



# LE SOL, UN ALLIÉ POUR UNE GESTION DURABLE DES FORÊTS

CAS D'ÉTUDE AVEC LES PARCS NATURELS DU  
MASSIF CENTRAL

---

MASTER GAED – M2 GEMO  
UE1001 – STAGE PROFESSIONNEL

Année de soutenance : 2026

Maître de stage : Marie FOUGEROUSE

Référent de stage : Mélanie SAULNIER

# Attestation sur l'honneur de l'utilisation de l'IA

Je soussigné/soussignée :

Nom, prénom : PUGIN Cyrielle

~~Master 1~~ / Master 2 GAED\*

Parcours : GEMO / ~~TRENT~~\*

Année universitaire : 2025 - 2026

Certifie sur l'honneur que le document joint à la présente déclaration :

Est un travail original, c'est-à-dire que :

- ✘ Toute idée ou formulation tirée d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, mentionne explicitement et précisément leur origine
- ✘ Toute source (site internet, recueil de discours, etc.) est précisément citée
- ✘ Les citations intégrales sont signalées entre guillemets ou sous la forme d'un paragraphe clairement identifié lorsqu'il s'agit de citations longues

- N'a pas été rédigé, même partiellement, par une intelligence artificielle

- N'a pas été structuré, même partiellement, par une intelligence artificielle

- Ne s'appuie pas sur une synthèse réalisée par une intelligence artificielle (synthèse bibliographique par exemple)

- Ne présente pas d'illustration, carte, image, etc. générée par une intelligence artificielle

Par ailleurs, je déclare avoir utilisé une intelligence artificielle pour : [cocher la ou les cases si nécessaire]

- ✘ Corriger l'orthographe et le style de mon mémoire
  - Traduire des passages de publications en langue étrangère. *Dans ce cas, les passages utilisés dans le mémoire sont clairement identifiés et précisent quel logiciel d'IA a été mobilisé*

Fait à Pélussin

Le 12/08/2026

Signature



\*Conserver la mention appropriée

## Résumé

**Mots clés :** sols forestiers, sylviculture, résilience des peuplements, socle de l'écosystème, impacts anthropiques

Ce mémoire explore la mise en place d'actions en faveur des sols forestiers, en collaboration avec neuf des douze parcs du Massif central : le parc naturel régional du Morvan, du Périgord-Limousin, de Millevaches en Limousin, des Volcans d'Auvergne, du Livradois-Forez, de l'Aubrac, des Grands Causses, du Haut-Languedoc, ainsi que le parc national des Cévennes. L'objectif principal est d'apporter et de diffuser la connaissance sur les sols auprès des acteurs forestiers, afin de réduire les impacts négatifs de la sylviculture sur ces écosystèmes essentiels.

La prise en compte des sols dans la gestion sylvicole reste aujourd'hui minime, alors même que leur rôle est crucial pour la résilience des forêts face aux changements climatiques. En effet, les sols forestiers jouent un rôle clé dans le stockage du carbone, la régulation de l'eau et la biodiversité, mais leur dégradation, souvent liée à des pratiques sylvicoles inappropriées, menace ces fonctions. Ce travail se concentre donc sur l'acquisition et la diffusion de connaissances à destination des chargés de mission, ainsi que sur la création d'un livret pédagogique destiné aux propriétaires et gestionnaires forestiers. Ce livret vise à sensibiliser et à outiller les acteurs de terrain pour une gestion plus durable des sols.

Ce mémoire s'inscrit également dans un projet plus global à l'échelle nationale, avec la mise en place, en juillet 2025, d'un plan national d'action pour la préservation des sols, ainsi que de divers projets portés par la fédération des parcs naturels régionaux. Ces initiatives soulignent l'importance croissante accordée à la protection des sols, non seulement comme support de la production forestière, mais aussi comme élément central de la lutte contre le changement climatique.

La problématique centrale de ce mémoire est la suivante : « **Face aux effets du changement climatique, quelles stratégies de gestion et de préservation des sols forestiers peuvent être mises en œuvre dans les Parcs du Massif central, pour garantir leur résilience à long terme ?** » Pour y répondre, une approche méthodique en plusieurs étapes a été adoptée. Elle commence par un état des lieux des connaissances existantes sur la thématique, permettant de dresser un panorama des enjeux. Ensuite, un cadre méthodologique est défini, précisant les outils et les méthodes utilisés pour mettre en place ce projet. Enfin, les résultats obtenus sont exposés et analysés, afin de proposer des pistes concrètes pour coordonner un projet à l'échelle des parcs du Massif central. L'ambition est de créer une dynamique collective, en impliquant l'ensemble des acteurs concernés, pour une gestion forestière plus respectueuse des sols et plus adaptée aux défis climatiques futurs.

## Abstract

Keywords: forest soils, silviculture, stand resilience, ecosystem foundation, human impacts

This thesis explores the implementation of measures to protect forest soils, in collaboration with nine of the twelve parks in the Massif Central: the Morvan Regional Nature Park, the Périgord-Limousin Regional Nature Park, the Millevaches en Limousin Regional Nature Park, the Volcans d'Auvergne Regional Nature Park, the Livradois-Forez Regional Nature Park, the Aubrac Regional Nature Park, the Grands Causses Regional Nature Park, the Haut-Languedoc Regional Nature Park, and the Cévennes National Park. The main objective is to provide and disseminate knowledge about soils to those involved in forestry, in order to reduce the negative impacts of forestry on these essential ecosystems.

At present, little account is taken of soils in forest management, even though they play a crucial role in the resilience of forests to climate change. Indeed, forest soils play a key role in carbon sequestration, water regulation and biodiversity, but their degradation – often linked to inappropriate silvicultural practices – threatens these functions. This project therefore focuses on building and disseminating knowledge for project officers, as well as on producing an educational booklet for forest owners and managers. This booklet aims to raise awareness and equip those working on the ground with the tools needed for more sustainable soil management.

This thesis is also part of a broader national initiative, involving the introduction, in July 2025, of a national action plan for soil conservation, as well as various projects led by the Federation of Regional Nature Parks. These initiatives highlight the growing importance attached to soil protection, not only as a foundation for forestry production, but also as a key element in the fight against climate change.

The central research question of this dissertation is as follows: 'In light of the effects of climate change, what strategies for the management and conservation of forest soils can be implemented in the Massif Central parks to ensure their long-term resilience?' To address this, a methodical, multi-stage approach was adopted. It begins with a review of existing knowledge on the subject, providing an overview of the key issues. Next, a methodological framework is defined, specifying the tools and methods used to carry out this project. Finally, the results obtained are presented and analysed, with a view to proposing concrete avenues for coordinating a project across the Massif Central parks. The aim is to create a collective momentum, by involving all relevant stakeholders, to achieve forest management that is more soil-friendly and better adapted to future climate challenges.

## Remerciement

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes de l'association IPAMAC pour la confiance qu'ils m'ont accordée et le soutien dans la mise en place de mon projet. Je remercie tout particulièrement Marie FOUGEROUSE, ma tutrice de stage, pour son soutien et ses conseils dans la conception du mémoire.

J'aimerais également adresser ma gratitude à Laura LEOTOING, déléguée générale d'IPAMAC, pour ses nombreux conseils dans la mise en place de mes missions.

Merci aussi à toutes les autres personnes de l'équipe, mais également aux différents chargé.es de missions des parcs pour la participation à d'autres activités et leur contribution dans l'acquisition de nombreuses connaissances durant ce stage, mais aussi aux personnes du Conservatoire Botanique National du Massif central, pour les quelques journées de terrain en leur compagnie.

Enfin, j'adresse ma gratitude à Mélanie SAULNIER, pour son accompagnement et son aide dans la rédaction de ce mémoire, ainsi que l'ensemble des enseignants pour leurs apports de connaissances, sans oublier les membres de ma famille, mes amis et mes colocataires pour les encouragements tout au long de ce stage.

# Sommaire

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Attestation sur l'honneur de l'utilisation de l'IA.....                                          | 1  |
| Résumé.....                                                                                      | 2  |
| Abstract .....                                                                                   | 3  |
| Remerciement.....                                                                                | 4  |
| Sommaire .....                                                                                   | 5  |
| Listes des sigles .....                                                                          | 6  |
| Introduction.....                                                                                | 7  |
| Partie 1 : Contexte du stage.....                                                                | 8  |
| L'association IPAMAC .....                                                                       | 8  |
| Le territoire d'étude .....                                                                      | 10 |
| Mes missions au sein de la structure .....                                                       | 18 |
| Partie 2 : Etat de l'art.....                                                                    | 19 |
| Les sols : une ressource essentielle mais vulnérable .....                                       | 19 |
| Les sols forestiers : fonctionnement et enjeux.....                                              | 21 |
| Les sols forestiers du Massif central : un territoire d'étude particulier.....                   | 32 |
| Problématique et hypothèses .....                                                                | 34 |
| Partie 3 : Méthodologie mise en place.....                                                       | 35 |
| Description de l'ensemble des missions réalisées .....                                           | 35 |
| Mon intégration dans l'équipe IPAMAC.....                                                        | 37 |
| Calendrier des tâches .....                                                                      | 37 |
| Méthodologie des différentes étapes du projet .....                                              | 38 |
| Partie 4 : Résultats .....                                                                       | 42 |
| Les sols forestiers, une préoccupation des parcs du Massif central ? .....                       | 42 |
| La montée en compétence des chargé.es de mission des parcs sur les sols .....                    | 44 |
| Un guide pour préserver les sols forestiers .....                                                | 49 |
| Partie 5 : Discussion .....                                                                      | 52 |
| L'animation territoriale, un outil pour apporter des connaissances ? .....                       | 52 |
| Une prise en compte des sols dans la gestion sylvicole encore minime dans le Massif central..... | 54 |
| Partie 6 : Perspectives du stage .....                                                           | 55 |
| Bilan du stage .....                                                                             | 55 |
| Lien avec le master GEMO .....                                                                   | 55 |
| Perspective du projet.....                                                                       | 56 |
| Conclusion.....                                                                                  | 56 |
| Bibliographie .....                                                                              | 57 |
| Annexes .....                                                                                    | 61 |
| Listes des figures et des tableaux.....                                                          | 68 |
| Listes des annexes .....                                                                         | 69 |
| Table des matières .....                                                                         | 70 |
| Résumé.....                                                                                      | 73 |
| Abstract .....                                                                                   | 74 |

## Listes des sigles

|        |                                                    |
|--------|----------------------------------------------------|
| IPAMAC | Association Inter-Parcs du Massif Central          |
| GTMC   | Grande Traversée de Massif central                 |
| ADEME  | Agence de la Transition écologique                 |
| AFES   | Association Française pour l'Etude des Sols        |
| ONF    | Office National des Forêts                         |
| CNPF   | Centre National de la Propriété Forestière         |
| CBNMC  | Conservatoire botanique national du Massif central |
|        |                                                    |
| PNR    | Parc Naturel Régional                              |
| PNC    | Parc national des Cévennes                         |
| PNRLF  | Parc Naturel Régional du Livradois-Forez           |
| PNRVA  | Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne       |
| PNRML  | Parc Naturel Régional de Millevaches en Limousin   |
| PNRHL  | Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc            |

## Introduction

Le Massif central est un territoire tout en nuance, aussi vaste que l'Autrice. Il s'étend du Morvan à l'extrême nord, jusqu'à la Montagne Noire au sud, couvrant ainsi un sixième du territoire français (Comité du Massif central, 2025, [1]). Il est au carrefour des climats continentaux, atlantiques et même méditerranéen, induisant des paysages et des forêts diversifiées. Sa géographie faite de montagnes, de plaines, de plateaux, de volcans, et son histoire, ont influencé et façonné les sols forestiers depuis longtemps [1]. Face aux différentes évolutions (climatiques, sociétales, économiques) la gestion des forêts nécessite d'être repensée, et réfléchi sur le long terme afin d'avoir des peuplements résilients aux aléas, qui continuent de fournir des services écosystémiques (Parc Naturel Régional du Pilat, [2]), en intégrant la question des sols. Les sols sont le résultat d'une altération de la roche du socle. Ils constituent l'habitat d'un très grand nombre d'organismes, et sont le support des végétaux, ainsi que des activités humaines. Ils sont donc au cœur de nombreux enjeux, et leurs prises en compte est essentielle. Cette thématique autour des sols forestiers s'inscrit dans un cadre réglementaire récent avec une nouvelle directive européenne, et un plan d'action national d'action pour la préservation de ces sols. Néanmoins, le sujet n'est pas émergent, mais dans un contexte de changement climatique, les forestiers se questionnent davantage sur les sols, car ils sont le socle de la gestion forestière de demain.

Le stage vise à améliorer les connaissances sur la préservation des sols forestiers, identifier les enjeux et les problématiques des acteurs, afin de mettre en place un plan d'action à l'échelle des parcs du Massif central. Pour ce projet, neuf parcs sont impliqués : les parcs naturels régionaux du Morvan, du Livradois-Forez, des Volcans d'Auvergne, de Millevaches en Limousin, du Périgord-Limousin, de l'Aubrac, des Grands Causses, et du Haut-Languedoc, ainsi que le Parc national des Cévennes.

L'association Inter-Parcs du Massif central est une association de loi 1901, créée en 1998, dans le but de mettre en réseau les 11 Parcs naturels régionaux et le Parc national des Cévennes, et de mener des projets communs à l'échelle du Massif central. Grâce à la mutualisation, les parcs naturels du Massif central bénéficient d'un effet de levier dans leurs territoires. Ce mémoire s'intègre dans le 5<sup>ème</sup> volet, autour de la thématique des forêts anciennes.

Pour répondre aux différents enjeux en lien avec la préservation des sols forestiers, nous allons répondre à la problématique suivante : « **Face aux effets du changement climatique, quelles stratégies de gestion et de préservation des sols forestiers peuvent être mises en œuvre dans les Parcs du Massif central, pour garantir leur résilience à long terme ?** »

Pour traiter cette question, nous réaliserons, dans une première partie, un état de l'art des connaissances sur les sols forestiers et les actions possibles pour réduire les impacts de la gestion sylvicoles. Nous traiterons, dans une seconde partie, de la méthodologie mise en place pour les différentes missions menées. Dans une troisième partie, nous exposerons les résultats et en ferons une analyse pour terminer par une conclusion du projet.

## Partie 1 : Contexte du stage

Dans cette partie, nous présenterons la structure IPAMAC ainsi que les territoires concernés. Puis nous rappellerons le contexte du stage et les enjeux associés.

### L'association IPAMAC

L'association Inter-Parcs du Massif central est une association de loi 1901, créée en 1998, basée à Pélussin, dans le département de la Loire, au sein de la Maison du PNR du Pilat (voir figure 1). En plus de la contribution financière des parcs adhérents, l'IPAMAC est financé principalement par l'Union Européenne (via le fonds européen de développement régional) et l'Etat (via le fonds national

d'aménagement et de développement des territoires). Les 4 régions du Massif central (Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie, Bourgogne-Franche-Comté et Nouvelle-Aquitaine) peuvent également contribuer financièrement en fonction des projets. A ce jour, l'association est composée de 3 salariées et deux stagiaires. Au-delà des salariées, il y a les membres adhérents qui représentent les 12 parcs du Massif central. Ils sont tous représentés au sein de l'Assemblée générale et du Conseil d'administration. Ces deux instances valident les grandes orientations des missions de l'association.

