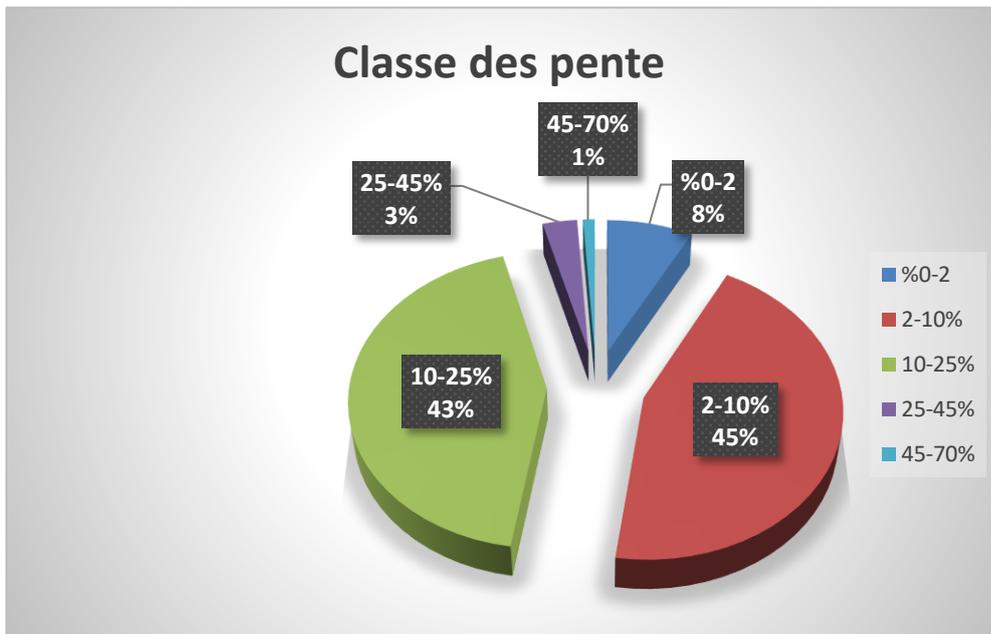


Figure 14: Classe des pentes de la région de Mouia

c) L'exposition

La région de Mouia présente une variation significative des expositions des pentes. La classe d'exposition sud-est est la plus prédominante, couvrant 61,53 % des pixels, ce qui suggère que la majorité des pentes de la région sont orientées vers le sud-est, influençant potentiellement la géomorphologie et les conditions climatiques locales

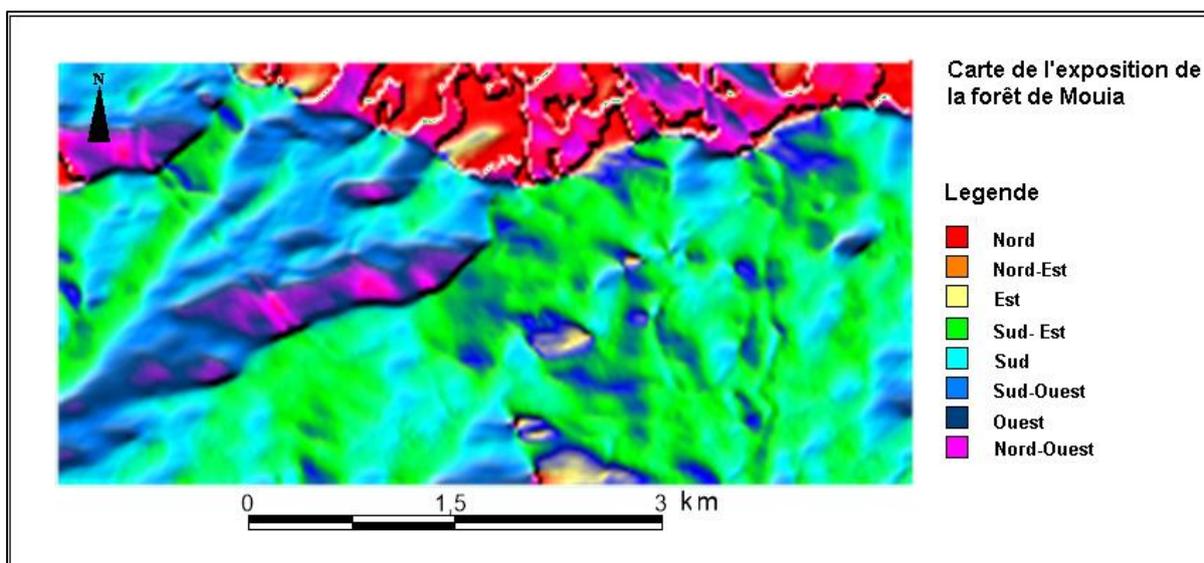


Figure 15: Carte d'exposition topographique de la région d'étude.

Les pentes orientées vers le sud représentent 14,03 %, tandis que celles orientées vers le sud-ouest constituent 10,46 %. Ces orientations peuvent affecter l'ensoleillement et les écoulements

d'eau. Les expositions ouest (6,06 %), nord-ouest (3,75 %), nord (3,34 %), nord-est (0,95 %) et est (0,56 %) sont beaucoup moins fréquentes, indiquant une diversité topographique plus restreinte dans ces directions. Cette répartition des pentes est indicative de la topographie générale et des influences climatiques de la région d'étude.

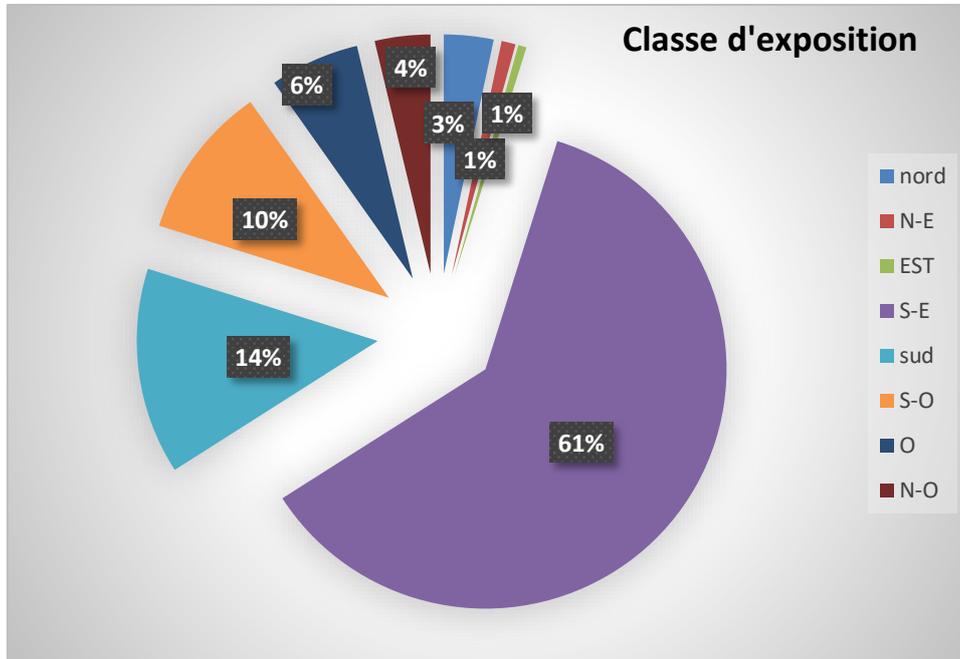


Figure 16: Classes d'exposition de la région de Mouia

### 1.6. Climat

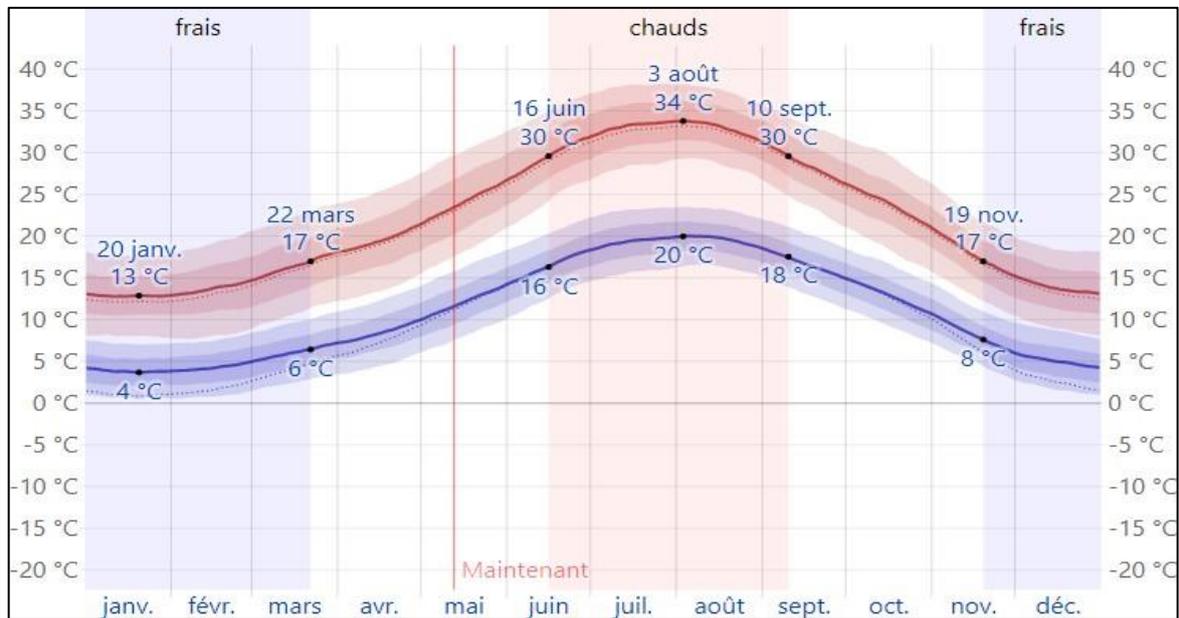
Le climat de Mila se caractérise par des étés courts, très chauds, secs et éclairés, tandis que les hivers sont relativement longs et frais, avec en moyenne 600 mm de précipitations. Les températures oscillent généralement entre 4 °C et 34 °C tout au long de l'année, rarement en dessous de 1 °C ou au-dessus de 38 °C.

La forêt de Mouia se trouve sous l'influence d'un climat méditerranéen caractérisé par une humidité modérée et douce. Son régime climatique est principalement déterminé par deux facteurs : les précipitations et la température (Boulbair et Soufane, 2011). Voici ses principales caractéristiques :

#### A. Température

La température est un élément crucial dans la détermination du climat local. L'été à Mila s'étend sur 2,8 mois, du 16 juin au 10 septembre, avec des températures quotidiennes moyennes dépassant les 30 °C. Juillet est le mois le plus chaud, avec une température maximale moyenne de 33 °C et une minimale de 19 °C.

L'hiver dure 4,1 mois, du 19 novembre au 22 mars, caractérisé par des températures quotidiennes moyennes maximales en dessous de 17 °C. Janvier est le mois le plus froid, avec une température minimale moyenne de 4 °C et maximale de 13 °C.



**Figure 17:** La température moyenne mensuelle maximale (ligne rouge) et minimale (ligne bleue)

## B. Précipitations

Un jour de précipitation se définit comme une journée où l'on observe une accumulation d'eau d'au moins 1 millimètre, et cette occurrence varie tout au long de l'année à Mila.

La période la plus pluvieuse s'étend sur 9,0 mois, du 1er septembre au 3 juin, Janvier détient le record du nombre de jours de précipitation à Mila, avec une moyenne de 8,3 jours présentant au moins 1 millimètre de précipitations.

La saison la moins pluvieuse couvre 3,0 mois, du juin au septembre. Juillet enregistre le moins de jours de précipitation, avec une moyenne de 1,4 jour présentant au moins 1 millimètre de précipitations.

Concernant les jours de précipitation, ils peuvent être caractérisés par de la pluie seule, de la neige seule ou un mélange des deux. Janvier se distingue comme le mois avec le plus grand nombre de jours de pluie seule à Mila, avec une moyenne de 8,1 jours. Globalement, la forme de précipitation la plus courante tout au long de l'année à Mila est la pluie seule.

La répartition des espèces dans les aires biogéographiques est influencée par le volume annuel des précipitations (Ramade, 1984).

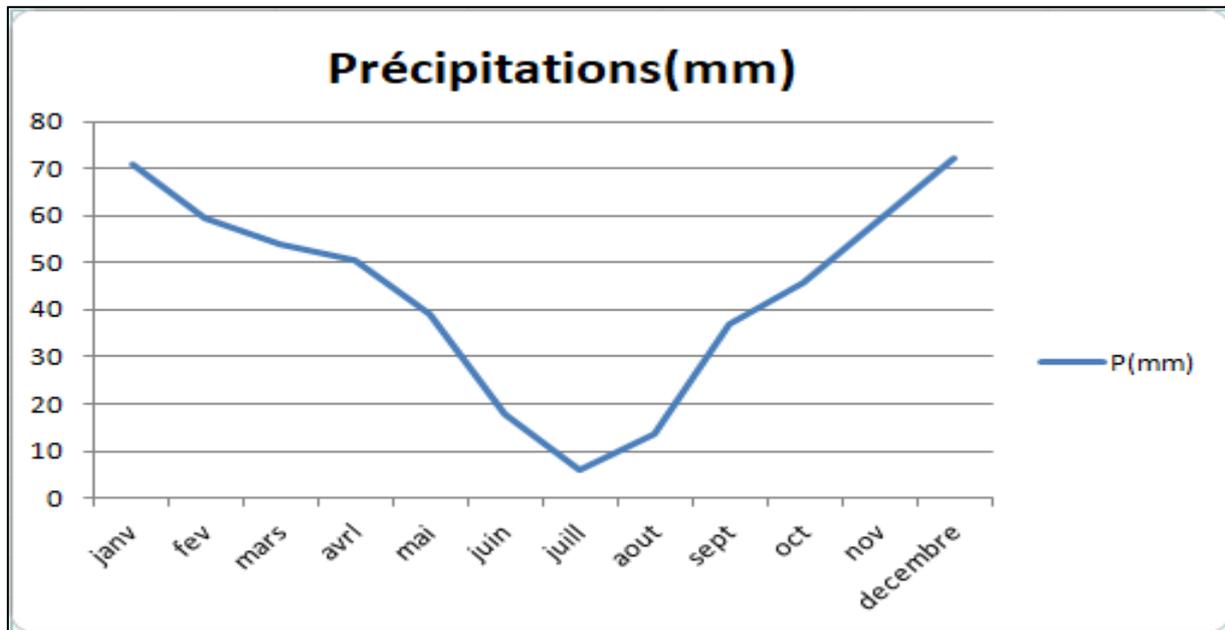


Figure 18: Courbe de précipitations mensuelles

### C. Vent

La vitesse moyenne horaire du vent à Mila présente une variation saisonnière modérée tout au long de l'année.

La période la plus venteuse de l'année s'étend sur 5,8 mois, de novembre à la fin avril, avec des vitesses moyennes du vent dépassant les 12,5 kilomètres par heure. Décembre est le mois le plus venteux de l'année à Mila, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 13,9 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année couvre 6,2 mois, du 24 avril au 1er novembre. Août est le mois le plus calme de l'année à Mila, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 10,9 kilomètres par heure.

