

Mémoire de fin d'études d'ingénieur
VetAgro Sup
Campus agronomique de Clermont-Ferrand

Perspectives de valorisation de l'observatoire des
forêts du Parc naturel régional des Pyrénées
ariégeoises face au changement climatique

Vincent DOUBLÉ

**Option EcoTerr, Ingénierie et stratégie du développement
écoterritorial**

2024



Mémoire de fin d'études d'ingénieur
VetAgro Sup
Campus agronomique de Clermont-Ferrand

Perspectives de valorisation de l'observatoire des
forêts du Parc naturel régional des Pyrénées
ariégeoises face au changement climatique

Vincent DOUBLÉ

**Option EcoTerr, Ingénierie et stratégie du développement
écoterritorial**

2024

Organisme d'accueil : Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises

Maître de stage : Raphaële HEMERYCK

Enseignante Référente : Marion GUILLOT



« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en aucun cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

Remerciements

Je remercie tout d'abord le Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises pour m'avoir accueilli pour ce stage de fin d'étude au sein de la structure.

Je remercie en particulier Raphaële HEMERYCK, ma maître de stage, chargée de projet Life ARTISAN, pour sa bienveillance et la connaissance apportés durant ce stage. Merci de m'avoir fait confiance dès le départ pour travailler à ses côtés à la mise en place de l'observatoire forestier du Parc.

Je remercie plus largement toute l'équipe du PNRPA, pour m'avoir accueilli dans de telles conditions et pour les discussions partagées ensemble.

Je remercie également Marion GUILLOT, mon enseignante référente, pour l'intérêt porté à ce stage, ainsi que pour son accompagnement et ses conseils tout au long de celui-ci.

De même, je remercie toutes les personnes avec qui j'ai échangé lors d'entretiens au cours de ma mission pour leur temps et leurs réponses.

Merci à Gaspard et Nathanaël pour leur expertise et les efforts fournis ensemble sur le terrain.

Je remercie mes collègues stagiaires, Marie, Marjorie et Timéo, pour leur soutien, leurs conseils et la bonne humeur qu'ils ont amené tout au long de cette période.

De plus, je remercie VetAgro Sup, qui m'a donné l'opportunité d'intégrer cette formation d'ingénieur agronome.

Enfin, je remercie mes proches pour leur soutien durant ce stage et pour le temps passé à la relecture de ce mémoire.

Table des abréviations

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

ANA – CEN Ariège : Association des Naturalistes d'Ariège – Conservatoire d'Espaces Naturels d'Ariège

ARTISAN : Accroître la Résilience des Territoires au changement climatique par l'Incitation aux Solutions d'Adaptation fondées sur la Nature

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

CNRTL : Centre national des ressources textuelles et lexicales

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DMH : Dendromicrohabitat

GB : Gros Bois

GPS : Global Positioning System

IFN : Inventaire Forestier National

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

IMAT : Indice de Maturité

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

LiDAR : Light Detection and Ranging

MNT : Modèle Numérique de Terrain

OFB : Office Français de la Biodiversité

ONF : Office National des Forêts

ONG : Organisation non gouvernementale

PNC : Parc National des Cévennes

PNR : Parc naturel régional

PNRPA : Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises

PSDRF : Protocol de suivi des réserves forestières

SAFN : Solution d'Adaptation Fondée sur la Nature

SER : Sylvoécocorégion

SIG : Système d'Information Géographique

TGB : Très Gros Bois

UE : Union Européenne

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

Table des Figures

Figure 1 : Carte des forêts du PNRPA.....	3
Figure 2 : Graphique de répartition des propriétés forestières	4
Figure 3 : Carte de répartition des propriétés forestières	5
Figure 4 : Tableau des pentes sur le territoire du parc.....	5
Figure 5 : Principe du LiDAR.....	9
Figure 6 : Modélisation grâce au LiDAR.....	9
Figure 7 : Carte des placettes de l'observatoire des forêts du PNR des Pyrénées ariégeoises. 11	
Figure 9 : Exemple de diagramme de naturalité des peuplements	19
Figure 8 : Gamme de services écosystémiques fournis par la nature aux humains	25
Figure 10 : Schéma des flux autour des arbres précomptables	27
Figure 11 : Carte des sylvoécorégions du PNR des Pyrénées ariégeoises	28
Figure 12 : Carte des territoires du PNR des Pyrénées ariégeoises	30
Figure 13 : Carte des sous-secteurs hydrographiques du PNR des Pyrénées ariégeoises.....	31

Table des matières

Introduction	1
I. Le Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, un acteur clé pour les forêts du territoire	2
I.1. La création du Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, une ressource pour le territoire	2
I.2. Caractéristiques et Enjeux des Forêts du PNRPA : Répartition, Propriétés et Gestion ...	3
I.3. Rôle du projet Life ARTISAN dans la lutte contre le changement climatique.....	6
I.4. Objectifs et Enjeux de la Valorisation de l'Observatoire Forestier : Environnementaux, Scientifiques, Socio-Économiques et Politiques	7
II. Approche Méthodologique et Collecte de Données	8
II.1. Création de l'observatoire, présentation du travail de terrain et de la collecte de données.....	8
II.2. Recueil d'informations auprès d'autres observatoires forestiers en France et travail de recherche bibliographique	12
III. Résultats	13
III.1. Les Observatoires Forestiers	13
III.1.1. Objectifs et Méthodologies des Observatoires Forestiers	13
III.1.2. Exemples d'observatoires forestiers en France et dans le monde et leurs missions	14
III.2. Présentation des différents types de données et de leur analyse possible	17
III.2.1. Les données placettes	17
III.2.2. Les données LiDAR	21
III.3. Valorisation de l'Observatoire	23
III.3.1. La Valorisation des Observatoires Forestiers	23
III.3.2. Analyse des placettes forestières et croisement des données environnementales	26
III.3.3. Importance de la remesure des placettes	26
III.3.4. Découpages géographiques possible pour l'analyse des données.....	28
III.4. Utilisation des Données pour la Gestion Forestière	31
III.4.1. Utilisation des données pour la gestion et la planification.....	32
III.4.2. Suivi de la biodiversité	32
III.5.3. Adaptation au changement climatique	33
III.5. Communication et Sensibilisation.....	34
III.5.1. Diffusion et Valorisation des Données	34
III.5.2. Sensibilisation auprès du grand public.....	35

III.6. Intérêt de l'observatoire auprès des partenaires	36
III.6.1. Partenariats avec d'autres institutions et observatoires	36
III.6.2. Collaborations avec les chercheurs, gestionnaires et autres parties prenantes.....	36
IV. Discussion et recommandations	37
IV.1. Proposition d'amélioration possible de l'observatoire à l'avenir	37
IV.2. Regard critique sur la mission de stage	37
IV.3. Défis et Perspectives.....	39
Conclusion.....	40
Références bibliographiques	41
Table des Annexes	44

Introduction

« Nous sommes la première génération à ressentir l'impact du changement climatique et la dernière génération à pouvoir y remédier. » affirmait Barack Obama en 2015, prenant des engagements dans la lutte contre le changement climatique. Il indiquait ainsi que le changement climatique est un problème actuel nous concernant à tous les niveaux.

La forêt est un milieu étroitement lié au changement climatique, en effet elle est à la fois réductrice des causes mais également des conséquences de celui-ci. Au cours des dernières décennies, les effets du changement climatique se sont fait ressentir de manière exacerbée dans les forêts, se traduisant par des phénomènes tels que des sécheresses prolongées, des incendies plus fréquents et plus intenses, et des invasions d'espèces exotiques, de parasites et ravageurs. Ces perturbations entraînent des dégradations majeures sur la biodiversité forestière, la qualité des sols, la disponibilité et la qualité de la ressource en eau¹.

Les forêts jouent un double rôle dans la lutte contre le changement climatique : elles agissent comme des puits de carbone majeurs en absorbant une partie importante des émissions de dioxyde de carbone de l'atmosphère et en le stockant sous forme de biomasse grâce à la photosynthèse². Cela permet de réduire la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et ainsi d'atténuer les effets du changement climatique. Elles jouent également un second rôle d'adaptation au changement climatique en fournissant des services écosystémiques qui réduisent la vulnérabilité des communautés humaines et des autres écosystèmes. Par exemple, les forêts de montagne stabilisent les sols et réduisent les risques de glissements de terrain, tandis que les zones humides régulent les inondations et préservent les ressources en eau pendant les périodes de sécheresse³.

Le changement climatique représente une menace majeure pour les écosystèmes forestiers en France, avec des impacts significatifs déjà observés. Les températures en hausse modifient la saison de croissance végétale, perturbant les cycles naturels et la productivité des forêts. Les épisodes de sécheresse, de plus en plus fréquents et longs, accroissent le stress hydrique des arbres, favorisant les attaques de parasites et la fragilisation des peuplements. Les changements dans les régimes de précipitations déséquilibrent les forêts et amplifient les dommages causés par les phénomènes naturels, tels que les tempêtes et les incendies, qui tendent à s'intensifier en fréquence et en intensité, nuisant aux fonctions écologiques des forêts. Enfin, l'augmentation des températures accroît le risque d'incendies de forêt en prolongeant la saison de végétation, en réduisant la teneur en eau des arbres et en favorisant l'accumulation de combustible, ce qui intensifie et accélère les incendies lors de leur déclenchement. De plus, le

¹ ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, 2019.

Unasylva 251 : Les forêts : des solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau. Food & Agriculture Org.

² SEDDON et al., 2019. Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change*. février 2019. Vol. 9, n° 2, pp. 84-87.

³ OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, 2019. *Des solutions fondées sur la nature pour s'adapter au changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement.* Paris : La Documentation française.

lien entre le changement climatique et les risques gravitaires, comme les éboulements et les glissements de terrain, se clarifie, avec une augmentation potentielle des glissements de terrain due à des précipitations plus intenses ainsi qu'à la fonte du permafrost⁴.

C'est en prenant en compte tous ces défis que rencontre les forêts, que la mise en place d'un observatoire semble être une solution intéressante pour y faire face. Ainsi, deux niveaux de questionnements seront développés dans ce mémoire de fin d'études :

- Comment mettre en place un observatoire forestier ?
- Comment valoriser les données de cet observatoire afin de mieux connaître les forêts du territoire et leur évolution face au changement climatique ?

Dans ce mémoire, nous précisons d'abord le contexte du stage et des questions posées. Au cours de celui-ci, des entretiens auprès des acteurs responsables de la mise en place d'observatoires forestiers sur d'autres territoires ont été réalisés. La deuxième partie sera consacrée à la méthodologie de recueil des données de terrain pour la mise en place de l'observatoire ainsi que la méthodologie de recueil des données de ces entretiens. Enfin, nous analyserons et discuterons ces résultats avant de donner des pistes de réflexion et d'amélioration dans une dernière partie.

I. Le Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, un acteur clé pour les forêts du territoire

I.1. La création du Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, une ressource pour le territoire

Le Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises (PNRPA) a été créé en 2009 sur 138 communes d'Ariège. Ces communes, le Département de l'Ariège et la Région Occitanie sont associés dans un syndicat mixte pour développer durablement ce territoire de 2 465 km² et 44 467 habitants⁵ (2017). Le Syndicat mixte, responsable de la gestion du Parc naturel régional, est composé d'élus délégués au Parc. Il a pour mission d'animer et de coordonner la mise en œuvre de la Charte du Parc. Les décisions sont prises en Comité syndical ou en Bureau, puis mises en œuvre par l'équipe technique. Cette équipe, composée d'experts polyvalents, de chargés de mission et de membres de l'équipe administrative, offre conseil et soutien techniques aux élus, professionnels et habitants impliqués dans des initiatives en lien avec la Charte du Parc naturel régional (PNR).

Les chargés de mission, chacun dans leur domaine (urbanisme, patrimoine bâti et naturel, Marque Parc, forêt, bois, tourisme, énergies...), initient, montent et suivent des projets. Ils gèrent également des dossiers de financement et animent et communiquent sur les différents

⁴ UICN COMITÉ FRANÇAIS, 2022. *Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques gravitaires et incendie en France*. Paris, France.

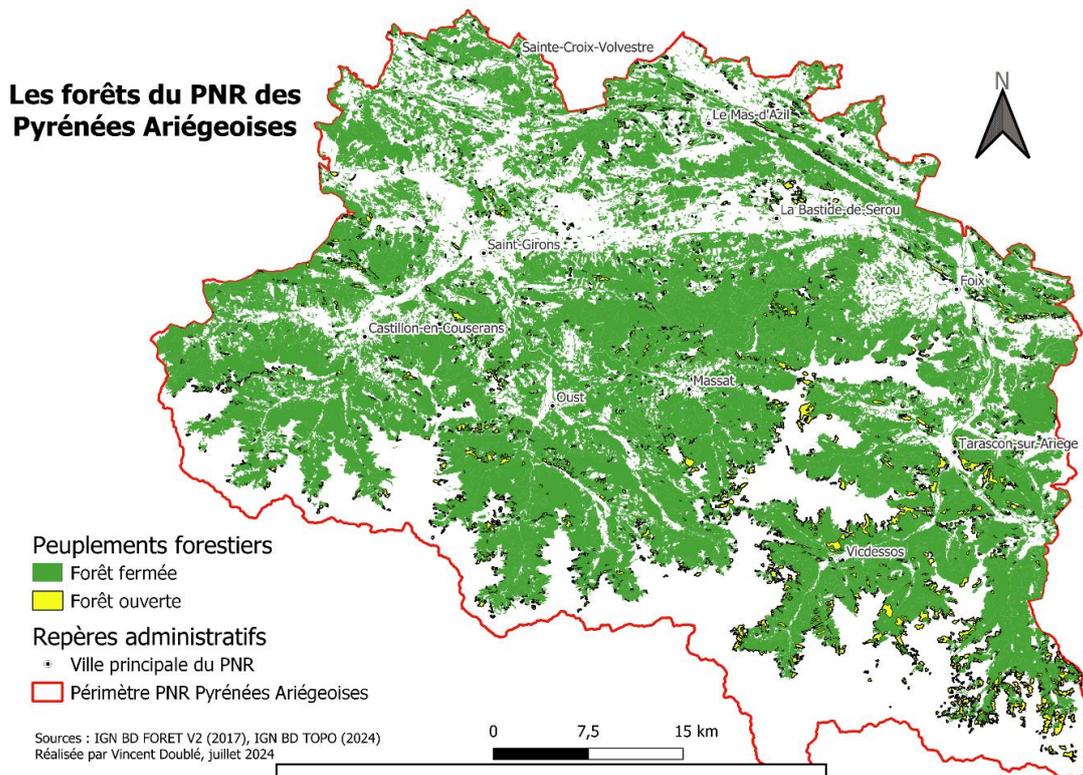
⁵ PARC NATUREL RÉGIONAL PYRÉNÉES ARIÉGEOISES, 2024. Adaptation des forêts au changement climatique. *PNR* [en ligne]. 2024.

projets en cours. Le Parc mène des actions dans des domaines aussi divers que la protection de la faune et de la flore, la restauration du patrimoine bâti, la préservation des paysages, la promotion des économies d'énergie et des énergies renouvelables, le management environnemental, l'éducation au territoire, la valorisation de la forêt et du bois, la promotion des savoir-faire et produits locaux, ainsi que le tourisme durable. Pour cela les équipes sont découpées en plusieurs pôles : - Ressources humaines, administration et finances, - Espaces et paysages, - Développement et politiques territoriales, - Biodiversité, agriculture et territoires.

Ce stage, était rattaché au pôle Espaces et Paysages, qui englobe notamment le secteur forestier. Mon rôle principal consistait à réaliser des travaux de terrain, en particulier des placettes de calibration du LiDAR, en vue d'établir un observatoire forestier sur le territoire du parc et ayant pour objectif de suivre les évolutions des forêts au cours du temps. En parallèle, j'avais pour mission de mener une étude exploratoire sur les perspectives de valorisation de cet observatoire une fois mis en place. Cela impliquait d'identifier les analyses possibles des données collectées et leur future utilisation au sein du parc, ainsi que pour les partenaires.

I.2. Caractéristiques et Enjeux des Forêts du PNRPA : Répartition, Propriétés et Gestion

Le PNRPA, est actuellement une des zones les plus boisées de France métropolitaine. En effet, la forêt couvre 57 % de la surface totale du parc et continue de s'étendre. Cela comprend 150 795 ha de forêts « fermées » et 10 738 ha de forêts « ouvertes ». La différence entre une forêt ouverte et une forêt fermée réside dans le pourcentage de couverture du sol par les arbres : entre 10 % et 40 %, il s'agit d'une forêt ouverte. Au-delà de 40 %, il s'agit d'une forêt fermée. Cela amène donc à un total d'un peu plus de 160 000 ha de forêts sur ce territoire



(**Figure 1**). Le PNR travaille avec ses partenaires à la prise de connaissance, la gestion et la valorisation de cette ressource précieuse que constitue cette forêt. Jusqu'au début du XX^e siècle, elle était surexploitée, mais comme dans de nombreuses régions de France et notamment les zones de montagne, l'exode rural vers les villes et les régions industrialisées a vidé les campagnes. Les terrains abandonnés se sont reboisés naturellement ou grâce à l'intervention humaine, soutenue par des financements de l'État français via le Fonds Forestier National. Cette situation résulte principalement de l'abandon des terres agricoles, comme en témoigne l'augmentation rapide et significative de la superficie forestière du parc, passée de 66 700 ha en 1908 à 147 582 ha en 2021, soit une augmentation de 221 %. Au début du XX^e siècle, la forêt s'étendait à un rythme de 700 hectares par an, mais à partir des années 1990, selon l'Inventaire Forestier National (IFN), cette expansion s'est accélérée, atteignant 2 800 hectares par an entre 1990 et 2009 sur l'ensemble du département. Le volume de bois sur pied augmente chaque année à un rythme quatre fois supérieur aux prélèvements⁶. Une grande partie de ces espaces forestiers n'est pas actuellement gérée par des pratiques sylvicoles.

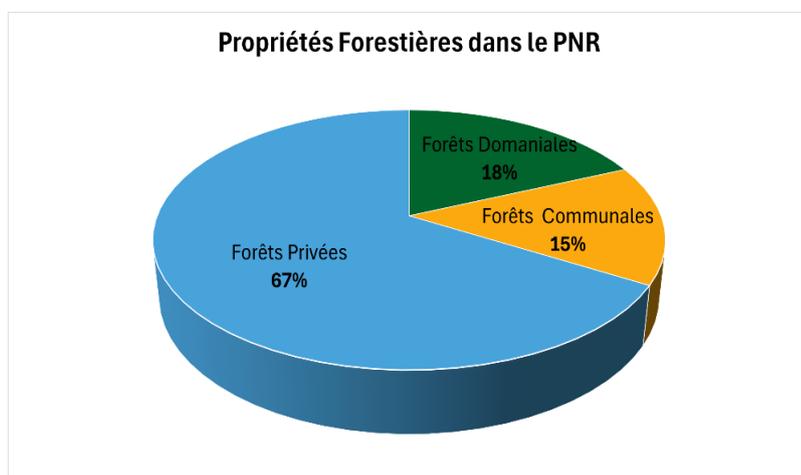


Figure 2 : Graphique de répartition des propriétés forestières

Cette forêt est principalement privée car 2/3 des forêts du territoire appartiennent à des propriétaires privés, tandis que le tiers restant est partagé entre différents propriétaires publics (domaniales, communales, syndicales, ...) (**Figure 2**).