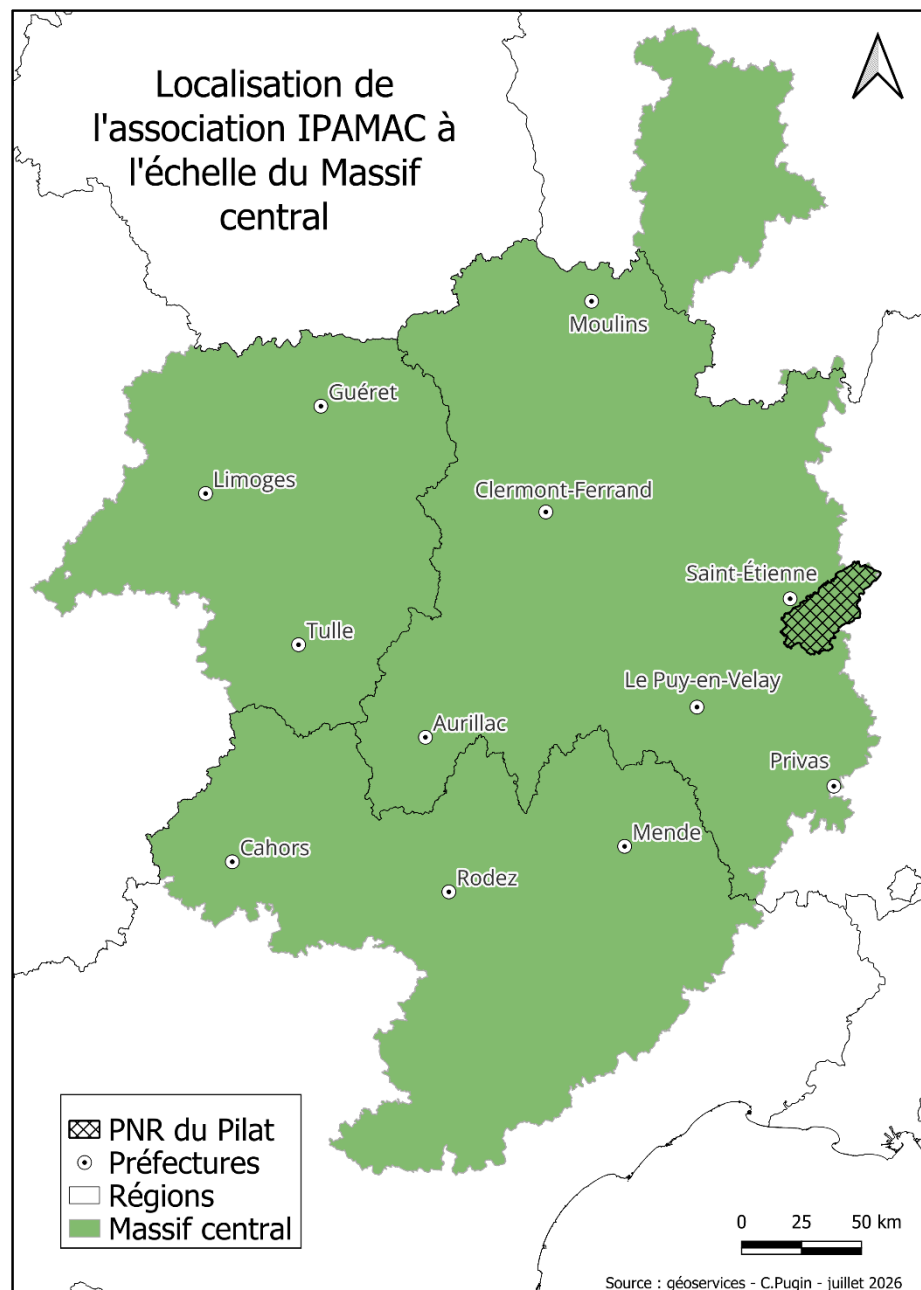


Figure 1 : Localisation de l'association IPAMAC au niveau du Massif central (source : C.Pugin)

La structure a pour mission de mettre en réseau les 11 Parcs naturels régionaux situés dans le Massif central et le Parc national des Cévennes, couvrant 38 % de la surface du massif. Grâce à la mutualisation, l'objectifs des projets est de produire des effets de leviers (et effets d'entraînement) qui pourront avoir un impact sur tous les territoires du Massif central. Les 12 parcs du massif partagent une vision et des enjeux communs, par leur situation géographique, en zone de moyenne montagne. Grâce à l'association, ils partagent leurs connaissances et leurs expériences et mutualisent des moyens. L'IPAMAC coordonne des projets concrets, expérimentaux et innovants, entre les Parcs et avec l'appui d'autres territoires et partenaires du Massif central, pour comprendre et anticiper les évolutions sociétales, dans un contexte de changement climatique, autour de trois enjeux :

- La préservation et la valorisation de la biodiversité, à travers un projet autour des forêts anciennes, des pâturages naturelles du Massif central et du ciel étoilé ;
- La sensibilisation et le passage à l'action pour une meilleure habitabilité des territoires ;
- Le développement d'un tourisme durable et de l'itinérance douce dans le massif, à travers notamment l'animation d'un réseau pour la Grande Traversée du Massif central à VTT & Vélo Gravel.

### Le programme « Forêts Anciennes »

Dans le cadre de ce stage, nous nous intégrons le 5<sup>ème</sup> volet du projet Forêts Anciennes porté depuis 2015 par l'association. Ce projet s'articule en programmes d'actions, qui sont portés sur 3 ans, avec des actions diversifiées :

- La cartographie et l'étude de l'ancienneté des forêts : c'est la première action qui a été portée par les 12 parcs du Massif central ainsi que plusieurs partenaires (Conservatoire botanique national du Massif central (CBNMC), l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), l'ONF ou encore le Centre National de la Propriété Forestière (CNPFP). Ce projet a permis de cartographier précisément les forêts présumées anciennes avec une méthodologie identique pour chaque territoire.
- La mise en place du concours « SylvoTrophée » : cette action a vu le jour en 2018, dans le but de faire (re)connaître la richesse des écosystèmes forestiers dans les parcs. Ce concours vise donc à récompenser des propriétaires et gestionnaires forestiers avec une gestion de la forêt permettant à la fois de produire du bois de qualité, de préserver la biodiversité et de proposer un espace de loisir et de ressourcement pour tous. Aujourd'hui, ce concours a lieu à l'échelle nationale via la fédération des parcs naturels régionaux.
- La sensibilisation et la formation des acteurs forestiers : cette action a également vu le jour lors de la seconde programmation en 2018. Elle consiste à organiser des sessions de formation et de sensibilisation des acteurs forestiers aux enjeux de préservation de la biodiversité qui restent encore méconnus. Un module pédagogique complet en lien avec le CBNMC a été créé.
- Le déploiement d'une trame de vieux bois : cette action a été réalisée en 2017 et a abouti à la mise en place d'un guide pratique « Trame de Vieux Bois chez moi » pour permettre aux propriétaires et gestionnaires de mettre en place, étape par étape, cette continuité écologiques dans leurs forêts. C'est à partir de ce travail, que nous avons construit notre guide sur les sols forestiers.

- La résilience des forêts face au changement climatique, avec des études sur différentes essences (hêtre, chêne, sapin et châtaignier) : cette action est encore en cours actuellement.

## Le territoire d'étude

Avant de présenter les différents parcs impliqués dans ce projet autour des sols forestiers, nous allons présenter brièvement le Massif central et les outils « Parc naturel régional » et « Parc national ».

### Le Massif central

C'est un massif situé entre la chaîne des Alpes et celle des Pyrénées, s'étendant sur 4 régions et 22 départements (voir figure 2). Il couvre une surface d'environ 85 000 km<sup>2</sup>, soit 15 % du territoire métropolitain. C'est donc le massif le plus vaste de la France, abritant l'essentiel des volcans métropolitains. C'est un massif ancien de l'époque hercynienne composé de roches granitiques et métamorphiques. Cet ensemble a été soulevé et rajeuni à l'est par la surrection des Alpes et au sud par celle des Pyrénées. Le Massif central présente donc un profil fortement dissymétrique et des paysages variés. Son altitude est moyenne, avec des reliefs souvent arrondis par l'érosion. Le sommet culmine à 1885 m et est le Puy de Sancy.

Le terme Massif central est récent, malgré son apparition dès 1841 sur les cartes géologiques. C'est le géographe Paul Vidal de La Blache, qui en 1903 le baptise Massif central. La Loi montagne de 1985 vient confirmer le périmètre du massif. Il est depuis doté d'une gouvernance spécifique : un comité de massif en charge de la planification stratégique et de la mise en place d'un schéma de massif.



### L'outil : Parc Naturel Régional

Peut être classé “Parc naturel régional” un territoire à dominante rurale dont les paysages, les milieux naturels et le patrimoine culturel sont de grande qualité, mais dont l'équilibre est fragile. Un Parc naturel régional s'organise autour d'un projet concerté de développement durable, fondé sur la protection et la valorisation de son patrimoine naturel et culturel (Fédération des Parcs Naturels Régionaux, [3]). Ils doivent ainsi répondre à cinq grands objectifs :

- Protéger les paysages et le patrimoine naturel, culturel à travers une gestion adaptée ;
- Contribuer à l'aménagement du territoire ;
- Contribuer au développement économique, social, culturel et à la qualité de vie des habitants ;
- Contribuer à assurer l'accueil, l'éducation et l'information du public ;

- Réaliser des actions expérimentales ou exemplaires dans les domaines cités ci-dessus [3].

Les PNR sont donc créés pour protéger et mettre en valeur de grands espaces ruraux habités, via un décret et l'obtention de la marque « Parc naturel régional » [3].

## L'outil : Parc National

Un parc national, quant à lui, est un territoire vaste dont la richesse biologique, la qualité paysagère, l'intérêt culturel et le caractère historiquement préservé justifient une protection et une gestion qui garantissent la pérennité de ce patrimoine considéré comme exceptionnel (Fédération des Parcs nationaux de France, [4]). Cette définition est inscrite au sein du Code de l'Environnement, dans le cadre de l'article L.331-1 [4].

A la différence de l'outil PNR, un parc national est composé d'une zone cœur avec une réglementation forte et pérenne qui justifie son label « parc national », reconnue au niveau international, et une aire optimale d'adhésion qui regroupe les communes pouvant faire partie du parc, il faut ensuite qu'elles signent la charte pour intégrer l'aire d'adhésion du parc (moins de contrainte réglementaire que la zone cœur) [4]. Le parc national des Cévennes a la particularité d'avoir des habitants dans sa zone cœur, ce qui n'est pas le cas des autres parcs nationaux dans l'hexagone.

## Le territoire IPAMAC

Le territoire d'action de l'IPAMAC s'étend sur les 12 parcs naturels du Massif central. Dans le cadre du projet sur les sols forestiers, nous avons travaillé avec 9 des parcs du massif, que nous allons présenter.

| Nom du parc                    | Date de création | Superficie approximative | Nombre approximatif de commune | Emprise géographique              |                                                |
|--------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|
|                                |                  |                          |                                | Région                            | Départements                                   |
| PNR du Morvan                  | 1970             | 3 220 km <sup>2</sup>    | 136                            | Bourgogne-France-Comté            | Côte-d'Or<br>Nièvre<br>Saône-et-Loire<br>Yonne |
| PNR du Livradois-Forez         | 1986             | 3 358 km <sup>2</sup>    | 146                            | Auvergne-Rhône-Alpes              | Puy-de-Dôme<br>Haute-Loire<br>Loire            |
| PNR des Volcans d'Auvergne     | 1977             | 4 506 km <sup>2</sup>    | 147                            | Auvergne-Rhône-Alpes              | Puy-de-Dôme<br>Cantal                          |
| PNR de Millevaches en Limousin | 2004             | 3 346 km <sup>2</sup>    | 124                            | Nouvelle-Aquitaine                | Corrèze<br>Creuse<br>Haute-Vienne              |
| PNR Périgord-Limousin          | 1998             | 1 856 km <sup>2</sup>    | 75                             | Nouvelle-Aquitaine                | Dordogne<br>Haute-Vienne                       |
| PNR de l'Aubrac                | 2018             | 2 200 km <sup>2</sup>    | 78                             | Occitanie<br>Auvergne-Rhône-Alpes | Aveyron<br>Cantal<br>Lozère                    |

|                        |      |                                                                           |     |                                   |                           |
|------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------|---------------------------|
| PNR des Grands Causses | 1995 | 3 807 km <sup>2</sup>                                                     | 119 | Occitanie                         | Aveyron<br>Hérault        |
| PNR du Haut-Languedoc  | 1973 | 3 060 km <sup>2</sup>                                                     | 118 | Occitanie                         | Hérault<br>Tarn           |
| PN des Cévennes        | 1970 | 938 km <sup>2</sup> (zone cœur) + 2 035 km <sup>2</sup> (aire d'adhésion) | 123 | Occitanie<br>Auvergne-Rhône-Alpes | Ardèche<br>Gard<br>Lozère |

Tableau 1 : Caractéristiques générales des parcs impliqués dans le projet (source : C.Pugin)

## Le contexte forestier des parcs

La présentation de chaque parc est basé sur les entretiens semi-directif réalisés avec les chargé.es de mission forêts et/ou une autre personne qui s'occupe des milieux forestiers. Les 12 parcs naturels ont un couvert forestier en moyenne de 51 % (avec de grandes disparités d'un parc à l'autre), concentrant 64 % des forêts du Massif central (voir figure 3).