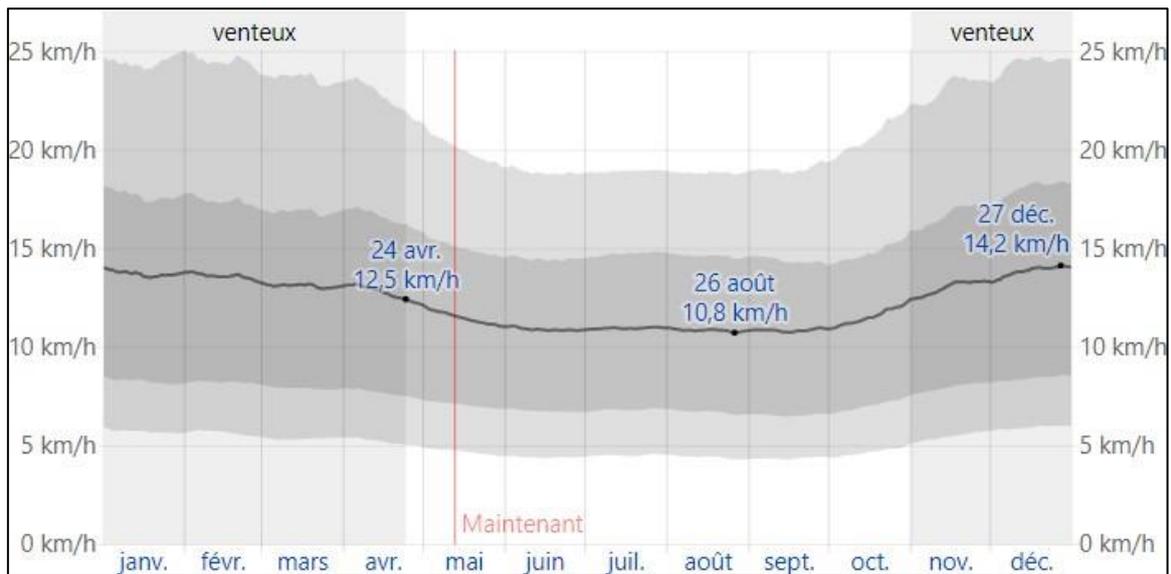


Figure 19: Vitesse moyenne du vent à Mila

Le vent vient le plus souvent du nord pendant 5,6 mois, de la mi-avril au début octobre, avec un pourcentage maximal de 43 % mi- juillet. Le vent vient le plus souvent du sud pendant 2,3 semaines, du 4 octobre au 20 octobre, avec un pourcentage maximal de 32 % le 13 octobre. Le vent vient le plus souvent de l'ouest pendant 5,9 mois, à partir de mi-octobre à mi- avril, avec un pourcentage maximal de 43 % le mois janvier.

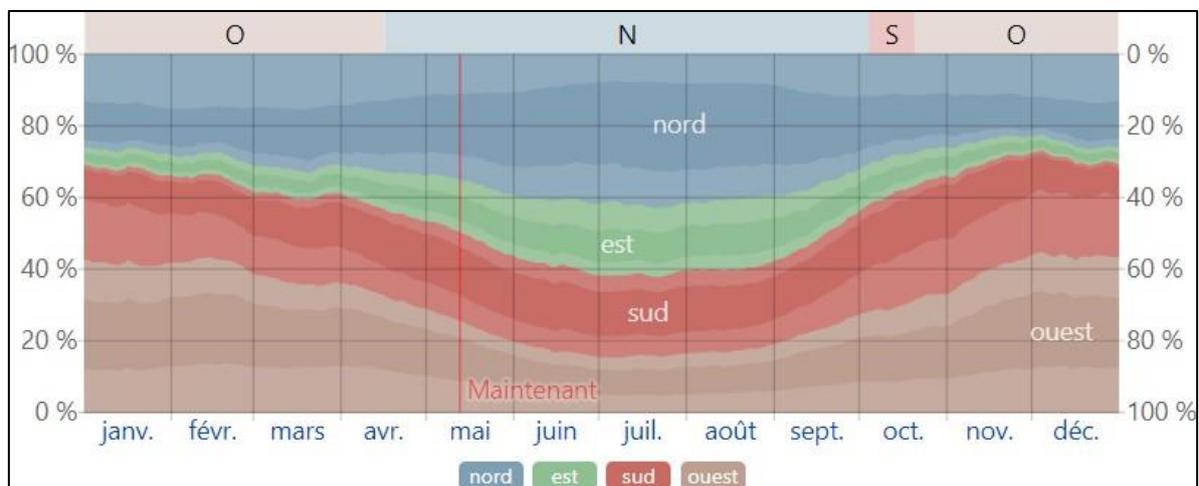
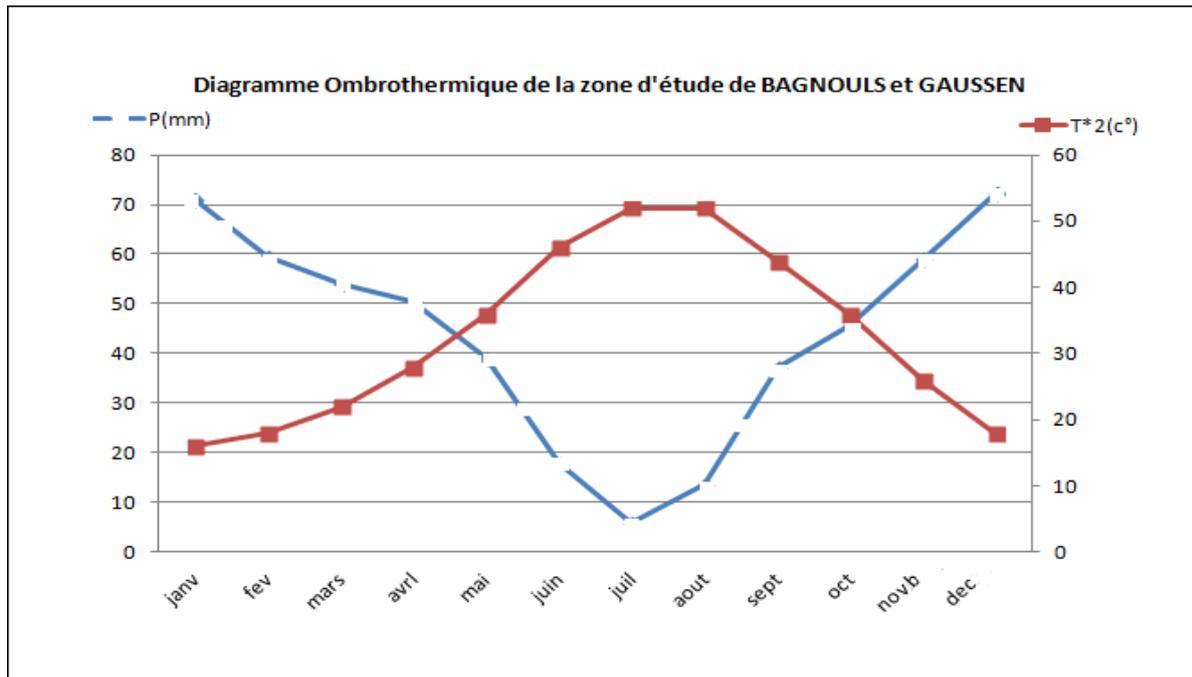


Figure 20: Direction des vents dominants dans la région de Mila

### 1.6.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Les diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gausson (1954) ont été conçus pour identifier la durée de la période sèche en comparant les moyennes mensuelles des températures en degrés Celsius avec celles des précipitations en millimètres. Selon ce schéma, un mois est considéré comme sec lorsque la quantité de précipitations est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle. (Guyot. G, 1999).



**Figure 21:**Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la zone d'étude

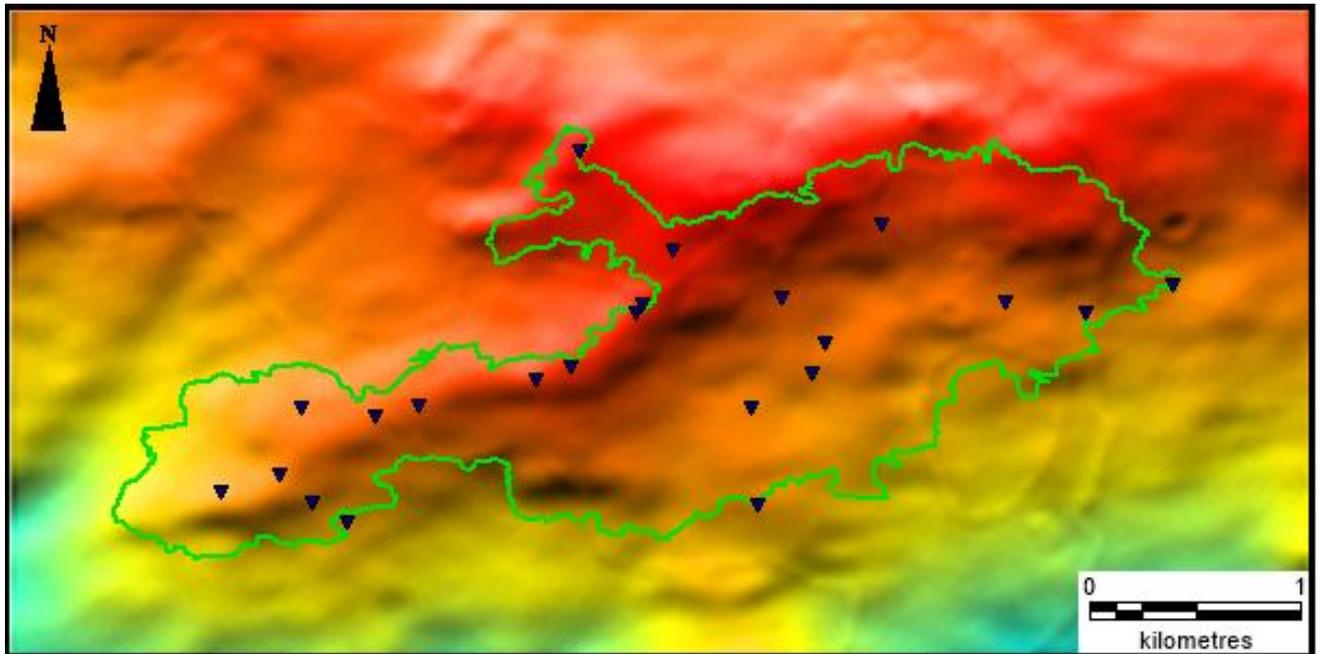
La zone d'étude se situe dans un climat méditerranéen, la période de sécheresse estivale et de six mois, de Mai jusqu'à Octobre.

La zone d'étude se situe dans un climat méditerranéen, la période de sécheresse estivale et de six mois, de Mai jusqu'à Octobre.

## 2. Données disponibles

- Le modèle numérique de terrain MNT issu des données du satellite ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) avec une résolution de 30 mètres, projection UTM-WGS 84. (<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data>)
- Image satellite Landsat 8 L1, date d'acquisition 30/09/2023 , Path 194, Row 35. (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).
- Données climatiques, sont acquis depuis le site : ([weatherspark.com](http://weatherspark.com)).
- Informations issu du questionnaire ; Un questionnaire a été distribué à la population près de la région de Mouia. Cependant, neuf personnes n'étaient pas familiarisées avec la région et n'ont donc pas été en mesure de répondre au questionnaire. En outre, six questionnaires étaient incomplets, ce qui signifie que seuls 35 questionnaires ont été pris en compte pour l'analyse (voir Annexe 01).

- Données de reconnaissance sur terrain, nous avons adopté un plan d'échantillonnage subjectif pour analyser la végétation. Cette méthode simple et intuitive consiste à choisir comme échantillons des zones qui paraissent particulièrement homogènes et représentatives (Gounot, 1969).



**Figure 22:** Distribution spatiale des points de reconnaissances sur terrain.

Vingt-deux relevés ont ainsi été réalisés sur des zones homogènes du point de vue physiologique, floristique et écologique (Gounot, 1969 ; Guinochet, 1973), suite à des sorties de terrain organisées avec l'assistance des cadres des services des forêts de la Wilaya de Mila. Chaque point de reconnaissance sur terrain a été effectué sur une surface homogène d'environ 40 m<sup>2</sup>, en notant les espèces dominantes et en enregistrant les coordonnées de chaque relevé grâce au système GPS.

Les logiciels utilisés sont : ENVI 5.6, MapInfo 13, Global Mapper 18, Google Earth Pro, Vertical Mapper 3.5.

### 3. Approche méthodologique

#### 3.1. Exploitation des données disponible

- En utilisant le Modèle Numérique de Terrain (MNT), nous avons réalisé nos propres analyses de visibilité, d'inclinaison des pentes, et d'orientation des surfaces, ainsi qu'une carte des altitudes pour décrire la zone d'étude (Berger et al., 2005).
- L'utilisation des données climatiques nous a permis de caractériser la région d'étude en fonction des facteurs climatiques. De plus, nous avons élaboré une synthèse bioclimatique pour définir le bioclimat de la zone.
- Les données recueillies via le questionnaire seront analysées pour produire des statistiques sur les services offerts par la biodiversité dans la région de Mouia. Cette analyse vise à évaluer les services écosystémiques potentiels associés aux divers types de végétation présents dans cette zone d'étude.

#### 3.2. Classification d'image satellite

Les principaux types d'occupation du sol (LC) sur le territoire d'étude ont été obtenus par une classification supervisée en utilisant l'algorithme des séparateurs à vaste marge (Support Vector Machine – SVM) avec un noyau gaussien (Mountrakis et al., 2011) appliqué aux bandes spectrales des images LANDSAT 8 du 30/09/2023. six classes principales ont été identifiées pour faire tourner l'algorithme SVM a savoir ; i) Formation forestière de chêne zen, ii) Formation forestière de chêne-liège, iii) Formation forestière mixte avec co-dominance de chêne-liège et chêne zen, iv) Formation forestière mixte avec co-dominance de chêne-liège et d'autres espèces, v) Formation herbacée, et vi) Sol nu. Les données ont été calibrées en réflectance de surface pour neutraliser les effets topographiques.

##### 3.2.1. Etablissement du diagramme bidimensionnel

Le diagramme bidimensionnel permet de visualiser la distribution des pixels dans l'espace des caractéristiques (feature space) en utilisant deux bandes spectrales spécifiques. Cela aide à comprendre comment les différentes classes de couvertures terrestres se distinguent les unes des autres.

##### 3.2.2 Evaluation de la signature spectrale des zones teste choisies (ROI)

L'évaluation des signatures spectrales des zones test (ROI) choisies est utilisée pour identifier

et analyser le comportement spectral des différents types de couvertures terrestres et de matériaux à la surface de la Terre, en se basant sur leurs caractéristiques spectrales distinctives. Cette évaluation vise à garantir qu'il existe des différences claires entre les ROI sélectionnées, évitant ainsi toute confusion entre les classes résultantes de la classification.

### 3.2.2. Préparation des Données d'Entraînement

Afin de quantifier la séparabilité des zones testées, appelées régions d'intérêt (ROI), et de s'assurer que chaque classe est bien représentée dans l'ensemble d'entraînement, une méthode spécifique est utilisée pour mesurer la séparabilité entre les différentes classes. Les résultats de cette méthode varient entre 0 et 2 :

$0 < x < 1.0$  : séparabilité très faible, 0 signifie une confusion totale entre deux classes ;

$1 < x < 1.9$  : séparabilité faible ;

$1.9 < x < 2.0$  : bonne séparabilité ;

2 : signifie une séparabilité parfaite sans risque de confusion.

Si la séparabilité entre deux classes est faible, cela signifie qu'il y a un risque de confusion entre elles, et qu'elles pourraient nécessiter une redéfinition.

### 3.2.3. Classification de l'Image

Pour la classification de l'image Landsat 8, nous avons appliqué l'algorithme de machine à vecteurs de support (Support Vector Machine, SVM) entraîné sur l'ensemble des pixels des sept bandes spectrales de l'image. Ce processus vise à prédire les classes de couverture du sol. Les régions d'intérêt représentatives ont été sélectionnées pour chaque classe de couverture du sol. Ces ROI ont servi à entraîner le modèle SVM, en garantissant une représentation adéquate de chaque classe. Les SVM sont particulièrement efficaces pour les problèmes de classification avec des marges de décision non linéaires. Les résultats de la classification seront utilisés pour produire une carte des classes de couverture du sol, fournissant une visualisation claire de la distribution spatiale des différentes classes.

### 3.2.4. Performance et évaluation de la classification

L'analyse des courbes ROC (Receiver Operating Characteristic) et la mesure de l'AUC (Area Under the Curve) sont des outils largement utilisés pour évaluer les performances des modèles de classification, en particulier dans les contextes de classes déséquilibrées (Fielding & Belle, 1997 ; Phillips et al., 2009).

L'AUC d'une courbe ROC est actuellement le paramètre de discrimination le plus couramment employé pour évaluer l'efficacité des classifications. En intégrant tous les seuils de tolérance de la classe sur l'ensemble des bandes, elle fournit une mesure globale et déterminante de la qualité et de la performance du modèle de classification, accompagnée d'une illustration graphique claire. Une AUC élevée indique un succès de la classification.