Les forêts privées sont assez bien réparties sur le territoire, malgré une plus forte proportion en plaine, avec une altitude moyenne à 784 m, alors que l'altitude moyenne du PNRPA est à 1069 m. D'un autre côté, les forêts publiques se situent principalement dans le sud du territoire en zone de montagne, avec en général les villages et zones agricoles en fond de vallée et les forêts publiques dans les zones plus difficilement accessibles sur les hauteurs, ce qui explique une altitude moyenne à 1180 m d'altitude. Ainsi lors de l'analyse de données de l'observatoire, en comparant les forêts publiques et privées, certaines différences existantes pourraient s'expliquer par cette différence d'altitude moyenne, entraînant une différence de microclimat sur ces forêts (**Figure 3**). On peut ainsi s'attendre à des résultats distincts de couverture forestière entre forêt publique et privée rien qu'en comparant les écarts de stations

⁶ PNR DES PYRÉNÉES ARIÉGEISES, 2022. *Diagnostic territorial du PNR des Pyrénées ariégeoises – 10. La forêt et la filière bois.*

(une étendue de terrain homogène sur les plans du climat, du relief, du sol et de la végétation spontanée)⁷.

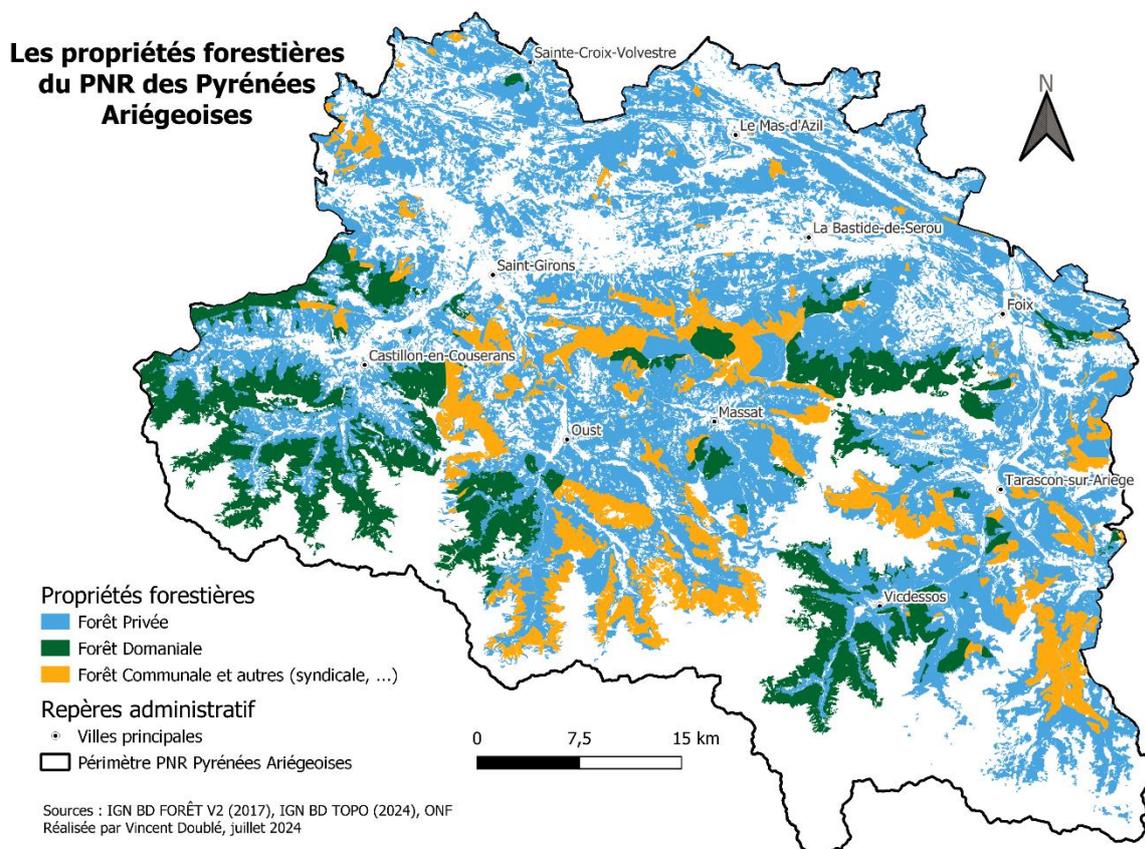


Figure 3 : Carte de répartition des propriétés forestières

Le relief et la topographie des forêts des Pyrénées ariégeoises sont particulièrement accidentés, avec 80 % de leur surface présentant une pente de plus de 30 % et 45 % ayant une pente dépassant 55 % (**Figure 4**). Cette topographie forestière impose des contraintes significatives, notamment pour la mécanisation des opérations forestières, comme l'utilisation

Entité	Pente <= 15%		Pente entre 15% et 30%		Pente entre 30% et 55%		Pente entre 55% et 80%		Pente > 80%		Total Surf. (ha)
	Surf. (ha)	%	Surf. (ha)	%	Surf. (ha)	%	Surf. (ha)	%	Surf. (ha)	%	
PNRPE *	34221	12	47370	17	87721	31	78442	28	34608	12	282360
Forêt PNRPE	8295	5	21602	13	57792	36	53870	33	19479	12	161037

*PNRPE : périmètre d'étude.

Part des surfaces forestières en fonction des pentes dans le périmètre d'étude

Sources : IGN, DREAL Occitanie. Traitement PNRPA.

Figure 4 : Tableau des pentes sur le territoire du parc (Source : PNR DES PYRÉNÉES ARIÉGEOISES, 2022, mars 2022)

⁷ CNPF, 2024. Les stations forestières. *Site Internet du CNPF* [en ligne]. 2024.

de têtes abatteuses, qui devient risquée sur des pentes dépassant 30 %. Le débardage animal, encore peu pratiqué dans la région, pose également des défis, car les distances à parcourir et les fortes pentes rendent l'utilisation du cheval difficile, c'est pourquoi l'idéal est de combiner plusieurs techniques : traction animale sur des distances et pentes réduites, câble en complément, ou reprise de tracteur forestier selon la situation.

I.3. Rôle du projet Life ARTISAN dans la lutte contre le changement climatique

Le PNR des Pyrénées ariégeoises est particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique, comme l'indique le diagnostic territorial énergie/climat de 2016 de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). En réponse, le PNR participe au projet national ARTISAN⁸ : Accroître la Résilience des Territoires au changement climatique par l'Incitation aux Solutions d'Adaptation fondées sur la Nature. Celui-ci est dirigé par l'Office Français de la Biodiversité (OFB), et vise à renforcer la résilience des forêts face au changement climatique grâce aux solutions d'adaptation fondées sur la nature (SAFN). Le projet LIFE intégré ARTISAN (2019-2027) regroupe divers partenaires pour mettre en œuvre cette stratégie, avec le PNR comme l'un des dix territoires pilotes, focalisé sur l'adaptation forestière.

Le PNR, frontalier avec l'Espagne et entièrement en zone de montagne, s'étend sur 246 800 hectares, avec des altitudes variant de 200 à 3 143 mètres. Depuis le milieu du XIXe siècle, les surfaces forestières ont doublé après une période d'exploitation intense. Les forêts jouent un rôle crucial : régulation des risques naturels (avalanches, glissements de terrain), protection des ressources en eau, stockage du carbone, support à une riche biodiversité, et contribution économique par la production de bois.

La filière bois, représentant un enjeu majeur, chiffre un accroissement moyen net à 4,4 m³/ha et un volume de bois sur pied de 27 740 000 de m³ (2018)⁹. La forêt, majoritairement privée (67 %) et feuillue (86 %), est essentielle pour l'économie locale et est le secteur le plus vulnérable au changement climatique, avec des impacts potentiels graves tels que l'augmentation des périodes de stress hydrique, des tempêtes, des épisodes de neige lourde, et la prolifération de pathogènes. Ces impacts pourraient conduire à des dépérissements et des mortalités massives, affectant à la fois la productivité forestière, les services de régulation et les usages socio-culturels.

Le projet ARTISAN prévoit 15 chantiers sur 60 hectares pour établir des références technico-économiques des SAFN et envisage la création d'un observatoire permanent utilisant la technologie LiDAR pour surveiller l'évolution des forêts. Mon stage se concentre sur l'exploration des perspectives de valorisation de cet observatoire et sur la mise en place de

⁸ OFB, 2024. Le projet Life intégré ARTISAN. [En ligne]. 2024.

⁹ PNR DES PYRÉNÉES ARIÉGEOISES, 2022. *Diagnostic territorial du PNR des Pyrénées ariégeoises – 10. La forêt et la filière bois.*

placettes de suivi et de calibration pour le LiDAR, en s'inscrivant dans le cadre des SAFN définies par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). L'objectif est de maintenir la capacité productive des forêts, préserver le couvert forestier protecteur et soutenir les services sociaux offerts par les forêts du PNR.

I.4. Objectifs et Enjeux de la Valorisation de l'Observatoire Forestier : Environnementaux, Scientifiques, Socio-Économiques et Politiques

Ce mémoire vise à explorer les objectifs du stage en détaillant les enjeux environnementaux, scientifiques, socio-économiques et politiques liés à la valorisation de l'observatoire forestier du parc. L'objectif principal est de déterminer comment les données collectées par cet observatoire peuvent être exploitées pour répondre aux défis posés par le changement climatique et adapter la gestion des forêts en conséquence.

Sur le plan environnemental, il s'agit de comprendre comment les données de l'observatoire peuvent contribuer à la protection et à la gestion durable des forêts face aux impacts du changement climatique. En ce qui concerne les enjeux scientifiques, il est crucial de savoir comment les résultats obtenus peuvent enrichir les connaissances sur les écosystèmes forestiers et améliorer les pratiques de gestion. D'un point de vue socio-économique, il est important de découvrir les opportunités économiques et sociales offertes par la valorisation de l'observatoire, tant pour les communautés locales que pour les gestionnaires du parc. Enfin, au niveau politique, il convient de déterminer comment les données et les résultats de l'observatoire peuvent influencer les politiques publiques et la réglementation en matière de gestion forestière et de changement climatique.

La question centrale abordée est : comment valoriser les données et les résultats de l'observatoire forestier pour répondre aux défis posés par le changement climatique et adapter la gestion des forêts face à ces contraintes ? Pour répondre à cette question, plusieurs sous-questions seront explorées :

1. En quoi les données collectées par l'observatoire peuvent-elles améliorer la gestion adaptative des forêts face au changement climatique ?
2. Quels sont les outils et méthodes les plus efficaces pour analyser et valoriser ces données ? Par le terme efficace, on se réfère à la capacité des outils et méthodes à atteindre leurs objectifs de manière optimale. Plus précisément, dans le contexte de l'analyse et de la valorisation des données, "efficaces" implique que les outils et méthodes doivent offrir des résultats précis et fiables, permettant de produire des analyses correctes et des interprétations valides des données collectées ; être adaptés aux spécificités des données et aux objectifs de l'étude, assurant que les outils et méthodes choisis sont appropriés pour le type de données et les questions de recherche posées ; optimiser les ressources disponibles (temps, coût, compétences) tout en obtenant des résultats significatifs. Les méthodes doivent être suffisamment rapides et économiques pour être mises en œuvre efficacement ; avoir la capacité de traiter et d'analyser

de grands volumes de données ou d'être adaptable à des ensembles de données variés sans perte de performance ; permettre aux résultats d'être reproduits et vérifiés par d'autres chercheurs ou professionnels, assurant ainsi la transparence des processus d'analyse.

3. Comment communiquer les résultats de l'observatoire aux parties prenantes, telles que les décideurs politiques, les gestionnaires et les communautés locales ?

4. Comment identifier et déterminer les meilleures pratiques pour guider les politiques publiques et les stratégies de gestion forestière de manière cohérente à l'échelle du parc ?

L'hypothèse est alors avancée que la valorisation des données de l'observatoire forestier, via des outils de gestion adaptative, des stratégies de communication efficaces et des initiatives socio-économiques, peut significativement renforcer la résilience des forêts du parc face au changement climatique.

Les principaux axes de valorisation de l'observatoire forestier incluent la préservation des services rendus par la forêt face aux changements climatiques dans les Pyrénées ariégeoises. Ces services comprennent les aspects économiques tels que la production de bois et les emplois associés, les services socioculturels comme les paysages, les usages récréatifs et le tourisme, ainsi que les services de régulation, notamment le maintien des sols en montagne, l'absorption et le stockage du carbone, et la préservation de la qualité de l'eau.

La problématique principale du mémoire est de comprendre comment mettre en place un observatoire forestier et utiliser ses données pour mieux connaître les forêts du territoire et leur évolution face au changement climatique. Les hypothèses de travail explorées incluent l'idée que l'implémentation efficace de l'observatoire et l'utilisation stratégique des données peuvent substantiellement améliorer la gestion adaptative des forêts, offrir des avantages socio-économiques et influencer les politiques publiques en matière de gestion forestière et de changement climatique.

II. Approche Méthodologique et Collecte de Données

II.1. Création de l'observatoire, présentation du travail de terrain et de la collecte de données.

Dans un premier temps, la création de l'observatoire forestier du PNR des Pyrénées ariégeoises repose sur l'établissement de placettes de suivi permanentes sur l'ensemble du territoire, en association avec des relevés LiDAR.

Le LiDAR (Light Detection and Ranging) est une technologie de télédétection qui utilise des impulsions laser pour mesurer les distances entre un capteur et des objets, généralement à partir d'une plateforme aérienne comme un drone ou un avion¹⁰. En émettant

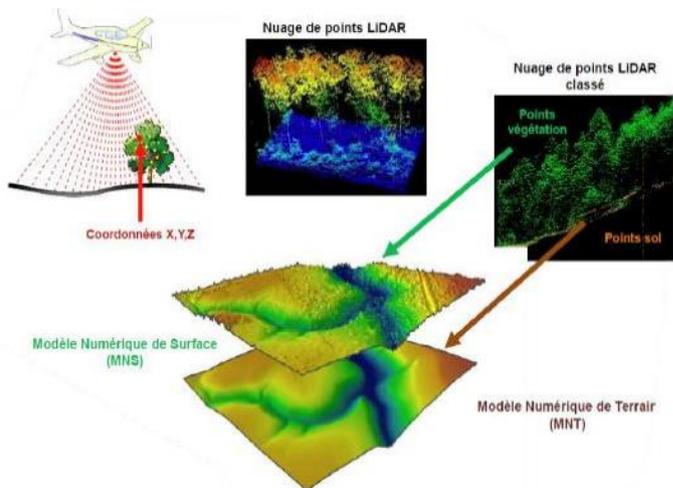


Figure 5 : Principe du LiDAR (Source : ONF, 2022)

des milliers de faisceaux laser par seconde et en enregistrant le temps nécessaire à leur retour, le LiDAR permet de créer des cartes tridimensionnelles extrêmement précises de la surface terrestre et de la végétation (Figure 5). Lorsqu'il est utilisé en conjonction avec des placettes permanentes en forêt, le LiDAR permet de capturer des données détaillées sur la structure verticale des peuplements forestiers, y compris la hauteur

des arbres, la densité du couvert végétal, et la répartition du volume de bois. Les placettes permanentes, qui sont des parcelles de terrain où les caractéristiques forestières sont mesurées et suivies de manière répétée, servent de points de référence pour valider et calibrer les données LiDAR. Ce couplage entre mesures de terrain et données LiDAR offre une vision complète et dynamique de l'évolution des forêts, permettant de suivre les changements à l'échelle fine et d'améliorer les modèles de gestion forestière.

Les placettes, servant de points de référence, sont essentielles pour valider et calibrer les données LiDAR, ce qui améliore les modèles de gestion forestière (Figure 6).

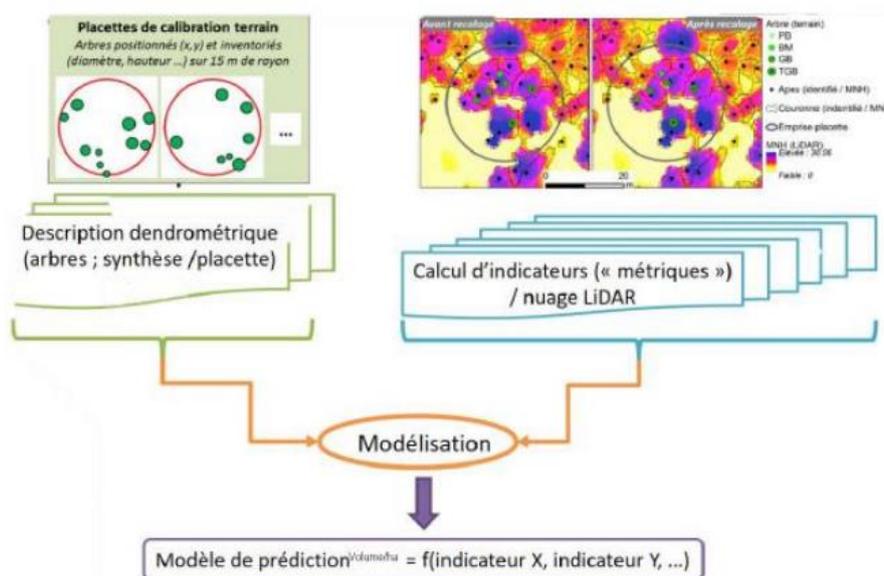


Figure 6 : Modélisation grâce au LiDAR (Source : ONF, 2022)

¹⁰ ONF, 2022. La modélisation grâce à la télédétection, une innovation dans la gestion des forêts. *Office national des forêts* [en ligne]. 29 juin 2022.

Pour valoriser les données LiDAR, une méthode d'échantillonnage systématique a été mise en place par l'Office National des Forêts (ONF). Ce maillage systématique de points vise à modéliser les peuplements forestiers et à constituer un réseau de placettes permanentes, avec possibilité de remesure à intervalles réguliers et d'ajout de nouveaux paramètres.

Le protocole de relevé des placettes forestières dans le PNR des Pyrénées ariégeoises est conçu pour garantir une collecte de données rigoureuse et standardisée, permettant une analyse précise et reproductible de l'état des forêts.

La première étape consiste à localiser précisément le centre de chaque placette sur le terrain. Pour cela, les équipes de terrain utilisent un smartphone équipé d'une application de navigation GPS couplée à un récepteur GPS haute précision. Cet équipement permet de réduire au maximum les marges d'erreur dans la localisation, souvent en dessous du mètre, ce qui est crucial pour la cohérence des relevés à long terme.

Une fois le centre exact de la placette déterminé, un fer à béton est implanté dans le sol pour matérialiser ce point de référence. Ce repère physique est essentiel pour les remesures futures, permettant de retrouver exactement la même zone à chaque campagne de suivi.

Après avoir établi le centre de la placette, les équipes procèdent à un relevé exhaustif de tous les arbres situés dans un rayon de 15 mètres. Ce périmètre est défini comme la zone d'étude pour chaque placette.

Le relevé commence par un tour d'horizon systématique à partir de 0°, en suivant les directions des azimuts (exprimés en grades, où 400 grades correspondent à un cercle complet de 360°). Cette méthode assure une couverture complète et ordonnée de la placette.

Seuls les arbres sur pied ayant un diamètre supérieur à 17,5 cm à 1,30 m du sol (hauteur standard de mesure) sont pris en compte. Cette sélection permet de concentrer l'étude sur les arbres suffisamment développés pour jouer un rôle significatif dans l'écosystème forestier.

Les données collectées pour chaque arbre sont :

- **Azimut** : La direction de chaque arbre par rapport au centre de la placette est notée en grades. Cela permet de cartographier la position relative des arbres et de suivre les changements dans la structure du peuplement au fil du temps.

- **Distance** : La distance horizontale de chaque arbre au centre de la placette est mesurée avec un vertex (un appareil de mesure de distance). Cette donnée est cruciale pour évaluer la densité du peuplement et la distribution spatiale des arbres.

- **Essence** : L'espèce de chaque arbre est identifiée. Cette information est fondamentale pour analyser la composition floristique de la forêt et ses dynamiques écologiques.

- **État** : Chaque arbre est noté comme vivant ou mort. Une donnée importante pour comprendre les dynamiques de mortalité et de régénération au sein des peuplements forestiers.

- **Diamètres** : Deux diamètres perpendiculaires sont mesurés, avec une précision au centimètre, à une hauteur de 1,30 mètre sur l'arbre. Cette mesure est cruciale pour estimer la

surface terrière, qui correspond à la surface occupée par la section transversale d'un tronc d'arbre à une hauteur spécifique, généralement 1,30 mètre. La surface terrière permet de calculer le volume de bois, la biomasse et la productivité des forêts.