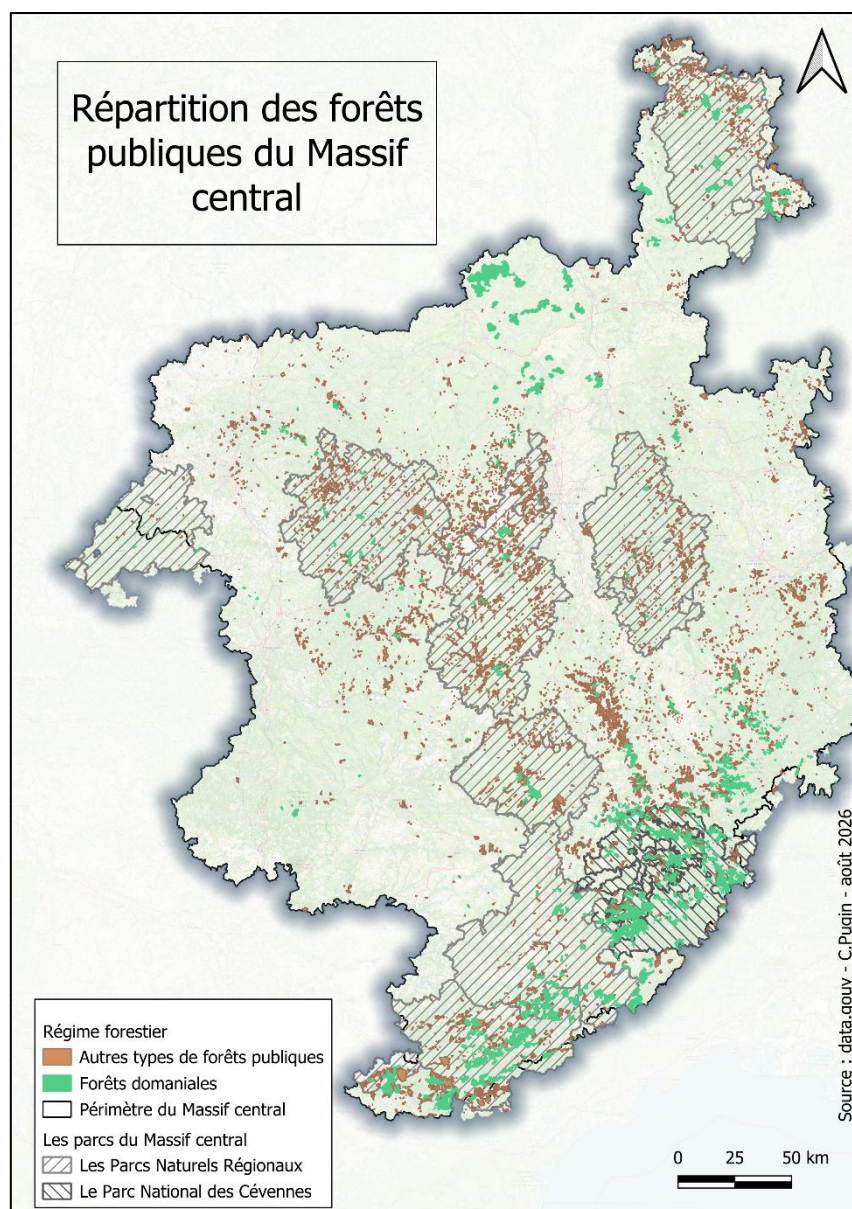


Figure 3 : Répartition des forêts publiques à l'échelle du Massif central (source : C.Pugin)

**PNR du Morvan :** le parc est composé de 45 % de forêt sur son territoire. Les peuplements de feuillus représentent 55 % des espaces boisés, avec historiquement une gestion en taillis pour le bois de chauffage (voir figure 4). Plusieurs groupements forestiers en partenariats avec le parc travaillent à la sauvegarde des feuillus du Morvan. Le parc a ainsi labellisé 2000 ha de forêt. Le reste des peuplements (45 %) sont composés de résineux : douglas ou épicéa, qui font parfois l'objet de coupe à blanc avec plantation. Certaines parcelles de feuillus sont converties en résineux car plus rentable pour la sylviculture.

Concernant le régime foncier, 85 % des parcelles sont privées avec un morcellement important et 15 % sont publiques.

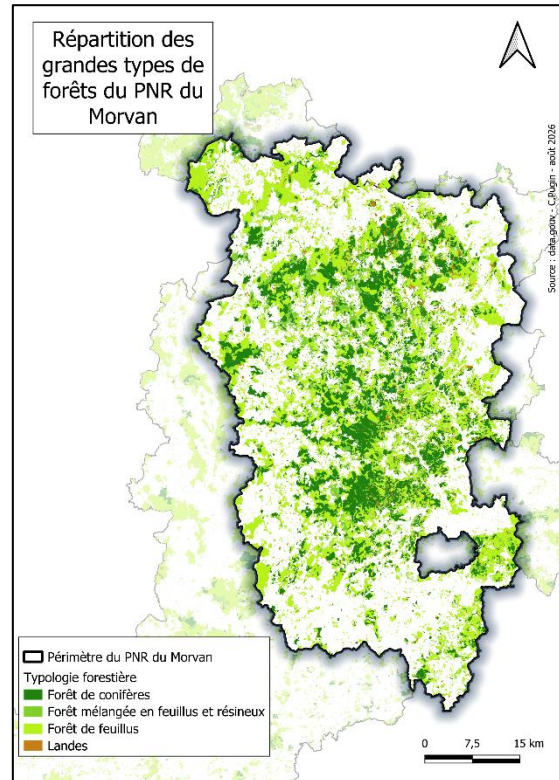


Figure 4 : Types de forêts du PNR du Morvan (source : C.Pugin)

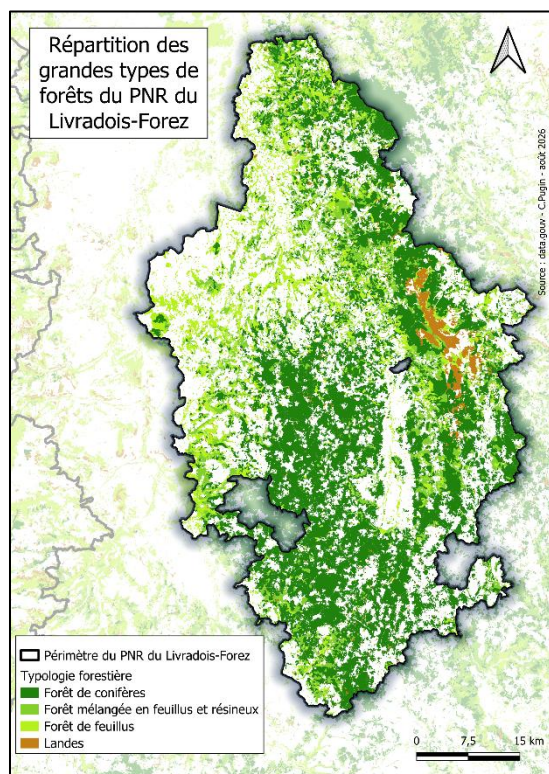


Figure 5 : Types de forêts du PNR du Livradois-Forez (source : C.Pugin)

**PNR du Livradois-Forez :** le parc est composé d'un tiers de sapinière naturelle en zone montagneuse. Ce sont des peuplements qui sont aujourd'hui « délaissés » par les forestiers et font donc l'objet d'une faible gestion. Ces espaces représentent 1/4 des sapinières du Massif central. A hauteur d'un tiers également, il y a des plantations de douglas et d'épicéas, avec une gestion en coupe rase, suivi d'une plantation, soit en futaie régulière sans couvert continu (voir figure 5). Lors de plantation un travail du sol est réalisé avec la création d'andain. Pour finir le parc présente 1/3 de feuillus purs ou mixtes, issus d'une recolonisation naturelle, avec souvent peu de gestion.

Au niveau foncier, 93 % des parcelles sont privées avec plus de 70 000 propriétaires différents, traduisant un morcellement important.

**PNR des Volcans d'Auvergne :** le parc se situe dans une zone de moyenne montagne, dominé par la hêtraie-sapinière. Il présente également quelques plantations d'épicéa, de douglas ou encore de mélèze, ainsi que des peuplements de chênes et d'accrus feuillus à plus basse altitude (voir figure 6). Au niveau des traitements sylvicoles, l'ONF est entrain de convertir une grande partie de ces peuplements en futaie irrégulière, avec une volonté au niveau des parcelle d'épicéas, avec un travail en collaboration avec le parc. Pour la parcelle privée, il n'y a souvent peu voire pas de gestion sylvicole et les coupes se font plutôt par opportunité et démarchage des coopératives. Quelques coupes à blanc peuvent avoir lieu, mais de façon minoritaire et en faible proportion, ainsi que des coupes en lien avec le dépérissement du chêne et du sapin, mais cela reste diffus. Concernant le régime foncier, le parc présente 75 % de forêts privées avec un morcellement très importants, et 25 % de forêts publiques dont principalement des parcelles sectionales.

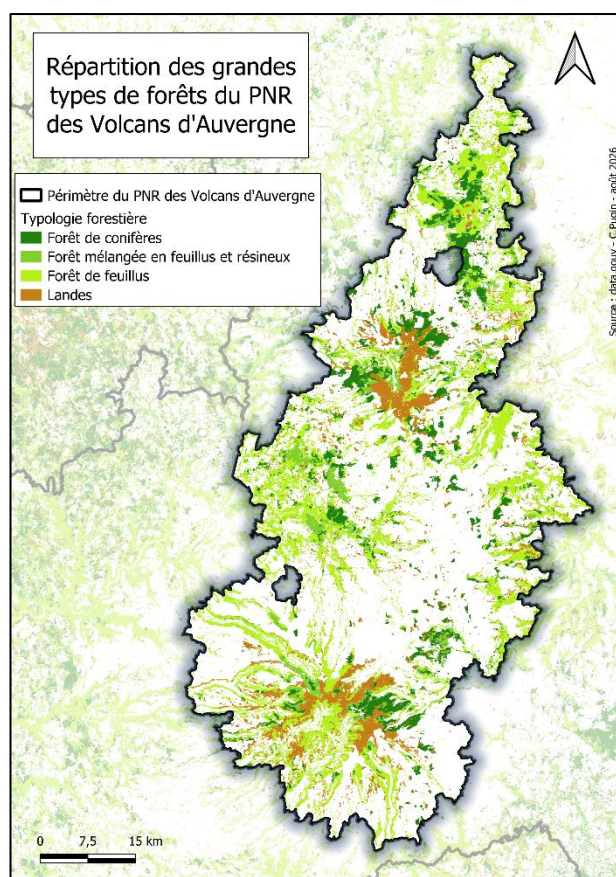


Figure 6 : Types de forêts du PNR des Volcans d'Auvergne (source : C.Pugin)

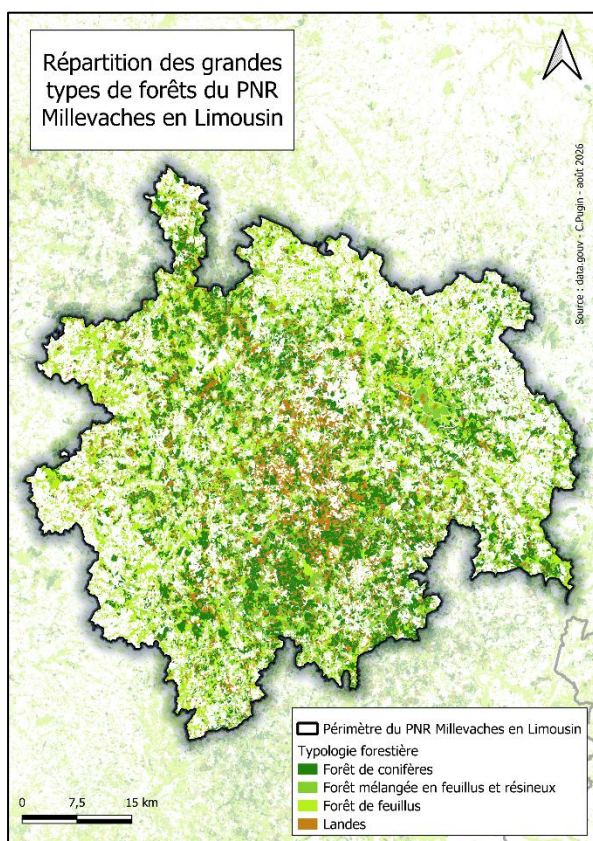


Figure 7 : Types de forêts du PNR Millevaches en Limousin (source : C.Pugin)

**PNR de Millevaches en Limousin :** la moitié des peuplements du parc sont récents (après 1850), avec une répartition feuillus/résineux quasiment équivalente. Les résineux sont essentiellement issus de plantations dans les années 70, en lien avec le Fond Forestier Français, d'épicéa et plus récemment du douglas (voir figure 7). Ces plantations arrivent aujourd'hui à maturité et font souvent l'objet de coupe à blanc, créant un fort clivage social. Il arrive même que certaines parcelles de feuillus soient converties en résineux par coupe rase. Pour les peuplements de feuillus, ils sont majoritairement liés à des accrus naturels allant du bouleau aux hêtres en fonction de l'altitude. Concernant le foncier, 93 % des parcelles sont privées avec une vingtaine de coopérative sylvicoles.

**PNR Périgord-Limousin :** le parc est couvert à 40 % de forêt avec une large dominance de peuplements feuillus (88 %). Les résineux représentent 4 % des zones boisées. Le territoire est marqué par un très fort historique de taillis de châtaignier, qui donne l'impression de coupe-rase lors des phases de collecte (voir figure 8). Actuellement, ces peuplements présentent des signes de dépérissement en lien avec la pratique du taillis, accentué par le changement climatique. Concernant la répartition foncière, 90 % de la forêt est privée, avec un morcellement important.

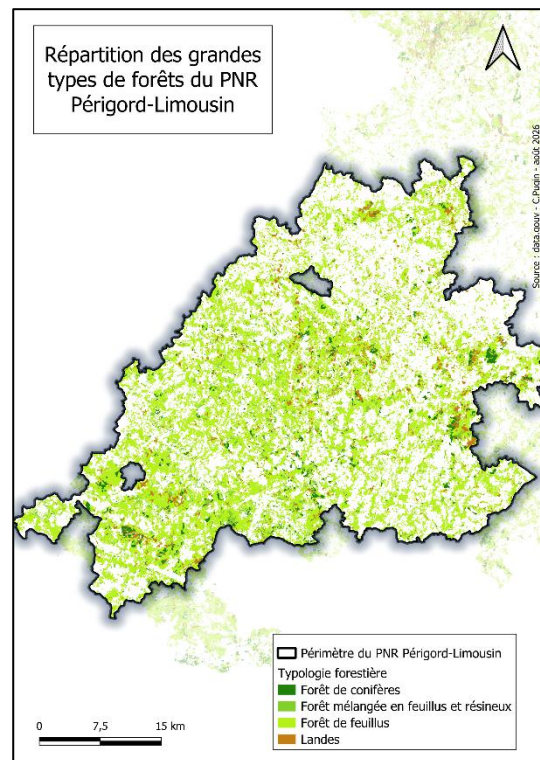


Figure 8 : Types de forêts du PNR Périgord-Limousin (source : C. Pugin)

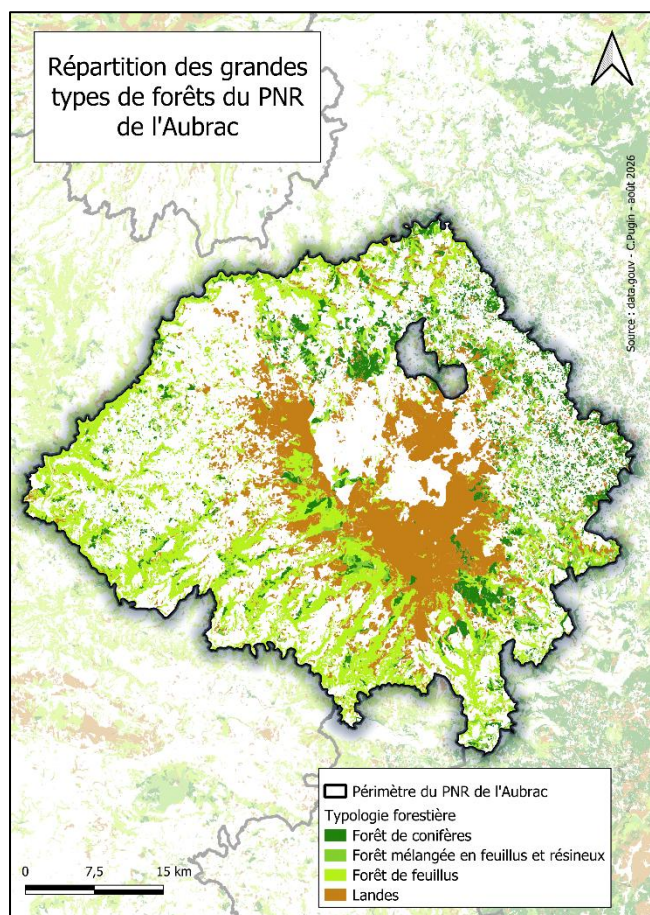


Figure 9 : Types de forêts du PNR de l'Aubrac (source : C. Pugin)

**PNR de l'Aubrac :** la répartition des essences est marquée par la topographie. L'est du territoire est largement dominé par des peuplements de pins sylvestres (purs ou mélangés) qui sont exploités. Il reste quelques plantations d'épicéas qui sont en train de passer en coupe car ils sont dépérissant. Le long du plateau de l'Aubrac présente des hêtraies-sapinières avec peu de sylviculture. A l'ouest, la topographie en gorge contraint l'exploitation des feuillus en place. Sur le reste du territoire, ce sont plutôt les feuillus qui dominent comme les chênes ou encore les châtaigniers (voir figure 9). Au niveau de la gestion sylvicole, le parc n'est pas réellement concerné par les problématiques liées aux coupes rases car cela est minime sur le territoire. Concernant le foncier, 20 % des parcelles sont publiques et 80 % privées, avec un morcellement important, malgré des parcelles moyennes d'environ 4ha/personne.