La courbe ROC offre une valeur quantitative unique pour évaluer la performance de la classification. L'AUC varie de 0 à 1, avec 1 représentant une performance optimale. Les seuils d'interprétation de l'AUC sont les suivants :

- Une AUC entre 0,5 et 0,7 est considérée comme faible.
- Une AUC entre 0,7 et 0,9 est jugée bonne.
- Une AUC supérieure à 0,9 est considérée comme excellente.

Ces seuils de performance sont bien établis dans la littérature (Lobo et al., 2008 ; Araujo et al., 2015 ; Tabet, 2018).

### **3.3. Evaluation qualitative (Methode indirecte) des services écosystémiques (SE) potentiels**

L'évaluation des services écosystémiques est une tâche complexe. Actuellement, diverses méthodes d'évaluation des SE existent. Nous avons adopté une approche qualitative, inspirée de la matrice de Burkhard et al. (2009), pour évaluer les SE potentiels de la zone étudiée.

### **3.4. Détermination des services écosystémiques**

Nous avons sélectionné six services écosystémiques à évaluer, appartenant à quatre grandes catégories définies par le MEA (2005) : les services de support, d'approvisionnement, de régulation et service de soutien. La liste des huit services écosystémiques et les sources de leur évaluation sont présentées dans. Ces services ont été largement étudiés dans la littérature (Chan et al., 2006; Burkhard et al., 2012 ; Louail .,2022). Les services culturels, étant très difficiles à appréhender et à évaluer (MEA, 2005), n'ont pas été inclus ici en raison du manque de données. L'évaluation des services écosystémiques dans cette étude repose directement sur les 5 types de formations végétales identifiées sur le terrain en plus des sols nus, servant d'unités de fourniture de services à l'échelle locale. La région de Mouia comprend plusieurs formations végétales distinctes. La formation forestière de chêne zeen est dominée par *Quercus*

*canariensis*. La formation forestière de chêne-liège est caractérisée par *Quercus suber*. Les formations forestières mixtes avec une co-dominance de chêne-liège et de chêne zeen comprennent à la fois *Quercus suber* et *Quercus canariensis*. Les formations forestières mixtes avec une co-dominance de chêne-liège et d'autres espèces incluent *Quercus suber*, *Erica arborea* et *Calicotome spinosa*, asphodèle, *lavendula scelabe*, *Calicotome spinosa*. Les formations herbacées se composent principalement de diverses espèces telles que asphodèle, *lavendula scelabe* espèces de graminées et d'autres plantes herbacées. Les sols nus représentent les zones dépourvues de végétation notable, souvent constituées de terres dégradées en plus des sols nus.

### 3.5. Attribution des valeurs

En nous basant sur la matrice de Burkhard et al. (2009), nous avons effectué une estimation indirecte des services écosystémiques (SE) de chaque formation végétale. Cette évaluation repose sur des scores établis à partir des connaissances scientifiques disponibles pour chaque SE, de notre travail de terrain, de nos entretiens avec les forestiers locaux, ainsi que de la littérature. Chaque formation végétale se voit attribuer un nombre de points selon une échelle : 0 = aucune capacité pertinente, 1 = faible capacité pertinente, 2 = capacité pertinente moyenne, 3 = capacité pertinente élevée. Cette méthode est largement utilisée en raison de sa simplicité (Sohel et al., 2015 ; Burkhard et al., 2014 ; khaznadar., 2016 ; Louail., 2022). Cependant, elle présente certaines limites. C'est pourquoi nous considérons que cette approche par formations végétales constitue un point de départ pour l'évaluation de la capacité d'offre des SE, pouvant être complétée ultérieurement par des informations supplémentaires.

---

# *Chapitre VI*

*Résultats et discussion*

---

#### 4. Résultats et discussion

Les résultats sont organisés de la manière suivante : Tout d'abord, nous avons analysé les informations issues du questionnaire, en évaluant les services écosystémiques (SE) potentiels associés à différentes formations végétales, et en présentant les scores de SE attribués selon la densité. Ensuite, nous avons procédé à la cartographie des services écosystémiques, en utilisant la classification d'image satellite, ce qui inclut la création d'un diagramme bidimensionnel, l'analyse de la signature spectrale des zones d'intérêt choisies, et l'évaluation de la séparabilité entre ces zones. Une carte des différentes formations végétales issues de cette classification a également été produite. La performance et l'évaluation de la classification ont été mesurées à travers l'analyse des caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC) et la valeur de l'AUC. Enfin, nous avons détaillé la cartographie des services écosystémiques, à savoir ; service Bois et fibre, le service écosystémique de la chasse, le service écosystémique des ressources médicinales, le service écosystémique de pâturage, le service de thermorégulation, et le service de lutte contre l'érosion.

##### 4.1. Analyse des informations issu du questionnaire

Les résultats d'analyse des informations issu du questionnaire seront représentés en premier, les résultats de l'analyse de l'information recueillis via le questionnaire sur les services fournis par la biodiversité dans la région de Mouia, permet d'évaluer les services écosystémiques (SE) potentiels associés à différentes formations végétales dans la région étudiée. Les scores attribués à chaque SE varient en fonction de la densité, de la composition floristique et de la richesse spécifique du couvert végétal. Les formations forestières, telles que la formation forestière de chêne zeen, la formation forestière de chêne-liège et les formations mixtes, présentent des scores élevés pour plusieurs SE, notamment la régulation de l'érosion, la biodiversité, la régulation du climat local et la pollinisation. En revanche, les SE liés à l'approvisionnement alimentaire et à l'enrichissement du sol en azote obtiennent des scores relativement faibles, en corrélation avec les caractéristiques du substrat de la zone (BNEF., 1989).

Les formations mixtes, avec leur richesse spécifique élevée, offrent un bouquet diversifié de SE, soulignant l'importance de la biodiversité pour la fourniture de services écosystémiques. Cette évaluation met en évidence l'importance des données détaillées sur la composition floristique, le substrat, la géomorphologie et d'autres facteurs pour une évaluation précise des

Cette méthode d'évaluation à l'échelle du paysage fournit des informations précieuses pour l'aménagement du territoire et la conservation de la biodiversité. Cependant, la vulnérabilité de la région aux changements climatiques souligne la nécessité d'une surveillance continue et d'études complémentaires pour approfondir notre compréhension des SE et de leur dynamique dans la région.

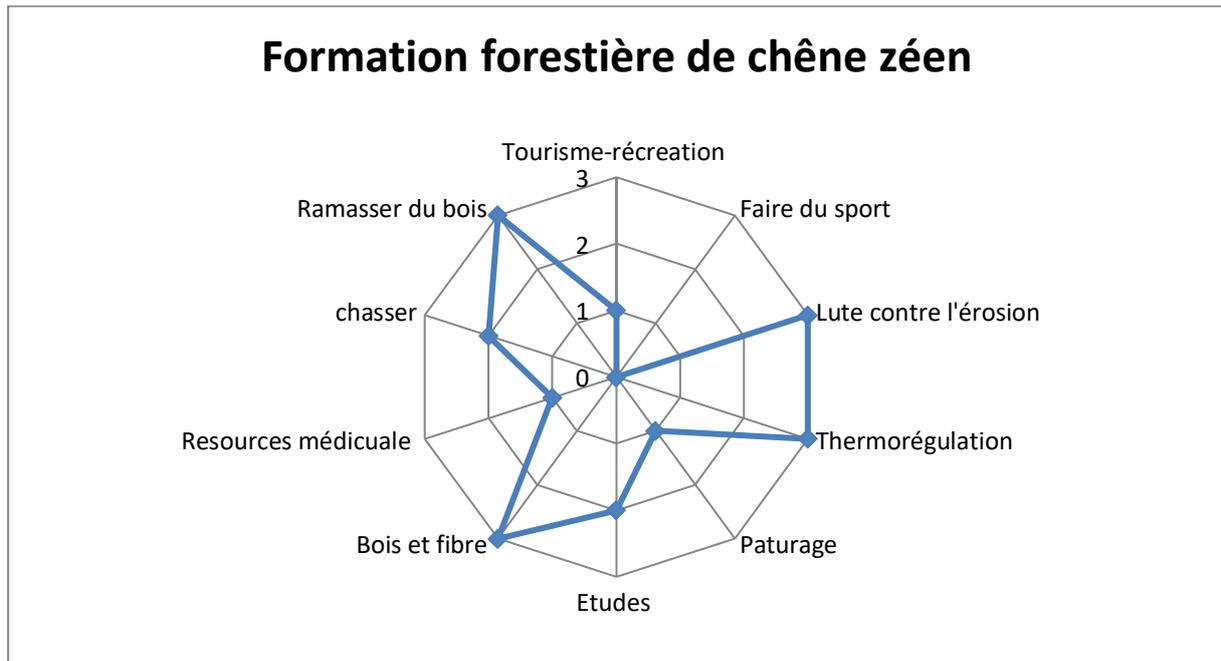
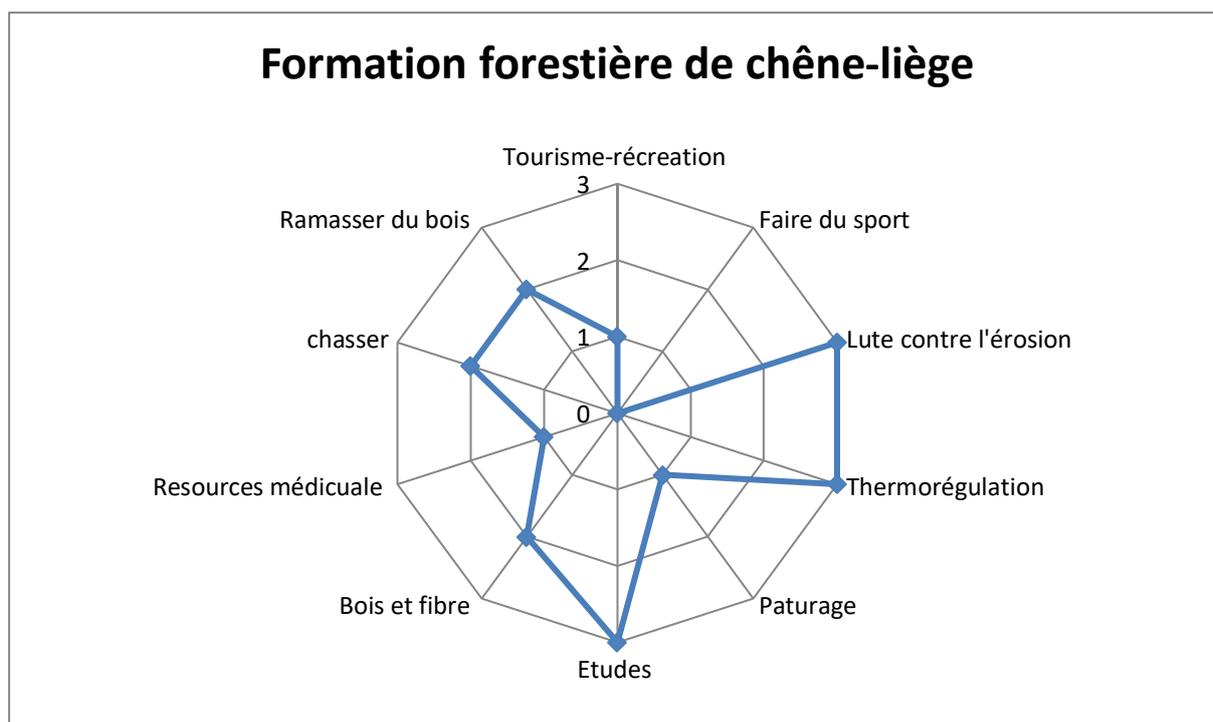
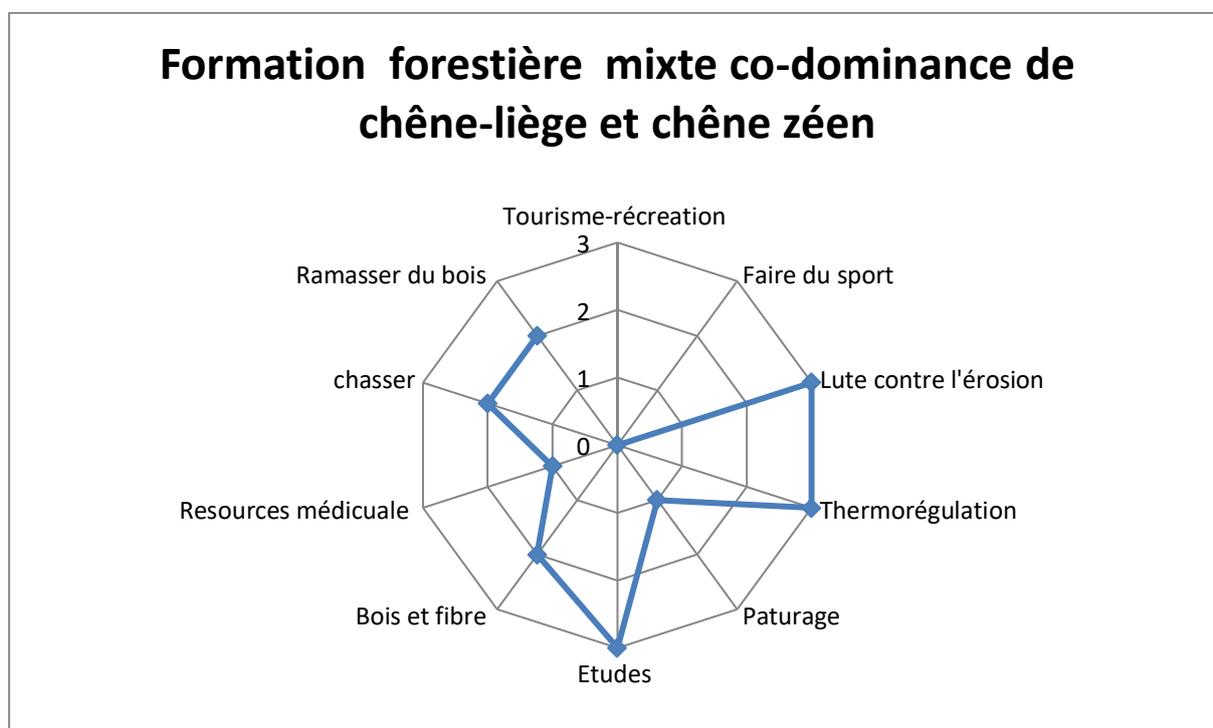


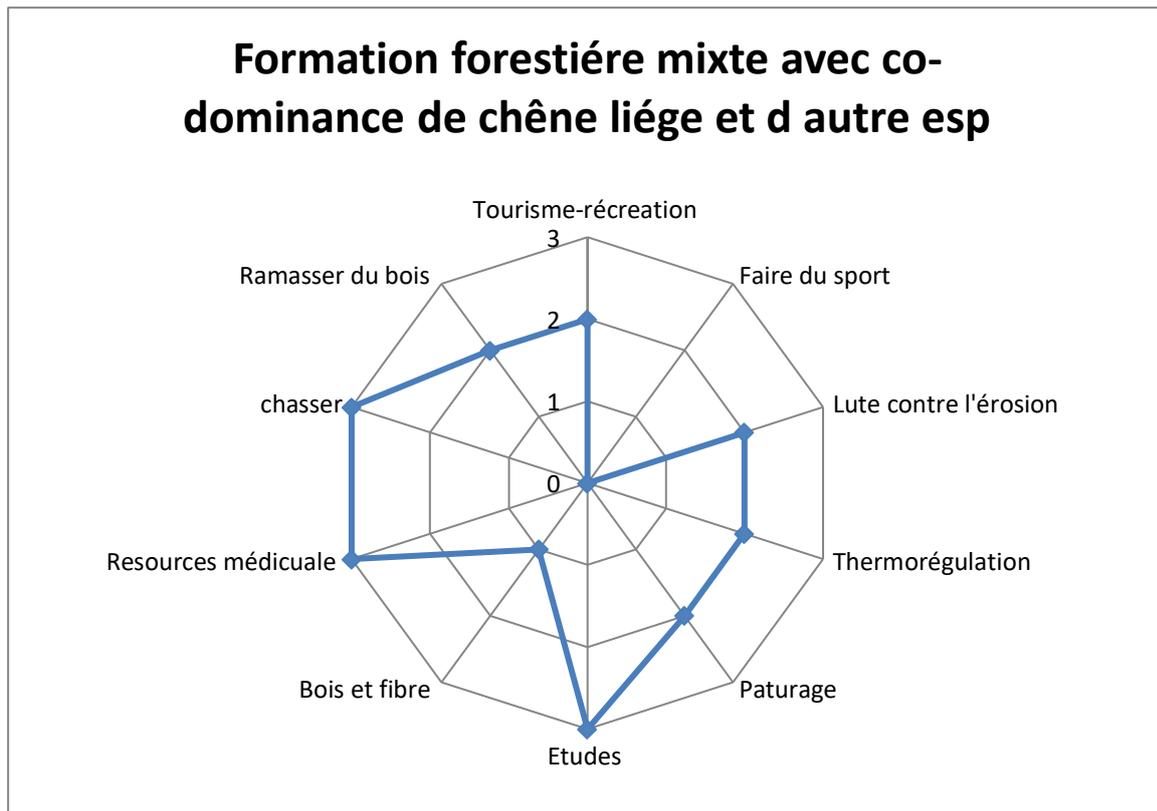
Figure 23: Capacité d'offre en SE Formation forestière de chêne zen