En plus des arbres vivants et morts sur pied, le protocole prévoit le relevé des arbres morts au sol ayant un diamètre supérieur à 30 cm. Ces arbres, souvent en décomposition, sont essentiels à l'écosystème forestier, fournissant des habitats pour la faune et participant au cycle des nutriments. Pour chaque arbre de plus de 30 cm de diamètre, on mesure la longueur, les diamètres initial, médian et final, ainsi que l'état de décomposition (profondeur de la pourriture du bois par rapport au diamètre, il est exprimé en nombre de quart du diamètre).

Enfin, le protocole prévoit un inventaire des dendromicrohabitats présents sur les arbres de diamètre supérieur à 42,5 cm : gros bois (GB, 42,5 cm et +), et très gros bois (TGB, 65 cm et +). Les dendromicrohabitats (DMH) sont des caractéristiques particulières des arbres, comme des cavités, des fissures, ou des branches mortes, qui offrent des niches écologiques pour diverses espèces. Quinze grands types de DMH sont recensés, apportant des informations précieuses pour les études de biodiversité et les stratégies de conservation.

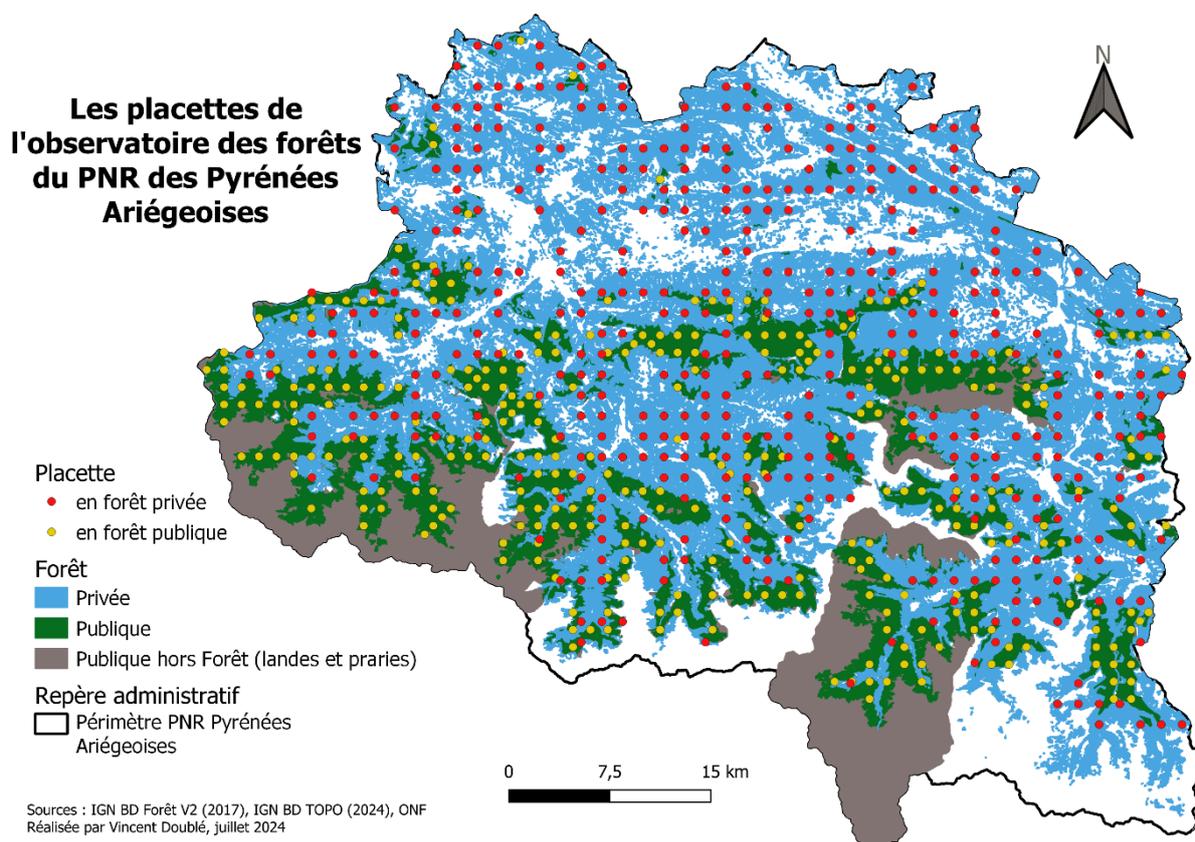


Figure 7 : Carte des placettes de l'observatoire des forêts du PNR des Pyrénées ariégeoises

Les mesures ont été réalisées entre 2023 et 2024. Sur les 746 placettes prévues initialement (420 en forêt privée et 326 en forêt publique), 386 ont été mesurées en forêt privée, soit 92 % de la sélection (**Figure 7**). Et en forêt publique comme un grand nombre de placette se situait en zone de montagne et étaient inaccessibles, les supprimer aurait rendu les résultats statistiquement inexploitable, donc un nouveau tirage de placettes de remplacement a été

réalisé et celles-ci sont actuellement en train d'être terminées. Les placettes situées dans des zones inaccessibles telles que les falaises, les fortes pentes ou les cours d'eau, et qui ne peuvent pas être remplacées, ont été exclues de l'analyse. Ces données, combinées aux informations de télédétection de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), permettront de modéliser les ressources forestières sur l'ensemble du territoire. L'objectif est de remesurer ces placettes à terme pour suivre la dynamique des forêts, en termes d'accroissement, de mortalité et d'impact des pratiques de gestion.

L'ONF, en collaboration avec le PNR, le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) et l'Association des Naturalistes d'Ariège – Conservatoire d'Espaces Naturels d'Ariège (ANA-CEN Ariège), a coordonné les opérations de terrain pour la calibration des données en 2023 et 2024. L'ONF et l'ANA-CEN Ariège ont pris en charge les relevés dans les forêts publiques, tandis que le PNR, avec le soutien logistique du CRPF, a géré les placettes en forêt privée. Pour cela, des stagiaires du PNR ont travaillé en binômes avec deux gestionnaires forestiers indépendants, bénéficiant d'une autorisation préfectorale pour accéder aux forêts privées.

L'inventaire de ces placettes, dans le cadre du projet Life ARTISAN, est essentiel pour calibrer les modèles d'estimation LiDAR et établir l'état initial de l'observatoire forestier permanent. L'échantillonnage, basé sur la « BD forêt V2 » de l'IGN (2017), exclut les zones non forestières, telles que les landes (maquis, garrigues...) et formations herbacées (pelouses alpines, pelouses pastorales...), et suit un maillage systématique avec des placettes espacées d'environ 1,5 km.

L'ONF est également responsable de la modélisation des données LiDAR, permettant la création de cartographies détaillées. Le PNR disposera ainsi, à la fin de cette campagne de terrain, des données des placettes et des cartographies LiDAR.

II.2. Recueil d'informations auprès d'autres observatoires forestiers en France et travail de recherche bibliographique

Pour déterminer les perspectives de valorisation des données recueillies par l'observatoire forestier, il a été jugé pertinent de contacter des experts ayant participé à la mise en place d'autres observatoires forestiers en France. Ainsi, des entretiens ont été menés avec des professionnels de l'ONF et d'autres PNR travaillant sur les territoires tels que le PNR du Haut Jura, du Massif des Bauges, de la Chartreuse, du Vercors, des Ballons des Vosges, des Vosges du Nord, et du Pilat, ainsi que dans les Alpes (Ain, Haute Savoie, Savoie, Isère), en Lozère, et dans les Pyrénées Centrales. L'objectif des entretiens était de recueillir des retours d'expérience détaillés sur la manière dont divers observatoires forestiers en France ont contribué à la gestion et à la valorisation des forêts sur leurs territoires respectifs. Ces discussions ont exploré l'historique et les objectifs initiaux de chaque observatoire, en identifiant les motivations et enjeux locaux spécifiques qui ont justifié leur création. Les entretiens ont également permis de

comprendre la structure organisationnelle, les méthodes de collecte et d'analyse des données, ainsi que les stratégies de diffusion des résultats.

Les échanges ont mis en lumière les meilleures pratiques adoptées par ces observatoires pour optimiser la gestion forestière, les défis rencontrés dans leur mise en œuvre, ainsi que les bénéfices en termes de conservation et de valorisation économique. En particulier, les responsables ont partagé des exemples concrets où les données recueillies par l'observatoire ont directement influencé des décisions de gestion forestière, tout en soulignant l'importance de partenariats pour la valorisation des données dans des domaines tels que la recherche scientifique et l'éducation.

Enfin, les entretiens ont permis de dégager des enseignements clés, notamment sur les obstacles rencontrés et les solutions mises en place pour les surmonter, ainsi que les perspectives d'évolution future de ces observatoires [**Annexe 1**].

En complément de ces entretiens, des recherches bibliographiques approfondies ont été menées pour élargir la perspective à l'international. Ces recherches visaient à explorer les actions entreprises dans d'autres pays, qui peuvent avoir un avantage technologique ou un recul plus important en matière d'utilisation de technologies comme le LiDAR en milieu forestier. Cela a permis de rassembler des informations sur les objectifs et les fonctionnements d'autres observatoires forestiers. Ces investigations ont fourni un cadre comparatif précieux, permettant d'envisager des stratégies de valorisation innovantes et adaptées au contexte du PNR des Pyrénées ariégeoises.

III. Résultats

III.1. Les Observatoires Forestiers

III.1.1. Objectifs et Méthodologies des Observatoires Forestiers

Les observatoires forestiers ont pour mission principale de suivre les dynamiques des forêts à travers le temps, avec des objectifs qui varient légèrement selon les structures, mais convergent vers la protection des bienfaits des forêts, l'identification des menaces, la collecte d'informations et l'aide à la décision. Ils permettent de suivre l'évolution des écosystèmes forestiers, notamment les changements dans les essences, la croissance des arbres, le dépérissement, ou l'accumulation de bois mort. L'objectif est de mieux comprendre les données locales et d'obtenir une vision précise de l'évolution des massifs forestiers, qu'ils soient publics (souvent plus anciens) ou privés (souvent marqués par la déprise agricole). Les observatoires servent également de support à la gestion forestière, en orientant les politiques selon les observations, notamment face aux défis posés par le changement climatique. En parallèle, ils contribuent à la protection de la biodiversité en lien avec des programmes comme Life Biodiversité, facilitant la réintroduction d'espèces ou la comparaison des différents types de gestion forestière, notamment dans des zones protégées comme Natura 2000. Enfin, ces observatoires jouent un rôle essentiel dans la sensibilisation du public et des élus locaux, en

utilisant les données pour les informer sur des sujets comme le bois mort, la gestion des risques, ou les impacts du changement climatique.

Les observatoires forestiers utilisent diverses méthodologies pour collecter et analyser les données. Parmi elles, les placettes permanentes jouent un rôle central : ce sont des zones où des mesures répétées sont effectuées, souvent tous les 5 à 10 ans, afin de suivre les évolutions forestières. Il est important d'avoir suffisamment de placettes pour maintenir une validité statistique si l'on souhaite ensuite traiter et analyser les données de ces placettes. Pour l'observatoire cela correspond à une placette pour 168 ha de forêt publique et 237 ha de forêt privée, tandis que dans les autres observatoires forestiers ces nombres varient entre une placette pour 100 à 130 ha en forêt publique et jusqu'à 400-500 ha en forêt privée. Donc la maille est assez fine pour les placettes en forêt privée pour l'observatoire du PNRPA par rapport à d'autres observatoires. En complément, des technologies comme la photogrammétrie et le LiDAR sont de plus en plus utilisées pour obtenir des données précises sur la structure forestière, les volumes de bois et pour cartographier des zones d'intérêt. Le Protocole de Suivi des Réserves Forestières (PSDRF) standardise les observations, en mesurant à angle fixe le diamètre des arbres, les essences présentes, les DMH, et le bois mort, tout en tenant compte de la végétation arbustive. Enfin, les comparaisons multi-temporelles entre les différentes campagnes de relevés, par exemple avec un premier passage suivi d'un autre dix ans plus tard, sont essentielles pour identifier les tendances et les évolutions forestières.

III.1.2. Exemples d'observatoires forestiers en France et dans le monde et leurs missions

Pour mieux comprendre le rôle et les impacts des observatoires forestiers, il est utile de se pencher sur quelques exemples emblématiques en France et à l'international. Ces structures jouent un rôle crucial dans la surveillance et la gestion des écosystèmes forestiers, en fournissant des données essentielles pour la conservation, la recherche et la politique environnementale. En examinant divers observatoires, nous pouvons apprécier la diversité des missions qu'ils remplissent et les approches variées qu'ils adoptent pour répondre aux défis spécifiques liés aux forêts.

Observatoire des forêts Françaises¹¹

L'Observatoire des forêts françaises, lancé en 2023, vise à centraliser, produire et diffuser des informations précises sur les forêts pour soutenir une gestion durable. Son objectif est de rassembler des données disparates, de favoriser les échanges entre les acteurs du secteur forestier, et d'aider à la prise de décisions en matière de politique forestière. Il répond aux enjeux multiples des forêts, notamment les menaces comme les changements climatiques et les épidémies, tout en protégeant leurs nombreux services écologiques, économiques et sociaux. Géré par L'IGN en collaboration avec plusieurs partenaires, l'Observatoire fonctionne de manière participative, intégrant les contributions des différents acteurs du secteur. (Observatoire des forêts Françaises)

¹¹ IGN, 2024. Observatoire des forêts françaises. [En ligne]. 2024.

*F-ORE-T*¹²

L'Observatoire de recherche en environnement F-ORE-T a été créé en 2003 pour étudier le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Il regroupe huit sites-ateliers en France métropolitaine et dans des zones tropicales, ainsi que le réseau RENECOFOR. L'observatoire se concentre sur l'étude des cycles du carbone, de l'eau et des éléments minéraux, et évalue la réponse des écosystèmes forestiers aux perturbations naturelles et anthropiques, comme le changement climatique. Son objectif est de comprendre et modéliser les interactions entre les cycles biogéochimiques, tout en fournissant des données scientifiques fiables sur le long terme pour éclairer les décisions de gestion forestière et les politiques environnementales.

*CTFS-ForestGEO*¹³

L'Observatoire ForestGEO, géré par le Smithsonian Tropical Research Institute, est un réseau mondial de parcelles forestières dynamiques couvrant les principaux types de forêts de la planète. Son objectif est de mieux comprendre la diversité et la dynamique des forêts tout en renforçant les capacités de recherche scientifique dans ce domaine à l'échelle mondiale. Depuis 1980, il collecte des données standardisées sur la croissance, la mortalité et le recrutement de plus de 7 millions d'arbres, représentant 12 000 espèces. Ces données permettent d'étudier les interactions biotiques et abiotiques qui influencent les forêts, et de développer des modèles prédictifs pour anticiper leur réponse aux changements climatiques et autres stress environnementaux. Le réseau ForestGEO se distingue par la taille de ses parcelles, la diversité des espèces étudiées, et son approche globale, intégrant les interactions entre les arbres, le sol et les autres organismes.

*Open Forest Observatory*¹⁴

L'Open Forest Observatory, dirigé par l'écologiste Derek Young de l'Université de Californie à Davis, est un projet novateur visant à améliorer la gestion des forêts en combinant photographie par drone, cartographie forestière, apprentissage automatique et traitement des données. Doté d'un budget de 1 million de dollars sur cinq ans, l'observatoire produira des cartes détaillées des forêts, incluant la taille, l'espèce et la santé des arbres, disponibles dans une base de données centralisée. Le projet facilitera l'accès à ces informations et outils, même pour des utilisateurs novices, et proposera des formations pour étudiants et lycéens. En fournissant des données cruciales et des outils pour la gestion forestière, l'observatoire aidera à résoudre des problèmes urgents comme l'éclaircissement des forêts denses pour réduire les risques de sécheresse et d'incendie.

¹² GUY, Landmann, DAMIEN, Maurice, ANDRÉ, Granier, SERGE, Rambal, JACQUES, Ranger, CLAUDE, Nys, LAURENT, Saint-André, DAMIEN, Bonal, DENIS, Loustau et LUC, Croisé, 2005. F-ORE-T, l'Observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. 2005.

¹³ DAVIES S.J. et al., 2015. CTFS-ForestGEO: a worldwide network monitoring forests in an era of global change. *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21, n° 2, pp. 528-549.

¹⁴ KERLIN, Katherine E., 2022. Monitoring Forest Threats with New Open Forest Observatory. *UC Davis* [en ligne]. 21 septembre 2022.

Observatoire forestier de Guadeloupe¹⁵

L'Observatoire des écosystèmes forestiers en Guadeloupe a été mis en place entre 2010 et 2012 par le Parc National de Guadeloupe, l'ONF et l'Université des Antilles. Il comprend neuf parcelles permanentes d'un hectare dans la forêt tropicale de Basse-Terre, destinées à surveiller la croissance des arbres et la dynamique des forêts à long terme. Plus de 8 000 arbres, d'un diamètre supérieur à 10 cm, ont été marqués et équipés de dendromètres pour mesurer leur croissance tous les cinq ans. Cet observatoire permet d'étudier l'impact des perturbations naturelles, telles que les ouragans et l'activité volcanique, sur la structure et la composition des forêts. Il constitue une base pour des recherches futures sur l'écologie des plantes et des animaux, en offrant un cadre de comparaison entre les forêts insulaires des Caraïbes et celles des régions tropicales continentales.

Observatoire européen couvrant la déforestation et la dégradation forestière dans le monde¹⁶

L'Observatoire de l'Union Européenne (UE) sur la déforestation et la dégradation des forêts a pour objectif de suivre l'évolution de la couverture forestière mondiale et des facteurs qui y contribuent, notamment la demande de matières premières dans l'UE. Il fournit des cartes et des données interactives sur les forêts mondiales, la déforestation et les perturbations, ainsi que des informations sur la production et le commerce de produits clés, comme le cacao, le soja et le bois. L'observatoire soutient également les nouvelles règles de l'UE sur les produits exempts de déforestation, prévues pour 2024, qui visent à garantir que les produits vendus ou exportés dans l'UE ne contribuent pas à la déforestation. Cet outil associe des technologies de surveillance spatiale, comme Copernicus, à des données sur les chaînes d'approvisionnement pour réduire l'empreinte de l'UE sur la déforestation mondiale. Le système met l'accent sur trois axes : la surveillance forestière mondiale, la production et le commerce des produits de base, et les outils de l'UE pour la gestion des forêts, en fournissant une visualisation et un suivi en quasi-temps réel.

Observatoire contre les incendies de Californie¹⁷

Aux États-Unis, face aux méga-feux très présents ces dernières années en Californie notamment, les méthodes actuelles de gestion des incendies sont dépassées, laissant les communautés et les forêts vulnérables. Pour y remédier, Salo Sciences, en partenariat avec Planet Labs et Vibrant Planet, a créé l'Observatoire des forêts de Californie. Il s'agit d'un système de surveillance des forêts basé sur des données, qui cartographie depuis l'espace les facteurs déterminant le comportement des feux de forêt dans tout l'État, notamment les combustibles végétaux, les conditions météorologiques, la topographie et les infrastructures. Combinées, ces données peuvent saisir les facteurs complexes du risque d'incendie et de l'exposition au feu, et fourniront une carte dynamique et actualisée des forêts et des incendies, qui pourra servir à la fois à la planification de la restauration et aux opérations actives de lutte contre les incendies.

¹⁵ LAERE, Guy Van, GALL, Yolande et ROUSTEAU, Alain Maurice Adolphe Antoine, 2016. The Forest Ecosystems Observatory in Guadeloupe (FWI). *Caribbean Naturalist*. 2016. Vol. 1, pp. 108.

¹⁶ JOINT RESEARCH CENTRE, 2023. EU observatory covering deforestation and forest degradation worldwide goes live - European Commission. [En ligne]. 8 décembre 2023.