**PNR des Grands Causses :** le milieu forestier couvre entre 40 et 45 % du territoire du parc, avec certains boisements issus des reboisements RTM (restauration des terrains de montagnes). Historiquement, c'est un territoire agro-pastoral, la forêt a donc été modelée par ces activités et peut aujourd'hui être issue de la déprise agricole. Au niveau des essences, le parc présente 12-13 % de plantations de résineux (douglas et épicéas) issus du Fond Forestier National, faisant l'objet de coupe à blanc (voir figure 10). Ces espaces représentent 90 % de la production de bois du territoire. Il y a également des feuillus comme le chêne pédonculé, faisant l'objet d'un traitement en taillis (pour du bois de chauffage), des châtaigniers, des hêtres, mais aussi des peuplements naturels de pins sylvestres. Concernant le régime foncier, les forêts sont à 90 % privées, avec une mobilisation des acteurs difficile.

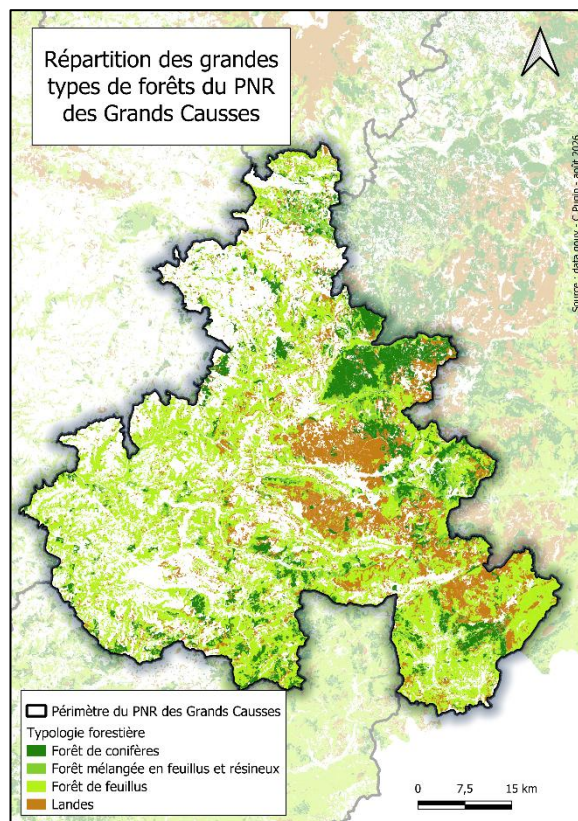


Figure 10 : Types de forêts du PNR des Grands Causses (source : C.Pugin)

**PNR du Haut-Languedoc :** le parc présente une part importante d'espaces boisés influencés par un climat méditerranéen. Environ un tiers de ces zones sont des forêts anciennes, qui étaient présente avant 1850. Au niveau des essences forestières, le territoire est composé d'accrus feuillus naturelles avec du hêtre, du châtaignier, du chêne, mais aussi des résineux naturelles (comme le pin maritime) ou plantés (voir figure 11). Pour les plantations, elles sont en partie issues du Fond Forestier National avec de l'épicéa ou encore du douglas. Les épicéas font

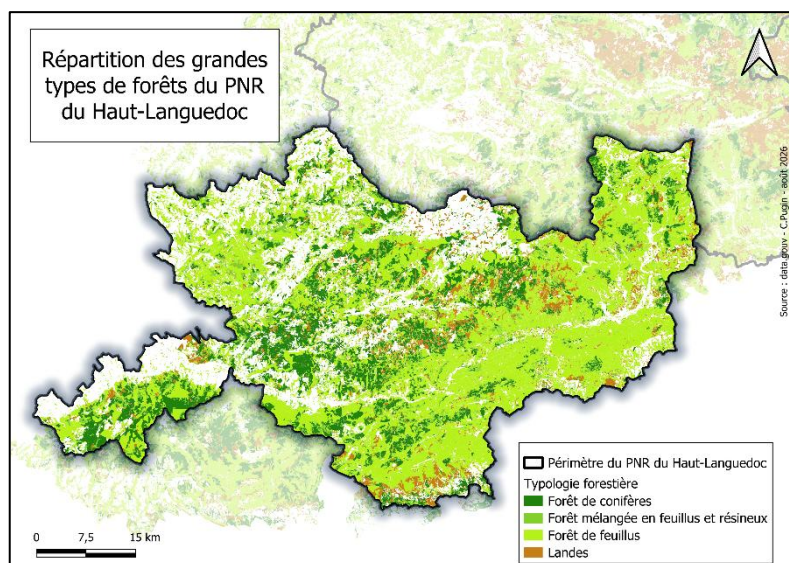


Figure 11 : Types de forêts du PNR du Haut-Languedoc (source : C.Pugin)

actuellement l'objet de coupe à cause du dépérissement induit par les évolutions climatiques. Aujourd'hui, les plantations se font plutôt avec des cèdres de l'atlas, des pins maritimes ou encore un peu de mélèzes, sur des surfaces plus réduites malgré tout. Concernant le régime foncier, les forêts sont à 70 % privées et 30 % publiques.

**PN des Cévennes :** le parc présente une forte diversité de forêt de par la topographie et l'étiquette « parc national » qui influence les choix de gestion. En altitude, il va y avoir les hêtraie-sapinières (ces essences peuvent être en pures ou en mélangées). Il y a également quelques plantations de mélèzes, douglas, épicéas, cèdres, ou encore pins à crochet (pour lutter contre l'érosion au mont Lozère), pins noirs d'Autriche sur le Causse Méjean. Le parc présente également une espèce de pin endémique : le pin de Salzman qui fait l'objet de mesure de protection et d'étude car il est plus résilient aux changements et adapté au contexte local. Au niveau des vallées cévenoles, ce sont les feuillus qui vont dominer avec du hêtre, du chêne, ainsi que d'anciennes plantations de châtaigniers à l'abandon (voir figure 12).

Concernant les traitements sylvicoles, historiquement en zone cœur, les peuplements étaient gérés en futaie régulière, mais de plus en plus de parcelles passent en futaie irrégulière (aussi bien sur des parcelles publiques, que privées). Il y a quelques coupes à blanc d'épicéas ou de sapin de Vancouver, mais plutôt pour des raisons sanitaires. Le Parc national des Cévennes a la particularité, en zone cœur de faire valider les plans de coupes avant leur mise en place. Cela leur permet de favoriser des pratiques avec des impacts plus faibles. Pour finir, au niveau du foncier en zone cœur, 50 % des parcelles sont publiques et notamment domaniale. Sur l'ensemble du parc c'est 80 % de forêt privée et 20 % de forêt publique.

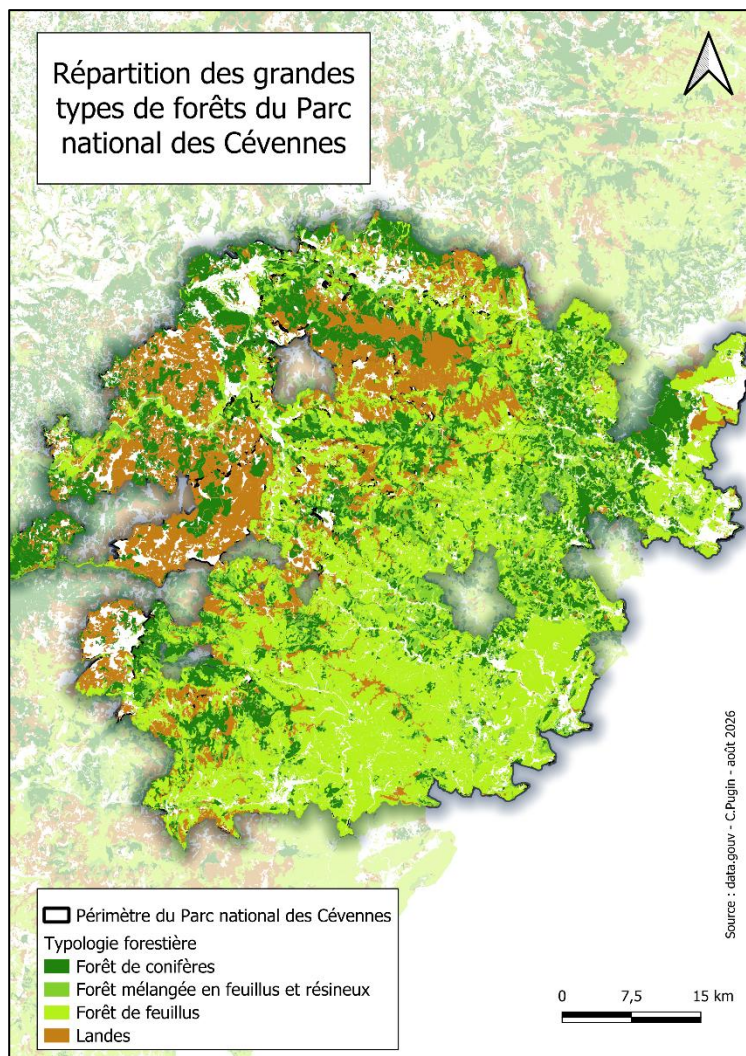


Figure 12 : Types de forêts du Parc national des Cévennes (source : C.Pugin)

## Mes missions au sein de la structure

Ce stage s'inscrit dans le 5<sup>ème</sup> volet du projet Forêts anciennes, sur la période 2025-2027, dans le but d'améliorer les connaissances sur la préservation des sols forestiers des parcs et d'initier la mise en place d'action dans les territoires du Massif central. Pour répondre à cet objectif, il y a plusieurs étapes : réalisation d'une synthèse des connaissances à partir de lecture bibliographiques, réalisation d'entretiens semi-directifs avec les chargés de missions des parcs et d'autres acteurs forestiers, et pour finir l'élaboration d'un guide pratique à destination des propriétaires et gestionnaires forestiers.

## Partie 2 : Etat de l'art

### Les sols : une ressource essentielle mais vulnérable

#### Qu'est-ce qu'un sol forestier ?

En forêt, ils sont la base de tout : le socle des essences forestières, l'habitat pour une multitude d'espèces, des réservoirs d'eau, des régulateurs du climat ou encore des puits de carbone important (Office National des Forêts, 2024, [5]). Le sol est donc « l'épiderme de notre planète » (Centre National de la Propriété Forestière, 2017, [6]), à l'interface entre le règne minéral, le matériau parental et la matière organique (Parc Naturel Régional Périgord-Limousin, 2012, [7]). Il se forme sous les effets du temps, du climat et de la végétation (Office National des Forêts, 2024, [8]). Il est considéré comme une ressource non renouvelable à l'échelle humaine, car il faut environ 1 000 ans pour former le premier horizon du sol et plusieurs milliers d'années pour les horizons plus profonds [6].

Le sol est la couche la plus superficielle qui recouvre les terrains géologiques (CHARNET, 2018, [9]). Il est généralement meuble et d'épaisseur variable : de quelques centimètres à près d'un mètre sous nos climats (à plusieurs mètres en climat tropical) [9]. En pédologie, le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergies qui s'y manifestent [9]. Cela crée une superposition de couches approximativement parallèles à la surface, d'épaisseur variable, qui se singularisent par leur texture, leur couleur, et leur consistance, formant ainsi des horizons [9], avec des propriétés différentes (GisSol, [10]). Le sol est le résultat d'une transformation physique et chimique de la roche sous l'influence de nombreux facteurs [9] : le substrat géologique, le climat, la topographie ou encore les êtres vivants [10]. Ce phénomène est appelé la pédogénèse. Il est ainsi composé de particules minérales et organiques dont l'organisation à diverses échelles détermine les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols [10].

Les sols sont le plus souvent composés de quatre grands types d'horizons (voir annexe n°1). La couche superficielle, nommé horizon O est constituée de matière organique (feuilles, brindilles, bois mort, cadavre d'animaux [8]), appelé la litière [6]. Ensuite, il y a une couche humifère (LEGROS, 2012, [11]) souvent plus sombre liée à la matière organique décomposée, provenant de l'incorporation progressive des résidus de litière, nommé horizon A, l'humus [6]. Puis vient, l'horizon B, qui résulte de l'altération des minéraux de la roche-mère [9] : il est enrichi de différents composés (fer, argile, carbonate de calcium) [11]. Pour finir, il y a l'horizon C qui fait la transition avec la roche-mère sous-jacente, donnant naissance aux horizons supérieurs [11].

Les sols en place sont ainsi constitués de matière solide et de vides qui constituent la porosité [9]. Cette porosité est occupée par l'eau (phase « liquide ») et l'oxygène (phase « gazeuse ») qui jouent un rôle essentiel pour les racines et les êtres vivants dans le sol [8]. Les assemblages de particules se retrouvent sous forme agglomérés, nommés « agrégats » de formes et de dimensions variées [11]. Leur taille influence notamment la porosité des sols en laissant plus ou moins d'espaces pour l'air et l'eau [11]. Cette structuration, en plus d'être influencée par des agents climatiques (phase d'humectation et de dessiccation), abritent des agents biologiques (vers de terre, mammifères, insectes, etc.) [11].

Les sols sont également le support de la biodiversité terrestre avec plus de 60 % de celle-ci qui occupe cet écosystème (COUSIN *et al.*, 2024, [12]). S'il est connu que la nature du sol détermine les paysages et la diversité des espèces végétales et animales s'y développant, il est encore peu connu qu'une biodiversité bien plus importante réside dans les sols [10]. Les communautés du

sol présentent une profusion de formes de vie et de fonctions : part importante de la biomasse terrestre (200 à 4 tonnes de vers de terre par hectares) et de biodiversité (de 100 000 à un million d'espèces de bactéries différentes par gramme de sol) [10]. Une cuillère à café de sol forestier comporte plus d'êtres vivants que d'humains sur toute la surface du globe [8].