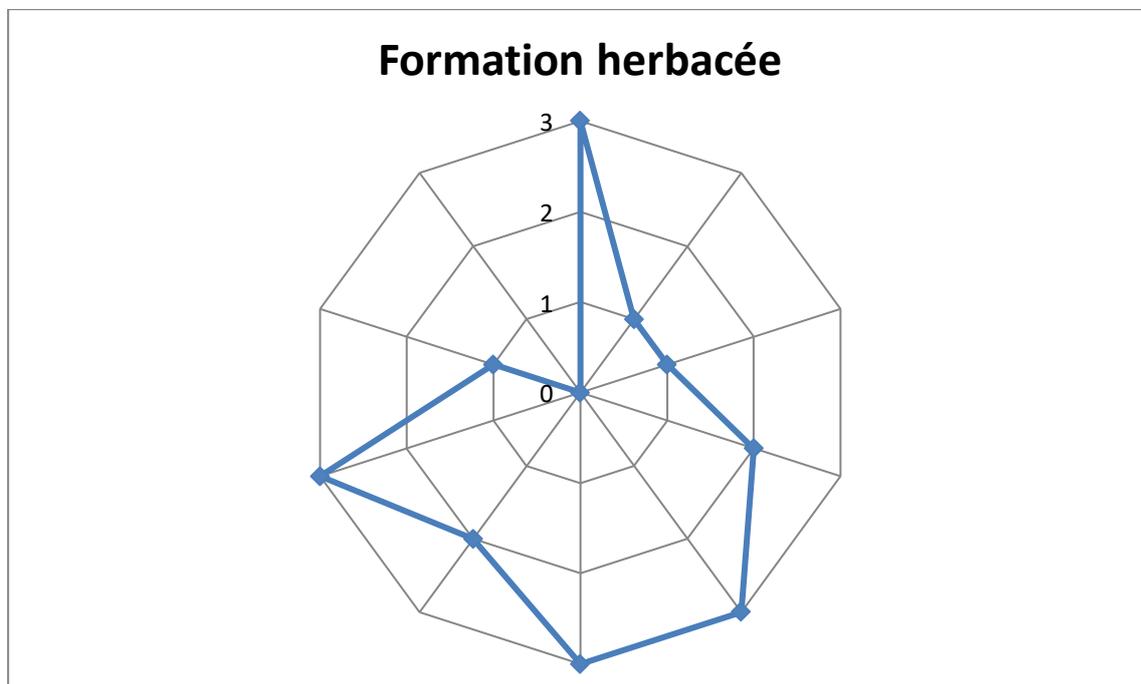
**Figure 24 :** Capacité d'offre en SE Formation forestière de chêne-liège



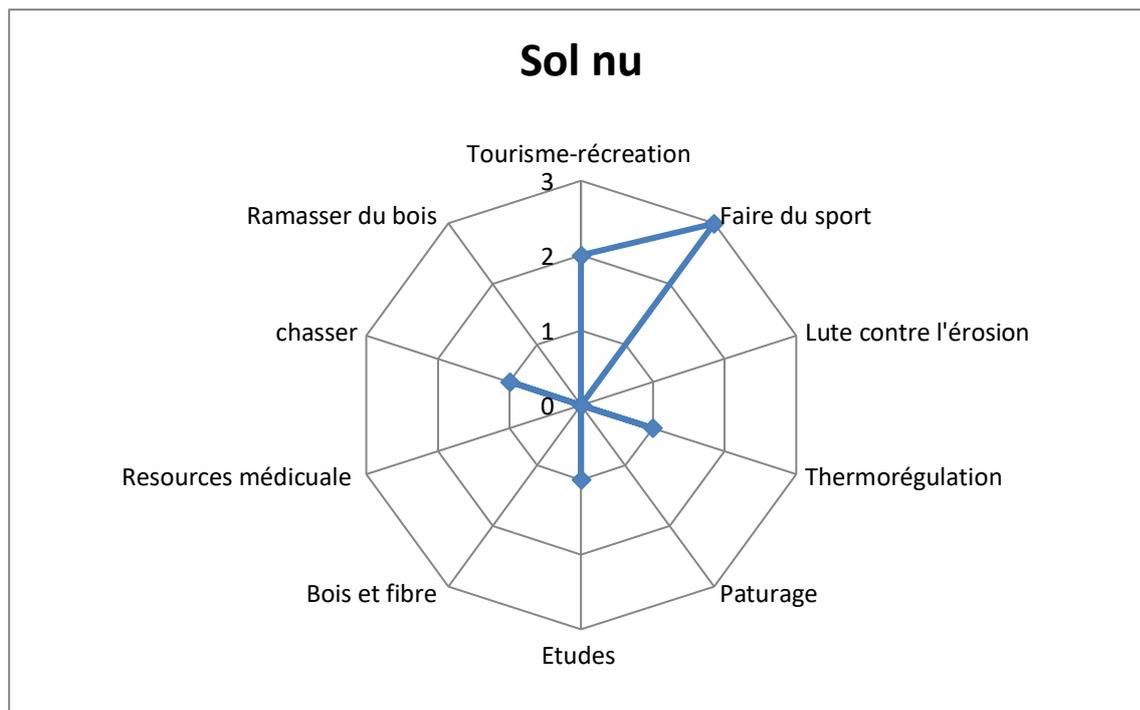
**Figure 24:** Capacité d'offre en SE Formation forestière mixte co-dominance de chêne-liège et chêne zéen



**Figure 25:** Capacité d'offre en SE Formation forestière mixte avec codominance de chêne liège et d'autre esp



**Figure 26:** Capacité d'offre en SE Formation herbacée



**Figure 27:** Capacité d'offre en SE Sol nu

#### 4.2. Cartographie des services écosystémiques

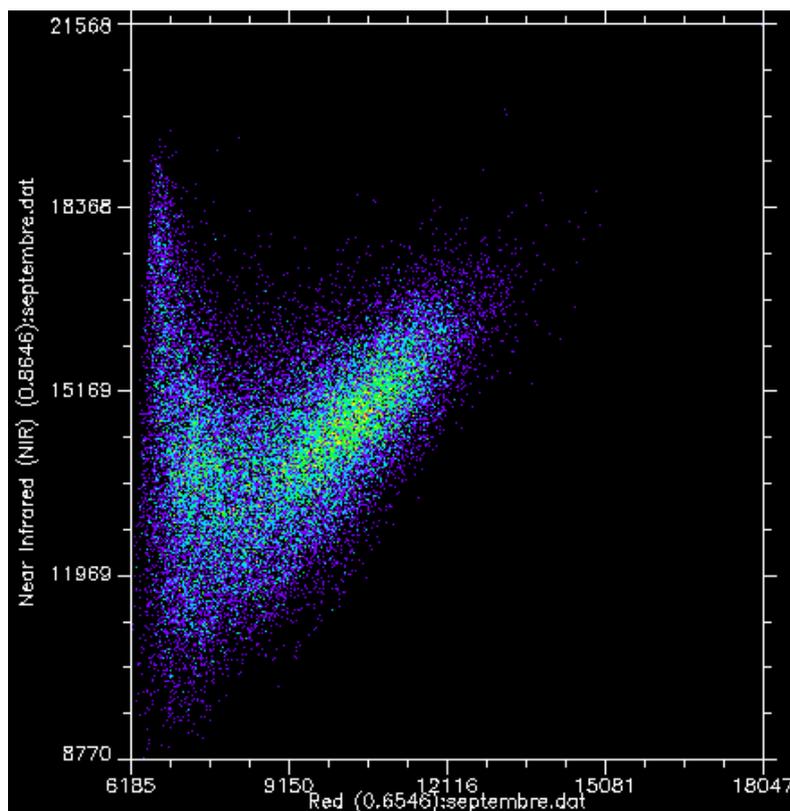
Pour cartographier les SE, La cartographie des différentes classe de formations végétales est nécessaire, afin d'utiliser la matrice de Burkhard, 2009, pour pouvoir cartographier mes services écosystémiques. Cette cartographie est le résultat d'une classification supervisée d'image LANDSAT.

##### 4.2.1. Classification d'image satellite

Avant d'entamer la classification supervisée proprement dite, Le diagramme bidimensionnel a été établie, il offre une représentation visuelle claire de la répartition des pixels selon leurs caractéristiques des deux bandes, facilitant ainsi l'évaluation de la représentabilité des différentes catégories de revêtements terrestres. De même, la signature spectrale des zones d'intérêt (ROI) sélectionnées permet de visualiser les différences subtiles dans les caractéristiques spectrales des six types de formations végétales étudiées, en fonction de la longueur d'onde des sept bandes utilisées. Cette visualisation est cruciale pour déterminer la capacité des données à distinguer efficacement ces catégories. Enfin, la mesure de la séparabilité entre les zones d'intérêt quantifie la différence entre elles, ce qui est essentiel pour évaluer la précision et la fiabilité des classifications basées sur ces régions d'intérêt (ROI).

#### 4.2.1.1. Diagramme bidimensionnel

Le diagramme bidimensionnel offre une représentation visuelle de la répartition des pixels dans l'espace des caractéristiques, en se basant sur la bande proche de l'infrarouge PIR et la bande rouge RED. Cette visualisation nous permis d'appréhender et distingué une bonne représentabilité des deux bandes des diverses catégories de revêtements terrestre.



**Figure 28:** Diagramme bidimensionnel entre la bande proche de l'infrarouge PIR et la bande rouge RED

#### 4.2.1.2. Signature spectrale des régions d'intérêt (ROI) choisie

La signature spectrale des six catégories de formation végétales choisies pour effectuer la classification permet de visualiser la différence entre la signature spectrale des six catégories en fonction de la longueur d'ange de l'ensemble des bandes utilisées.(Figure 29)

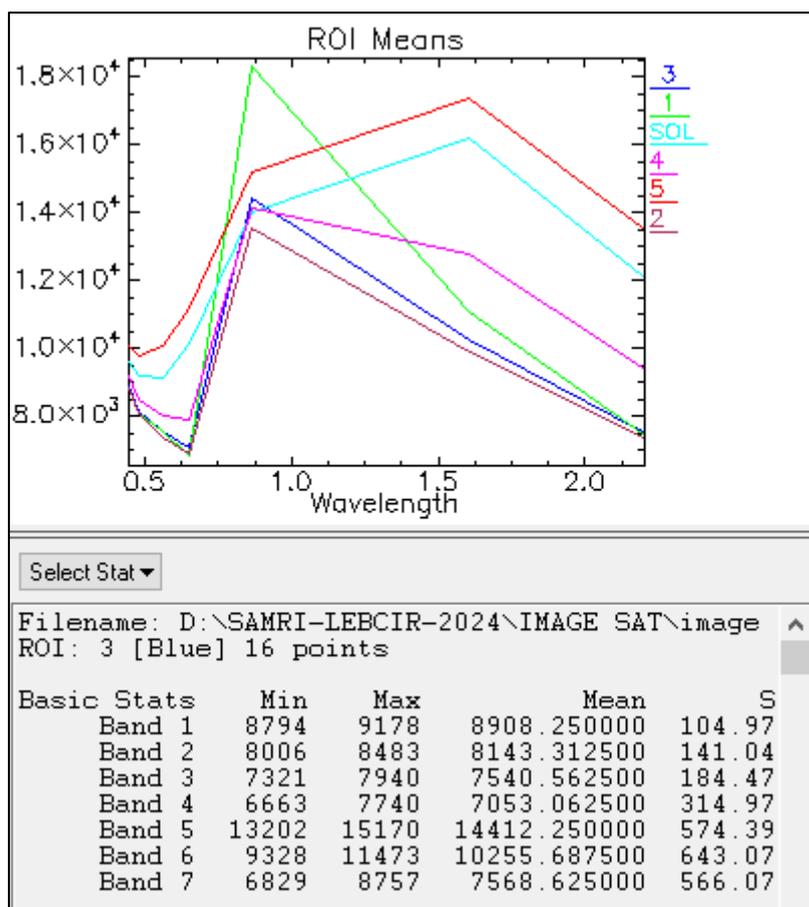


Figure 29: Profil spectraux des Régions d'intérêt (ROI)

#### 4.2.1.3. Séparabilité entre les zones d'intérêt

Les valeurs à la fin de chaque ligne, représentent les niveaux de séparabilité obtenus par la méthode mentionnée précédemment.

Les classe 5 et 2 représente une parfaite séparabilité (valeurs de 2). Elle présente également une bonne séparabilité avec la classe sol (valeur comprise entre 1,9 et 2,0). Après analyse de tous les résultats ont une bonne séparabilité générale observée, ce qui suggère une classification adéquate.

```

Pair Separation (least to most):

3 [Blue] 16 points and 2 [Maroon] 22 points - 1.95181104
4 [Magenta] 11 points and 2 [Maroon] 22 points - 1.98112081
3 [Blue] 16 points and 4 [Magenta] 11 points - 1.99233086
SOL [Cyan] 18 points and 5 [Red] 18 points - 1.99975970
1 [Green] 21 points and 4 [Magenta] 11 points - 1.99984323
3 [Blue] 16 points and 1 [Green] 21 points - 1.99993815
1 [Green] 21 points and 2 [Maroon] 22 points - 1.99999998
4 [Magenta] 11 points and 5 [Red] 18 points - 1.99999999
SOL [Cyan] 18 points and 4 [Magenta] 11 points - 2.00000000
3 [Blue] 16 points and SOL [Cyan] 18 points - 2.00000000
1 [Green] 21 points and 5 [Red] 18 points - 2.00000000
3 [Blue] 16 points and 5 [Red] 18 points - 2.00000000
1 [Green] 21 points and SOL [Cyan] 18 points - 2.00000000
SOL [Cyan] 18 points and 2 [Maroon] 22 points - 2.00000000
5 [Red] 18 points and 2 [Maroon] 22 points - 2.00000000

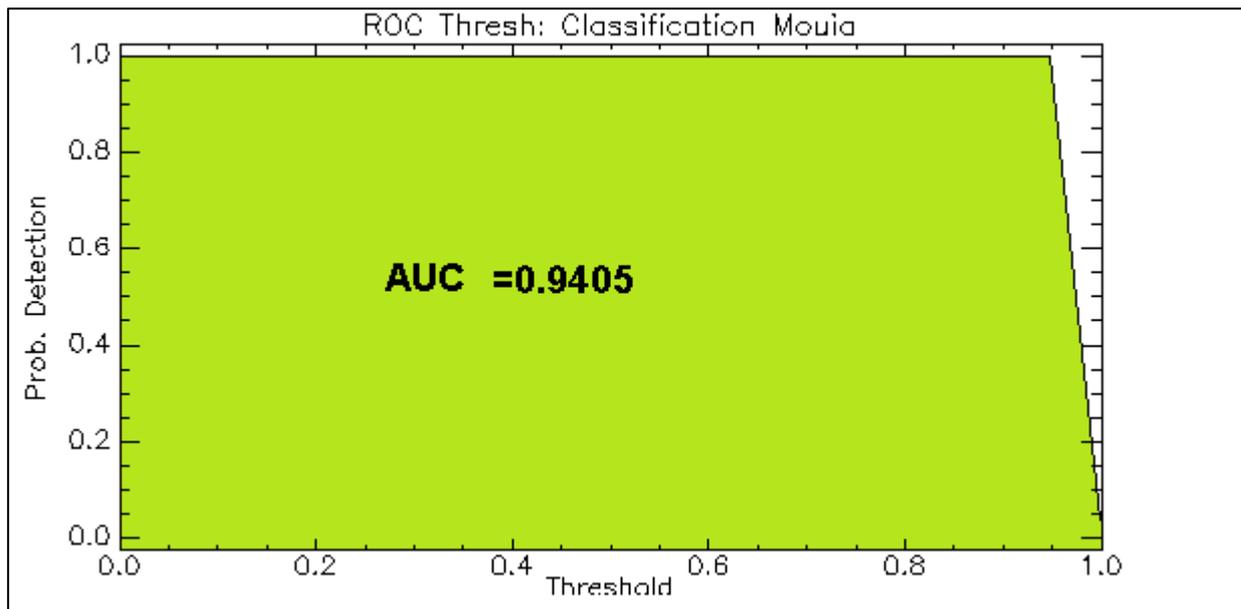
```

**Figure 30:** Profil de Séparabilité

#### 4.2.1.4. Performance et évaluation de la classification

L'analyse des caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC) pour la classification a donné une valeur de l'AUC de 0,9405. Cette valeur, dépassant 0,9, indique une performance excellente de la classification (Swets, 1988 ; Lobo et al., 2008 ; Reddy et al., 2015 ; Araujo et al., 2015 ; Guisan et al., 2017).