¹⁷ SALO SCIENCES, 2019. California Forest Observatory. *Salo Sciences* [en ligne]. 16 août 2019.

Il permet de visualiser des données quotidiennes et annuelles avec un focus sur les feux de forêts. En effet, les données quotidiennes sont la vitesse du vent et points chauds des incendies de forêt mesurés par un satellite qui mesure les anomalies thermiques deux fois par jour. Elles permettent de visualiser les feux de forêt et de modéliser leurs évolutions possibles. Les données annuelles concernent les années comprises entre 2016 et 2020 et regroupent plusieurs facteurs : il y a la couverture horizontale de la canopée, la hauteur de la canopée, la hauteur de la base de la canopée, la densité apparente de la canopée, le nombre de couches de la canopée, la densité de combustible par sous-étage, et les combustibles de surface.

III.2. Présentation des différents types de données et de leur analyse possible

L'observatoire forestier du PNRPA permet d'obtenir deux types de données essentielles, les données placettes liées à la récoltes d'information sur les placettes de calibration et les données LiDAR issues de la modélisation.

III.2.1. Les données placettes

III.2.1.1. Les données dendrométriques

Les données récoltées sur les placettes forestières sont d'une grande variété et permettent une analyse détaillée des caractéristiques des peuplements. Certaines de ces données sont de nature dendrométrique, comme les mesures de deux diamètres des arbres, leur essence, ainsi que leur état de santé, qu'ils soient vivants ou morts. D'autres informations collectées, comme les dendromicrohabitats ainsi que la quantité, la taille et l'état de décomposition des bois mort au sol, servent d'indicateurs de biodiversité. Ces données, une fois centralisées, offrent l'opportunité de réaliser une analyse statistique à différentes échelles. Cela peut se faire à l'échelle du PNR dans son ensemble, à celle de ses subdivisions territoriales (qui seront définies par la suite), ou encore à une échelle plus fine, celle d'une placette moyenne. L'analyse de ces données se traduit par la création de graphiques qui visualisent divers paramètres, permettant ainsi d'obtenir une vue d'ensemble sur les caractéristiques forestières du territoire étudié.

Parmi les représentations graphiques possibles, plusieurs peuvent s'avérer particulièrement utiles pour le PNRPA et ses partenaires. Concernant la composition globale des peuplements, on peut générer un graphique qui montre la répartition des essences d'arbres en fonction de la surface terrière totale. La surface terrière correspond à la somme des sections transversales des troncs des arbres à 1,30 mètre du sol, par hectare, et elle est exprimée en m²/ha. Pour visualiser la structure des peuplements, des graphiques peuvent illustrer la surface terrière par catégorie de diamètre des arbres, par exemple : petit bois (20-25 cm), bois moyen (30-42,5 cm), gros bois (42,5-65 cm), et très gros bois (>65 cm). Il est également possible de croiser les données en fonction de l'essence et du diamètre, ou encore de comparer le nombre d'arbres par diamètre et par essence.

D'autres analyses peuvent porter sur la surface terrière moyenne par type de propriété (forêt privée ou publique), par essence, ou encore par catégorie de diamètre et essence. Des graphiques détaillant la surface terrière par secteur géographique sont également réalisables. Une attention particulière peut être portée aux arbres morts sur pied, avec des représentations du nombre d'arbres morts en fonction de leur diamètre et un calcul de la surface terrière moyenne de ces arbres morts, ce qui permettrait de mieux comprendre les dynamiques de mortalité forestière. La densité moyenne des arbres par placette pourrait également être calculée pour une vue d'ensemble du peuplement forestier.

Ces croisements de données permettent aussi de visualiser des aspects comme le rapport entre le type de surface forestière (résineux ou feuillus) et le volume de bois selon les catégories de peuplement. En somme, l'analyse de ces données nécessite un traitement rigoureux et aboutit à la production d'une grande variété de graphiques. Les différents croisements possibles entre les paramètres collectés sont détaillés dans l'**Annexe 2**, offrant ainsi un vaste potentiel d'interprétation pour la gestion durable des forêts du PNR.

III.2.1.2. Les données biodiversité

Pour les indices de biodiversité, plusieurs analyses graphiques peuvent être réalisées, notamment celles sur la représentation globale des dendromicrohabitats, des arbres-habitats en fonction de leur essence, ainsi que les DMH les plus fréquemment observés selon l'état de l'arbre, qu'il soit vivant ou mort, ou de la classe de diamètre de l'arbre. Les DMH sont définis selon les critères établis en 2018¹⁸ dans la revue *Ecological Indicators* [**Annexe 5**]. Un dendromicrohabitat est « une singularité morphologique portée par un arbre et qui est utilisée par des espèces parfois hautement spécialisées, au moins durant une partie de leur cycle de vie. Ils constituent des refuges, des lieux de reproduction, d'hibernation et de nutrition cruciaux pour des milliers d'espèces »¹⁹. Ces habitats peuvent être analysés à trois niveaux de lecture : forme, groupe, et type. Cependant, il est recommandé de s'arrêter au second niveau, car le troisième peut varier en fonction de l'observateur et manquer de précision, notamment en termes d'occurrence de certains DMH. Le second niveau, quant à lui, offre une lecture plus fiable et pertinente.

Des initiatives similaires ont été menées sur d'autres territoires, comme en Lozère, où un partenariat entre l'ONF et l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) a permis de développer un modèle pour le bois mort en forêt. Ce modèle vise à quantifier les stocks de bois mort et à prédire leurs évolutions futures, ce qui permet de mieux gérer la biodiversité forestière en tenant compte des apports écologiques du bois mort.

En parallèle des DMH, des indicateurs de naturalité et notamment de maturité du peuplement permettent d'évaluer l'état de conservation des habitats forestiers. Ils sont au

¹⁸ LARRIEU, Laurent, 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests_A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*. 2018.

¹⁹ BÜTLER RITA, THIBAUT LACHAT, FRANK KRUMM, DANIEL KRAUS, LAURENT LARRIEU, 2020. Guide de poche des dendromicrohabitats. [En ligne]. 2020.

nombre de cinq et sont issus d'une publication des Réserves naturelles de France²⁰. Ces indicateurs offrent une évaluation claire grâce à un système de notation allant de 1 à 5, où une note élevée traduit une meilleure conservation. Les critères pris en compte sont :

1. **Proportion de Très Gros Bois (TGB)** : quantité de bois de grands diamètres dans le peuplement.
2. **Ratio Volume de bois mort / Volume total de bois** : la proportion de bois mort par rapport au volume total de bois.
3. **Contribution du bois mort > 30 cm de diamètre au volume total de bois mort** : proportion des gros bois morts dans le total des bois morts.
4. **Stade de décomposition du bois mort** : analyse du degré de décomposition du bois mort, un élément essentiel pour la faune et la flore formants les décomposeurs.
5. **Structure horizontale** : répartition des classes de diamètre dans un peuplement, indicateur de la diversité des âges et des tailles des arbres.

Ces indicateurs peuvent être synthétisés sous forme de diagrammes de Kiviat (**Figure 9**), qui permettent de visualiser et comparer facilement la naturalité entre différents peuplements forestiers. Bien que certains de ces indicateurs puissent être appliqués au territoire du PNRPA, certaines données, comme le volume total de bois mort (incluant les bois de moins de 30 cm de diamètre), n'ont pas été collectées, ce qui peut limiter les analyses complètes. Cependant, des exemples comme ceux de l'ONF en Savoie montrent que même avec des données partielles, ces analyses peuvent révéler des tendances importantes et servir de base pour une gestion des forêts prenant plus en compte ces aspect de biodiversité.

Ces analyses de données sur la biodiversité peuvent également servir à soutenir des demandes de financement en mettant en évidence les besoins écologiques et de gestion spécifiques. Par exemple, si une espèce spécifique, comme le pic, montre une faible présence (par exemple, seulement trois cavités de pics mesurées), il n'est pas nécessaire de continuer à chercher de manière intensive cet habitat, ce qui optimise les efforts d'inventaire. En

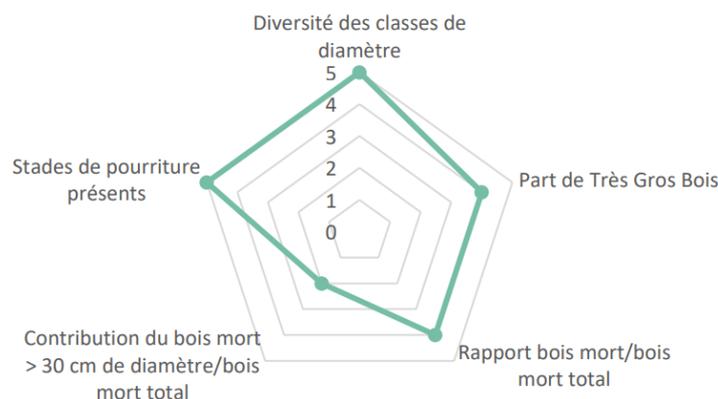


Figure 9 : Exemple de diagramme de naturalité des peuplements (source : Restitution de l'observatoire forestier de Haute-Savoie, 2024)

²⁰ ROSSI, M., Vallauri, D., 2013. Evaluer la naturalité. Guide pratique, version 1.2. WWF, Marseille, 154 pages.

complément, des études ciblées sur la faune peuvent être menées pour approfondir les connaissances sur les relations entre la biodiversité animale et les caractéristiques forestières, comme celles visant à trouver des corrélations entre la présence d'espèces importantes, telles que le grand tétras, et les arbres qui composent leur habitat. Une meilleure compréhension de ces relations aiderait à définir les niches écologiques et à renforcer les stratégies de conservation et de gestion.

Les données récoltées sur les bois morts au sol permettent aussi des analyses statistiques comme des graphiques montrant le diamètre en fonction de la longueur du bois mort dans la placette, le volume moyen de bois mort au sol sur une placette, la proportion de bois mort au sol dans le volume de bois mort total, l'état de décomposition moyen du bois mort au sol, l'état de décomposition en fonction de la longueur et du diamètre, etc. Ainsi de nombreuses analyses sont possibles pour montrer l'intérêt de laisser du bois mort au sol en forêt.

Concernant l'adaptation des forêts au changement climatique, les premiers résultats ne pourront être pleinement observés qu'à l'occasion de la remesure des placettes dans 10 ans. Ce délai permettra de comparer l'accroissement des différentes essences d'arbres à travers divers secteurs géographiques et d'identifier quelles espèces s'adaptent le mieux aux nouvelles conditions climatiques, et lesquelles en souffrent le plus. Cependant, ces résultats devront être interprétés avec prudence, car un intervalle de 10 ans reste relativement court à l'échelle du cycle de vie et de croissance d'un arbre. En utilisant les données d'accroissement des arbres, il sera possible d'estimer la quantité de CO₂ absorbée par les forêts du PNRPA durant cette période. Ces estimations permettent d'évaluer la capacité d'une forêt à atténuer le changement climatique par le piégeage du carbone atmosphérique. Elles sont également utiles dans le cadre de politiques de compensation carbone ou pour estimer les services écosystémiques fournis par les forêts en termes de captation du CO₂. En effet, la captation de CO₂ est l'un des services les plus valorisés, avec une estimation de plus de 400 €/ha/an²¹.

Dans certains observatoires forestiers, des études sur le dépérissement des arbres sont déjà en cours. Il est important de noter qu'un arbre dépérissant, c'est-à-dire en déclin, présente des caractéristiques différentes d'un arbre mort. Des modèles spécifiques sont donc en cours de développement pour mieux quantifier cette donnée, qui offre des indications précieuses sur la santé des peuplements. En ce qui concerne la régénération forestière, bien que ce paramètre soit souvent crucial pour évaluer la résilience des forêts face aux perturbations, il n'a pas été intégré dans ce protocole pour éviter de prolonger la réalisation des placettes. La régénération dépend, en effet, de plusieurs facteurs, notamment le changement climatique, mais aussi la présence de gibier, qui peut avoir un impact direct sur la survie des jeunes plants.

Certains événements spécifiques, comme les infestations de scolytes, ont introduit des biais dans l'analyse des forêts d'épicéas. Cependant, pour des espèces comme le sapin, des cartes de probabilité de dépérissement ont déjà été produites, notamment en Isère, et se sont avérées efficaces pour anticiper les risques. Ces modèles permettent de mieux cartographier les zones à risque, en tenant compte des fonctions de protection des forêts, comme la prévention des

²¹ UICN FRANCE, 2013. Découvrez les services écologiques fournis par les forêts. *UICN France* [en ligne]. 7 juillet 2013.

glissements de terrain. Ils sont également utiles pour adapter la gestion forestière, notamment en ajustant le volume et la hauteur des coupes selon la vulnérabilité des essences face au changement climatique.

Le changement climatique impose en effet de nouvelles contraintes aux écosystèmes forestiers, en provoquant des sécheresses prolongées et des températures élevées qui modifient les conditions environnementales. Cela rend certaines espèces autrefois bien adaptées plus vulnérables à ces nouvelles conditions, augmentant la mortalité des peuplements, directement par le stress climatique ou indirectement par une exposition accrue à des menaces telles que les parasites. Face à ces défis, il est essentiel d'évaluer la vulnérabilité des différentes essences et d'adapter la gestion forestière en conséquence. En projetant et en analysant les données de dépérissement, il devient possible de déterminer quelles essences résistent mieux aux effets du changement climatique et lesquelles sont les plus à risque, ce qui constitue une base solide pour ajuster les pratiques de gestion et prévenir un dépérissement généralisé.

III.2.2. Les données LiDAR

Quant à elles, les données LiDAR, issues de modélisations, vont permettre la production de cartes afin de visualiser les différents paramètres étudiés à l'échelle de pixels (représentants une surface de 26,5 m sur 26,5 m, soit 702 m², environ la même surface qu'une placette de calibration). Le LiDAR permet de suivre de manière très précise l'état de santé des forêts grâce à sa capacité à mesurer en trois dimensions la structure des arbres. Il fournit des informations détaillées sur la hauteur, la densité et la distribution des arbres dans un peuplement forestier. Ces données permettent de détecter rapidement les signes de stress forestier, tels que le dépérissement, les zones de faible croissance, ou encore celles touchées par des maladies ou des parasites. Cependant, les scolytes sont un exemple qui entraînent un dépérissement massif, et donc les données LiDAR peuvent se retrouver faussées pour les forêts touchées. Il faut donc être prudent avec les données du modèle pour les forêts sensibles. Grâce à cette technologie, les gestionnaires forestiers peuvent cibler leurs interventions de manière proactive et efficace pour maintenir la santé et la vitalité des écosystèmes forestiers.

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, le LiDAR joue un rôle clé en permettant d'évaluer la biomasse forestière. En mesurant la hauteur, le diamètre et la densité des peuplements, il est possible de calculer avec précision la quantité de carbone stockée dans les arbres. À terme, ces données précises permettront, lors des remesures des placettes permanentes, d'évaluer la production biologique des forêts, c'est-à-dire la quantité de bois et de biomasse produite sur une période donnée. Ce suivi dans le temps permet de mesurer l'évolution de la capacité des forêts à absorber du CO₂, ce qui est crucial pour estimer leur contribution à la régulation du climat. Ainsi, le LiDAR offre un outil indispensable pour évaluer et optimiser le rôle des forêts dans la séquestration du carbone.

Le risque d'incendie est un enjeu majeur dans la gestion des forêts, et le LiDAR contribue à atténuer ce risque. Grâce à une cartographie précise de la structure forestière, il permet de repérer les zones vulnérables, notamment celles présentant une accumulation importante de matière combustible, comme les sous-bois denses, les branches mortes ou les

peuplements désordonnés. Ces informations sont essentielles pour élaborer des stratégies de prévention adaptées, telles que l'éclaircissement de certaines zones ou la création de pares-feux, contribuant ainsi à la réduction des risques d'incendie.

En fournissant des données détaillées sur la structure des peuplements et la quantité de ressources disponibles, le LiDAR permet d'améliorer la gestion durable des forêts. Les informations recueillies permettent aux gestionnaires, qu'ils soient publics ou privés, de planifier l'exploitation forestière en prenant en compte les besoins écologiques, en évitant la surexploitation et en garantissant la pérennité des écosystèmes. Cette technologie permet de suivre l'évolution des forêts sur le long terme et d'ajuster les pratiques de gestion pour répondre aux défis du changement climatique, tout en optimisant les bénéfices économiques tirés des ressources forestières. Le LiDAR s'avère également efficace pour la valorisation des ressources forestières, notamment en créant des modèles spécifiques à certaines espèces d'arbres comme le douglas. Bien que le LiDAR ne permette pas encore de détecter les très jeunes arbres ou les régénérations trop petites, il constitue un outil essentiel pour les repérages de coupes et pour limiter l'étendue des tronçons à exploiter. En interne, l'ONF utilise des outils comme VISULID pour projeter le volume de bois et mieux anticiper les besoins futurs. Néanmoins, utiliser ces données pour l'aménagement peut s'avérer compliqué car d'après les retours d'expériences, il peut y avoir des différences entre les mesures terrain de surface terrière et les données LiDAR, il faudrait donc observer à l'échelle de plusieurs pixels pour que ce soit plus juste et plus pertinent. En effet bien, que le LiDAR ait une précision au pixel près, pour que les résultats soient statistiquement plus exploitables, il est plus intéressant de travailler à l'échelle de la parcelle ou même du massif forestier.

Le LiDAR permet de cartographier avec précision les pistes et les accès à l'intérieur des forêts, facilitant ainsi l'aménagement des infrastructures forestières. Cela est crucial non seulement pour optimiser l'exploitation forestière, mais aussi pour améliorer l'accès des secours en cas d'incendie ou d'autres urgences. En fournissant une représentation exacte du réseau d'accès, cette technologie aide à planifier et à améliorer l'efficacité des interventions, renforçant la sécurité des opérations forestières et la gestion des risques. L'IGN et l'INRAE collaborent dans le projet ACCESSFOR, ayant pour objectif de combiner les données LiDAR avec des critères d'accès pour créer des cartes indiquant les meilleures pistes et accès en fonction du type de machines d'exploitation.

Le LiDAR permet également de distinguer les différents types de peuplements forestiers, notamment les forêts de feuillus et celles de résineux. Cette distinction est primordiale pour la gestion forestière, car les deux types de peuplements ont des rôles écologiques et économiques distincts. De plus, le LiDAR fournit des informations sur la hauteur dominante des peuplements, un indicateur clé de leur maturité et de leur potentiel de production de bois. Ces données sont essentielles pour estimer les volumes de bois disponibles et adapter les stratégies d'exploitation en fonction des spécificités des différents peuplements.

Les peuplements irréguliers, caractérisés par une grande variabilité en termes de taille et d'âge des arbres, sont souvent associés à une plus grande résilience et biodiversité. Le LiDAR permet d'identifier ces peuplements en offrant une vision fine de la composition forestière. Il

aide également à localiser les zones où se trouvent de gros bois, qui jouent un rôle crucial pour la biodiversité en fournissant des habitats pour de nombreuses espèces. Ces informations permettent aux gestionnaires forestiers d'adopter des pratiques respectueuses de la biodiversité tout en assurant une exploitation durable.

Grâce à sa capacité à produire des modèles numériques de terrain (MNT) extrêmement précis, le LiDAR est un outil précieux pour la gestion des risques naturels en milieu forestier. Il permet de cartographier des zones sensibles telles que les pentes abruptes ou les zones à risque de glissements de terrain. Ces informations sont essentielles pour la prévention des catastrophes naturelles et l'aménagement de mesures de protection adaptées. En identifiant ces zones à risque, les gestionnaires peuvent adapter leurs actions pour réduire les impacts potentiels sur les forêts et les infrastructures.