## Services écosystémiques

Les sols forestiers sont des atouts majeurs pour les territoires, en fournissant de nombreux services à l'homme. Les forêts jouent ainsi un rôle clé pour la séquestration du carbone, et plus particulièrement du carbone organique dans les sols (Observatoire des forêts françaises, 2025, [13]). Ce sont des puits de carbone estimé à 7,5Mt de CO<sub>2</sub> par an (Observatoire des forêts françaises, 2025, [14]). Conserver l'intégrité physique des sols, réduit les impacts liés au tassement, à l'érosion. La fertilité chimique permet de répondre aux besoins des végétaux et la biodiversité de favoriser la résilience des écosystèmes [14]. Maintenir le rôle de régulation du cycle de l'eau ainsi que celui de filtration des polluants [2] est essentielle pour prévenir des effets des sécheresses sur la disponibilité et la qualité de l'eau [14]. Plus généralement, l'écosystème forestier est un élément clé dans le cycle hydrologique terrestre, en régulant les écoulements, en influençant le climat local, etc. (Parc Naturel Régional du Morvan, 2021, [15]). Les sols peuvent en lien avec les arbres, avoir un rôle de régulation de crues [13]. Ils contiennent et protègent une grande partie de notre patrimoine géologique, paysager et culturel, participant à la structuration et à l'identité paysagère des territoires, mais aussi le support d'activités de loisirs [14]. La fréquentation des espaces naturels a connu une forte augmentation et de profondes mutations ces dernières décennies, avec le développement d'un tourisme 4 saisons [1], devenant parfois le théâtre de tensions entre préservation écologique, aspirations sociales et enjeux économiques (Fédération des Parcs naturels régionaux, 2024, [16]). Toutes des variations saisonnières peuvent entraîner une modification des pratiques humaines, et notamment des pratiques récréatives. La canalisation des flux est donc essentielle pour limiter l'impact de ses activités sur les sols [16]. Les sols sont aussi les archives de notre histoire, pouvant contenir des vestiges archéologiques, des traces de leurs usages ou encore des conditions géologiques et climatiques passées [14].

## Les menaces pesant sur les sols à l'échelle mondiale

Aujourd'hui, les forêts recouvrent en moyenne 32 % du territoire hexagonal et sont confrontées à de nombreux défis : le changement climatique qui les met à rude épreuve [5], ainsi que des modifications profondes dans leur gestion (AUSSENAC *et al.*, 1996, [17]). La répartition des forêts et leur pérennité sont déterminées indépendamment de l'action humaine, par des facteurs climatiques, au sein des grandes régions climatiques influençant les espèces [17]. Néanmoins, elles font face à une évolution des pratiques, avec toujours plus de mécanisation et une demande croissante de bois, nécessitant une exploitation par tout temps, modifiant les forêts et la gestion sylvicole (Association Française pour l'Etude du Sol, 2023, [18]). Les forêts sont très souvent résultantes de l'évolution du monde rural, occupant des terres délaissées par l'agriculture [15]. Ces facteurs atrophiques se cumulent avec les évolutions climatiques, la pression du gibier, conduisant les forestiers à prendre en compte davantage les sols forestiers dans leur travail [18]. La formation d'un sol, quant à elle, est un processus très lent à l'échelle de la vie humaine, mais aussi d'un écosystème. En climat tempéré, il faut compter entre 100 et 1 000 ans pour fabriquer 1 cm de sol (Office National des Forêts, 2025, [19]). Les sols sont donc des facteurs de résistance et de résiliences des écosystèmes forestiers (Groupement d'intérêt public du Massif central, 2023, [20]). A l'inverse des sols agricoles, les sols forestiers sont peu concernés par les labours intensifs et l'usage massif de produits phytosanitaires [5]. Les impacts sur les sols des activités humaines se traduisent par des dégradations majeures (tassement des sols, érosion, etc.) mettant en péril la résilience du système sol [12]. Ces changements d'usage des sols ont ainsi intégré la liste des 9 limites planétaires dont le dépassement compromet la durabilité des

conditions de développement de l'humanité, avec près de 60 % des espèces connues qui en dépendent [12].

## Une prise de conscience progressive

Des initiatives réglementaires sont prises en faveur des sols en France depuis les années 2020 avec la loi Climat et Résilience, fixant notamment un objectif de limitation de l'artificialisation [12]. Cette question des sols est également évoquée dans le Code forestier qui prévoit quelques principes de conservation des sols [14]. Au-delà des différentes stratégies sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la France a mis en place en juillet 2025, un plan d'action national en faveur des sols forestiers [14]. Au niveau mondial, la prise en compte des sols forestiers date des Accords de Paris entrés en vigueur en 2016 (à l'issue de la COP21) [14]. Au niveau européen, la notion des sols forestiers s'intègre dans la stratégie pour les forêts de 2030, en assurant le même niveau de protection (pour les sols) que celui qu'il existe pour l'eau, le milieu marin et l'air dans l'Union Européenne [14]. Plus récemment, en décembre 2025, une Directive relative à la surveillance et la résilience des sols d'ici 2050 a été mise en place [14]. La prise en compte des sols dans la gestion sylvicole est une question émergente dans les politiques publiques malgré l'urgence actuelle.

## Les sols forestiers : fonctionnement et enjeux

### Les spécificités des sols forestiers

Près de la moitié des sols forestiers français sont des sols brunifiés (sols évolués présents sous climat tempéré), comme dans le Massif central [10]. Les sols hydromorphes (régulièrement saturé en eau, pouvant ralentir l'activité biologique et rendre difficile l'exploitation forestière) arrivent en seconde position, présent le plus souvent dans les vallées [10]. Il existe dans des proportions plus faibles des sols carbonatés (présence d'une roche-mère calcaire) ou encore les sols podzolisés (sur des substrats sableux ou limoneux, les plus acides) [10]. Par exemple : les granites et gneiss forment des sols plutôt sableux, pauvres et acides à productivité faible, les schistes créent des sols argileux en profondeur, limoneux en surface, parfois en excès d'eau, etc. [6]. Les sols présentent ainsi plusieurs types de particules : argiles, limons, sable, créant des textures variables, qu'il est possible d'identifier lors d'un test avec les mains, en utilisant le triangle Jamagne (voir annexe n°2) [6]. Une texture sableuse crée un sol avec des matériaux meubles, aérés et filtrants ; une texture limoneuse est riche en éléments minéraux et possède un pouvoir de rétention d'eau important, entraînant une sensibilité au tassement ; une texture argileuse présente une part importante de matière organique favorisant la formation d'un complexe absorbant du sol, qui en trop grande proportion peut rendre le sol asphyxiant et compact [6]. Néanmoins, il est parfois possible de trouver un sol « allochtone » ne correspondant pas au sol « attendu » au regard de la roche [11]. La diversité des sols est liée à la diversité des facteurs, de leur formation et de l'action du temps [10].

Le milieu forestier étant moins soumis à l'influence humaine, notamment par rapport au travail du sol, il y a généralement un lien fort entre le type de sol et d'humus [10]. La physionomie du « tapis » de feuilles mortes et de débris végétaux (la litière) donne des indices sur la vie dans le sol, qu'il est possible de nommer en « formes d'humus » (Centre National de la Propriété Forestière, [21]). Les mull et dysmull sont des formes d'humus liées à une forte activité de la faune et des micro-organismes du sol, notamment les lombricidés [7], représentant plus de la moitié de la superficie forestière, souvent présent sur des sols brunifiés ou hydromorphes [10]. Les humus de types moder se caractérisent par un processus de décomposition – humification nettement ralenti avec une accumulation des couches de litières des années précédentes, caractéristique principale des sols brunifiés [10]. Il y a aussi les humus dysmoder, suivant le

même modèle que les humus moder, mais avec des couches plus épaisses, se rapprochant des humus de type mor, associés à des sols podzolisés [10], une activité biologique de type fongique qui domine [7]. Ainsi que des humus carbonatés présents sur les substrats calcaires [10]. Les formes d'humus les plus propices à la nutrition des arbres varient de mull à moder selon les contextes [21]. A titre d'exemple, un ver de terre dans le cadre d'un humus de forme mull, minéralisera le limbe d'une feuille de chêne pédonculé en 1 à 3 ans, à l'inverse dans un humus de type moder, il faudra 3 à 7 ans pour dégrader le limbe [7].

L'état des sols forestiers en France, le bilan est mitigé. En effet, depuis des siècles les sols laissés à la forêt, délaissés par l'homme, sont souvent les sols estimés les moins fertiles et les moins propices à l'exploitation agricole [7]. Toutefois, les sols forestiers sont globalement en bonne santé vis-à-vis des sols agricoles, fortement labourés [8]. Cependant, certaines parcelles ont été surexploitées dans le passé et le sol témoigne toujours de cet appauvrissement, que ce soit en épaisseur [8] ou en éléments nutritifs via notamment l'export des rémanents [13], avec des conséquences sur les peuplements [8]. L'érosion du sol joue un rôle majeur dans l'état des sols (VENNETIER *et al.*, 2014, [22]). Les sols forestiers issus de déprises agricoles sont globalement plus riches en phosphore, calcium, voire en azote par reliquat des fumures organiques apportées par le passé [13]. La présence d'espèces indigènes peut aussi avoir un rôle néfaste sur les sols car leurs communautés associées (champignons, insectes) sont moins présentes [21]. De ce fait, la végétation en place, permet d'avoir des informations sur les compositions et l'état des sols [6]. Un sol très acide va présenter des espèces comme la myrtille, la callune, à l'inverse un sol calcaire, plutôt du cornouiller sanguin, de la viorne lantane [6].

## Fonctionnement des sols forestiers

Pour comprendre comment fonctionne un sol forestier, il est important de bien le définir selon la texture (conditionne le comportement mécanique), la profondeur du sol (joue sur la capacité de production et de filtration du sol) ou encore la nature des minéraux du sol (notamment argileux, qui déterminent les propriétés chimiques) [10]. Il y a deux mécanismes majeurs qui ont lieu dans le sol : l'altération de la roche mère qui crée des particules plus ou moins grossières, engendrant un mouvement ascendant, à l'origine de la mise en place des sols ; et une transformation de la matière organique, créant un mouvement descendant [20]. Ce dernier est également alimenté par la migration de l'eau et de la faune dans les différents horizons, engendrant des processus physico-chimiques et biologiques qui font évoluer les sols sur des centaines voire des milliers d'années [20]. Le temps est un facteur clé dans l'évolution des sols, chacun d'entre eux suit des trajectoires totalement différentes selon les pressions anthropiques, le climat, l'évolution de la roche du socle ou encore la présence d'oxygène [11].

Les processus physico-chimiques sont assez bien connus, avec une littérature riche, à l'inverse les processus biologiques, alors qu'ils sont essentiels dans le bon fonctionnement des sols [20]. Ces organismes sont à la fois des « chimistes » en charge de la décomposition et de la transformation des matières organiques ; des « régulateurs » (petits invertébrés : collemboles, acariens, nématodes) contrôlant l'activité des décomposeurs, mais également les « bioagresseurs » ; et des « ingénieurs » entretenant la structure du sol (fourmis, vers de terre) [10]. Les champignons ont aussi un rôle majeur, en favorisant la décomposition de la matière organique, ou sous forme de symbiose mutualiste avec les plantes, formant ainsi un réseau mycélien (MARTIN, 2025, [23]). Certains organismes peuvent néanmoins être des pathogènes pour les plantes, les animaux ou encore l'homme [10].

La structure du sol détermine les propriétés physiques des sols, comme la perméabilité et la réserve utile des sols (part de la réserve totale stockée par le sol et disponible pour les plantes) [9]. La réserve utile maximale favorable à la plupart des essences est supérieure à 150 mm [6].

Quant à l'absorption minérale par les racines, elle est maximale au-delà de 15 % d'air dans le sol (en deçà de 12 % les nouvelles racines sont bloquées, et à moins de 5 %, elles ne poussent plus) [6]. Pour rappel, les arbres sont des organismes autotrophes, ils se nourrissent principalement de matière minérale et non pas de matière organique [7].

Les propriétés chimiques peuvent se définir selon le pH (permettant de mesurer l'acidité) qui rend compte de la concentration en ions hydrogène dans le sol [9]. Dans le sol, les éléments nutritifs sont essentiellement chargés négativement, donc le sol fixe principalement des éléments chargés positivement pour rétablir un équilibre positif/négatif [7]. Or ces éléments positifs sont acidifiants : aluminium sous sa forme monomère  $Al^{3+}$  (d'origine géologique) ou protons  $H^+$  (liés à la présence de matière organique dans le sol par exemple) [7]. L'acidification des sols est un processus naturel, indispensable à sa formation et qui permet de rendre les nutriments disponibles pour les plantes (Office National des Forêts, 2025, [24]), en corrélation avec la teneur en matière organique [7]. Néanmoins, son accélération conduit à un épuisement prématuré des éléments du sol et à la libération d'éléments indésirables pour les écosystèmes, souvent liée au cycle de l'azote [24]. En effet, l'acidification fonctionne comme une cafetière : « plus on met de café pour un même volume d'eau, plus il sera concentré » [7]. Par conséquent, plus la matière organique est concentrée en surface, plus l'eau est chargée en éléments carboxyles, la rendant corrosive et acide [7]. Cette acidification peut être corrélée avec une diminution de l'activité biologique, la diminution de la lumière, l'export de minéraux ou encore l'eau stagnante près de la surface [7]. Les mécanismes conduisant à l'acidification des solutions du sol sont complexes et multifactoriels, et aucune essence forestière, ni groupement d'essences peuvent être considérés comme seul responsable [7]. De plus, l'ensemble de ces processus sont influencés par le climat. La température commande l'intensité de nombreuses réactions chimiques et de nombreux phénomènes biologiques, avec des conséquences visibles sur les essences [6]. Les précipitations exercent une influence sur l'état de la végétation par l'intermédiaire du bilan hydrique [6]. Pour finir, la topographie et notamment la pente jouent sur les sols en modifiant le bilan thermique, ainsi que l'altitude qui conditionne la vie, le régime des vents, des pluies [6]. La juxtaposition des particules minérales influe sur l'eau que peut retenir un sol [7]. Plus les vides sont grands et moins l'eau est stockée dans le sol, car elle est plus facilement drainée [7]. Quand tous les vides sont remplis, l'eau supplémentaire forme une nappe temporaire, asphyxiant les sols en limitant l'activité biologique [7].

Quant à elle, la fertilité des sols, elle est étroitement liée aux composantes physiques (profondeur, porosité), biologiques et chimiques (teneur en nutriments), le tout en interaction avec les activités humaines [24]. Pour qu'un sol forestier ait de bonnes potentialités forestières, il doit faire minimum 80 cm de profondeur, correspondant à la profondeur facilement prospectable pour les racines depuis la surface [6]. Il y a quatre grands flux venant alimenter ou réduire le stock d'éléments présents dans l'écosystème : les apports atmosphériques, sous forme de dépôts humiques, secs ou occultes ; les apports par l'altération des minéraux du sol ; les pertes par drainage, sous forme soluble ou en suspension ; les pertes liées à la récolte de biomasse [24]. Par exemple, l'érosion des sols est estimée 10 à 20 fois supérieure au taux de formation des sols (cela monte jusqu'à 100 fois avec un travail du sol) [14]. Cependant, c'est un processus essentiel au fonctionnement de nombreux écosystèmes dans de faible proportion [24]. Les feuilles et les aiguilles sont les compartiments les plus riches de l'arbre, jusqu'à 6 fois plus concentrées en éléments minéraux que le bois du tronc, de même pour les branches de petits diamètres (inférieure à 7 cm) [24]. Les racines sont également une source de matière organique non négligeable, car elles constituent un apport de 6 tonnes par hectares et par an de matière [7]. Ces différentes composantes de la fertilité d'un sol sont extrêmement liées et interactives les unes par rapport aux autres [15].