Une AUC de 0,9405 signifie que le modèle de classification a une très haute capacité à distinguer entre les différentes classes de couverture terrestre. Plus précisément, il démontre une discrimination presque parfaite entre les classes, ce qui suggère que la méthode (SVM) a un pouvoir pertinent de classer correctement les échantillons.

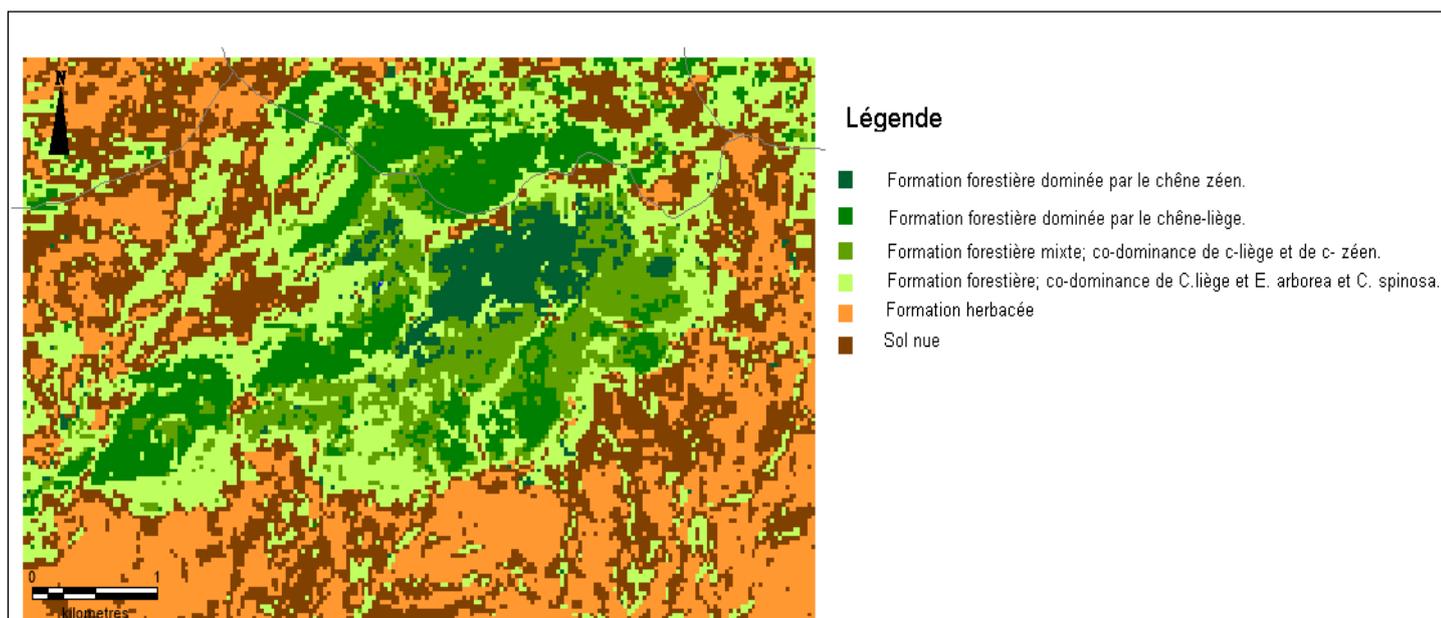


**Figure 34:** Caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC)

AUC de 0,9405 reflète une excellente performance du modèle de classification, assurant ainsi une grande fiabilité et précision dans la différenciation des classes de couverture terrestre dans la région étudiée. Ce résultat renforce la validité du modèle utilisé et souligne son efficacité pour des applications futures de gestion et de conservation des ressources naturelles dans la région de Mouia.

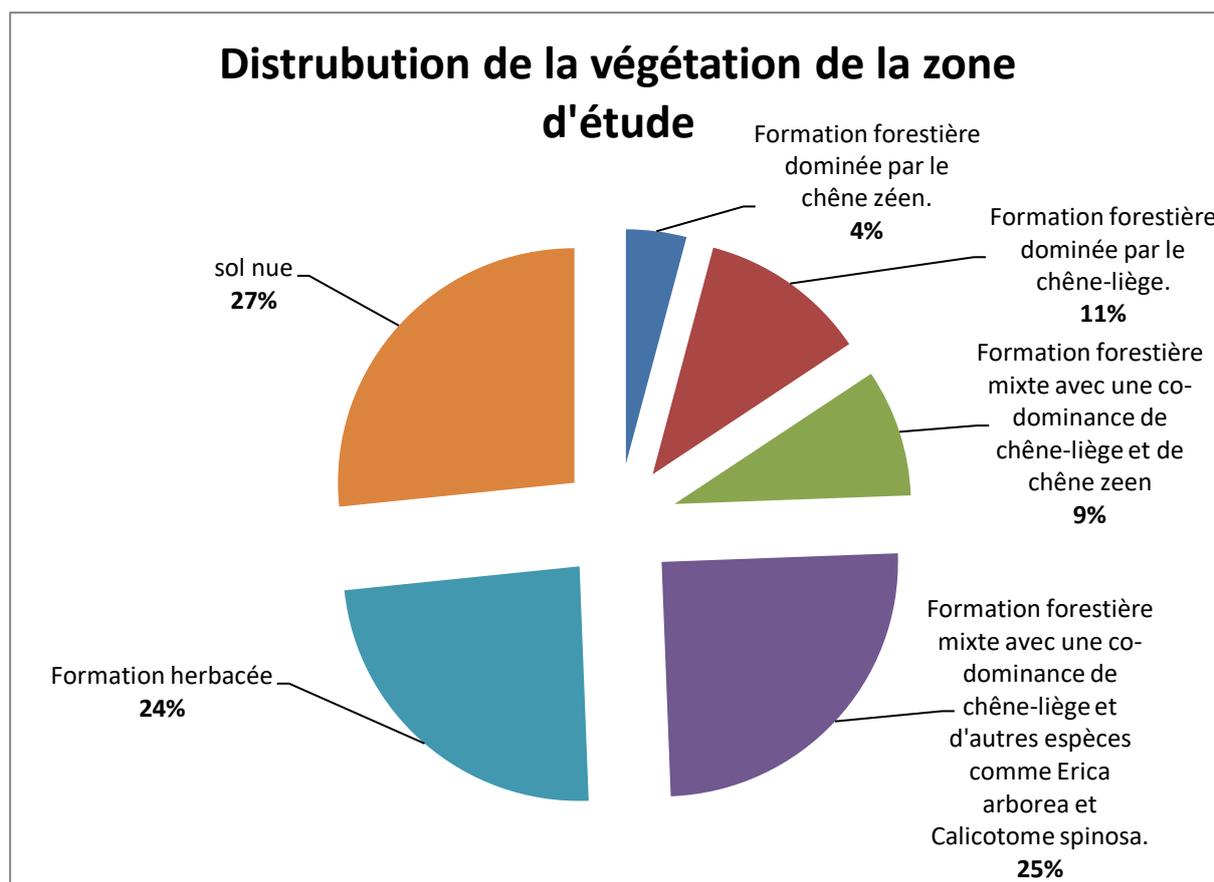
### 4.3. Carte des différentes formations végétales issu de la classification

A l'issue de la classification supervisée appliquée sur l'image LANDSAT 8, une carte des différentes formations végétales a été produite, illustrant les six classes de d'occupation du sol choisies.



**Figure 31:** Carte des différentes formations végétales issues de la classification

L'analyse de la distribution des classes révèle plusieurs caractéristiques intéressantes de la région de Mouia. La formation forestière de chêne zeen, représentant 4% de la superficie totale avec 94,3 hectares, indique une présence limitée de cette espèce spécifique. En revanche, la formation forestière de chêne-liège, couvrant 11% du territoire avec 259,2 hectares, souligne l'importance écologique et peut-être économique de cette espèce dans la zone. Les forêts mixtes avec co-dominance de chêne-liège et chêne zeen occupent 9% de la superficie, soit 212,1 hectares, montrant la coexistence de ces deux espèces dans certains secteurs. La catégorie la plus étendue parmi les formations forestières est celle des forêts mixtes avec co-dominance de chêne-liège et d'autres espèces, couvrant 25% du territoire avec 589,2 hectares, ce qui indique une grande diversité végétale. Les formations herbacées, couvrant 24% du territoire avec 565,7 hectares, correspondent probablement à des prairies, des pâturages ou des zones de végétation basse. Enfin, le sol nu est la classe la plus représentée, couvrant 27% de la superficie avec 636,4 hectares, ce qui pourrait indiquer des zones déboisées, des terrains en friche ou des espaces non cultivés.



**Figure 32:** Distribution de la végétation de la zone d'étude

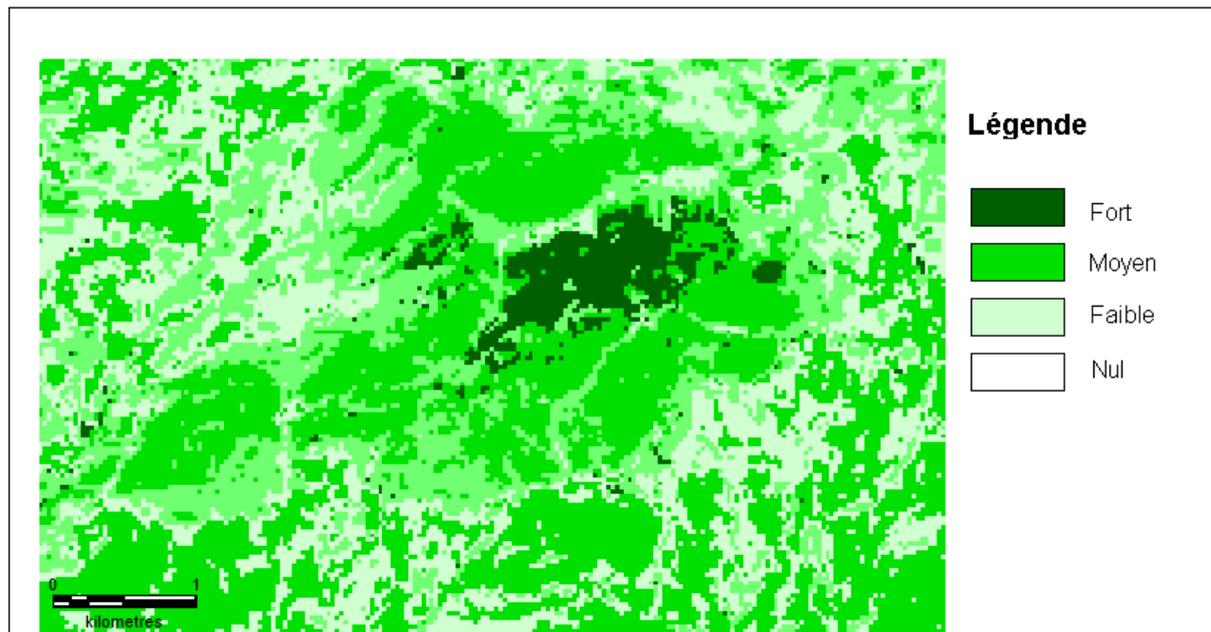
La région de Mouia présente une grande diversité de couvertures terrestres, allant des formations forestières diverses aux espaces herbacés et aux sols nus. Cette diversité reflète des variations écologiques et peut-être anthropiques, qui méritent une attention particulière pour la gestion et la conservation des ressources naturelles. Les résultats de cette classification fournissent une base précieuse pour des analyses environnementales et des prises de décision en matière de gestion du territoire

#### **4.4. Cartographie des Services écosystémique dans la région de Mouia**

Nous avons utilisé la matrice de Burkhard et al. (2009) pour estimer de manière hypothétique et indirecte les services écosystémiques (SE) de différentes formations végétales. Cette évaluation repose sur des scores attribués en fonction des connaissances scientifiques disponibles pour chaque SE, des observations sur le terrain, des entretiens avec les forestiers locaux, ainsi que des données issues de la littérature. Chaque type de végétation est évalué selon une échelle de points allant de 0 (aucune capacité pertinente) à 3 (capacité pertinente élevée).

##### **4.4.1. Service Bois et fibre**

La répartition de la végétation révèle plusieurs types de formations forestières et herbacées, chacune ayant un impact variable du ramassage du bois. La formation forestière de chêne zen, couvrant 4 % de la superficie avec 94,3 hectares, est caractérisée par un ramassage de bois fort. En comparaison, la formation forestière de chêne-liège, occupant 11 % de la superficie avec 259,2 hectares, subit un ramassage de bois moyen. Les formations mixtes, co-dominées par le chêne-liège et le chêne zen, et celles avec d'autres espèces couvrent respectivement 9 % (212,1 hectares) et 25 % (589,2 hectares) de la superficie, toutes deux avec un ramassage de bois moyen. Les formations herbacées, couvrant 24 % de la superficie (565,7 hectares), et les sols nus, occupant 27 % (636,4 hectares), ne subissent aucun ramassage de bois. Ces sols nus constituent la plus grande portion de la zone, suggérant des zones potentiellement déboisées ou en jachère.