Le LiDAR est également un outil clé pour la conservation de la biodiversité. Il permet de localiser et de protéger des zones forestières riches en biodiversité, telles que les forêts anciennes ou celles abritant des espèces vulnérables. En cartographiant les habitats potentiels pour des espèces emblématiques, comme la chouette de Tengmalm, le LiDAR favorise une gestion forestière plus sensible aux enjeux écologiques. Ces informations facilitent la mise en place de stratégies de conservation adaptées, assurant ainsi la préservation des écosystèmes et des espèces qui en dépendent. Cette technologie permet également d'identifier les forêts matures, grâce à l'indice de maturité mis en place par l'INRAE, ce qui facilite la prise de décisions stratégiques en matière de gestion et de protection de ces écosystèmes. Les partenaires peuvent ainsi planifier des actions de conservation adaptées aux différentes phases de développement des forêts.

Ces développements montrent comment le LiDAR est un outil indispensable pour une gestion forestière moderne, permettant de relever les défis écologiques, économiques et de sécurité.

III.3. Valorisation de l'Observatoire

III.3.1. La Valorisation des Observatoires Forestiers

III.3.1.1. Définition de la valorisation.

La valorisation est définie par la « Mise en valeur de quelque chose pour en tirer davantage de ressources »²². Il s'agit ainsi de la mise en valeur des données de l'observatoire pour en tirer des informations qui seront utiles pour « protéger les bienfaits de la forêt, identifier les menaces, rassembler les informations, aider à la décision ». La mise en valeur des données correspond au traitement et à l'utilisation de celles-ci, de telle sorte à ce qu'elles soient utiles et qu'elles apportent de nouvelles informations.

²² CNRTL, 2024. VALORISATION : Définition de VALORISATION. [En ligne]. 2024.

III.3.1.2. Importance de la valorisation de l'observatoire pour le maintien des services des forêts.

La valorisation des observatoires forestiers passe par la réalisation des objectifs de l'observatoire. Ainsi il s'agit ici d'apporter des informations sur l'état des forêts du territoire et sur l'impact du changement climatique sur ces forêts pour voir quelles essences sont les mieux adaptées afin de prendre en compte ces informations dans la gestion forestière. Avec pour finalité de maintenir le bon fonctionnement des écosystèmes forestiers, avec par exemple des solutions d'adaptation fondées sur la nature qui sont étudiées dans le cadre du projet Life ARTISAN, et maintenir les divers services rendus par les forêts. En effet comme on peut le voir sur la **Figure 8**, les forêts fournissent une large gamme de services écosystémiques essentiels qui contribuent à la santé des écosystèmes et des populations humaines. Parmi les services de support, elles sont au cœur du processus de photosynthèse, en absorbant le dioxyde de carbone et en libérant de l'oxygène, tout en produisant de la biomasse qui nourrit une multitude d'espèces. Les forêts participent aussi au cycle des éléments nutritifs, en restituant des nutriments aux sols grâce à la décomposition de la litière, permettant ainsi le maintien de la fertilité des sols. Le cycle de l'eau est également régulé par les forêts, qui agissent comme des éponges, absorbant l'eau de pluie pour la relâcher progressivement, contribuant à la recharge des nappes phréatiques. Elles jouent un rôle fondamental dans la formation et le maintien des sols, en évitant l'érosion grâce à leurs racines qui stabilisent les sols. En offrant des habitats variés, elles favorisent une augmentation de la biodiversité, accueillant une immense variété d'espèces animales, végétales, et microbiennes²³.

Les forêts fournissent également des services d'approvisionnement. Elles sont une source précieuse de bois, utilisé pour la construction (bois d'œuvre) ou comme source d'énergie (bois énergie), particulièrement dans les zones rurales. En plus du bois, elles offrent de nombreux produits non ligneux, tels que les fruits, les champignons, la résine ou le liège. Les plantes médicinales, aromatiques et ornementales qui y poussent sont utilisées depuis des siècles pour traiter des maladies ou comme produits de bien-être. Les forêts sont également une source d'alimentation, par la cueillette de baies, champignons, et autres végétaux, ainsi que par la chasse, qui permet de prélever du gibier de manière durable²⁴.

Les services de régulation fournis par les forêts sont essentiels pour atténuer les effets du changement climatique. Elles agissent comme des puits de carbone, absorbant une partie importante du CO₂ atmosphérique et jouant ainsi un rôle crucial dans la régulation du climat. Localement, elles rafraîchissent l'air et maintiennent les conditions météorologiques grâce à l'évapotranspiration. Les forêts limitent aussi les phénomènes de l'érosion en protégeant les sols des vents violents et de l'eau qui, sans cette protection, les dégraderaient. Elles jouent un rôle clé dans la pollinisation, en abritant des espèces d'insectes qui sont des pollinisateurs essentiels à l'agriculture et à la flore environnante. Les forêts contribuent également à la réduction de la pollution atmosphérique, en filtrant les particules fines et les polluants de l'air, et améliorent la

²³ OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, 2018. *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change : rapport au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française.

²⁴ UICN FRANCE, 2013. Découvrez les services écologiques fournis par les forêts. *UICN France* [en ligne]. 7 juillet 2013.

qualité de l'eau en agissant comme des filtres naturels, réduisant ainsi la sédimentation et les polluants chimiques dans les cours d'eau. Elles régulent aussi les risques d'inondations, en absorbant les excès d'eau, et atténuent les avalanches et glissements de terrain en stabilisant les versants montagneux²⁵.

Les forêts rendent enfin des services culturels à ne pas négliger. Elles sont des lieux de santé, offrant des espaces propices au repos, à la méditation, et aux activités de loisir et de tourisme, comme la randonnée ou le camping, qui contribuent au bien-être physique et mental. Elles ont une importance profonde dans les valeurs esthétiques, artistiques, patrimoniales et spirituelles, étant souvent considérées comme des symboles de vie et de renouveau, et occupant une place importante dans les traditions, les croyances, et les mythologies de nombreux peuples. Elles sont aussi des supports éducatifs et scientifiques uniques, permettant l'étude des écosystèmes et de la biodiversité, et jouant un rôle clé dans la sensibilisation à l'importance de la conservation de l'environnement²⁶.

Ainsi, les forêts, par la diversité et l'étendue des services qu'elles rendent, sont vitales pour le maintien de l'équilibre écologique et pour le bien-être des sociétés humaines, tout en jouant un rôle fondamental dans la lutte contre les dérèglements environnementaux globaux.

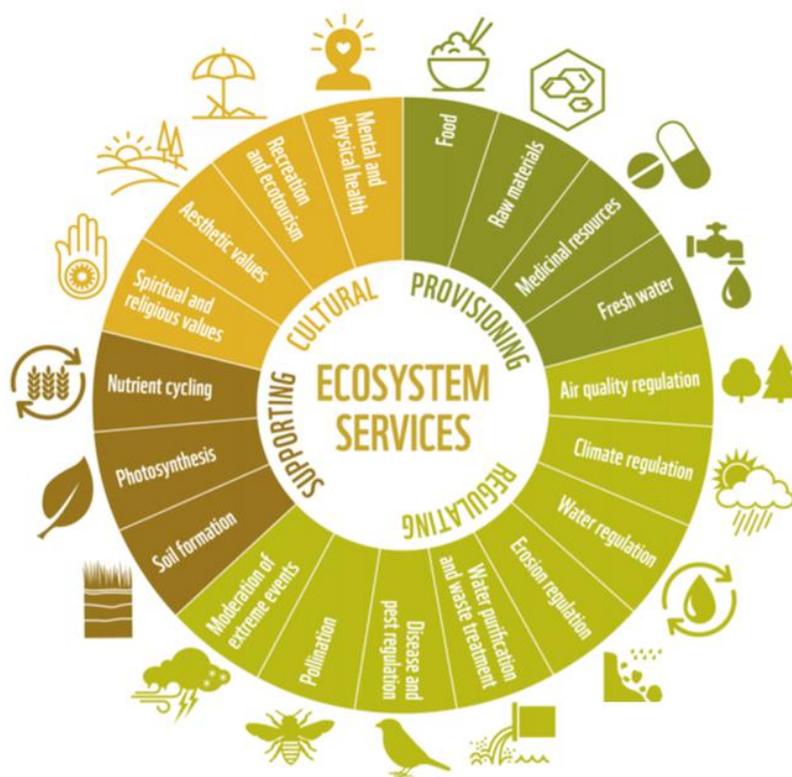


Figure 8 : Gamme de services écosystémiques fournis par la nature aux humains (Source : WWF, 2016)

²⁵ OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, 2018. *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change : rapport au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française.

²⁶ UICN FRANCE, 2013. Découvrez les services écologiques fournis par les forêts. *UICN France* [en ligne]. 7 juillet 2013.

III.3.2. Analyse des placettes forestières et croisement des données environnementales

La valorisation des données de l'Observatoire forestier passe par une analyse détaillée de l'état des placettes forestières. Mettre les données en forme peut être un travail assez long, notamment à cause des études statistiques pour lesquelles il y a beaucoup de regroupements possibles. Une première étape consiste à cartographier ces placettes en distinguant leur statut, qu'elles soient situées sur des terrains privés ou publics, ou qu'elles aient été retirées de l'inventaire pour diverses raisons (placettes supprimées, par exemple). Cette carte offre une vue d'ensemble essentielle pour comprendre la répartition des sites étudiés et leur gestion.

Pour enrichir cette analyse, il est crucial de prendre en compte plusieurs facteurs environnementaux, notamment l'altitude des placettes et la nature du sol sur lequel elles se trouvent. Ces variables jouent un rôle déterminant dans la croissance des arbres et la dynamique des écosystèmes forestiers, influençant ainsi l'état de santé des forêts. Une analyse fine des interactions entre ces éléments pourrait révéler des tendances importantes, telles que la corrélation entre certains types de sol et le dépérissement forestier ou la vigueur des peuplements en fonction de l'altitude.

En outre, l'exploitation et l'étude statistique de ces données ne se limite pas à la simple observation, mais permet également de tester des hypothèses et de soulever de nouvelles questions sur la gestion forestière. Le croisement des informations disponibles, telles que les données topographiques ou climatiques, peut offrir une valeur ajoutée significative à cette analyse. Cependant, il est important de prendre certaines précautions statistiques, notamment lors de regroupements de données conduisant à des échantillons de taille réduite, qui pourraient fausser les résultats.

Ainsi, la valorisation des données de l'Observatoire, en plus de son utilité scientifique, devient un outil stratégique pour les acteurs de la gestion forestière, facilitant une approche plus fine et contextualisée de l'exploitation et de la préservation des forêts.

III.3.3. Importance de la remesure des placettes

Afin de valoriser au mieux l'observatoire, il est important de comprendre ce qui lui donne de la valeur. La première prise de mesure nous donne un « état 0 », une photographie à un instant donné de nos forêts. Mais la réelle prise de valeur se fait lors de la remesure, qui idéalement a lieu dans les 5 à 10 ans qui suivent en fonction des moyens financiers et humain à disposition. Un lapse de temps de 10 ans est ce qui ressort généralement comme étant la meilleure durée entre deux mesures. Cela qui laisse le temps aux forêts d'évoluer suffisamment pour observer des changements bien que cela puisse « effacer » des évolutions annuelles, notamment le dépérissement, liées à un climat particulier comme une année plus sèche par exemple. Il est important de garder le même protocole pour limiter les biais lors de la collecte des données.

Le deuxième passage de remesure des placettes forestières est particulièrement intéressant car il offre une vision dynamique des évolutions au sein des peuplements forestiers. En permettant de comparer les données recueillies lors des différents relevés, il devient possible

d'analyser les changements dans la composition des forêts, le capital sur pied (volume de bois disponible), ainsi que la structure des peuplements, qu'ils soient réguliers, irréguliers ou issus de taillis.

Cette analyse fournit des informations précieuses pour comprendre les dynamiques écologiques à l'œuvre, comme la croissance des arbres, le renouvellement naturel des essences ou encore l'impact des interventions humaines. Elle permet également de détecter des signes de dépérissement ou des changements dans la biodiversité. De plus, en étudiant la structure des peuplements, il devient possible de déterminer si la forêt est gérée de manière régulière, avec des arbres de tailles similaires, ou de manière irrégulière, caractérisée par une diversité de tailles et d'âges des arbres. Ces éléments sont directement liés au type de gestion appliqué, notamment en fonction des classes de diamètre, qui influencent les stratégies d'exploitation forestière, de conservation et de reboisement.

Cette seconde mesure va permettre de pouvoir observer les flux, les évolutions ayant eu lieu dans les forêts (changements d'essences, accroissement, évolution du stock de bois mort, ...). Elle permet également d'observer la plus faible croissance voire le dépérissement lié au changement climatique. Nous pouvons observer sur la **Figure 10**, les apports de la remesure des placettes permanentes. En effet, les arbres mesurables, au sens du protocole, qui ont pu être oubliés lors de la première mesure, à la suite d'une éventuelle erreur des opérateurs, pourront être mesurés lors du second comptage et certaines des perches (arbres de classe de diamètre 10-15 cm) de la première mesure auront suffisamment grandi lors du passage à la futaie pour être précomptables (diamètre supérieur à 17,5 cm). Cela augmentera le nombre d'arbres mesurés sur la placette pour lesquels nous aurons des premières données. En ce qui concerne les arbres

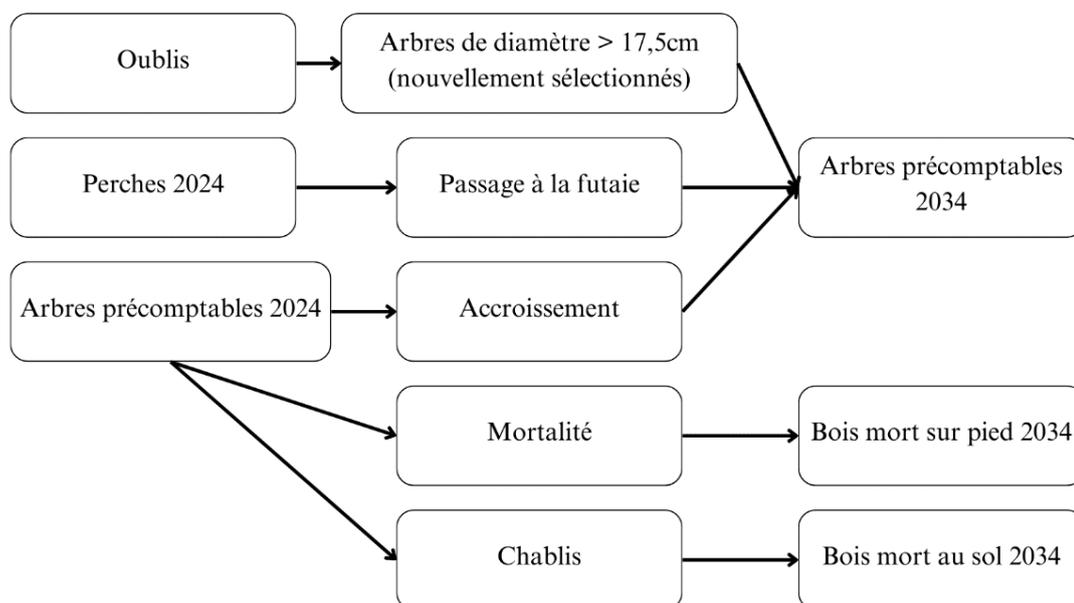


Figure 10 : Schéma des flux autour des arbres précomptables (réalisé par Vincent Doublé, en s'appuyant sur les idées de Nathan Devin, SERVICE FORÊT ONF SAVOIE MONT BLANC, 2024) :

mesurés lors de la première campagne de terrain, pour ceux étant toujours vivants, la seconde mesure va permettre de mesurer l'accroissement moyen sur le pas de temps entre les deux mesures. Pour ceux étant mort sur pied cela permettra de suivre l'évolution du taux d'arbres mort sur pied en forêt et pour ceux ayant été renversés lors de chablis ou étant tombés, cela permettra de suivre l'évolution de bois mort au sol en forêt entre les deux campagnes de terrain. Cela peut être intéressant pour illustrer le comportement des propriétaires forestier et leur tendance à sortir le bois mort de la forêt ou non, et également observer les différents flux dont le capital sur bois avec le volumen de bois mort, la densité, etc.

III.3.4. Découpages géographiques possible pour l'analyse des données

Pour analyser les données de manière pertinente et révélatrice des dynamiques territoriales, il est d'abord utile de les examiner à l'échelle globale du territoire, afin d'identifier les tendances générales. Ensuite, il devient intéressant d'affiner l'analyse en utilisant des découpages géographiques pour mettre en évidence les variations par secteur. Un découpage pertinent repose sur les Sylvoécórégions (SER). D'après l'IGN, « une SER correspond à une zone géographique suffisamment vaste à l'intérieur de laquelle la combinaison des valeurs prises par les facteurs déterminant la production forestière ou la répartition des habitats forestiers est originale, c'est-à-dire différente de celle caractérisant les SER adjacentes »²⁷. Les sylvoécórégions permettent d'avoir des groupes homogènes d'un point de vue de production

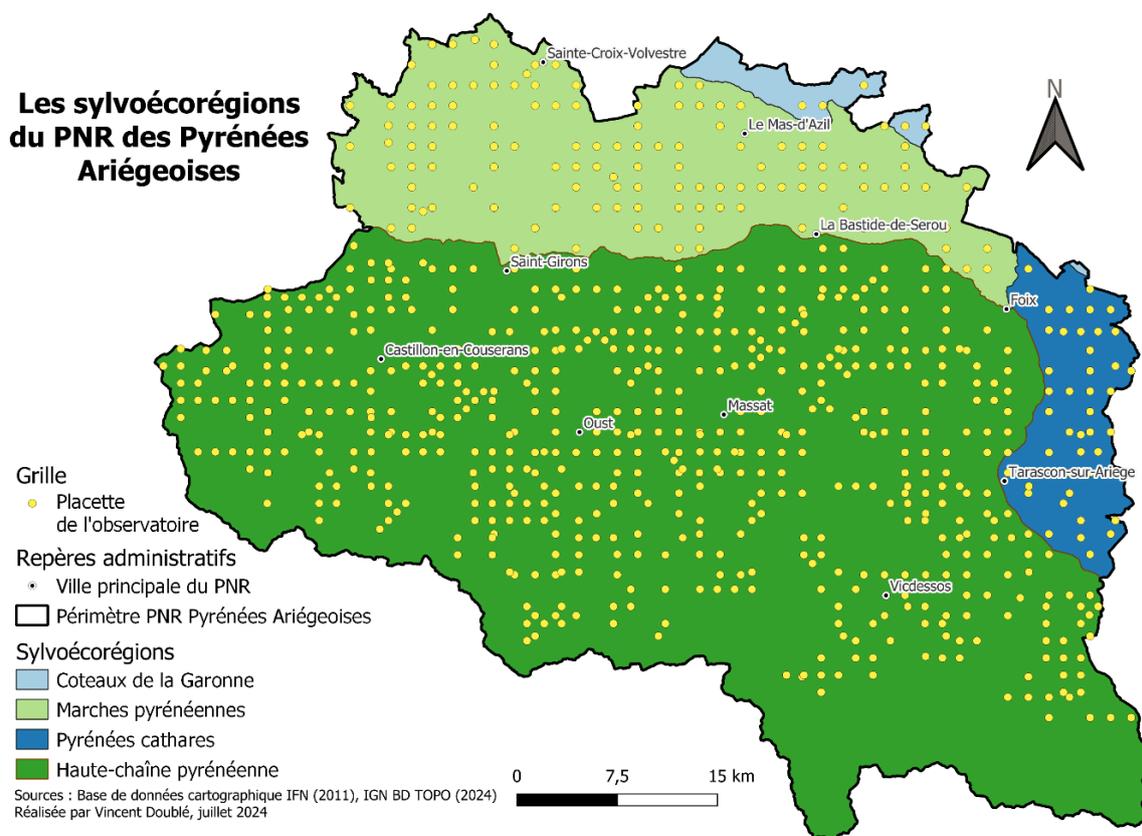


Figure 11 : Carte des sylvoécórégions du PNR des Pyrénées ariégeoises

²⁷ CAVIGNAC, Sébastien, 2009. *Les sylvoécórégions (SER) de France métropolitaine*. 2009. IFN. pp. 166.

forestière sur un territoire. On dénombre 86 SER en France métropolitaine et sur le territoire du PNRPA, nous pouvons en compter 4 : les coteaux de la Garonne à l'extrême nord du territoire (1,5 % du territoire et 0,8 % des placettes), les Pyrénées cathares à l'ouest du territoire (5,6 % du territoire et 5,8 % des placettes), les Marches pyrénéennes au nord du territoire (20 % du territoire et 16,5 % des placettes), et la Haute-chaîne pyrénéenne au sud du territoire (72,8 % du territoire et 76,9 % des placettes).