## Le rôle des sols forestiers dans le fonctionnement des forêts

Les sols sont une composante indispensable au fonctionnement des milieux forestiers. La biodiversité des sols joue un rôle crucial dans la fragmentation, le brassage, la digestion, le stockage ou encore la dispersion de la matière organique [9]. Le déplacement des insectes favorise également la porosité du sol [21]. Ils se concentrent dans les couches superficielles du sol [15]. Les interactions avec les champignons mycorhiziens permettent aux arbres d'augmenter leurs capacités pour chercher de l'eau ou des minéraux dans le sol, formant ainsi des symbioses [20] en prospectant un volume de sol jusqu'à 1 000 fois plus important que les racines [21]. En zone tempérée, l'ensemble des arbres sont en symbiose avec un champignon, sans cela, leur croissance est fortement réduite [20]. La composition et la pérennité des forêts dépendent étroitement des liens d'interdépendance tissés entre les plantes et les micro-organismes [23]. Le microbiote des forêts inclut également des bactéries, des archées, des virus, qui jouent un rôle crucial dans les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote ou encore du phosphore, influençant directement la dynamique des écosystèmes forestiers [23]. Par conséquent, leurs capacités d'adaptations aux changements climatiques et anthropiques qui conditionnent le maintien de la fertilité des sols et participent à la durabilité des forêts [23]. Les débris végétaux morts gisant au sol assurent aussi un rôle de protection des sols [22] avant leur décomposition par les organismes.

Les sols forestiers sont aussi dépolluants, parvenant avec le temps à éliminer les contaminants comme les herbicides ou les fongicides [8], grâce à l'action de divers organismes [6]. Ils sont également un stock formidable de carbone : environ 60 % du carbone des forêts tempérées est dans le sol, jouant un rôle clé dans la régulation du climat [8]. Ils alimentent également les plantes en eau, mais aussi les nappes phréatiques, enjeu non négligeable dans un contexte de changement climatique [13].

## Les effets du changement climatique

Les forestiers prennent de plus en plus en compte les sols forestiers, car dans un contexte de changement climatique, ils sont des alliés indispensables pour la résilience des peuplements aux variations. Le changement climatique induit des variations de la répartition de la pluviométrie, une augmentation des températures, et des épisodes de perturbations plus intenses (vent, sécheresse, etc.) [1]. Néanmoins les conséquences de ces évolutions sont complexes à appréhender et difficile à prédire [17]. L'augmentation progressive du taux de CO<sub>2</sub> dans l'air, peut avoir des conséquences négatives sur la fertilité des sols, en augmentant le risque d'acidification causé par une plus grande consommation de cations, stimuler par la photosynthèse des plantes [17]. D'autre part l'augmentation de la température par effet de serre peut conduire, une minéralisation accrue de la matière organique, notamment l'hiver, réduisant ainsi les réserves d'azote organique essentielle pour les plantes [17]. Les dépôts azotés (au-delà de 10-15kg/ha/an) entraînent une eutrophisation du sol (soit un enrichissement en azote), alors que le réchauffement causera à terme un appauvrissement en azote des sols (par minéralisation de la matière organique) [17]. Au niveau des sols, cela accélère les processus biochimiques microbiens, modifiant ainsi la vitesse de décomposition de la matière organique, et par conséquent la disponibilité et l'acquisition des nutriments [23].

Les sols interagissent avec le changement climatique à plusieurs titres : dans les cycles globaux du carbone et de l'azote, en échangeant en permanence trois des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) avec l'atmosphère [10]. Ils sont aujourd'hui considérés comme un levier important dans l'adaptation [10]. En effet, les sols représentent un réservoir colossal, renfermant près de 40 % du carbone organique terrestre, constituant ainsi le deuxième réservoir de carbone après les océans [24]. Les sols forestiers retiennent en moyenne 90 tonnes

de carbone à l'hectare [24]. Ce phénomène est plus communément appelé « puit de carbone ». A noter que pour être un puit, les forêts doivent séquestrer plus de carbone qu'elles n'en émettent, se traduisant par un accroissement des peuplements et une décomposition de la matière organique, qui doit être supérieure aux pertes de récoltes, mortalités, déperissements ou encore aléas climatiques [24]. Contrairement à l'agriculture, le forestier ne dispose pas de levier pour augmenter le stock de carbone dans le sol, mais il peut maintenir les propriétés de sol, en mettant en place une gestion durable à long terme [24]. L'essence dominante joue aussi un rôle sur le stock de carbone, qui est plus élevée sous résineux, car leurs litières sont plus épaisses [24]. De même qu'un sol riche en argile est plus susceptible de retenir durable le carbone organique qu'un sol sableux [24]. Par ailleurs, l'ancienneté de l'état boisé influence fortement le niveau de stockage du carbone dans le sol [24]. Il est ainsi d'autant plus élevé que la forêt est ancienne [24].

Les facteurs climatiques jouent également un rôle prépondérant dans la répartition des maladies et dans la dynamique de nombreux insectes ravageurs, générant des effets synergiques [17]. Ils peuvent entraîner des modifications significatives des communautés végétales et microbiennes forestières, en modifiant par exemple, la distribution géographique des champignons du sol, avec lesquels les arbres sont en symbiose [23]. Malgré les perturbations liées à ces changements, certaines communautés microbiennes montrent une capacité d'adaptation remarquable, en ajustant leur métabolisme en fonction des stress hydriques, des fluctuations d'éléments nutritifs [23]. L'intensification des phénomènes pluviométriques extrêmes est susceptible d'accélérer les pertes en sol et la probabilité d'occurrences de coulées d'eau boueuse [10], pouvant être combinée aux effets du tassement. Il n'est pas non plus exclu que la protection assurée par la forêt soit remise en cause par les changements globaux [22], ainsi qu'une augmentation du risque incendie qui s'étend à de nouvelles régions, en menaçant les propriétés des sols (activité biologique, structuration, infiltration de l'eau) [14]. La saisonnalité des précipitations et des températures fragilise davantage les sols. En effet, en hiver, la baisse des précipitations corrélée à une augmentation des températures entraînent des modifications de l'activité organique du sol [1]. Au printemps, une baisse des précipitations et un air plus sec qui se réchauffe plus rapidement, fragilisent les sols les rendant plus sensibles aux sécheresses estivales [1].

Il faut donc changer de paradigme et mettre en avant la multifonctionnalité de la forêt à l'échelle d'un territoire, même si la récolte de bois restera un service important de l'écosystème [15]. La forêt est longévive mais les changements environnementaux sont brutaux [15], il est ainsi essentiel de réfléchir à long terme. Par exemple, une coupe à blanc face aux effets du changement climatique compromet totalement la durabilité de l'écosystème, causant un stress physique, hydrique et nutritionnel aussi bien à la végétation en place, qu'au sol [15].

## Les impacts des activités humaines sur les sols forestiers

Le plus fort des enjeux autour de la préservation des sols forestiers est en lien avec les modifications profondes de la filière bois. Depuis les années 70, la sylviculture s'est fortement dynamisée, avec un raccourcissement des passages en coupe (en moyenne 6 à 10 ans en forêt publique au lieu de 15 à 20 ans), ne permettant pas aux sols de se restaurer (Office National des Forêts, 2021, [25]). Cela a donc des conséquences sur la praticabilité à court, moyen et long terme des voies de circulation des engins, liée à la portance des sols [25]. Les entreprises font donc face à des défis de saisonnalité de leur activité, les poussant parfois à privilégier le volume de bois extrait au détriment des bonnes pratiques d'exploitation (sous pression pour amortir l'investissement toujours plus coûteux des engins forestiers). Une autre conséquence de cette transformation de la filière, est issue du Fonds Forestier National (dans les années 70), qui visait à réaliser des plantations souvent monospécifiques de résineux [15]. Ces plantations arrivent aujourd'hui en âge d'être exploitées, et font le plus souvent l'objet de coupe à blanc (ou rase) [15]. Ces coupes rases représentent à la fois un enjeu important pour le sol car il est laissé à nu, mais

aussi en terme paysager, avec des conflits entre citoyens et forestiers [15]. Ce mode d'exploitation est souvent justifié pour ses raisons techniques (récolte efficace pour un maximum de produit), économiques (valorisation de faible volume de bois) mais aussi sociales (la mécanisation limite la pénibilité au travail, rendant l'activité moins accidentogènes) [15]. De plus, les politiques publiques demandent d'augmenter les récoltes de bois (notamment le bois énergie), se traduisant par une hausse de la productivité de l'exploitation forestière [7]. A cela s'ajoute également un enjeu d'adaptation des matériaux de bois locaux aux équipements des industries de transformations, qui utilisent des bois d'autres pays, avec des morphologies différentes [7]. Il y a donc une demande d'adaptation des forêts françaises à des systèmes propres à d'autres types de forêts et de sols [7]. A titre d'exemple, le remplacement d'un feuillu par un résineux (plus productif) entraîne une immobilisation accrue d'éléments minéraux, une augmentation des dépôts acides, la constitution d'un humus plus épais ; tous ces facteurs contribuent à la baisse de la fertilité des sols [17]. Un dernier enjeu de cette gestion sylvicole est le morcellement parcellaire, avec une multitude de propriétaires privés, contraignant fortement la mise en place d'une gestion durable sur de grandes surfaces [15]. Les sols doivent devenir des paramètres actifs de l'orientation de l'usage parcellaire, au-delà des seuls facteurs de productivité, car les activités humaines sont la principale source de dégradation de l'état de santé des sols forestiers [14].

Les activités humaines, et notamment la sylviculture, si elle est mal pensée peut avoir des conséquences irréversibles sur les sols. Un des impacts majeurs des travaux sylvicoles est le tassement des sols forestiers dû à la circulation des engins. Le tassement regroupe l'ensemble des modifications de structure du sol, soit l'arrangement des particules du sol dans l'espace, qui ont lieu quand la contrainte exercée est supérieure à la capacité de résistance du sol (voir annexe n°3) [24]. En fonction de l'intensité de la contrainte et de l'humidité du sol, les particules solides se rapprochent, c'est la densification du sol (perte de volume à masse constante) [24]. Quand le sol est humide, il peut subir des modifications de structure par fluage, c'est-à-dire par liquéfaction et réarrangement horizontal des particules [24], formant une structure laminaire caractéristique.

En effet, le tassement va induire un compactage du sol, avec souvent la formation d'ornières (GIP ECOFOR et al., 2019, [26]), dans lequel les racines auront du mal à prospecter, l'eau et l'air à s'infiltrer [2], entraînant des conséquences en cascades (risque plus élevé au sécheresse, augmentation du ruissellement et de l'érosion) [8]. Cela conduit à une perte de la porosité, et à long terme la diminution de la croissance des arbres, la régénération naturelle [13], ainsi que des effets sur la résilience des peuplements [24] face au climat changeant (Office National des Forêts, 2019, [27]). Dans certains cas, cela peut aller jusqu'à la mortalité d'un peuplement [7]. L'impact maximal sur les sols a lieu entre le premier et le troisième passage, pour toutes les situations [18], avec un tassement de 80 à 90 % des horizons superficiels [26]. La pression moyenne exercée par les machines sur les sols va de 1 à 5 kg/cm<sup>2</sup>, soit 5 à 10 fois plus qu'un homme (0,15 à 0,2 kg/cm<sup>2</sup>) [27]. Les sols ont des sensibilités au tassement très variées, en fonction de la charge en éléments grossiers, de la texture et la structure, de la densité en racines, de l'hétérogénéité des horizons, etc. [26]. Un sol est d'autant plus sensible qu'il est humide [26], c'est pourquoi les travaux sylvicoles sont à proscrire dans ces conditions. Par exemple, un sol volcanique à l'état humide a une très faible portance et devient très instable, même sur les voies de circulation (LEGRAND et al., 2007, [28]).

A l'inverse la durée de restauration peut s'étaler sur plusieurs décennies, même si les dégâts ne sont pas visibles à l'œil [18]. Cet impact est à mettre en relation avec les évolutions mécaniques, et le poids des engins qui est toujours plus lourds, avec une charge à la roue plus importante [18]. Par exemple, pour un porteur il y a quelques années qui pesait 12 tonnes à vide, pèse

aujourd'hui 17 tonnes [18]. Cette évolution du poids des engins cause des impacts en profondeur plus important, ainsi que l'abaissement du seuil critique d'humidité à partir duquel l'orniérage commence [24]. L'idée assez répandue qu'il vaut mieux circuler avec les engins de débardage partout sur la parcelle pour diluer les passages conduit à un tassement sur une grande surface et cette pratique est absolument à éviter [25]. C'est pourquoi l'Office National des Forêts a travaillé sur des recommandations de circulation [5]. Néanmoins, peu d'analyses économiques permettent de chiffrer l'ensemble des impacts écologiques du tassement des sols à long terme [24]. Toutefois, en prenant uniquement en compte les impacts sur la production et le taux de survie des plants de chênes (par exemple), le débardage par câble-mât s'avère plus rentable que par voie terrestre [24]. Pour un débardage par voie terrestre avec plus de 80 % du peuplement circulé, la sylviculture du chêne n'est même plus viable économiquement [24]. Le tassement des sols est donc préjudiciable écologiquement et économiquement, avec une remise en état coûteuse et peu efficace [24].

Le traînage des grumes ou la circulation des engins à chenilles peuvent aussi causer un scalpage des sols, qui est un déplacement latéral et tangentiel des horizons supérieurs [25], mais aussi une sensibilité à l'érosion hydrique plus forte [15]. Un mélange des horizons a des répercussions durable sur l'activité biologique, et la stabilité du sol [15]. De plus, certains travaux du sol qui visent à ameublir le sol compacté ou éliminer les ornières, à enfouir les humus, surhausser les sols engorgés ou détruire la végétation concurrentielle sont à proscrire car ils perturbent l'organisation du sol et les cycles biogéochimiques, et parfois même un déstockage du carbone [15].

Un des autres impacts induit par la demande croissante de bois énergie, est la récolte de la biomasse totale, menaçant directement la fertilité des sols [9]. Ces éléments étaient jusque-là non valorisés par les filières bois d'œuvre, bois d'industrie et bois bûche [26]. Cette technique va avoir des répercussions immédiates sur les éléments nutritifs disponibles dans les sols, avec des stocks initiaux qui se reconstituent après 10-15 ans [26], mais aussi sur les communautés microbiennes et faunistiques [24] et la température du sol [15]. Si le sol est appauvri ou déséquilibré cela réduit la production et dans certains cas, l'altération de la santé des peuplements (jaunissement, perte de feuillage, etc.) [17]. Les rémanents sont des zones de refuges pour la faune : leurs exports à des répercussions sur les communautés faunistiques [15]. Le choix des essences sylvicoles objectives, comme les résineux peut avoir des répercussions sur l'acidification des sols, l'évolution des humus [17]. Pour répondre aux évolutions climatiques, les forestiers décident parfois de remplacer les peuplements historiques par la plantation d'essences au profil plus exotique, supportant mieux les températures chaudes [2]. Cela a des conséquences sur les sols, avec l'introduction potentielle de pathogènes pouvant endommager les essences autochtones [2]. Les coupes forestières augmentent l'effet de lisière, avec l'arrivée de lumière au sol, qui favorise globalement la diversité d'espèces héliophiles et pré-forestières [26]. Cependant, cette trouée a un effet négatif sur les espèces purement forestière comme les mousses, les champignons, les coléoptères saproxyliques ou carabiques [26]. De plus, la fragmentation de l'habitat qu'entraîne les coupes, a aussi des conséquences néfastes sur la capacité de déplacement des espèces d'un espace à l'autre [15]. Pour les communautés d'arthropodes décomposeurs, ils sont toujours affectés 10 ans après la coupe [15].