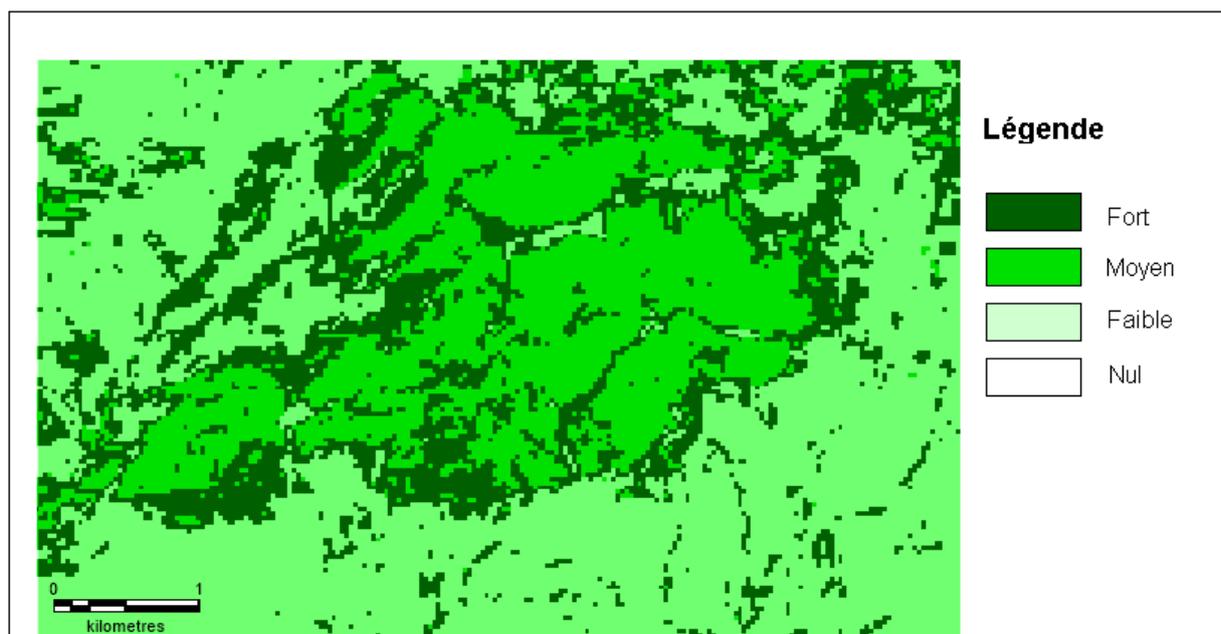


**Figure 33:** Carte de service Bois et fibre

La dominance du sol nu et des formations herbacées, représentant ensemble plus de la moitié de la superficie totale (51 %), ainsi que la diversité des formations forestières dominées par le chêne-liège et le chêne zen, mettent en évidence une interaction écologique complexe nécessitant une gestion et une conservation attentives. Le ramassage de bois, bien que présent, reste modéré, favorisant ainsi la préservation des ressources forestières.

#### 4.4.2. Service écosystémique ; la chasse

La carte (Figure35) décrit les résultats de la chasse en fonction de différents types de formations forestières et de leur importance écosystémique. La formation forestière de chêne Zen couvre 4 % de la superficie totale, soit 94,3 hectares, avec une importance écosystémique de la chasse, indiquant un niveau moyen.



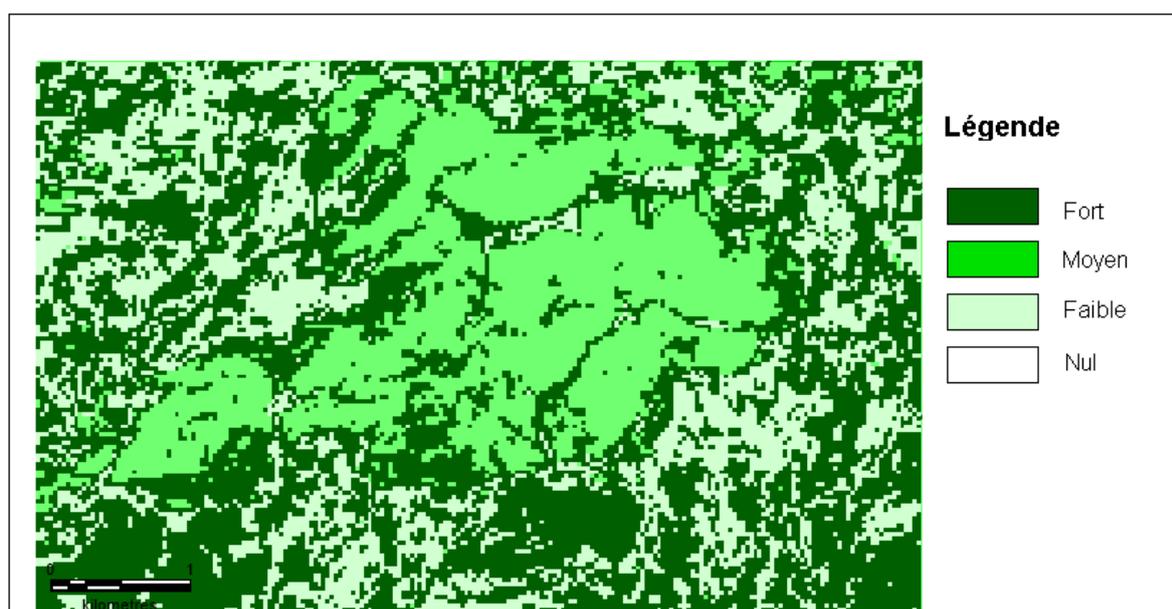
**Figure 34:** Carte de service de la chasse

La formation forestière de chêne-liège occupe 11 % de la superficie, soit 259,2 hectares, également avec une importance écosystémique moyenne. La formation forestière mixte, co-dominée par le chêne-liège et le chêne Zen, couvre 9 % de la superficie totale, soit 212,1 hectares, et présente une importance écosystémique de la chasse également moyenne. La formation forestière mixte, co-dominée par le chêne-liège et d'autres espèces, représente 25 % de la superficie totale, soit 589,2 hectares, avec une importance écosystémique de la chasse élevée. La formation herbacée occupe 24 % de la superficie totale, soit 565,7 hectares, et l'importance écosystémique de la chasse y est faible. Enfin, le sol nu couvre 27 % de la superficie totale, soit 636,4 hectares, avec une importance écosystémique de la chasse faible.

Les études de Messaoudene (1996) et de la FAO (2012) mettent en lumière l'importance de la chasse dans les écosystèmes forestiers méditerranéens, en se concentrant notamment sur les forêts de chêne liège et de chêne zeen en Algérie et en Tunisie. Elles soulignent que les principales espèces chassées dans ces environnements comprennent le sanglier, le lièvre, la perdrix rouge et la bécasse des bois. De plus, elles évaluent l'importance écosystémique de la chasse, notant des variations en fonction de la composition et de la structure des formations forestières, avec une importance élevée dans les forêts mixtes co-dominées par le chêne liège et d'autres espèces. En outre, l'étude de l'HCEFLCD (2010) sur la chasse en forêt méditerranéenne au Maroc offre des informations pertinentes, bien que spécifiques au Maroc, pour éclairer davantage la compréhension de la chasse dans des écosystèmes forestiers similaires.

#### 4.4.3. Service écosystémique ; Ressources médicinales

La carte 36 fournit des données sur les ressources médicinales en fonction de différents types de formations forestières. La formation forestière de chêne zeen couvre une superficie de 94,3 hectares, représentant 4% de la superficie totale, avec une importance des ressources médicinales évaluée faible, considérée comme faible. De même, la formation forestière de chêne-liège s'étend sur 259,2 hectares, soit 11% de la superficie totale, avec une importance des ressources médicinales également faible.



**Figure 35:** Carte de service ressources médicinales

La formation forestière mixte, caractérisée par la co-dominance de chêne-liège et de chêne zeen, occupe 9% de la superficie, soit 212,1 hectares, avec une importance similaire des ressources médicinales (1). En revanche, les formations forestières mixtes avec une co-dominance de chêne-liège et d'autres espèces, ainsi que les formations herbacées, couvrent une superficie plus étendue (25% et 24% respectivement), avec des superficies de 589,2 hectares et 565,7 hectares, et une importance des ressources médicinales indiquant une forte importance. Enfin, les zones de sol nu représentent la plus grande superficie (27% du total), soit 636,4 hectares, mais ne présentent aucune importance des ressources médicinales.

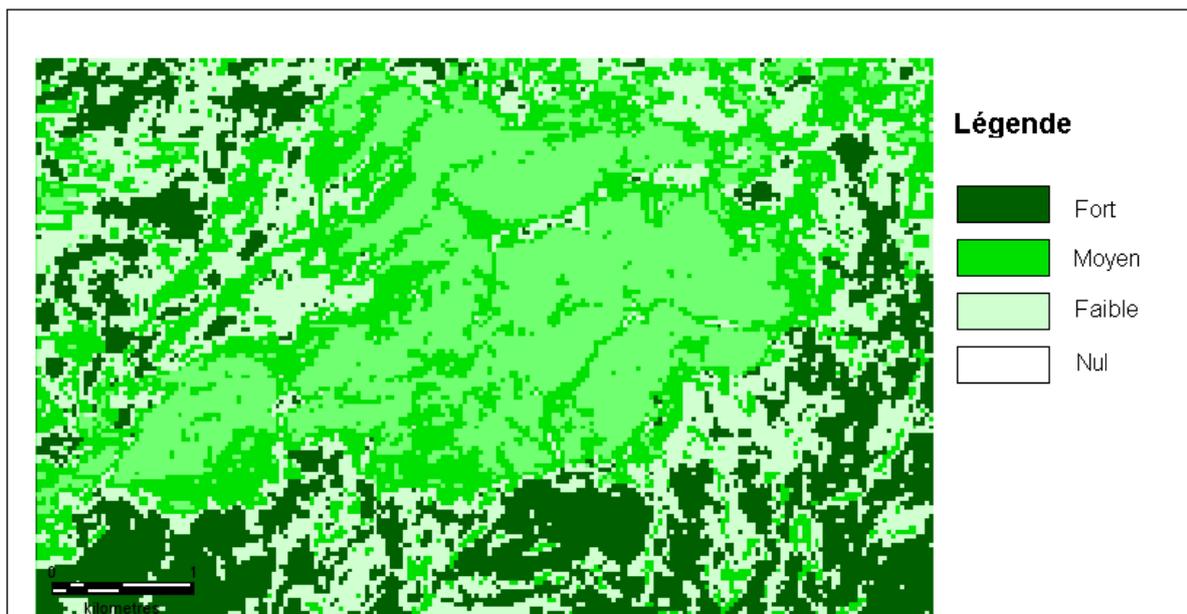
De nombreuses études soulignent l'importance des ressources médicinales dans les forêts méditerranéennes, particulièrement celles de chêne zeen et chêne liège en Algérie. Les espèces médicinales telles que le thym, la lavande, le romarin, la sauge, le genévrier et le chêne-liège

se révèlent être des actifs importants. Il est également noté que l'importance de ces ressources varie en fonction de la composition et de la structure des formations forestières, étant particulièrement élevée dans les formations mixtes et herbacées.

L'étude phytosociologique menée par Messaoudene en 1996 se focalise sur l'analyse de la végétation du massif des Maures, mettant particulièrement l'accent sur les associations de chêne liège et chêne zeen, et évaluant leur importance au sein de l'écosystème, notamment en ce qui concerne leurs ressources médicinales. Les résultats de cette étude identifient les principales espèces médicinales présentes dans ces formations forestières, telles que le thym (*Thymus* spp.), le romarin (*Rosmarinus officinalis*), la sauge (*Salvia officinalis*), le genévrier (*Juniperus* spp.), et le chêne-liège (*Quercus suber*). De même, l'étude de la FAO de 2012 offre un aperçu des ressources génétiques forestières en Tunisie, en se penchant également sur les forêts de chêne liège et chêne zeen, et en évaluant leur importance écologique, en particulier concernant leurs ressources médicinales. Cette recherche identifie également les espèces médicinales clés dans ces écosystèmes forestiers, soulignant la présence du thym, du romarin, de la sauge, du genévrier et du chêne-liège.

#### **4.4.4. Service Pâturage**

L'évaluation des services écosystémiques de pâturage, classés en quatre catégories d'importance (0 = nul, 1 = faible, 2 = moyen, 3 = fort), en fonction des différents types de formations forestières. La formation forestière de chêne vert, la formation forestière de chêne-liège et la formation forestière mixte avec co-dominance de chêne-liège et chêne vert ont toutes été évaluées avec une importance de pâturage faible.



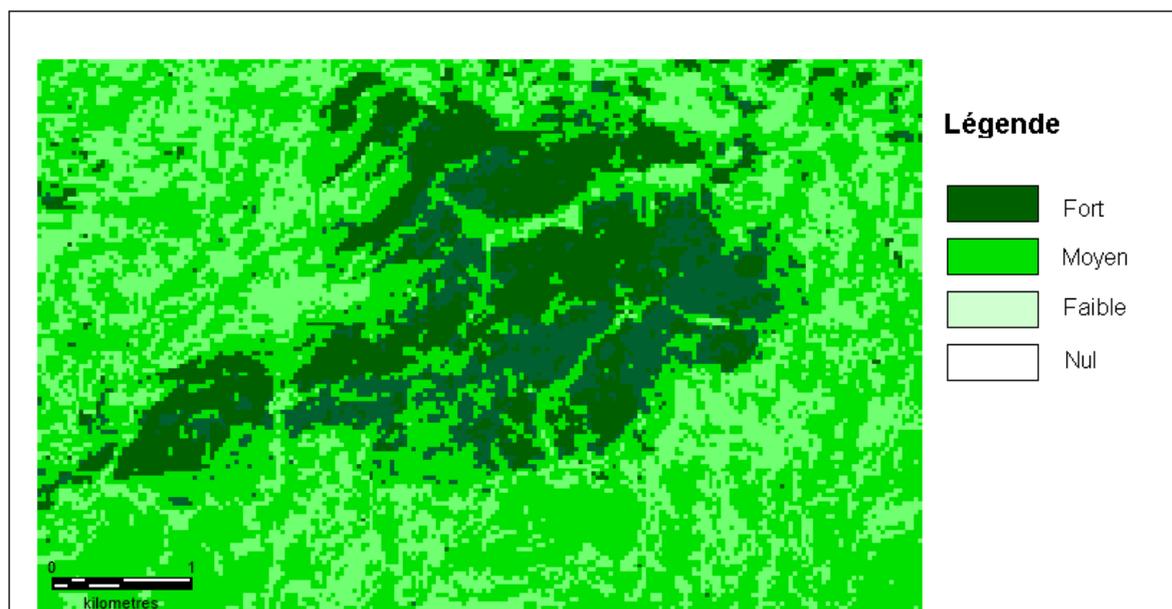
**Figure 36:** Carte de service pâturage

Cependant, la formation forestière mixte avec co-dominance de chêne-liège et d'autres espèces a été évaluée avec une importance moyenne de pâturage. En revanche, les formations herbacées ont été considérées comme ayant une forte importance de pâturage, tandis que les sols nus n'ont pas été évalués comme contribuant à ce service écosystémique. Ainsi, ce résultats met en évidence comment différents types de formations forestières influent sur l'importance du service écosystémique de pâturage.

L'étude de la FAO (2012) sur les ressources génétiques forestières en Tunisie apporte des informations cruciales sur les forêts de chêne liège et chêne zeen, mettant en évidence leur importance écologique, notamment en lien avec le pâturage. Cette analyse contribue à la compréhension de l'interaction entre les ressources génétiques forestières et les services écosystémiques qu'elles fournissent. Enfin, l'étude de la GIZ (2014) sur la vulnérabilité des écosystèmes tunisiens face au changement climatique explore l'écosystème subéraie, mettant en évidence le rôle crucial du pâturage comme service écosystémique dans les formations forestières mixtes. En effet, elle souligne l'importance du pâturage dans les écosystèmes où le chêne-liège coexiste avec d'autres espèces, ainsi que dans les formations herbacées. Ces recherches convergent vers la conclusion que les services écosystémiques de pâturage sont étroitement liés à la composition et à la structure des formations forestières, avec une importance particulière accordée aux formations herbacées et mixtes par rapport aux formations dominées par le chêne zeen et le chêne liège.

#### 4.4.5. Service Thermorégulation

Selon la carte 38, la thermorégulation est évaluée dans différentes formations forestières et habitats. La formation forestière de chêne zeen couvre 4% de la superficie totale, soit 94,3 hectares, avec une classification de thermorégulation forte. De même, la formation forestière de chêne-liège, occupant 11% de la surface (259,2 hectares), obtient également une classification de thermorégulation forte. La formation forestière mixte, où le chêne-liège et le chêne zeen co-dominent, couvre 9% de la superficie totale (212,1 hectares), avec une thermorégulation similaire notée fort.



**Figure 37:** Carte de service Thermorégulation

En revanche, la formation forestière mixte avec une co-dominance de chêne liège et d'autres espèces, occupant 25% de la superficie totale (589,2 hectares), est moyenne pour la thermorégulation. De même, la formation herbacée, couvrant 24% de la superficie totale (565,7 hectares), et le sol nu, occupant 27% de la superficie totale (636,4 hectares), sont tous deux classés faible pour la thermorégulation. Ces données mettent en évidence la variation de la thermorégulation en fonction de la composition et de la structure des habitats, avec les formations forestières de chêne zen, chêne-liège et mixte présentant des valeurs de thermorégulation plus élevées par rapport aux formations herbacées et au sol nu.