On observe ainsi un territoire très hétérogène avec une sylvoécocorégion principale, dominant complètement les autres (**Figure 11**). Si l'on devait retenir deux sylvoécocorégions, ce seraient :

- La Haute chaîne pyrénéenne²⁸ : Dominée par un climat montagnard sous influence atlantique, elle favorise la croissance des arbres jusqu'à 1 500 m d'altitude. Les précipitations y sont abondantes (plus de 1 000 mm/an), souvent sous forme de neige, avec des sols variés (calcaires, granitiques, schisteux) et des conditions de relief difficile. Le sapin pectiné et le hêtre y sont prédominants.

- Le Piémont pyrénéen : Zone de transition avec un climat atlantique dégradé à influences montagnardes. Les précipitations varient entre 800 et 1 200 mm/an. L'altitude variant entre 350 et 1 000 m, favorise les chênes, le châtaignier et les feuillus précieux, avec une forte potentialité de production de bois de qualité, notamment pour le chêne, le merisier et le frêne²⁹.

Connaître les caractéristiques de la SER de la haute-chaîne pyrénéenne est intéressant pour mieux comprendre le territoire par sa prédominance mais cela pose un problème pour analyser les placettes terrains en fonction de différents secteurs car seule une comparaison entre les deux principales SER est possible. Ainsi, un autre découpage géographique envisageable est celui des territoires historiques issus souvent des anciens cantons et avec souvent des continuités géographiques intéressantes. Nous obtenons alors 14 territoires : l'Agglomération de St-Girons, l'Arize, le pays d'Auzat & Vicdessos, le Bas Couserans, le Canton de Massat, le Canton d'Oust, le Canton de Varilhes et Plantaurel, le Castillonnais, le pays de Foix, le pays de Tarascon, le Séronais, le Val Couserans, la vallée de la Lèze, le Volvestre ariégeois, et les Vallées d'Ax (**Figure 12**). Cependant cela crée un nombre important de secteurs avec une répartition inégale de placettes par secteur [**Annexe 3**]. Certains n'ayant pas suffisamment de placette pour réaliser des analyses statistiques, ce découpage perd son intérêt à moins de regrouper des secteurs pour augmenter le nombre de placettes par secteur et pouvoir faire des analyses représentatives.

²⁸ IGN, 2013. *Sylvoécocorégion I 21 Haute chaîne pyrénéenne*. 2013.

²⁹ PNR DES PYRÉNÉES ARIÉGEOISES, 2022. *Diagnostic territorial du PNR des Pyrénées ariégeoises – 10. La forêt et la filière bois*.

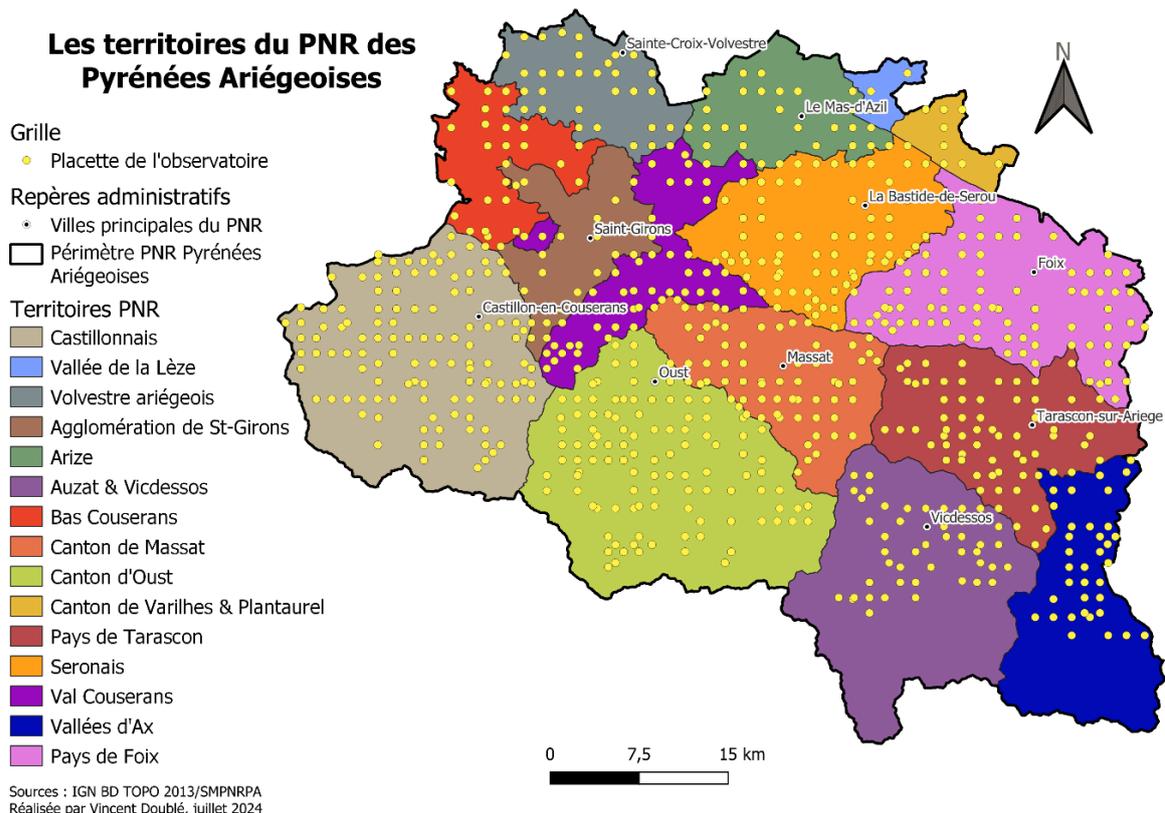


Figure 12 : Carte des territoires du PNR des Pyrénées ariégeoises

C'est pourquoi un autre découpage géographique peut également être intéressant, il s'agit du découpage hydrographique (**Figure 13**). Sur le territoire du PNR, il y a une seule région hydrographique qui est celle de la Garonne, puis celle-ci est découpée en deux secteurs qui sont l'Ariège et la Garonne de sa source au confluent de l'Ariège, puis eux-mêmes sont découpés en 10 sous-secteurs : l'Arize (10,2 % du territoire et 10,2 % des placettes), la Garonne du confluent du Salat au confluent de l'Arize (3,4 % du territoire et 3,4 % des placettes), le Lez (14,4 % du territoire et 17 % des placettes), le Salat de sa source au confluent du Lez (23,5 % du territoire et 27,6 % des placettes), le Salat du confluent de Lez au confluent de la Garonne (10 % du territoire et 8,8 % des placettes), le Vicdessos (12,7 % du territoire et 8,4 % des placettes), l'Ariège de sa source au confluent du Vicdessos (7,4 % du territoire et 5,4 % des placettes), l'Ariège du confluent de l'Arget au confluent de l'Hers vif (2,8 % du territoire et 2,1 % des placettes), l'Ariège du confluent de la Lèze au confluent de la Garonne (2,7 % du territoire et 2,1 % des placettes) et l'Ariège du confluent du Vicdessos au confluent de l'Arget (12,9 % du territoire et 14,9 % des placettes).

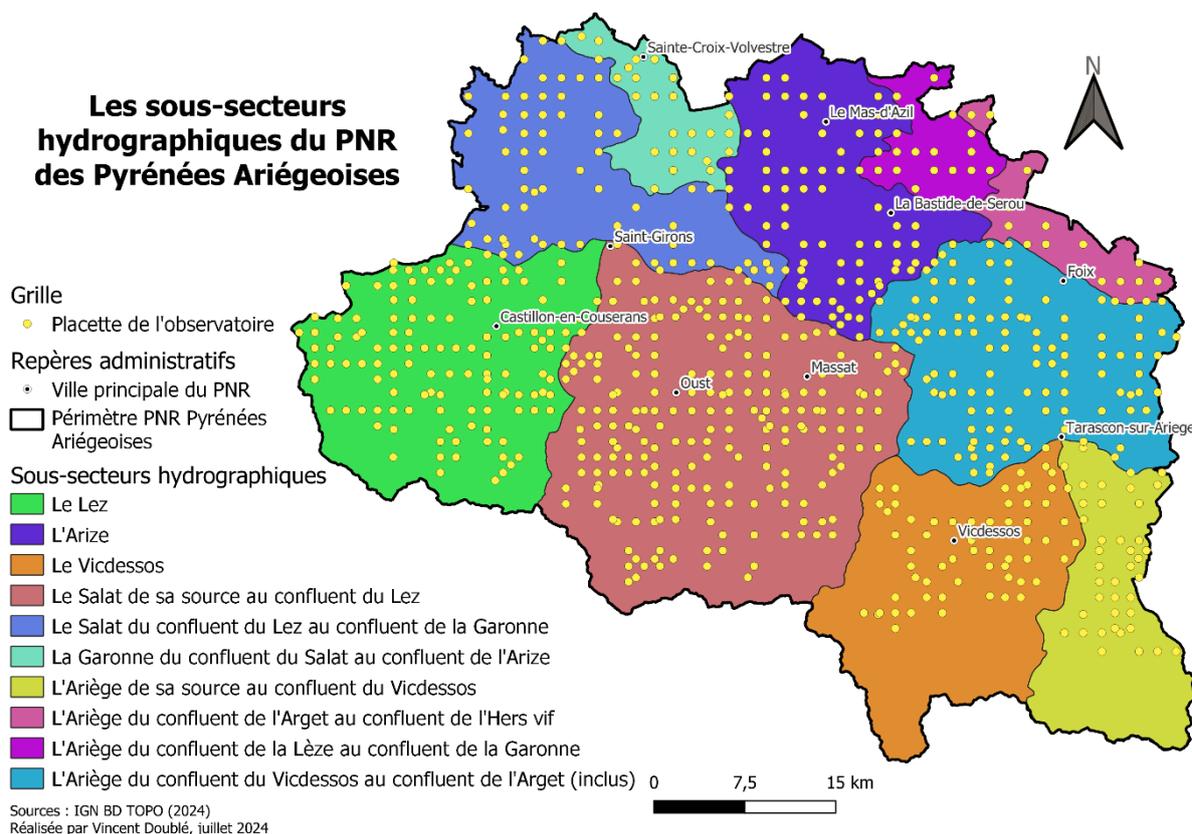


Figure 13 : Carte des sous-secteurs hydrographiques du PNR des Pyrénées ariégeoises

Dans un même sous-secteur, il y a un regroupement de vallées voisines bénéficiant en général du même microclimat, ce qui donne une cohérence par sous-secteur pour étudier les effets du changement climatique sur les forêts. Le découpage étant réduit à 10 territoires, cela permet d'avoir suffisamment de placettes (sauf exceptions) par sous-secteur pour effectuer des analyses statistiques pertinentes et pouvoir comparer des résultats et des tendances éventuellement différentes entre ces territoires. Pour 3 sous-secteurs le nombre de placettes serait insuffisant [Annexe 4], il serait donc intéressant de faire des regroupements. Par exemple, le sous-secteur de la Garonne du confluent du Salat au confluent de l'Arize pourrait être regroupé avec le sous-secteur du Salat du confluent du Lez au confluent de la Garonne, et les sous-secteurs de l'Ariège du confluent de la Lèze au confluent de la Garonne et de l'Ariège du confluent de l'Arget au confluent de l'Hers vif pourraient être regroupés ensemble.

III.4. Utilisation des Données pour la Gestion Forestière

Comme vu précédemment, les données collectées sont ensuite analysées pour établir des modèles de croissance, de densité forestière, et pour calibrer les relevés LiDAR. Cette calibration est cruciale pour extrapoler les résultats des placettes à l'ensemble du territoire forestier. Les analyses permettent également de mieux comprendre la dynamique forestière, notamment en termes de régénération, de mortalité et de vulnérabilité face aux aléas climatiques.

À partir de ces analyses, plusieurs applications concrètes peuvent être envisagées :

III.4.1. Utilisation des données pour la gestion et la planification

Les données collectées dans le cadre de la mise en place de l'observatoire des forêts du PNR des Pyrénées ariégeoises jouent un rôle crucial dans la gestion et la planification des ressources forestières. Elles permettent d'adapter les politiques de gestion en fonction des besoins et des spécificités locales, telles que la pente du terrain, la composition des peuplements ou encore les risques naturels. Grâce aux modèles dérivés de ces données, les gestionnaires forestiers peuvent anticiper les volumes de bois disponibles, identifier les zones à risque (incendies, glissements de terrain), et ajuster les stratégies d'exploitation tout en assurant une gestion durable.

L'analyse des volumes de bois, notamment en ce qui concerne la valorisation des essences feuillues, permet de mieux orienter les politiques de gestion. En montrant l'évolution des peuplements et de leur composition, ces données offrent une vision claire des dynamiques forestières à long terme. Cela aide à optimiser l'exploitation tout en prévenant la surexploitation et en garantissant la préservation des ressources forestières pour les générations futures.

Par exemple, des outils tels que ClimEssences³⁰, un modèle développé conjointement par l'ONF, l'INRAE et le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF), sont disponibles via le site du réseau mixte technologique Aforce. Ce modèle permet à l'ensemble des acteurs forestiers de suivre l'évolution des volumes forestiers et de planifier les interventions en tenant compte des impacts du changement climatique. De plus, le logiciel Sylvaccess, développé par Sylvain Dupire (ingénieur à l'INRAE), propose un modèle d'exploitabilité prenant en compte divers facteurs d'accessibilité tels que la capacité des tracteurs, des porteurs et des câbles forestiers à accéder aux différentes zones. Ces outils permettent d'optimiser les opérations d'exploitation forestière tout en tenant compte des contraintes techniques et environnementales.

Des logiciels comme SylvaRoad et CubaRoad complètent cette approche en permettant de modéliser les schémas de desserte forestière et d'estimer les coûts liés à la création de nouvelles infrastructures d'accès. Ces technologies, associées aux données précises fournies par des outils tels que le LiDAR, permettent également de déterminer les enjeux écologiques des massifs forestiers en fonction de leur stade de développement. Par exemple, elles peuvent identifier les forêts arrivées à maturité, nécessitant une gestion spécifique, ou celles en phase de régénération, où une intervention plus prudente est de mise.

Ainsi, ces données et outils permettent d'adapter la gestion forestière aux réalités locales, tout en assurant une exploitation raisonnée des ressources. L'objectif est d'éviter la surexploitation, d'assurer la pérennité des écosystèmes, et de répondre aux enjeux écologiques et économiques à long terme.

III.4.2. Suivi de la biodiversité

Le suivi de la biodiversité forestière repose en grande partie sur l'analyse des données relatives à la composition des essences d'arbres et à la présence de bois mort dans les

³⁰ CLIMESSENCES, 2020. Le RMT AFORCE | ClimEssences. [En ligne]. 2020.

peuplements. La diversité des essences est un indicateur clé de la richesse écologique d'une forêt, chaque espèce d'arbre jouant un rôle spécifique dans l'écosystème en offrant des habitats variés pour la faune et la flore. Par exemple, certaines essences abritent des espèces d'insectes ou de champignons spécifiques, tandis que d'autres sont essentielles pour les oiseaux ou les petits mammifères.

La présence de bois mort, qu'il soit encore debout ou au sol, constitue également un facteur crucial pour la biodiversité. Le bois mort est un habitat important pour une multitude d'espèces, notamment des insectes, des champignons, des lichens et des oiseaux, qui en dépendent pour leur alimentation ou leur reproduction. L'accumulation de bois mort dans une forêt peut ainsi indiquer un écosystème sain et résilient. En revanche, son absence ou sa rareté pourrait signaler un déséquilibre écologique, souvent causé par des pratiques de gestion trop intensives ou une dégradation des habitats naturels.

En analysant ces données, il devient possible d'identifier les secteurs où la biodiversité est particulièrement riche et mérite une protection renforcée. Ces informations permettent aux gestionnaires forestiers de mettre en place des mesures de conservation ciblées, telles que la limitation des coupes dans certaines zones ou la préservation d'îlots de vieillissement et de décomposition du bois. Le suivi de la biodiversité, basé sur ces indicateurs, aide également à évaluer l'impact des actions de gestion forestière et à ajuster les stratégies pour mieux préserver les écosystèmes forestiers dans leur ensemble.

Ainsi, en croisant ces données avec d'autres paramètres environnementaux, tels que la topographie ou les conditions climatiques, il est possible de développer une gestion forestière intégrée, visant à concilier exploitation durable des ressources et préservation de la biodiversité.

III.5.3. Adaptation au changement climatique

L'adaptation des forêts au changement climatique est un enjeu majeur, et les modèles de croissance et de résilience des écosystèmes forestiers, basés sur les données collectées, jouent un rôle essentiel pour anticiper les impacts à venir. Ces modèles permettent non seulement de suivre l'évolution des forêts, mais aussi d'ajuster les pratiques de gestion en fonction des nouvelles conditions climatiques. Grâce à ces outils, les gestionnaires forestiers peuvent identifier les essences les plus résilientes face à des facteurs de stress tels que la sécheresse, les tempêtes ou les parasites, et adapter les stratégies d'exploitation et de conservation en conséquence.

Bien que les placettes d'observation ne couvrent pas l'intégralité des forêts du PNR, les données recueillies fournissent une base solide pour élaborer des analyses robustes et des outils de gestion adaptés. Ces analyses permettent de développer des stratégies forestières résilientes, tout en mettant en lumière certaines limites liées à l'échantillonnage, comme le fait que ces placettes ne reflètent pas toujours la gestion forestière sur l'ensemble du territoire. Une approche flexible et adaptative est donc nécessaire pour s'adapter à la diversité et à la complexité des forêts du PNR.

Dans le cadre du projet Life ARTISAN, les données de l'observatoire pourraient permettre d'aider à identifier quelles sont les SAFN les plus efficaces contre le changement

climatique en forêt. En identifiant les secteurs où la résilience forestière est très bonne puis en analysant et déterminant quelles sont les facteurs à l'origine de cette meilleure résilience afin de pouvoir appliquer des mesures adaptées sur les secteurs les plus fragiles.

Cependant, observer les évolutions forestières selon le type de gestion reste un défi, en particulier dans les forêts privées où il manque souvent des données suffisantes pour déterminer si elles sont gérées ou non, à l'exception de celles bénéficiant d'un plan simple de gestion. Dans les forêts publiques, une analyse détaillée des pratiques d'aménagement est également nécessaire pour comprendre les stratégies de gestion à long terme. Un des défis majeurs réside dans la nature même de la gestion forestière, qui s'étend sur plusieurs décennies. Par conséquent, les données collectées à un instant donné peuvent ne pas refléter fidèlement l'état actuel de la forêt, car un secteur pourrait avoir été intensivement géré dans le passé, mais ne plus l'être aujourd'hui, ou inversement.

Toutefois, dans les observatoires où des données spécifiques sur la gestion forestière, comme la sylviculture régulière ou irrégulière, ont été collectées, il est possible de prendre des décisions plus éclairées à l'échelle globale. En croisant ces données avec les plans de gestion, les zones protégées comme Natura 2000, ou d'autres dispositifs de conservation, les gestionnaires peuvent affiner leurs stratégies pour s'adapter aux conditions climatiques changeantes tout en préservant la biodiversité et les ressources forestières.