Les coupes rases (ou à blanc) cumulent l'ensemble des dégradations évoqués sur les sols, en augmentant manière significative le risque de ruissellement et d'érosion du sol, en lien avec une disparition du couvert forestier [19], mais aussi le déstockage du carbone pouvant atteindre 20 %, s'il y a un travail du sol pour la plantation [24]. L'érosion par lessivage entraîne une mise à nu parfois importante des horizons minéraux, réduisant l'épaisseur du sol, et rajoutant une contrainte supplémentaire au développement de la végétation (DARBOUX et al., 2025, [29]) et les

milieux en aval (transport de sédiments pouvant combler, perturber les zones humides) [19]. Si la quantité de sol érodé est supérieure à la quantité de sol formé, la perte est irrémédiable à l'échelle humaine, avec des conséquences multiples sur les forêts [19]. Une coupe à blanc est une pratique sylvicole qui consiste à extraire en une seule fois un peuplement, avec une régénération souvent par plantation [15]. Cette pratique résulte d'une conception post-guerre, dans le but de redynamiser la filière pour « nourrir » la France [15]. Les conséquences de cette pratique sont une forte simplification des écosystèmes et des itinéraires techniques privilégiant la mécanisation terrestre et le recours à des essences productives rapidement, largement favorisée avec le Fond Forestiers National [15]. Cela induit également une modification du microclimat et donc de la température et de l'humidité de la parcelle [24]. Ces conditions plus favorables à l'activité biologique accélèrent la minéralisation de la matière organique qui induit une perte supplémentaire de carbone organique du sol [24]. En somme, la mise à nu de surface importante, le tassement de la zone de plantation et la réalisation d'un andain (opération qui consiste à regrouper en tas les rémanent de coupe, s'ils ne sont pas exportés), voire d'un décapage des horizons superficiels [24], augmentent le risque d'érosion physique et chimique des sols ayant des conséquences sur la qualité du sol et de l'eau en aval [15]. De plus, le raccourcissement des révolutions forestières diminue la fertilité des sols [7]. La coupe de douglas à 46 ans, induit un export non négligeable de calcium, magnésium et potassium ; à l'inverse une coupe à 66 ans a un impact faible sur les flux d'éléments nutritifs, voir même un enrichissement du sol [7].

Au-delà des activités sylvicoles, les activités récréatives peuvent causer des dommages sur les sols forestiers, notamment avec l'afflux de visiteurs [16]. Cela peut augmenter l'érosion et le tassement du sol au niveau des chemin, ainsi que des dégradations résultantes de comportements inadaptés (ouverture de pistes de VTT, circulation de moto-cross hors sentier, etc.), souvent issues d'une méconnaissance ou d'une sensibilité limitée envers l'environnement [16]. A long terme, les chemins peuvent devenir, comme les voies de circulation des espaces où l'eau et l'air ne s'infiltrant plus, les racines ne peuvent plus prospectées, etc.

## Préserver les sols forestiers

Malgré les impacts des pratiques sylvicoles et récréatives, les acteurs forestiers se mobilisent pour prendre en compte ce capital essentiel pour la durabilité des peuplements en climat changeant. Les tempêtes Lothar et Martin en 1999 ont causé de lourds dégâts en forêt, avec 140 millions de mètres cubes de bois au sol, qui ont dû être sortis rapidement, parfois de façon anarchique, causant un tassement important des sols [5], ont fait prendre conscience de l'importance des sols. Depuis ce jour, l'Office National des Forêts (ONF) initie et participe à des recherches sur les effets et la façon dont prélever les sols tout en poursuivant l'exploitation du bois [5]. Cela se traduit principalement par la mise en place de cloisonnements d'exploitations disposés tous les 20 m et mesurant 4 m de large [5], avec un agencement en arête de poisson, reprenant aux maximum les pistes existantes [25]. Cette pratique (les cloisonnements) est inscrite dans la politique environnementale de l'établissement [5]. Lors d'un chantier, il faut que le gestionnaire ou propriétaire transmettent les prescriptions de praticabilité aux intervenants qui définiront les seuils d'alerte de profondeurs des ornières pour les différentes zones circulées [25]. Le marquage des cloisonnements sur le terrain et sur les plans est indissociable à la pérennisation du réseau [24]. Pour cela, il faut essayer de faire des cloisonnements les plus rectilignes possible, avec un balisage clair, bien visible et compréhensible pour tous [24], en évitant les zones humides et les bords de cours d'eau [26]. Ne pas sortir des cloisonnements nécessite une bonne coordination entre le bûcheron et le débardeur, avec de l'abatage directionnel [25]. Il est essentiel de stopper le chantier dès l'apparition des premières ornières (seuil d'alerte) atteignant 20 cm sur les cloisonnements classiques ou 30 cm sur les collecteurs (ou cloisonnements principaux) [24]. Là où les ornières dépassent 20 cm de profondeur sur le

cloisonnement, il faut intervenir plus sérieusement, avec notamment du sous-solage (jusqu'à 60 cm) pour remettre l'eau stagnante en circulation dans le sol [25].

Dans un contexte de changement climatique où les événements pluviométriques intenses seront plus fréquents, il est primordial de limiter au maximum les dépôts sédimentaires, préservant la ressource en sol et les milieux en aval [19]. Il faut également veiller au taux d'humidité du sol et adapter les délais d'exploitations et de réalisation des coupes hors période de sensibilité du sol, mais aussi prévoir une procédure d'interruption en cas d'orniérage [26]. Il est donc fortement conseillé de privilégier un sol sec ou fortement gelé (Office National des Forêts, 2010, [30]). Une carte de sensibilité des sols, via un diagnostic peut être mise en place [30]. Même avec la mise en place de cloisonnements, il faut à chaque lancement de chantier s'assurer de la portance du sol (en lien avec son taux d'humidité) [24]. Pour favoriser la portance du sol, il est possible de disposer sur les cloisonnements des rémanents de coupe afin de limiter le risque d'orniérage et de tassement du sol [26]. Une autre option pour diminuer la contrainte exercée sur le sol est d'opter pour la pose de pneumatiques plus larges ou la pose de tracks (chaînes métalliques à disposer sur les roues), afin d'augmenter la surface de contact au sol et ainsi réduire la pression par unité de surface [24]. Néanmoins, cette méthode ne justifie pas de charger davantage l'engin [25]. Le but est de réduire la charge à la roue, pour limiter ou atténuer les contraintes exercées sur les couches plus profondes des sols [24].

Concernant l'export des menus-bois, il y a aussi de nombreuses recommandations pour limiter l'impact de cette pratique. Les menus-bois sont tous les résidus d'exploitation avec des diamètres inférieurs à 7 cm, contenant l'essentiel des éléments nutritifs pour le maintien de la fertilité des sols [5]. Leurs récoltes sont donc à limiter voire à supprimer [18]. Même sur les sols les plus fertiles, il faut éviter l'exportation du feuillage [26]. Pour les essences à feuilles caduques il est recommandé de privilégier une période de récolte hivernale (en prenant toujours en compte l'humidité des sols), ou à défaut de laisser ressuyer les bois, environ 3 mois, sur la parcelle avant débardage [26]. Si jamais, il y a une récolte des menus-bois, les espacer d'au moins 15 ans sur sols peu sensibles et 30 ans sur sols modérément sensibles [26]. En futaie régulière (ou taillis-sous-futaie), il est judicieux de focaliser les récoltes lors du premier dépressage ou lors de la coupe définitive ; pour les autres coupes laisser les menus bois sur place [26]. Pour les souches, il est préférable de les laisser sur place, sinon de réaliser un export uniquement lors de la coupe finale, en en laissant minimum 10 % [26]. Dans le cadre de la préparation d'une parcelle pour la plantation, au lieu de réaliser un andainage (ligne de rémanents de coupe disposé dans le sens de la pente avant une plantation), il est plutôt conseillé de disperser les rémanents sur l'ensemble de la surface [24].

Limiter l'impact de la sylviculture sur les sols passe également par une évolution des traitements sylvicoles. Le maintien de la fertilité des sols à long terme nécessite de favoriser le mélange d'essence [17]. Les feuillus ont notamment un enracinement plus profond et une litière plus facilement dégradable que les résineux [17]. La mise en place d'essences adaptées à la station forestière apporte une garantie pour optimiser durablement les fonctions de l'écosystème, réduisant les contraintes sur le peuplement [24]. Il faut également maintenir un couvert végétal continu pour limiter l'érosion par la pluie, le réchauffement du sol [29]. Les rémanents de coupe aussi peuvent jouer ce rôle protecteur à la suite d'une coupe [29]. L'objectif est de privilégier une mosaïque de peuplement, avec plusieurs classes d'âges : du bois mort, des strates diversifiées [19] permettant d'assurer une certaine stabilité et continuité dans le temps, et limiter les perturbations brutales des cycles biogéochimiques [24]. Cela peut se traduire par la réalisation de transitions progressives entre les révolutions forestières, en maintenant une couverture végétale du sol et favorisant la régénération naturelle [24]. Dans le cadre de plantations, il est préférable d'intervenir uniquement sur des zones à fortes contraintes, évitant ainsi un travail total

de la parcelle, souvent coûteux [24]. Les coupes à blanc sont à proscrire sur de grandes surfaces, privilégié des surfaces inférieures à 1 ha d'un seul tenant ou, mieux, inférieures à 0,5 ha [22].

Pour réduire l'impact de la mécanisation sur les sols, des techniques de débardage alternatifs existent comme le câble-mât (technique de débardage avec des câbles aériens) ou encore la traction animale. Il n'est pas question de faire du câble aérien partout, mais de développer ce système complémentaire au système terrestre, de même pour le débardage à cheval [24]. En effet, cette technique pourrait permettre d'exploiter des peuplements qui jusque-là étaient laissés en libre évolution. Ces systèmes d'exploitation peuvent répondre aux enjeux de protection des sols, de réduction des émissions de carbone, d'accès aux parcelles en hiver et dans le cadre du cheval, d'acceptabilité des coupes par le public [24]. L'objectif majeurs de ces alternatives est de relancer la filière auprès des exploitants [14]. Par exemple, pour le débardage à cheval, le plan d'action national souhaite maintenir ce savoir-faire traditionnel, en créant un certificat de spécialisation pour les entreprises [14]. Pour le câble-mât, il n'est pas réservé uniquement aux zones montagneuses, mais il est possible d'utiliser ce système en zone de plaine, limitant l'impact sur le sol sous la ligne de câble (Office National des Forêts, 2023, [31]).

Les problèmes engendrés par les activités forestières doivent être traités en amont de leur réalisation et par anticipation [29]. Pour cela l'ONF et l'INRAE (Institut National de la Recherche Agronomique) ont développé une application mobile : For-Eval permettant de réaliser des diagnostics de sensibilité des sols à l'aide d'indicateurs écologiques, afin de promouvoir une gestion durable [26]. De plus, les dispositions contractuelles du Cahier National des Prescriptions d'Exploitations Forestières (CNPEF) et le Cahier National des Prescriptions des Travaux et Services Forestiers (CNPTSF) applicables à tous les intervenants (acheteurs, exploitants, transporteurs, etc.) en forêts publiques imposent de prendre en compte toutes les mesures pour limiter l'impact de leurs activités sur le sol [24]. Dès lors qu'un intervenant cause des dommages les collectivités ou l'ONF sont légitimes à lui demander réparation en nature ou pécuniaire, à l'amiable ou judiciairement [24]. Il faut donc bien choisir l'entreprise d'exploitation, qui est en mesure d'adapter le délai d'exploitation en fonction de la sensibilité du sol, le nombre de produits sortis (pour réduire le nombre de passage des engins), ainsi que l'utilisation d'un matériel moins impactant [25].

Concernant la restauration des fonctions du sol, aucune technique n'est réellement efficace pour restaurer complètement et durablement la capacité d'infiltration de l'eau, l'aération et la prospection du sol par les racines [24]. Au mieux, si le travail du sol est réalisé dans de bonnes conditions d'humidité, il est possible de créer des chemins préférentiels pour l'eau, les racines et l'air, accélérant légèrement les processus de restauration naturelle [24]. Cependant, si le travail est réalisé lorsque le sol est humide, la situation est aggravée avec un lissage et des déformations du sol provoqués par l'engin et l'outil censés décompacter le sol [24]. Pour restaurer la praticabilité d'un cloisonnement très orniéré, il est nécessaire de percer mécaniquement le fond des ornières ou de les drainer en implantant des essences tolérant l'excès d'eau et le tassement [24]. Un simple rebouchage des ornières n'est qu'esthétique et permet pas de restaurer les fonctionnalités des sols [24].

Pour les activités récréatives, et notamment la gestion des flux de visiteurs, il faut mettre en place de la sensibilisation sur les sites les plus fréquentés et mettre à jour le balisage afin d'expliquer aux visiteurs la nécessité de respecter les lieux et de rester sur les sentiers [16]. Une seconde solution peut être de planter de la végétation indigène (buissons épineux) pouvant servir de barrières pour canaliser les flux sur les sentiers [16]. Certains endroits nécessitent un aménagement plus conséquent, avec la mise en place de structure en bois (comme c'est le cas par exemple sur certains puys du Massif central) ou encore des enrochements, muret en pierre, etc. [16].

Pour aller plus loin, une nouvelle forme de trame basée sur le concept des trames vertes et bleues est en train de se développer pour les sols : la trame brune. Elle est constituée par l'ensemble tridimensionnel des éléments biotiques et abiotiques des sols permettant d'assurer les fonctions et continuités écologiques nécessaire aux organismes réalisant tout ou une partie de leur cycle de vie dans la pédosphère (VINCENT, 2023, [32]). A ce jour, elle est encore au stade expérimental et plutôt appliquée dans un contexte urbain [32]. Pour faire le lien avec le rôle que peuvent avoir les parcs sur cette thématique des sols forestiers, ils peuvent organiser des temps de formations, de collaborations avec les interprofessions, mais aussi avec le grand public, en faisant la promotion des outils existants en faveur des sols (guide GERBOISE, Practi'Sol, Prosol, l'application For-Eval).

### Les freins possibles dans le déploiement d'actions

Malgré les différents travaux et préconisation pour la préservation des sols, il existe divers freins à leur mise en place. Concernant le cadre réglementaire, à ce jour, il y a encore peu, voire pas de législation dédiée à la préservation des sols, comme il en existe pour d'autres compartiments tels que l'eau ou l'air [12]. Un des leviers principaux en faveur des sols est l'inconstructibilité en urbanisme [12]. Les choses tendent tout de même à évoluer, avec de nouvelles directives européennes et la mise en place d'un plan d'action national. Cependant, les facteurs environnementaux constituent un facteur d'incertitude dans la planification à long terme en matière de gestion des écosystèmes forestiers [17].

Un second frein est lié directement avec les évolutions de l'exploitation forestière. Depuis une quinzaine d'années, les exploitants forestiers s'équipent de machines très coûteuses et toujours plus puissantes (notamment d'abatteuses, de porteurs) qui doivent fonctionner au moins 10 heures par jour pour être rentable [22]. Ceci influence directement les caractéristiques des coupes, et le volume de bois à prélever pour ne pas être déficitaire [22], réduisant parfois la prise en compte des recommandations en faveur des sols. De plus, la demande en bois énergie, soutenue par les politiques en lien avec les énergies renouvelables, entraîne un export total des arbres ou des rémanents, qui devrait être laissés sur place pour favoriser le renouvellement nutritif des sols [22]. Une autre difficulté est liée à un manque de main d'œuvre pour des techniques de débardages alternatives, comme le câble-mât, pouvant être utilisées lorsque les sols sont impraticables [5]. Pour pallier à cela, l'ONF encourage la structuration d'une filière câble, avec une douzaine d'entreprises à ce jour [5]. Néanmoins, l'argument économique pour ses techniques est souvent évoqué [24], sans prendre toutefois en compte le bilan financier complet de l'exploitation. En effet, une exploitation par câble peu engendré un surcoût d'environ 10 à 12€ / m<sup>3</sup>, mais cette différence est à mettre en relation avec les services rendus par les sols forestiers et le fait de pouvoir mobiliser le bois en plein l'hiver, répondant ainsi aux besoins de la filière [24]. Cela reste à nuancer, en fonction de l'essence (résineux ou feuillus) et de la situation topographique et géographique de la coupe [24].