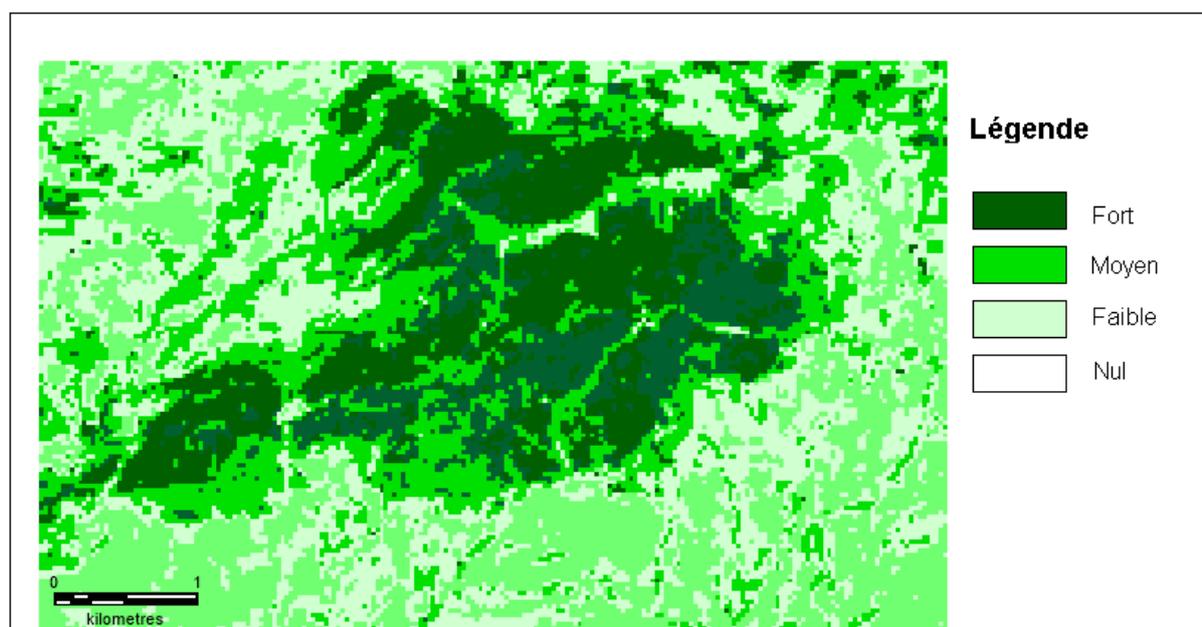
Les études pertinentes sur la thermorégulation en forêts de chêne liège et chêne zen incluent celles menées par Messaoudene (1996) et la FAO (2012), qui évaluent respectivement l'importance écosystémique de ces formations forestières. Bien qu'elles ne se concentrent pas

spécifiquement sur la thermorégulation en tant que service écosystémique, ces études fournissent des informations contextuelles sur la composition et la structure de ces écosystèmes, ce qui peut influencer indirectement la régulation thermique.

La thermorégulation dans différentes formations forestières et habitats, en mettant en lumière des variations selon la composition et la structure des habitats. Les données indiquent que les formations forestières de chêne zen, chêne-liège et mixte présentent des valeurs de thermorégulation plus élevées par rapport aux formations herbacées et au sol nu.

#### 4.4.6. Services Lutte contre l'érosion

En termes de services écosystémiques de lutte contre l'érosion, les formations forestières de chêne zen, de chêne-liège et mixte, avec une co-dominance de chêne-liège et chêne zen, occupent respectivement 4%, 11%, et 9% de la superficie totale, soit 94,3 ha, 259,2 ha et 212,1 ha, toutes affichant un niveau de service de lutte contre l'érosion évalué comme fort. En revanche, les formations forestières mixtes, avec une co-dominance de chêne liège et d'autres espèces, couvrent 25% de la superficie, soit 589,2 ha, avec un niveau de service légèrement inférieur évalué comme moyen.



**Figure 38** : Carte de service lutte contre l'érosion

. Les formations herbacées occupent la plus grande partie de la superficie, avec 24% (565,7 ha), mais présentent le niveau de service le plus bas, évalué comme faible. Enfin, les zones de sol nu représentent 27% de la superficie totale, soit 636,4 ha, et ne fournissent aucun service de

lutte contre l'érosion. Ces données détaillées permettent de comprendre la contribution relative de chaque type de formation végétale à la protection contre l'érosion, soulignant l'importance des formations forestières et leur impact sur la préservation des sols.

Les recherches académiques consacrées à l'érosion des sols selon les différentes formations végétales en forêt de montagne de chêne liège et chêne zen en Algérie du Nord sont nombreuses et diversifiées. Une variété d'études illustre cette problématique. Par exemple, Roose et ses collègues (1993) démontrent que les pluies torrentielles en automne, période de couverture végétale réduite, affectent particulièrement les sols tendres tels que les schistes et les argiles. L'importance de la végétation dans la lutte contre l'érosion est également soulignée dans les travaux de Kouidri et al. (1989), qui mesurent le ruissellement et l'érosion en nappe dans diverses régions d'Algérie, mettant en évidence l'impact de la végétation sur la stabilité des sols. En outre, l'étude de Roose (1994) présente une introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols, mettant en avant le rôle crucial de la végétation dans la lutte contre l'érosion. Enfin, Arabi et ses collaborateurs (2004) examinent les stratégies de lutte antiérosive en Algérie, insistant sur l'importance de la gestion des terres et de la végétation pour prévenir l'érosion. Ces recherches témoignent de l'importance primordiale de la végétation dans la préservation des sols, notamment dans les régions de montagne où ces derniers sont souvent fragiles et exposés.

---

# *Conclusion*

---

## **Conclusion**

L'Algérie, par sa biodiversité exceptionnelle, abrite divers écosystèmes, jouant ainsi un rôle crucial dans le maintien des services écosystémiques. Ces services comprennent la régulation climatique, la préservation des sols, la purification de l'eau et la fourniture de ressources naturelles telles que le bois et les plantes médicinales. De plus, la biodiversité algérienne renforce la résilience des écosystèmes face aux perturbations, contribue à atténuer les effets du changement climatique et préserve la santé des sols ainsi que des ressources en eau.

L'étude des services écosystémiques dans la région de Mouia révèle une diversité significative des couvertures terrestres, reflétant des liens distincte entre les formations végétales et les services qu'elles fournissent. La cartographie des différentes formations végétales, basée sur une classification supervisée des données spatiales, offre des aperçus essentiels pour la gestion et la conservation des ressources naturelles.

La carte des différentes formations végétales résultant de la classification supervisée a mis en évidence plusieurs caractéristiques importantes de la région de Mouia. Les données montrent une diversité de couvertures terrestres. L'évaluation de la performance de la classification a donné un excellent résultat avec une valeur de l'AUC de 0,9405, indiquant une capacité presque parfaite du modèle à distinguer entre les différentes classes de couverture terrestre.

Les différentes cartes générées nous ont permis ; d'appréhender les services écosystémiques selon les classe d'occupation des sols on illustrent la répartition spatiale des SE à savoir ; bois et la fibre, production du liège, la chasse, les ressources médicinales, le pâturage, la thermorégulation et la lutte contre l'érosion.

L'analyse détaillée des services écosystémiques met en évidence l'importance des formations forestières de chêne-zeen et de chêne-liège dans la fourniture de services tels que le bois et la fibre, la chasse et les ressources médicinales. La gestion durable de ces ressources est essentielle pour préserver l'équilibre écologique et répondre aux besoins socio-économiques des populations locales, soulignant l'importance de prendre en compte la diversité des écosystèmes dans les stratégies de conservation et de gestion des écosystèmes..

Cette étude offre une compréhension des services écosystémiques dans la région de Mouia, mettant en lumière sur l'intérêt de conservation des ressources naturelles, visant à assurer la durabilité des écosystèmes et le bien-être des communautés locales.

---

*Références*  
*bibliographiques*

---

## Références bibliographiques

- Alphan, H., & Derse, M. A. (2013). Change detection in Southern Turkey using normalized difference vegetation index (NDVI). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21(1), 12-18. <https://journals.vilniustech.lt/index.php/JEELM/article/download/1904/1517>
- Araújo, M., Branciard, C., Costa, F., Feix, A., Giarmatzi, C., & Brukner, Č. (2015). Witnessing causal nonseparability. *New Journal of Physics*, 17(10), 102001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/17/10/102001/pdf>
- Berger-Douce, S. (2005). Management environnemental et PME: apports et limites d'une démarche collective. *Revue internationale PME*, 18(3), 93-123. <https://www.erudit.org/en/journals/ipme/2005-v18-n3-4-ipme5006288/1008484ar.pdf>
- Bersier, L. F., & Meyer, D. R. (1995). Relationships between bird assemblages, vegetation structure, and floristic composition of mosaic patches in riparian forests. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 50(1), 15-33. <https://hal.science/hal-03529078/document>
- Braat, L. C., & De Groot, R. (2012). The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services-A concept for land-cover based assessments. *Landscape online*, 15-15. <https://www.landscape-online.org/index.php/lo/article/download/LO.200915/67>
- Caire, A. (1971). Chaînes alpines de la Méditerranée centrale (Algérie et Tunisie septentrionales, Sicile, Calabre et Apennin méridional). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000014894>
- Carpenter, S.R., S.W. Chisholm, C.J. Krebs, D.W. Schindler, and R.F. Wright. (1995), « ecosystem experiments. » *Science* 269: 324-327. [Academia](https://doi.org/10.1126/science.1229821)
- Centre Canadien de Télédétection (CCT). 2008. Tutoriel : Notions Fondamentales de Télédétection. <https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/2010-v54-n151-cgq3910/044369ar/>
- Chan, S. S., Larson, D. J., Maas-Hebner, K. G., Emmingham, W. H., Johnston, S. R., & Mikowski, D. A. (2006). Overstory and understory development in thinned and underplanted Oregon Coast Range Douglas-fir stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(10), 2696-2711. <https://ecoshare.info/wp-content/uploads/2021/02/Chan-et-al-2006-CJFR.pdf>
- Chaudhary, S., McGregor, A., Houston, D., & Chettri, N. (2015). The evolution of ecosystem services: A time series and discourse-centered analysis. *Environmental Science & Policy*, 54, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.025>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. [Nature](https://doi.org/10.1038/387253a0)
- Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., ... & Woodwell, G. M. (1997). Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. Published by the Ecological Society of America in *ecology*, <https://www.esa.org/wp-content/uploads/2013/03/issue2.pdf>

- Daily, G.C., (Ed.). (1997). Daily, G. C. (Ed.). (1997). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems (392). [https://www.robertcostanza.com/wp-content/uploads/2017/02/1997\\_C\\_Costanza\\_Folke\\_C4inDaily.pdf](https://www.robertcostanza.com/wp-content/uploads/2017/02/1997_C_Costanza_Folke_C4inDaily.pdf)
- De Groot, F., Vankó, G., & Glatzel, P. (2009). The 1s x-ray absorption pre-edge structures in transition metal oxides. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 21(10), 104-207. <http://www.projects.science.uu.nl/anorg/PDF/degroot%202009%20JPCM.pdf>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408. [Academia](https://www.academia.edu/download/49120324/deGroot_20et_20al.pdf)
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408. [https://www.academia.edu/download/49120324/deGroot\\_20et\\_20al.pdf](https://www.academia.edu/download/49120324/deGroot_20et_20al.pdf)
- De Groot, R., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Gowdy, J., ... & Shmelev, S. (2012). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations* (pp. 9-40). Routledge. <https://www.es-partnership.org/wp-content/uploads/2016/06/TEEB-D0-Chap-1.pdf>
- De Groot, R., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Gowdy, J., ... & Shmelev, S. (2012). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations* (pp. 9-40). Routledge. <https://www.es-partnership.org/wp-content/uploads/2016/06/TEEB-D0-Chap-1.pdf>
- De la ELCSA, C. C. (2012). Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA): Manual de uso y aplicaciones. Roma: FAO. <https://www.fao.org/4/i3065s/i3065s.pdf>
- De Sartre, XA, Oszwald, J., Castro, M. et Dufour, S. (2014). Écologie politique des services écosystémiques (Vol. 21). TARTE Peter Lang. <https://shs.hal.science/halshs-01098622/document>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS biology*, 4(8), e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). Un cadre pour classer et quantifier le capital naturel et les services écosystémiques des sols. *Ecological economics*, 69 (9), 1858-1868. [https://www.academia.edu/download/47579518/A\\_framework\\_for\\_classifying\\_and\\_quantify20160727-32025-amu1ep.pdf](https://www.academia.edu/download/47579518/A_framework_for_classifying_and_quantify20160727-32025-amu1ep.pdf)
- Dufour, S., Sartre, X. A. D., Castro, M., Oszwald, J., & Rollet, A. J. (2016). Origine et usages de la notion de services écosystémiques: éclairages sur son apport à la gestion des hydrosystèmes. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 25). <https://journals.openedition.org/vertigo/17435>
- Durrieu, S., & Deshayes, M. (1994). Méthode de comparaison d'images satellitaires pour la détection des changements en milieu forestier. Application aux monts de Lacaune (Tarn, France). In *Annales des sciences forestières* (Vol. 51, No. 2, pp. 147-161). [EDP Sciences. https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1994/02/AFS\\_0003-4312\\_1994\\_51\\_2\\_ART0005.pdf](https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1994/02/AFS_0003-4312_1994_51_2_ART0005.pdf)
- Eckholm, E. P. (1978). *Disappearing species: The social challenge* (1st Edition.). Worldwatch Institute. *Ecological Economics* 8, 643-653. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED157821.pdf>

Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Bode, M., & Richardson, D. M. (2009). Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological conservation*, 142(3), 553-562. [Academia](#)

Ehrlich, P. & Ehrlich, A. (1981). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. <https://archive.org/details/extinctioncauses0000ehrl/page/n7/mode/2up>

Eigenbrod, F., Armsworth, P. R., Anderson, B. J., Heinemeyer, A., Gillings, S., Roy, D. B., ... & Gaston, K. J. (2010). Error propagation associated with benefits transfer-based mapping of ecosystem services. *Biological conservation*, 143(11), 2487-2493.