III.5. Communication et Sensibilisation

III.5.1. Diffusion et Valorisation des Données

La diffusion des données forestières est un sujet délicat et varie selon les observatoires. En forêt publique, ces données sont généralement accessibles au public, tandis que pour les forêts privées, leur diffusion est plus restreinte, souvent limitée aux propriétaires ou soumise à des conventions spécifiques. L'objectif est généralement que ces informations servent à titre informatif sans susciter d'activités commerciales. En effet, concernant les forêts privées, des précautions sont nécessaires pour éviter certaines conséquences indésirables, comme le démarchage non sollicité de gestionnaires forestiers qui, en identifiant des forêts à fort volume de bois à partir des données de surface terrière, pourraient retrouver les propriétaires grâce au cadastre et encourager des exploitations non encadrées. D'un autre côté, des Organisations non gouvernementales (ONG) pourraient tenter de protéger les zones à gros bois en freinant leur exploitation, ce qui pourrait poser des problèmes pour la filière bois.

Une solution envisagée serait de mettre en place une plateforme en ligne où seuls les propriétaires ou leurs gestionnaires auraient accès aux données spécifiques à leurs parcelles. Un maillage fin à l'échelle des propriétés pourrait être consultable par les propriétaires, tandis qu'un maillage plus large, accessible au public, permettrait de « flouter » les informations pour éviter la « chasse aux gros bois » par les marchands de bois. Par ailleurs, certains observatoires ont fait le choix de rendre toutes les données accessibles, estimant que les professionnels connaissent déjà les zones de gros bois, et que la diffusion des données n'apporterait pas d'informations supplémentaires susceptibles de modifier significativement cette connaissance.

Pour la diffusion des données concernant les forêts publiques, étant donné que l'ONF est un organisme public, les données et cartographies produites sont accessibles via une base de données nationale open source, gérée par l'IGN. Il serait pertinent d'envisager la création d'un support unique et standardisé pour les observatoires locaux, qu'ils concernent des forêts privées ou publiques, afin de centraliser les données dans l'observatoire forestier national. Cela permettrait de faciliter la diffusion des informations et d'harmoniser leur gestion à l'échelle nationale.

III.5.2. Sensibilisation auprès du grand public

La sensibilisation du grand public à la gestion durable des forêts et aux enjeux environnementaux est cruciale pour encourager une prise de conscience collective et un engagement en faveur de la préservation des écosystèmes forestiers. Grâce aux données issues des observatoires forestiers et aux outils technologiques comme les cartes interactives ou les visualisations 3D, il est possible de rendre accessibles des informations complexes sur l'état des forêts, leur biodiversité et les impacts du changement climatique. Des actions de communication, telles que des conférences, des ateliers en plein air ou des visites guidées en forêt, peuvent être organisées pour expliquer au public les pratiques de gestion durable, les solutions d'adaptation au changement climatique, et l'importance de préserver ces ressources naturelles. En mobilisant des canaux numériques et traditionnels, il devient plus facile d'impliquer la population, notamment les jeunes générations, dans des projets de reboisement ou de conservation, et de favoriser une meilleure compréhension des défis environnementaux auxquels nos forêts font face.

Les données collectées par les observatoires forestiers peuvent constituer un support précieux pour des campagnes de sensibilisation destinées au grand public, notamment en ce qui concerne l'importance du bois mort en forêt. En utilisant ces données, il est possible de démontrer pourquoi il est crucial de conserver le bois mort et d'accepter la mortalité des arbres comme des éléments essentiels du fonctionnement et de la biodiversité des écosystèmes forestiers. Le bois mort joue un rôle clé en fournissant des habitats pour de nombreuses espèces, en favorisant la décomposition des nutriments et en contribuant à la santé générale de la forêt.

De plus, ces données peuvent également être utilisées pour sensibiliser les élus locaux en leur fournissant des fiches thématiques détaillées. Ces fiches peuvent inclure des informations sur le capital de bois, la structure forestière, les trois principales essences présentes, l'état de régénération et le bilan écologique des forêts. Ces supports d'information permettent aux élus de mieux comprendre les enjeux forestiers et d'élaborer des politiques locales plus éclairées et adaptées. En complément, des présentations sous forme de diapositives, analysant différentes thématiques, peuvent être organisées pour offrir une vue d'ensemble plus détaillée et interactive des données forestières. Cela permet aux décideurs de prendre des décisions plus informées et de promouvoir des actions de gestion durable des forêts au sein de leurs communes.

III.6. Intérêt de l'observatoire auprès des partenaires

III.6.1. Partenariats avec d'autres institutions et observatoires

Les partenariats avec d'autres institutions et observatoires jouent un rôle clé dans la pérennité et l'efficacité des projets forestiers. L'enjeu principal réside dans l'animation des données sur le long terme, qui nécessite une collaboration étroite avec les partenaires. Il serait judicieux de désigner une personne neutre, chargée de cette animation, pour explorer les différentes utilisations possibles des données et maximiser leur impact. Un effort accru pour obtenir l'adhésion des partenaires est essentiel afin que le projet soit largement utilisé et que chacun y trouve son intérêt.

Par ailleurs, le partage d'expériences entre observatoires représente un levier précieux pour optimiser le temps, éviter les erreurs et renforcer la réflexion autour de problématiques communes. Par exemple, en Isère, le comité de pilotage, en travaillant en petits groupes, a exploré différentes façons d'utiliser les données pour démontrer l'existence de projets transversaux à l'échelle du parc, favorisant ainsi l'intelligence collective.

Dans la mise en œuvre du projet, des initiatives comme la mesure du bois mort dans les zones d'adhésion et le cœur du parc ont bénéficié du soutien du Parc National des Cévennes (PNC), en complément des données dendrométriques à l'échelle de la Lozère. L'objectif est de garantir que chaque partenaire tire parti du projet et y trouve un intérêt, comme c'est le cas avec l'ANA-CEN Ariège pour les données sur les dendromicrohabitats et les bois morts au sol. En Lozère, une collaboration similaire avec le PNC a démontré l'intérêt particulier pour les aspects liés à l'indice de maturité et au bois mort. Ces partenariats renforcent l'implication des acteurs locaux tout en favorisant une approche intégrée de la gestion forestière.

III.6.2. Collaborations avec les chercheurs, gestionnaires et autres parties prenantes

Pour les chercheurs, le fait que l'observatoire forestier dispose d'un nombre suffisant de placettes permanentes, réparties selon un découpage territorial systématique, représente un atout majeur pour la réalisation d'études statistiques robustes et fiables. Contrairement à d'autres observatoires qui utilisent des placettes aléatoires, cette approche permet de renforcer la validité des modèles et des analyses, évitant ainsi des biais potentiels dans la modélisation.

En matière de collaborations et de conventions, de nombreux observatoires travaillent en étroite coopération avec des instituts de recherche comme l'INRAE, AgroParisTech, ainsi que des parcs naturels régionaux et d'autres organismes pour valoriser et analyser les données. Par exemple, plusieurs observatoires collaborent avec l'INRAE pour développer des outils innovants, notamment des modèles de risque d'incendie, actuellement en phase d'expérimentation. Ces modèles visent à fournir une estimation de la masse combustible, variable d'une année à l'autre, ce qui pourrait s'avérer très utile pour la prise de décisions et l'aménagement du territoire.

En outre, un modèle spécifique concernant le bois mort a été développé en partenariat avec l'INRAE, permettant de quantifier le stock de bois mort et de suivre son évolution. Cette donnée est essentielle pour évaluer l'état des écosystèmes forestiers et leur maturité. D'autres collaborations visent à mettre en place des protocoles scientifiques, comme ceux établis avec l'ONF et AgroParisTech.

Parmi les réalisations notables, le partenariat entre l'INRAE et l'ONF a conduit au développement de l'outil d'Indice de Maturité (IMAT), qui modélise l'indice de maturité des forêts. Cet outil s'avère précieux non seulement pour la gestion forestière, mais aussi pour la protection des écosystèmes forestiers, en contribuant à une meilleure compréhension de leur évolution et de leur résilience.

IV. Discussion et recommandations

IV.1. Proposition d'amélioration possible de l'observatoire à l'avenir

La mise en place d'un observatoire photographique pourrait s'avérer particulièrement enrichissante, en exploitant les photographies réalisées sur les placettes lors de la campagne de terrain de 2024. Cette année, quatre photographies par placette ont été prises en fonction des points cardinaux, offrant ainsi un état des lieux initial. Lors des futures campagnes pour réaliser à nouveau les placettes, ces images permettront de visualiser les évolutions forestières, en complément des données dendrométriques. Il s'agit d'un volume important de données visuelles, qu'il serait pertinent de valoriser.

Ce support photographique apporterait une dimension visuelle précieuse, notamment pour la communication auprès de divers publics, qu'il s'agisse de spécialistes, de collectivités ou du grand public. En appuyant les analyses avec ces images, l'observatoire pourrait illustrer plus concrètement les changements en forêt, tels que le dépérissement ou les évolutions de la couverture forestière. Cela permettrait d'observer les dynamiques forestières de manière globale, tout en sensibilisant à la préservation des écosystèmes.

IV.2. Regard critique sur la mission de stage

Les placettes de l'observatoire des forêts du PNRPA ne sont représentatives que d'une fraction spécifique des forêts de la région. En effet, plusieurs contraintes limitent la représentativité globale des données collectées :

- L'accessibilité est la principale contrainte limitant l'échantillonnage. Cela exclut les régions à fortes pentes ou celles éloignées des voies d'accès, qui constituent pourtant une part significative du territoire forestier. Ces zones difficiles d'accès, souvent caractérisées par une topographie complexe, ne sont pas représentées dans les données, ce qui peut biaiser les conclusions tirées sur l'ensemble des forêts du PNR. Chaque journée de terrain a permis de relever un certain nombre de placettes, en fonction de l'accessibilité déterminée par la pente, la présence de chemin, la distance et le temps

d'accès. En moyenne, les équipes ont relevé environ 3 placettes par jour. Dans le nord du territoire où la pente est plus faible et les accès plus faciles, 3,6 placettes étaient réalisées par jour alors qu'en montagne, dans le sud, la topographie rendait difficile l'accès et la moyenne descend à 2,8 placettes par jour. Cette performance quotidienne est inférieure à celles d'autres observatoires situés dans des zones beaucoup plus accessible et où la moyenne de placette journalière est aux alentours de 4.

- Les placettes ont été sélectionnées en fonction de leur conformité aux critères définis par le protocole, ce qui signifie que seules les parcelles classées comme "boisées" au sens strict ont été incluses. Les zones de transition, comme les landes ou les clairières, ainsi que les zones présentant des arbres mais à vocation non forestière, peuvent être sous-représentées, limitant ainsi la diversité des données recueillies, dans une certaine mesure.
- L'accès aux forêts privées nécessite des autorisations spécifiques, obtenues via un arrêté préfectoral. Cependant, toutes les parcelles privées n'ont pas été accessibles, en raison de refus d'autorisation de propriétaires ou de difficultés logistiques. Ainsi, les données issues des forêts privées ne couvrent qu'une partie des parcelles disponibles, ce qui peut entraîner une vision partielle de la réalité forestière privée du PNR, bien que ce type de situation reste exceptionnel.

L'un des principaux défis rencontrés concerne la répartition du travail de terrain entre les différentes équipes. Il aurait été plus judicieux de constituer des équipes par secteur géographique, sans différencier les forêts publiques des forêts privées. En effet, certaines placettes appartenant à des propriétaires différents, mais situées à proximité, n'ont pas pu être relevées simultanément. Une fois que les équipes en charge des forêts privées avaient terminé, elles ont été envoyées en renfort sur les forêts publiques, mais ont dû retourner dans des zones déjà parcourues pour effectuer des relevés près de ceux déjà réalisés. Une meilleure organisation dès le départ aurait permis d'éviter ces déplacements inutiles, optimisant ainsi les ressources humaines et financières.

La création de l'observatoire a été initiée en réponse à une opportunité, mais sans une vision claire des objectifs à atteindre. Lors des entretiens, il a été souligné qu'il est essentiel de définir, dès le départ, les finalités de l'observatoire et ce que l'on souhaite en tirer avant de commencer la collecte sur le terrain. Cette approche permettrait d'améliorer l'organisation du travail et de mieux orienter la collecte et l'analyse des données. Il est également crucial d'établir en amont les résultats attendus et leur valorisation, en particulier en ce qui concerne la diffusion des données. Collecter un grand volume de données sans savoir comment elles seront utilisées, ou risquer qu'elles ne soient pas exploitées par les partenaires, est regrettable. Des problèmes ainsi soulevés sur l'observatoire du PNR incluent, par exemple, le besoin exprimé par AgroParisTech d'obtenir une évaluation plus détaillée que la simple distinction vivant/mort, avec une note DEPERISS par arbre, ce qui n'a pas été réalisé par manque de temps pour la réalisation des placettes, tout comme la mesure de la régénération. De même, l'INRAE questionne la taille des placettes LIDAR, suggérant que 15 mètres de rayon ne suffisent peut-être pas à représenter l'hétérogénéité structurale nécessaire au calcul de l'IMAT ou de l'indice de biodiversité potentielle.

IV.3. Défis et Perspectives

Les responsables des observatoires forestiers ont identifié plusieurs défis majeurs à relever pour garantir l'efficacité et la pérennité de ces dispositifs.

Tout d'abord, la standardisation des protocoles apparaît comme une priorité essentielle. Il est crucial de maintenir une uniformité dans les méthodes de collecte et d'analyse des données pour éviter les biais et garantir la comparabilité des résultats au fil du temps. L'absence de protocoles standardisés peut compromettre la cohérence des données et rendre leur interprétation plus complexe.

Un autre défi concerne la diffusion des données des forêts privées. Ce sujet est délicat, car il soulève des questions juridiques et éthiques. Protéger les droits des propriétaires privés tout en assurant une transparence dans l'exploitation des données est un équilibre difficile à trouver. En effet, il est impératif de garantir que ces informations ne soient pas utilisées à des fins commerciales non contrôlées, tout en permettant une utilisation légitime pour la recherche et la gestion forestière. Le partage de ces données doit donc être encadré par des conventions spécifiques qui assurent à la fois la protection des propriétaires et la transparence nécessaire pour les acteurs publics et privés.

Le besoin d'outils adaptés pour la gestion et la diffusion des données est également un enjeu crucial. Il est recommandé de développer des outils standardisés et centralisés à l'échelle nationale, qui permettraient une accessibilité plus fluide aux données forestières. Ces outils doivent être facilement utilisables par un large public, et non exclusivement par des experts maîtrisant des systèmes d'information géographique (SIG). Un exemple pertinent serait la création d'une plateforme accessible, similaire à GeoNature, qui permettrait à différents acteurs de consulter et d'exploiter les données en toute simplicité.

Les observatoires jouent un rôle essentiel dans l'adaptation au changement climatique. En surveillant les effets du changement climatique sur les écosystèmes forestiers, ces structures contribuent à l'élaboration de stratégies de gestion plus résilientes. Ils permettent notamment d'identifier les essences d'arbres les plus résistantes, de suivre le dépérissement des forêts et d'adapter les pratiques de sylviculture en conséquence.

Le financement et les ressources constituent un autre défi de taille. La gestion des coûts, notamment en ce qui concerne l'acquisition de nouvelles technologies comme les drones ou le LiDAR, est un enjeu pour la durabilité des observatoires. Bien que ces technologies soient coûteuses (un drone LiDAR peut coûter entre 100 000 € et 200 000 €) leur rentabilité peut être rapidement atteinte si une collaboration est mise en place entre différents observatoires. Par ailleurs, la photogrammétrie, qui permet de capter des images aériennes précises, devrait encore s'améliorer, ce qui rendra ces technologies encore plus indispensables à l'avenir.

Un autre biais important concerne le marquage des arbres. Il a été observé que, dans certaines placettes, les personnes chargées du martelage pourraient être influencées par la connaissance de la présence d'une placette d'observation, ce qui pourrait altérer le comportement de marquage et, par conséquent, la qualité des données. Ce type d'interférence doit être évité pour assurer l'objectivité des données.

Enfin, le suivi à long terme des observatoires est une priorité, mais il présente des difficultés, notamment en raison des mouvements de personnel. Il est primordial de maintenir une continuité dans les équipes pour garantir la fiabilité des données sur le long terme. Un point de vigilance doit être porté sur la formation et la transmission des compétences au sein des équipes, afin que les méthodes restent uniformes et que les données ne perdent pas en qualité au fil des ans. Ces défis mettent en lumière l'importance d'une réflexion stratégique à long terme, tant sur les aspects techniques que sur la gestion des ressources humaines et financières, afin de garantir l'efficacité des observatoires et la qualité des données récoltées.

Conclusion

Ce mémoire a permis de mettre en lumière l'importance de la mise en place d'un observatoire forestier dans le cadre du Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, tout en soulignant les nombreux enjeux associés à cette démarche. Les forêts, en tant que puits de carbone et refuges de biodiversité, jouent un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique. À travers l'observatoire, les données collectées sont non seulement essentielles pour comprendre les dynamiques forestières, mais aussi pour mieux orienter les stratégies de gestion et d'adaptation des écosystèmes face à ces changements.

L'un des défis majeurs identifiés concerne la réussite d'une seconde campagne de terrain dans 10 ans, afin d'assurer la comparabilité des résultats dans le temps et l'espace. De plus, la diffusion des données, notamment pour les forêts privées, pose des questions complexes. Il sera crucial de trouver un équilibre entre la protection des propriétaires et l'utilisation transparente des données à des fins de recherche et de gestion.

L'observatoire s'inscrit également dans une perspective plus large, notamment au sein du projet Life ARTISAN, qui vise à identifier les Solutions d'Adaptation au changement climatique Fondées sur la Nature. Ce projet représente une opportunité de valoriser les données de l'observatoire pour déterminer les meilleures stratégies d'adaptation des forêts. Toutefois, la gestion des ressources financières et humaines reste un enjeu à long terme, notamment pour l'acquisition de nouvelles technologies telles que le LiDAR, qui, malgré leur coût, pourraient s'avérer rapidement rentabilisées.

Enfin, le suivi à long terme des forêts observées permettra de mesurer l'évolution de ces écosystèmes dans un contexte de changement climatique. Cela nécessitera une continuité des efforts, tant au niveau de la collecte de données que de la gestion des équipes sur le terrain. Ce travail de terrain doit impérativement être bien planifié afin d'assurer une représentation fidèle des différents types de forêts du parc. En somme, les résultats de ce projet doivent maintenant servir de base pour la mise en place de stratégies adaptatives à long terme, en intégrant les dimensions écologique, socio-économique et politique. L'implication des partenaires, la mise à disposition des données et l'intégration d'outils innovants seront essentiels pour garantir la pérennité des forêts des Pyrénées ariégeoises.

Références bibliographiques

BÜTLER RITA, THIBAUT LACHAT, FRANK KRUMM, DANIEL KRAUS, LAURENT LARRIEU, 2020. Guide de poche des dendromicrohabitats. [En ligne]. 2020.

[Consulté le 8 septembre 2024]. Disponible à l'adresse :

<https://www.wsl.ch/fr/publications/guide-de-poche-des-dendromicrohabitats/>

CAVAIGNAC, Sébastien, 2009. *Les sylvoécotégions (SER) de France métropolitaine*. 2009. IFN. pp. 166.

CLIMESSENCES, 2020. Le RMT AFORCE | ClimEssences. [En ligne]. 2020.

[Consulté le 16 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://climessences.fr/le-site-climessences/presentation/le-rmt-aforce>

CNPF, 2024. Les stations forestières. *Site Internet du CNPF* [en ligne]. 2024.

[Consulté le 12 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.cnpf.fr/nos-actions-nos-outils/outils-et-techniques/les-stations-forestieres>

CNRTL, 2024. VALORISATION : Définition de VALORISATION. [En ligne]. 2024.

[Consulté le 16 septembre 2024]. Disponible à l'adresse :

<https://www.cnrtl.fr/definition/valorisation//0>

DAVIES S.J. et al., 2015. CTFS-ForestGEO: a worldwide network monitoring forests in an era of global change. *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21, n° 2, pp. 528-549.

DOI [10.1111/gcb.12712](https://doi.org/10.1111/gcb.12712).