Erus, G. (2008). *Reconnaissance d'objets cartographiques dans les images satellitaires à haute résolution* (Doctoral dissertation, Paris 5). [https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2009/phdTheses/Erus\\_These\\_250608.pdf](https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2009/phdTheses/Erus_These_250608.pdf)

FAO.1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (CGES). Bulletin Pédologique de la FAO n°70. 420p. In « Rabiou, H., Mahamane, M., & Issaharou, I. (2019). Impact de L'installation des Camps des Réfugiés, Retournés et Déplacés sur L'exploitation des Ressources Ligneuses dans la Région de Diffa. *European Scientific Journal*, 15(36), 1857-7881. » <https://core.ac.uk/download/pdf/328026865.pdf>

Faurie C., Ferra C. et Medori P., 1980- Ecologie. Ed. Baillière, Paris ,168 p., IN » CHENNOUF, R. (2008). *Echantillonnages quantitatifs et qualitatifs des peuplements d'invertébrés dans un agro-écosystème à Hassi Ben Abdallah (Ouargla)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.)» [Dspace](#)

Faurie, C. (2011). *Écologie Approche scientifique et pratique (6e ed.)*. Lavoisier. [books.google](#)

Feoli, E., Giacomich, P., Mignozzi, K., Oztürk, M., & Scimone, M. (2003). Monitoring desertification risk with an index integrating climatic and remotely-sensed data: an example from the coastal area of Turkey. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 14(1), 10-21. <https://www.eMérald.com/insight/content/doi/10.1108/14777830310460351/full/html>

Fielding, A.H., Bell, J.F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24(1): 38-49 <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ee4e7a9902511e531fb259412597461e84a137cb>

Fisher, B., & Kerry Turner, R. (2008). Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141(5), 1167–1169. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.019>

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/80264/1/571829937.pdf>

Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 80(1), 185-201. [Researchgat](#)

Froger, G., Méral, P., Coq, J. F. L., Aznar, O., Boisvert, V., Caron, A., & Antona, M. (2012). Regards croisés de l'économie sur les services écosystémiques et environnementaux. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 12(3). <https://journals.openedition.org/vertigo/12900>

Gérard, J. O. L. Y. (1987). Traitement informatique de l'image satellitaire. Ingénieur CNRS, Laboratoire de Géographie, CNRS UA, 910. <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000835v1/file/b47p233.pdf>

Gessesse, A. A., & Melesse, A. M. (2019). Temporal relationships between time series CHIRPS-rainfall estimation and eMODIS-NDVI satellite images in Amhara Region, Ethiopia. In *Extreme hydrology and climate variability* (pp. 81-92). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00008-7>

Guillet, J. (1991). La télédétection et ses applications pédagogiques. *Bulletin de l'EPI (Enseignement Public et Informatique)*, (61), 181-193. [Hal. science](https://hal.science)

Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamáki, O., Maes, J., Wittmer, H., & Jax, K. (2013). "Maps have an air of authority": potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. *Ecosystem Services*, 4, 25-32. [Academia](https://doi.org/10.1016/j.ecosyst.2013.05.001)

Jax, K., Barton, DN, Chan, KM, De Groot, R., Doyle, U., Eser, U., ... et Wichmann, S. (2013). Services écosystémiques et éthique. *Économie écologique*, 93, 260-268. [https://www.academia.edu/download/94499385/Jax\\_et\\_al\\_2013\\_Ecosystem\\_Services\\_and\\_Ethics\\_Ecol\\_20\\_Econ.pdf](https://www.academia.edu/download/94499385/Jax_et_al_2013_Ecosystem_Services_and_Ethics_Ecol_20_Econ.pdf)

Kandziora, M., Burkhard, B., & Müller, F. (2013). Mapping provisioning ecosystem services at the local scale using data of varying spatial and temporal resolution. *Ecosystem Services*, 4, 47-59. [Academia](https://doi.org/10.1016/j.ecosyst.2013.05.001)

Koch, B. (2012). La télédétection et son utilisation dans les évaluations forestières nationales (EFN). *Répertoire des connaissances sur évaluations des ressources forestières nationales, catalogue de la FAO*, <https://f2school.com/wp-content/uploads/2020/04/Teledetection-Etude-de-cas-03.pdf>

Kouidri, R., Roose, E., & Muxart, T. (1989). Quantification de l'érosion en ravine. Approche dans le temps et dans l'espace. *Bulletin du RESEAU EROSION*, (9), 52-54. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/bre/27441.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/bre/27441.pdf)

Landers, D. H., & Nahlik, A. M. (2013). Final ecosystem goods and services classification system (FECS-CS). *Anonymous EPA United States Environmental Protection Agency. Report Number EPA/600/R-13/ORD-004914*. [https://www.pame.is/images/03\\_Projects/EA/Project\\_Team\\_Site/landers\\_nahlik2013\\_EPA\\_report\\_FECS-CS\\_FINAL\\_V.2.8a.pdf](https://www.pame.is/images/03_Projects/EA/Project_Team_Site/landers_nahlik2013_EPA_report_FECS-CS_FINAL_V.2.8a.pdf)

Layman, C. A., & Rypel, A. L. (2023). Beyond Kuhnian paradigms: Normal science and theory dependence in ecology. *Ecology and evolution*, 13(7), e10255. [10.1002/ece3.10255](https://doi.org/10.1002/ece3.10255)

Le Clec'h, S., Dufour, S., OszwALD, J., Grimaldi, M., & Jégou, N. (2014). Spatialiser des services écosystémiques, un enjeu méthodologique et plus encore. *Political Ecology des services écosystémiques, Bruxelles, Peter Lang, coll.«Ecopolis*, 205-223. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers15-07/010065089.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-07/010065089.pdf)

Levrel, H., Roche, P., Geijzendorffer, I., & Mongruel, R. A. (2016). "Approches écologiques et économiques de l'offre et la demande de services écosystémiques". *Valeurs de la biodiversité et des services écosystémiques. Perspectives interdisciplinaires, Editions Quae, Collection Update Sciences & technologies*, 103-112. [10.3917/quae.roche.2016.01.0103](https://doi.org/10.3917/quae.roche.2016.01.0103). [hal-01473747](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01473747)

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons. [https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as\\_sdt=0%2C5&q=Lillesand+T%2C+Kiefer+RW%2C+Chipman+J.+2008.+Remote+Sensing+and+Image+Interpretation.+John+Wiley+%26+Sons%3B+6th+Edition.+ISBN-10%3A+0470052457.+ISBN-13%3A+978-0470052457.+768p&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Lillesand+T%2C+Kiefer+RW%2C+Chipman+J.+2008.+Remote+Sensing+and+Image+Interpretation.+John+Wiley+%26+Sons%3B+6th+Edition.+ISBN-10%3A+0470052457.+ISBN-13%3A+978-0470052457.+768p&btnG=)

Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., Real, R., 2008. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17(2): 145-15 <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>

Maris, V. (2014). Nature à vendre: Les limites des services écosystémiques. <https://www.academia.edu/download/36159561/Annoncevirginiemarisavignon.pdf>

Mas, J. F. (2000). Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26(4), 349-362. <https://doi.org/10.1080/07038992.2000.10874785>

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. 155. Pp. [ResearchGat](https://www.researchgate.net/publication/238111111)

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Berhens, W.W., 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's project on the Predicament of Mankind*. Earth Island, Universe Books, New York. <https://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>

Méral, P., & Pesche, D. (2016). Les services écosystémiques: repenser les relations nature et société (p. 304). *éditions Quae*. <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/46130/1/9782759224708.pdf>

Messaoudene, M. (1996). Chêne zeen et chêne afares. *La forêt algérienne*. In « Aissi, A. (2019). *Le chêne zeen à petites feuilles (Quercus faginea Lam.) dans l'Aurès: cartographie, écologie et taxinomie* (Doctoral dissertation, Université Batna 1 Hadj Lakhdar) » <https://theses.hal.science/tel-02957134/document>

M'Hirit, O. (1999). La forêt méditerranéenne: espace écologique, richesse économique et bien social. *Unasylva* (FAO), 50(197). <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6472352d53aa8c89630233b6>

Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 66(3), 247-259. [Academia](https://www.academia.edu/4387638/mountrakis_svm_review_in_remote_sensing_isprs_2010.pdf)

Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 66(3), 247-259. [https://www.academia.edu/4387638/mountrakis\\_svm\\_review\\_in\\_remote\\_sensing\\_isprs\\_2010.pdf](https://www.academia.edu/4387638/mountrakis_svm_review_in_remote_sensing_isprs_2010.pdf)

Norgaard, R. B. (2010). Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder. *Ecological economics*, 69(6), 1219-1227. [http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/vyberclanku/pdf/p68\\_ucit/10\\_NORGAARD.pdf](http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/vyberclanku/pdf/p68_ucit/10_NORGAARD.pdf)

Pagiola, S., Agostini, P., Gobbi, J., Haan, C. de, Ibrahim, M., Murgueitio, E., Ramírez, E., Rosales, M., & Ruíz, J. P. (2005). Paying for Biodiversity Conservation Services. *Mountain Research and Development*, 25(3), 206–211. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2005\)025\[0206:PFBCS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0206:PFBCS]2.0.CO;2)

Plant, R., Roche, P., & Barnaud, C. (2016). Services écosystémiques et représentation des dépendances des êtres humains à l'égard des écosystèmes. Valeurs de la biodiversité et services écosystémiques: Perspectives interdisciplinaires, 113-130. <https://www.cairn.info/valeurs-de-la-biodiversite-et-services-ecosystemiq--9782759224425-page-113.htm>

Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R. et Turner, RK (2016). Les services écosystémiques au XXIe siècle. Dans *Manuel Routledge des services écosystémiques* (pp. 1-10). Routledge. [https://www.nottingham.ac.uk/CEM/pdf/A4\\_Chapter\\_1\\_Potschin\\_et\\_al\\_21st%20century.pdf](https://www.nottingham.ac.uk/CEM/pdf/A4_Chapter_1_Potschin_et_al_21st%20century.pdf)

Quinquis, M. (2017). Relations entre bassins versants et cellules sédimentaires littorales: les exemples du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie (doctoral dissertation, université d'Aix-Marseille; ED 355–espaces, cultures, sociétés; UMR 7330 CNRS CEREGE). [Hal. Science](https://hal.science/hal-01544442)

Ranganathan, J., Raudsepp-Hearne, C., Lucas, N., Irwin, F., Zurek, M., Bennett, K., ... & West, P. (2008). A guide for decision makers. World Resources Institute. [https://www.researchgate.net/profile/Janet-Ranganathan-2/publication/284078642\\_ECOSYSTEM\\_SERVICES\\_A\\_Guide\\_for\\_Decision\\_Makers/links/564bdeb208aeab8ed5e7925f/ECOSYSTEM-SERVICES-A-Guide-for-Decision-Makers.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Janet-Ranganathan-2/publication/284078642_ECOSYSTEM_SERVICES_A_Guide_for_Decision_Makers/links/564bdeb208aeab8ed5e7925f/ECOSYSTEM-SERVICES-A-Guide-for-Decision-Makers.pdf)

Rives, F., Pesche, D., Méral, P., & Carrière, S. M. (2016). Les services écosystémiques : une notion discutée en écologie. *Les Services écosystémiques. Repenser les relations nature et société*, Versailles, éditions Quæ, 53-74. <https://doi.org/10.3917/quae.pesch.2016.01.0053>

Rives, F., Pesche, D., Méral, P., & Carrière, S. M. (2016). Les services écosystémiques: une notion discutée en écologie. *Les Services écosystémiques. Repenser les relations nature et société*, Versailles, éditions Quæ, 53-74. [https://www.researchgate.net/profile/Stephanie-Carriere/publication/336386476\\_Les\\_services\\_ecosystemiques\\_une\\_notion\\_discutee\\_en\\_ecologie/links/5d9f2b2292851c6b4bca408e/Les-services-ecosystemiques-une-notion-discutee-en-ecologie.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Stephanie-Carriere/publication/336386476_Les_services_ecosystemiques_une_notion_discutee_en_ecologie/links/5d9f2b2292851c6b4bca408e/Les-services-ecosystemiques-une-notion-discutee-en-ecologie.pdf)

Roose, E. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)* (Vol. 70). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-03/41504.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/41504.pdf)

Russell, M., Rhodes, C., Van Houtven, G., Sinha, P., Warnell, K., & Harwell, M. C. (2020). Ecosystem-based management and natural capital accounting. Ecosystem-based management, ecosystem services and aquatic biodiversity: Theory, tools and applications, 149-163. [https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41759/2020\\_Book\\_Ecosystem-BasedManagementEcosy.pdf?sequence=1#page=151](https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41759/2020_Book_Ecosystem-BasedManagementEcosy.pdf?sequence=1#page=151)

Sarrazin, F., Pham, J. L., Reboud, X., & Lecomte, J. (2016). Conséquences évolutives des approches par services écosystémiques. *Valeurs de la biodiversité et services écosystémiques*, 131. [Researchgat](https://hal.science/hal-01544442) .

Seou, E., Akame, L., & Boukpepsi, T. (2022). Diversité floristique et caractéristiques structurales des groupements végétaux du bassin du Zio (Sud-Togo). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 17), 83-98. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.13984>

Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of applied Ecology*, 48(3), 630-636. [scholar.google](https://scholar.google.com/)

Singh, A. (1989). Consultez l'article sur les techniques de détection des changements numériques à l'aide de données de télédétection. *Revue internationale de télédétection*, 10 (6), 989-1003. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431168908903939>

Sitayeb, T., & Benabdeli, K. (2008). Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique. *Comptes rendus. Biologies*, 331(6), 466-474.

Sohel, M. S. I., Mukul, S. A., & Burkhard, B. (2015). Landscape 's capacities to supply ecosystem services in Bangladesh: A mapping assessment for Lawachara National Park. *Ecosystem services*, 12, 128-135 [https://www.academia.edu/download/36009759/Sohel\\_et\\_al.\\_2014\\_b\\_LNP\\_small.pdf](https://www.academia.edu/download/36009759/Sohel_et_al._2014_b_LNP_small.pdf)

Soubirane, j., Delpont, g., & Baghdadi, n. (2001). Apport de l'imagerie satellitaire optique et radar à la gestion de l'eau et de l'environnement en zone alluviale. Etude de la plaine de la garonne entre toulouse et St Nicolas de la grave (France). *Bulletin SFPT n, 162, 2*. [ResearchGat](https://www.researchgate.net/publication/228211107)

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.3287615>

Tabet, S., Belhemra, M., Francois, L., & Arar, A. (2018). Evaluation by prediction of the natural range shrinkage of *Quercus ilex* L. in eastern Algeria. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 68(1), 7-15. DOI: 10.5152/forestist.2018.002

USEAP. (2015). National Ecosystem Services Classification System (NESCS): Framework Design and Policy Application (Agence de protection de l'environnement des États-Unis). Rapport final. 188 pp. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/110915\\_nescs\\_final\\_report\\_-\\_compliant\\_1.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/110915_nescs_final_report_-_compliant_1.pdf)

Vihervaara, P., Rönkä, M., & Walls, M. (2010). Trends in ecosystem service research: early steps and current drivers. *Ambio*, 39, 314-324.

Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais, A., & Schwartz, C. C. (2015). Les services écosystémiques des sols: du concept à sa valorisation. *Cahier-Club Demeter*, (15), 53-68.

Weng, Q. (2010). Remote sensing and GIS integration. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/75791/1/58.pdf>

**Site web :** Données climatique depuis le site : <https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/2010-v54-n151-cgq3910/044369ar/>

---

# *Annexes*

---

## Questionnaire destiné aux usagers de la forêt MOUIA

Connaissez-vous de la forêt des Mouia ?

Oui  non

Que représente pour vous cette forêt

Services d'approvisionnement [pourcentage] 20  40  60  80  100

Services de régulation [pourcentage] 20  40  60  80  100

Services de soutien [pourcentage] 20  40  60  80  100

--Selon vous, que nous fournit-elle ?

Tourisme  Récréation

Nourriture  Bois et fibres  Ressources médicinales

Services culturels [pourcentage] 20  40  60  80  100

1--Quelle est votre relation avec la forêt ?

Résident local  visiteur occasionnel  professionnel forestier

2--Depuis combien de temps vivez-vous près de cette forêt ?

3--Pouvez-vous citer quelques espèces d'arbres ou d'animaux que l'on trouve dans cette forêt ?

-- Selon vous, quels sont les problèmes qui menacent cette forêt ?

-----  
-----  
**En général, vous y allez avec qui ?**

Tout (e) seul (e)  Avec ma famille

Avec des amis (es)

En générale, vous y allez pendant quelle saison?

- |                                  |                          |           |
|----------------------------------|--------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> Automne | <input type="checkbox"/> | Printemps |
| <input type="checkbox"/> Hiver   | <input type="checkbox"/> | Eté       |

**Pourquoi vous allez à la forêt des Ouled Hanneche?**

- |   |                          |                                  |
|---|--------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Se promener              | <input type="checkbox"/> | Couper et ramasser du bois       |
| <input type="checkbox"/> Contempler la nature     | <input type="checkbox"/> | Ramasser des glands              |
| <input type="checkbox"/> Cueillir des champignons | <input type="checkbox"/> | Pâturage                         |
| <input type="checkbox"/> Faire du sport           | <input type="checkbox"/> | Etudes                           |
| <input type="checkbox"/> Chasser                  | <input type="checkbox"/> | Cueillir des plantes médicinales |

Que ramener vous avec vous de cette forêt?

**Êtes-vous pour ou contre l'ouverture de la forêt pour le tourisme?**

- Pour       Pour, mais pas toute la forêt
- Contre

**Merci beaucoup pour votre participation, vos réponses sont précieuses pour nous aider à mieux comprendre et à protéger notre précieux environnement forestier.**