DAVIES S.J. et al., 2021. ForestGEO: Understanding forest diversity and dynamics through a global observatory network. *Biological Conservation*. 1 janvier 2021. Vol. 253, pp. 108907.

DOI [10.1016/j.biocon.2020.108907](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108907).

GUY, Landmann, DAMIEN, Maurice, ANDRÉ, Granier, SERGE, Rambal, JACQUES, Ranger, CLAUDE, Nys, LAURENT, Saint-André, DAMIEN, Bonal, DENIS, Loustau et LUC, Croisé, 2005. F-ORE-T, l'Observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. 2005.

IGN, 2013. *Sylvoécotégion I 21 Haute chaîne pyrénéenne*. 2013.

IGN, 2024. Observatoire des forêts françaises. [En ligne]. 2024. [Consulté le 13 juin 2024].

Disponible à l'adresse : <https://foret.ign.fr/>

JOINT RESEARCH CENTRE, 2023. EU observatory covering deforestation and forest degradation worldwide goes live - European Commission. [En ligne]. 8 décembre 2023.

[Consulté le 24 juin 2024]. Disponible à l'adresse : https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-observatory-covering-deforestation-and-forest-degradation-worldwide-goes-live-2023-12-08_en

KERLIN, Katherine E., 2022. Monitoring Forest Threats with New Open Forest Observatory. *UC Davis* [en ligne]. 21 septembre 2022. [Consulté le 15 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.ucdavis.edu/climate/blog/monitoring-forest-threats-new-open-forest-observatory>

LAERE, Guy Van, GALL, Yolande et ROUSTEAU, Alain Maurice Adolphe Antoine, 2016. The Forest Ecosystems Observatory in Guadeloupe (FWI). *Caribbean Naturalist*. 2016. Vol. 1, pp. 108.

LARRIEU, Laurent, 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests_ A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*. 2018.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, 2018. *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change : rapport au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française. ISBN 978-2-11-145507-8.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, 2019. *Des solutions fondées sur la nature pour s'adapter au changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française. ISBN 978-2-11-157006-1.

OFB, 2024. Le projet Life intégré ARTISAN. [En ligne]. 2024. [Consulté le 12 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.ofb.gouv.fr/le-projet-life-integre-artisan>

ONF, 2022. La modélisation grâce à la télédétection, une innovation dans la gestion des forêts. *Office national des forêts* [en ligne]. 29 juin 2022. [Consulté le 16 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/onf/+/1637::la-modelisation-une-innovation-dans-la-gestion-des-forets-de-demain.html>

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, 2019. *Unasylva 251 : Les forêts : des solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau*. Food & Agriculture Org. ISBN 978-92-5-132018-1.

PARC NATUREL RÉGIONAL PYRÉNÉES ARIÉGEOISES, 2024. Adaptation des forêts au changement climatique. *PNR* [en ligne]. 2024. [Consulté le 16 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.parc-pyrenees-ariegeoises.fr/les-actions-du-parc/la-foret-le-bois/adaptation-forets-changement-climatique/>

PNR DES PYRÉNÉES ARIÉGEOISES, 2022. *Diagnostic territorial du PNR des Pyrénées ariégeoises – 10. La forêt et la filière bois*.

ROSSI, M., Vallauri, D., 2013. Evaluer la naturalité. Guide pratique, version 1.2. WWF, Marseille, 154 pages.

SALO SCIENCES, 2019. California Forest Observatory. *Salo Sciences* [en ligne]. 16 août 2019. [Consulté le 28 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://salo.ai/projects/california-forest-observatory>

SEDDON, Nathalie, TURNER, Beth, BERRY, Pam, CHAUSSON, Alexandre et GIRARDIN, Cécile A. J., 2019. Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change*. février 2019. Vol. 9, n° 2, pp. 84-87. DOI [10.1038/s41558-019-0405-0](https://doi.org/10.1038/s41558-019-0405-0).

SERVICE FORÊT ONF SAVOIE MONT BLANC, 2024. *Restitution de l'observatoire forestier de Haute-Savoie*. ONF.

UICN COMITÉ FRANÇAIS, 2022. *Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques gravitaires et incendie en France*. Paris, France. ISBN 978-2-493-31809-1.

UICN FRANCE, 2013. Découvrez les services écologiques fournis par les forêts. *UICN France* [en ligne]. 7 juillet 2013. [Consulté le 4 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://uicn.fr/decouvrez-les-services-ecologiques-fournis-par-les-forets/>

UICN FRANCE, 2018. *Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France*. Paris, France. ISBN 978-2-91810-55-3.

WWF, 2016. Rapport Planète Vivante 2016 : deux tiers des populations de vertébrés pourraient disparaître d'ici 2020 | WWF France. [En ligne]. 2016. [Consulté le 16 septembre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.wwf.fr/vous-informer/actualites/rapport-planete-vivante-2016-deux-tiers-des-populations-de-vertebres-pourraient-disparaitre-dici>

Table des Annexes

Annexe 1 : « Guide d'entretien Observatoire » :	45
Annexe 2 : Tableau représentant les différents croisements de données placettes possibles :.	47
Annexe 3 : Tableau représentant le nombre de placettes par secteur selon le découpage en territoires :	47
Annexe 4 : Tableau représentant le nombre de placettes par secteur selon le découpage en sous-secteurs hydrographiques :.....	47
Annexe 5 : Illustrations des différents dendromicrohabitats (d'après Larrieu, Paillet, et al., 2018) :	48

Annexe 1 : « Guide d'entretien Observatoire » :

1. Historique et objectifs initiaux :

- Pouvez-vous décrire brièvement l'historique de votre observatoire forestier ?
- Quels étaient les objectifs principaux lors de la création de l'observatoire ?

2. Motivations et enjeux locaux :

- Quelles ont été les principales motivations pour mettre en place cet observatoire ?
- Quels sont les enjeux forestiers spécifiques à votre territoire qui ont justifié sa création ?

3. Structure organisationnelle :

- Quelle est la structure organisationnelle de votre observatoire forestier ?
- Quelles parties prenantes sont impliquées et comment sont-elles coordonnées ?

4. Financement et ressources :

- Quels sont les principaux financements et ressources utilisés pour faire fonctionner l'observatoire ?

5. Méthodes de collecte de données :

- Protocole de réalisation des placettes ? Pour notre observatoire c'était pour LIDAR à la base, quel était votre objectif à la base ?

- Quels types de données sont collectés et à quelle fréquence ? Nombre de placettes ?
Besoin de diminuer le nombre de placette dans le futur par rapport aux 746 placettes ?
Regroupement des placettes en secteurs ? Quels critères de sélection ?

6. Analyse et interprétation :

- Comment sont structurées et organisées les données ? Base de données ? Comment les données collectées sont-elles analysées et interprétées ? Qui est responsable de l'analyse des données et de la production des rapports ?

7. Diffusion et communication :

- Comment les résultats de l'observatoire sont-ils diffusés au public et aux parties prenantes ?
Après de quel public ? Mise à disposition de la donnée ? Oui pour les scientifiques ? Que faire pour les gestionnaires ? Si c'est un PNR, transmission des données aux communes ?
- Quels canaux de communication sont les plus efficaces pour toucher votre audience ?
- Différence de la mise à disposition entre le privé et le publique ?

8. Impact sur la gestion forestière :

- Traitement des données en fonction du type de gestion (différence entre géré et non géré) ?

Quels impacts tangibles l'observatoire a-t-il eu sur la gestion des forêts de votre territoire ?

- Pouvez-vous donner des exemples concrets de décisions prises grâce aux données de l'observatoire ?

9. Valorisation des données :

- Comment les données de l'observatoire sont-elles valorisées pour la recherche scientifique, l'éducation, ou d'autres domaines ? Comment sont valorisées les données de l'observatoire ?

- Quels partenariats avez-vous développés pour valoriser les données de l'observatoire ?

10. Retours d'expérience :

- Quels sont les principaux enseignements que vous avez tirés de la mise en place et du fonctionnement de l'observatoire ? Le LIDAR et l'observatoire permet-il d'observer le dépérissement ? (Manque d'accroissement si le LIDAR repasse).

- Quels obstacles majeurs avez-vous rencontrés et comment les avez-vous surmontés ?

11. Améliorations et perspectives :

- Quelles améliorations envisagez-vous pour votre observatoire dans le futur ?

- Quelles sont les perspectives d'évolution de votre observatoire à moyen et long terme ?

Annexe 2 : Tableau représentant les différents croisements de données placettes possibles :

/	Surface terrière	Nombre d'arbres	Diamètre	Secteur	Essence	Classe de diamètre	Propriété (privée/public)	Densité	DMH	Bois mort sol
Surface terrière		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nombre d'arbres			X	X	X	X	X	X	X	X
Diamètre				X	X	X	X	X	X	X
Secteur					X	X	X	X	X	X
Essence				X		X	X	X	X	X
Classe de diamètre				X			X	X	X	X
Propriété (privée/public)				X				X	X	X
Densité				X					X	X
DMH				X						X
Bois mort sol				X						

Annexe 3 : Tableau représentant le nombre de placettes par secteur selon le découpage en territoires :

Castillonnais	Vallée de la Lèze	Volvestre ariégeois	Agglomération de St-Girons	Arize	Auzat & Vicdessos	Bas Couserans	Canton de Massat
117	3	33	23	29	46	25	61
Canton d'Oust	Canton de Varilhes & Plantaurel	Pays de Tarascon	Seronais	Val Couserans	Vallées d'Ax	Pays de Foix	
109	8	67	65	48	35	77	

Annexe 4 : Tableau représentant le nombre de placettes par secteur selon le découpage en sous-secteurs hydrographiques :

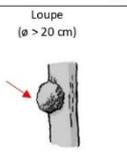
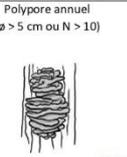
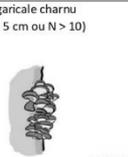
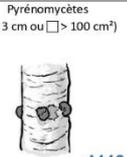
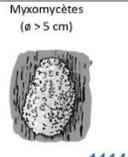
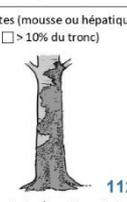
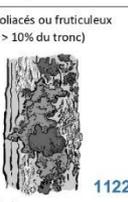
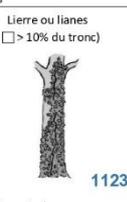
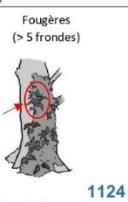
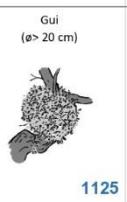
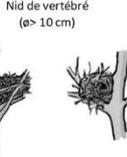
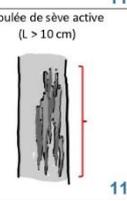
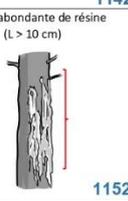
Le Lez	Le Salat de sa source au confluent du Lez	Le Salat du confluent du Lez au confluent de la Garonne	La Garonne du confluent du Salat au confluent de l'Arize	L'Ariège de sa source au confluent du Vicdessos
127	206	66	25	40
L'Arize	Le Vicdessos	L'Ariège du confluent de la Lèze au confluent de la Garonne	L'Ariège du confluent de l'Arget au confluent de l'Hers vif	L'Ariège du confluent de Vicdessos au confluent de l'Arget
76	63	16	16	111

Annexe 5 : Illustrations des différents dendromicrohabitats (d'après Larrieu, Paillet, et al., 2018) :

Illustrations des dendromicrohabitats (d'après Larrieu, Paillet, Winter et al. 2018)

∅ : Diamètre ; ∇ : Profondeur ; □ : Surface ; L : Longueur ; l : largeur ; 1011 : numéro du dendromicrohabitat
support: V=vivant, Ch=arbre mort sur pied, Bms=bois mort au sol

Formes	Groupes	Types					
Cavités i.s.	Loges de pic	Loge de petite taille (∅ < 4 cm) 101 V/Ch stade s3 1011	Loge de taille moyenne (∅ = 4-7 cm) V/Ch stade s3 1012	Loge de grande taille (∅ > 10 cm) V/Ch stade s3 1013	"Flute" de pic (≥ 3 loges en ligne) (∅ > 3 cm) V/Ch stade s3 1014		
	Cavités à terreau	Cavité à terreau de pied (contact avec le sol) (∅ > 10 cm) V/Ch stade s3 1021	Cavité à terreau de tronc (sans contact avec le sol) (∅ > 10 cm) V/Ch stade s3 1022	Cavité à terreau semi-ouverte (∅ > 30 cm) V/Ch stade s3 1023	Cavité à terreau avec contact avec le sol, ouverte vers le haut (cheminée) (∅ > 30 cm) V/Ch stade s3 1024	Cavité à terreau sans contact avec le sol, ouverte vers le haut (cheminée) (∅ > 30 cm) V/Ch stade s3 1025	Branche creuse (∅ > 10 cm) V/Ch stade s3 1026
	Orifices et galeries d'insectes	Orifices et galeries d'insectes (∅ > 2cm ou □ > 300 cm²) V/Ch stade s3 1031					
	Concavités	Dendrotelme (∅ > 15 cm) V/Ch tous stades/Bms 1041	Trou de nourrissage de pic (∇ > 10 cm, ∅ > 10 cm) V/Ch tous stades 1042	Concavité à fond dur de tronc (∇ > 10 cm, ∅ > 10 cm) V 1043	Concavité racinaire (∅ > 10 cm, ∇ > 10 cm, pente toit < 45°) V/Ch tous stades 1044		
Blessures et bois apparents	Aubier apparent	Bois sans écorce (□ > 300 cm²) V/Ch stade s2 1051	Blessure due au feu (□ > 600 cm²) V/Ch tous stades 1052	Ecorce décollée formant un abri (ouvert vers le bas) (a > 1 cm, b > 10 cm, c > 10 cm) V/Ch tous stades 1053	Ecorce décollée formant une poche (ouvert vers le haut) (a > 1 cm, b > 10 cm, c > 10 cm) V/Ch tous stades 1054		
	Aubier et bois de coeur apparents	Cime brisée (∅ > 20 cm) V 1061	Bris de charpentièrre au niveau du tronc avec bois de coeur apparent (□ > 300 cm²) V 1062	Fente (L > 30 cm, l/B > 1 cm, ∇ > 10 cm) V/Ch tous stades 1063	Fente causée par la foudre (L > 30 cm, l/B > 1 cm, ∇ > 10 cm) V/Ch tous stades 1064	Fente au niveau d'une fourche (L > 30 cm) V/Ch stade s3 1065	
Bois mort dans le houppier	Bois mort dans le houppier	Branches mortes (∅ > 10 cm, ou ∅ > 3 cm & >10% du houppier est mort) V 1071	Cime morte (∅ > 10 cm à la base) V 1072	Vestige de charpentièrre brisée (∅ > 20 cm, L > 50 cm) V 1073			

Formes	Groupes	Types				
Excroissances	Agglomérations de gourmands ou de rameaux	Balais de sorcière (ø > 50 cm)  108 v 1081 v	Gourmands / Brogne (> 5 gourmands)  1082			
	Loupes et chancres	Loupe (ø > 20 cm)  109 v 1091 v	Chancre (ø > 20 cm ou grande partie du tronc couverte)  1092			
Sporophores de champignons et Myxomycètes	Sporophores de champignons pérennes	Polypore pérenne (ø > 5 cm ou N > 10)  110 V/Ch tous stades/Bms tous stades 1101				
	Sporophores de champignons éphémères et Myxomycètes	Polypore annuel (ø > 5 cm ou N > 10)  111 V/Ch tous stades/Bms tous stades 1111	Agaricale charnu (ø > 5 cm ou N > 10)  112 V/Ch tous stades/Bms tous stades 1112	Pyrenomycètes (ø > 3 cm ou □ > 100 cm ²)  113 V/Ch tous stades/Bms tous stades 1113	Myxomycètes (ø > 5 cm)  114 V/Ch tous stades/Bms tous stades 1114	
Structures épiphytiques, épixyliques ou parasites	Plantes et lichens épiphytiques ou parasites	Bryophytes (mousse ou hépatique) (□ > 10% du tronc)  112 V/Ch tous stades/Bms tous stades 1121	Lichens foliacés ou fruticuleux (□ > 10% du tronc)  1122 V/Ch tous stades 1122	Lierre ou lianes (□ > 10% du tronc)  1123 V/Ch tous stades 1123	Fougères (> 5 frondes)  1124 V/Ch tous stades 1124	Gui (ø > 20 cm)  1125 v
	Nids	Nid de vertébré (ø > 10 cm)  113 V/Ch tous stades 1131	Nid d'invertébré  1132 V/Ch tous stades 1132			
	Microsols	Microsol d'écorce  114 v 1141 v	Microsol du houppier  1142 v 1142			
Exsudats	Coulée de sève active (L > 10 cm)  115 v 1151 v	Coulée abondante de résine (L > 10 cm)  1152				

DOUBLÉ Vincent, 2024, Perspectives de valorisation de l'observatoire des forêts du Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises face au changement climatique, 40 pages, mémoire de fin d'études, VetAgro Sup, 2024.



VetAgro Sup

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIÉES :

Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises

ENCADRANTES :

Maître de stage : HEMERYCK, Raphaële

Tuteur pédagogique : GUILLOT, Marion

OPTION : Ingénierie et stratégie du développement écoterritorial

RÉSUMÉ

Le changement climatique exerce une pression croissante sur les forêts, affectant leur capacité à absorber le CO₂, à maintenir la biodiversité, et à produire du bois. Les forêts des Pyrénées ariégeoises ne sont pas épargnées par ces bouleversements, et la nécessité d'adapter les stratégies de gestion forestière devient de plus en plus pressante. Dans ce contexte, le Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises joue un rôle central dans le cadre du projet Life ARTISAN, qui vise à promouvoir des Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature pour répondre aux impacts du changement climatique. Ce projet s'inscrit dans une démarche de conservation des services écosystémiques, tout en renforçant la résilience des écosystèmes forestiers.

Pour soutenir cette initiative, l'observatoire forestier du PNR a été mis en place. Grâce à un réseau de placettes permanentes et des relevés LiDAR, il permet de suivre l'évolution des forêts et de mieux comprendre leurs dynamiques dans un contexte de changement climatique. Ces informations seront ensuite exploitées pour adapter la gestion forestière en identifiant les essences d'arbres les plus résilientes et en ajustant les pratiques sylvicoles en fonction des nouveaux enjeux. Des entretiens ont été menés pour explorer les perspectives d'évolution de l'observatoire forestier. Ils ont permis d'aborder de nombreux sujets comme la gestion sylvicole, la diffusion des données, la communication et les partenariats. Cela permettra d'alimenter les ressources pour la valorisation effective de l'observatoire, une fois celui-ci mis en place.

Mots-clés : observatoire forestier, biodiversité, changement climatique, gestion forestière, LiDAR, SAFN, placette, diffusion des données.

ABSTRACT

Climate change is putting increasing pressure on forests, affecting their ability to absorb CO₂, maintain biodiversity and produce wood. The forests of the Ariège Pyrenees are not immune to these upheavals, and the need to adapt forest management strategies is becoming ever more pressing. Against this backdrop, the Ariège Pyrenees Regional Nature Park is playing a central role in the Life ARTISAN project, which aims to promote Nature-based Adaptation Solutions in response to the impacts of climate change. This project is part of an approach to conserving ecosystem services, while strengthening the resilience of forest ecosystems.

To support this initiative, the NRP forest observatory has been set up. Thanks to a network of permanent plots and LiDAR surveys, it is possible to monitor the evolution of forests and better understand their dynamics in the context of climate change. This information will then be used to adapt forest management by identifying the most resilient tree species and adjusting silvicultural practices in line with the new climate challenges.

Interviews were conducted to explore the future development of the forestry observatory. They covered a wide range of topics, including silvicultural management, data diffusion, communication, and partnerships. This will provide resources for the effective development of the observatory once it is set up.

Key words: forest observatory, biodiversity, climate change, forest management, LiDAR, NBS, plot, data diffusion.