# Les sols forestiers du Massif central : un territoire d'étude particulier

## Présentation générale

Les forêts sont une composante majeure du Massif central, elles couvrent à ce jour 55 % du territoire (EMBERGER *et al.*, 2023, [33]). Cependant, ce territoire fut jadis appelé « la tête chauve de la France » avec seulement 10 % d'espaces forestiers à la suite de vastes défrichements au fil des siècles (Conservatoire Botanique National, [34]). Par conséquent leur répartition et leur structure sont l'héritage d'une histoire particulièrement mouvementée [34]. Comme partout ailleurs en Europe occidentale, au fil du développement de l'agriculture, le recul de la forêt s'est poursuivi, pour atteindre son apogée entre le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle et le début du XX<sup>ème</sup> siècle [34]. La plupart des forêts restantes semblent avoir été surexploitées, aussi bien pour des besoins en combustible ou en bois d'œuvre, mais aussi pour le pâturage du bétail, limitant la régénération forestière [34]. Les forêts du Massif central participent au développement économique et aux besoins sociétaux, à travers la valorisation du bois, aux loisirs de nature et aux services écosystémiques rendus (stockage de carbone, épuration de l'eau et de l'air, etc.) [33].

## Une géologie et des sols originaux

Le Massif central a cette particularité d'être en partie, un massif d'origine volcanique induisant une composition du sol typique à cette géologie. Les sols volcaniques couvrent environ 6 000 km<sup>2</sup> en France continentale, dont 5 600 km<sup>2</sup> sont dans le Massif central [28]. Il est possible de distinguer des formations volcaniques anciennes de plus de 20 millions d'années dans le Cantal, le Cézallier ou encore l'Aubrac, et des formations plus récentes comme la chaîne des Puys, mises en place il y a 95 000 à 6 000 ans, d'où un stade d'érosion différent [28]. Cette géologie particulière entraîne une structure de sol assez complexe avec des caractéristiques physiques, chimiques et hydriques propres [28]. De plus, selon le type de roche-mère, le climat ou encore la durée de la pédogenèse, l'altération peut être différente, conduisant à des sols très ou peu évolués [28]. Les facteurs propres aux sols volcaniques peuvent induire des bénéfices mais aussi des contraintes pour la gestion forestière, et ainsi être à l'origine d'une croissance médiocre ou d'un dépérissement des arbres [28].

Le Massif central peut se découper en 3 grandes régions géologiques, induisant des sols différents :

- Les massifs cristallins situés à l'ouest (Limousin) et à l'est (Livradois, Forez et Pilat) mais aussi au sud (les Cévennes ou encore le Haut-Languedoc) du Massif central, reposent sur d'importants plateaux granitiques et métamorphiques. Ils constituent les vestiges érodés de montagne qui formaient, il y a 300 à 500 millions d'années, l'immense chaîne hercynienne. Ces territoires présentent des sols acides (Conservatoire Botanique National du Massif central, 2023, [35]).
- Les terrains sédimentaires au niveau des Limagnes auvergnates ou encore la plaine du Forez qui reposent sur de larges bassins sédimentaires d'origines lacustres (parfois entaillés d'accidents tectoniques et d'importants gisements houillers). Sur les causses du Lot, de Corrèze et des Cévennes, le Bas-Vivarais (au sud de l'Ardèche), d'épais plateaux de calcaires témoignent des allers-venues de l'océan, il y a plus de 145 millions d'années. De ce fait, la nature chimique des sols varie en fonction du type de sédiments, entre ceux acides comme les sables et grès et ceux plus riches chimiquement comme les marnes et les calcaires [35].

- Les terrains volcaniques situés au centre du territoire, liés à l'intense activité tectonique entre -65MA à -7000 ans, formant l'un des ensembles volcaniques d'Europe : la chaîne des Puys, les monts Dore et du Cantal, les massifs du Cézallier, du Devès, du Meygal et de Mézenc. Les roches issues de l'activité volcanique possèdent une richesse chimique variable, entre les roches de type trachyandésite issus de volcanisme explosif (massifs du Sancy et du Cantal) à l'origine de sols souvent plus pauvres en base. Les sols s'avèrent très diversifiés, avec parfois la présence (sur un même espace) de végétation acidiphiles et calcicoles, donnant naissances à des cortèges originaux voir endémiques [35].

## Une histoire forestière marquée par les plantations

Comme de nombreux territoire en France, le début du XX<sup>ème</sup> siècle est marqué par la « déprise énergétique », l'exode rural et l'application du nouveau Code forestier ont permis aux forêts de se reconstituer. Cette expansion des surfaces forestières est également corrélée aux programmes nationaux de reboisements du Service de restauration des terrains de montagnes (RTM), puis le Fond forestier national (FFN) dans les années 70 [34]. Cette histoire a mené à un paysage original où forêts anciennes et matures en libre évolution côtoient des plantations récentes d'essences allochtones fortement anthropisées [33]. L'arrivée en masse d'essences exotiques depuis la période du RTM (Pin maritime dans les Cévennes, l'Epicéa) puis du FFN (avec le Douglas) marque un réel bouleversement pour la biodiversité et les sols, durant plusieurs siècles, surtout dans le cadre de peuplement pur [35]. Ces peuplements couvrent plus de 50 % de la surface forestière du Massif central [21]. Entre ces deux extrêmes coexistent de nombreux faciès intermédiaires, créant une diversité de contextes forestiers [33]. Au carrefour de plusieurs zones climatiques (atlantique, continentale ou encore méditerranéenne) et riche d'une grande diversité de substrats géologiques, le Massif central présente ainsi naturellement une diversité d'essences dans ses paysages [21]. Des hêtraies-sapinières montagnardes aux chênaies vertes cévenoles, les essences diffèrent considérablement entre les territoires [21]. Cette diversité est également influencée par le morcellement foncier, le grand nombre de propriétaire et l'hétérogénéité de leurs pratiques sylvicoles [21].

## Des enjeux particulièrement importants

Les sols forestiers du Massif central font face à une impraticabilité parfois toute l'année, exacerbée par des pressions à la fois historiques et émergentes. Parmi celles-ci, l'exploitation mécanisée, le poids de la filière économique, la demande croissante de bois-énergie accentuent la dégradation des sols, déjà fragilisés par un historique mouvementé. Aujourd'hui, les forêts du Massif central sont confrontées à de nouvelles pressions comme les impacts déjà observables du dérèglement climatique ou la mécanisation croissante de l'exploitation, soulevant de nombreuses interrogations [35]. Les plantations monospécifiques entraînent également une perte de typicité de la flore, ce qui pose des questions sur la résilience de ces peuplements dans les années à venir [35]. Le remplacement d'une végétation forestière spontanée, dominée par des essences autochtones, par une plantation pure d'essences exotique après coupe à blanc et travail du sol entraîne donc de nombreux effets négatifs, même si l'état boisé se reconstitue ensuite et que les espèces les plus ubiquistes (espèces présentes sur de larges territoires) peuvent survivre. Un tel bouleversement est considéré comme une destruction d'habitat au sens de la directive "Habitats" (réseau Natura 2000), la forêt obtenue ensuite relevant d'un type de végétation forestière artificielle [35].

## Des initiatives régionales en faveur des sols

A l'échelle du Massif central, quelques actions supplémentaires sur les sols forestiers sont déjà mises en place dans certains territoires. Il y a, tout d'abord, un projet de recherche nommé InSylBioS visant à étudier les peuplements de Hêtres et de Douglas sur du sud du Massif central [21]. Des forêts écoles, comme en Lozère avec le CNPF mettant en avant des pratiques de gestion durable et à faible impact sur les sols [21]. La prise en compte des sols dans les travaux sylvicoles est essentielle, car selon le guide PROSOL, les sols forestiers du Massif central sont impraticables quasiment toute l'année (cela est à nuancer localement) [6]. Certains parcs naturels régionaux mettent déjà des choses en place, c'est le cas notamment du PNR du Pilat. Ces grands objectifs sont la diversification des essences ; le maintien d'un couvert forestier continu, en privilégiant un traitement en irrégulier ; la mise en place d'une trame de vieux bois ; ou encore le respect des recommandations sur les sols [2].

## Problématique et hypothèses

Nous venons de constater que les sols doivent faire face à de nombreuses épreuves induites par les activités humaines, et notamment la sylviculture. Par conséquent, la mise en place d'actions moins dégradantes pour le sol semble primordiale afin d'augmenter la résilience et la production des peuplements à long terme. C'est dans cette dynamique que les parcs du Massif central mènent une réflexion collective sur la mise en place d'actions en faveur des sols forestiers. Cette action s'inscrit dans le 5<sup>ème</sup> volet du projet Forêts Anciennes, porté par l'IPAMAC. En effet, la prise en compte des sols dans la gestion sylvicole représente un enjeu de connaissance et de communication important dans le contexte actuel.

Nous allons, dans ce mémoire, essayer d'améliorer la connaissance des parcs et des acteurs forestiers sur les sols forestiers, et de faire prendre conscience de l'importance de les prendre en compte dans les pratiques sylvicoles. Nous allons ainsi répondre la problématique suivante :

**« Face aux effets du changement climatique, quelles stratégies de gestion et de préservation des sols forestiers peuvent être mises en œuvre dans les Parcs du Massif central, pour garantir leur résilience à long terme ? »**

Pour répondre à cette problématique, et aux objectifs du stage, nous avons émis 3 sous-questions, en termes de positionnement des acteurs et de moi-même sur cette thématique des sols forestiers :

- ❖ Quel rôle peuvent avoir les parcs pour favoriser une gestion forestière plus respectueuse des sols ?
- ❖ Quelles sont les actions mise en place par les acteurs de la filière bois ?
- ❖ Comment valoriser et transmettre les bonnes pratiques aux acteurs forestiers (propriétaires, gestionnaires, etc.) en apportant des éléments de compréhension ?

## Partie 3 : Méthodologie mise en place

### Description de l'ensemble des missions réalisées

#### Mes missions en lien avec le projet « Forêts anciennes »

M'insérant dans le 5<sup>ème</sup> volet du programme « Forêts anciennes », cela a donc été l'essentielle de ma mission à l'IPAMAC. Ce programme est porté depuis 2015, et s'articule en programmes d'actions sur 3 ans. Voici quelques exemples d'actions menées : cartographie et étude de l'ancienneté des forêts, mise en place d'un concours « SylvoTrophée » (pour promouvoir une gestion durable), le déploiement d'une trame de vieux bois, etc.

Le but du stage est de diffuser et promouvoir les bonnes pratiques sylvicoles en faveur des sols forestiers applicable aux différents parcs du Massif central. Pour cette mission, nous avons réalisé des entretiens, participé à diverses réunions et mis en place un livret pour les acteurs forestiers. Nous avons également pu participer au séminaire forêt (qui a lieu qu'une fois par programmation). Ce séminaire a eu lieu sur deux jours dans le PNR de Millevaches en Limousin. Nous avons passé une demie journée en salle, avec des intervenants qui ont réalisé des présentations sur diverses thématiques autour de la forêt. Nous avons ensuite passé une seconde demie journée sur le terrain avec le chargé de mission « Forêt » afin qu'il nous présente une forêt dont le parc est propriétaire, ainsi que les modalités de gestion associées.



Figure 13 : Temps en salle au séminaire forêts dans le PNR Millevaches en Limousin (source : C.Pugin)



Figure 14 : Sortie terrain au séminaire forêt (source : C.Pugin)

#### Mes missions en lien avec les projets Biodiversité de l'IPAMAC

En parallèle de la mission sur les sols forestiers, nous avons pu découvrir d'autres thématiques en participant notamment à un séminaire sur « La Trame Noire en question : intérêts et limites ? » dans le PNR du Morvan et à des rencontres techniques sur la gestion des landes à genets dans les Cévennes du réseau Milieux Ouverts Herbacés. Ces deux temps ont eu lieu sur deux jours, avec des temps de présentation avec des intervenants, des ateliers et/ou des sorties sur le terrain. Nous avons également participé à divers webinaires, et réunions en lien avec la fédération des parcs naturels régionaux.



Figure 16 : Séminaire sur la Trame Noire dans le PNR du Morvan (source : C.Pugin)



Figure 15 : Journées techniques Milieux Ouverts Herbacés dans les Cévennes (source : M.Fougerouse)

## Mes missions annexes

En plus de mes missions en lien avec la biodiversité, nous avons contribué au Laboratoire des itinérances, coordonné par l'IPAMAC en réalisant une cartographie des itinérances cyclables et pédestres du Massif central (voir annexe n°4). Nous avons aussi participé à la vérification des challenges de la Grande Traversée du Massif central en VTT & Gravel, et mis à jour le parcours Gravel. Dans le cadre du séminaire « Accueillir sans dégrader : outils, leviers et innovations pour un tourisme responsable dans les territoires du Massif central », nous avons eu l'opportunité d'intervenir sur l'impact de la fréquentation sur les sols, auprès des chargés de mission « Tourisme » des parcs et des pôles de pleine nature du Massif central. Nous avons également animé un atelier de 1h30 sur la gestion de la fréquentation en milieu naturel. Pour finir, nous avons réalisé trois journées de terrain avec le Conservatoire Botanique National, sur le Plan National d'Action des forêts alluviales du Rhône, ainsi que sur un suivi dendrométrique des forêts anciennes du Pilat.



Figure 17 : Séminaire des pôles de pleine nature du Massif central (source : IPAMAC)

## Les ajouts ponctuels

Pour compléter, nous avons réalisé différentes cartographies pour contextualiser au mieux le milieu forestier au sein des parcs et du Massif central. Nous avons aussi créé plusieurs illustrations et schémas pour les livrables, ainsi que pour l'analyse des résultats du mémoire.

## Mon intégration dans l'équipe IPAMAC

Nous sommes arrivés dans un contexte où l'équipe technique avait connue plusieurs départs en raison d'une baisse de financement. Aujourd'hui, il y a donc trois personnes salariées de l'association : Laura LEOTOING (déléguée générale), Marie FOUGEROUSE (chargée de projet biodiversité) et une secrétaire comptable, Nathalie BOUGET qui est présente 3 vendredis par mois. Lors de ce stage, nous étions deux stagiaires, avec Clara TERRIER sur l'adaptation des activités de pleine nature face aux changements climatiques.



Figure 18 : Organigramme de la structure (source : C.Pugin)

## Calendrier des tâches

L'essentiel de notre temps passé dans la structure a été consacré à la réalisation du projet sur la préservation des sols forestiers, avec des temps d'échanges avec les chargés de mission des parcs et des partenaires (voir figure 19). Nous avons également participé à diverses réunions, webinaires, ou encore des séminaires mis en place par l'IPAMAC (voir annexe n°5).

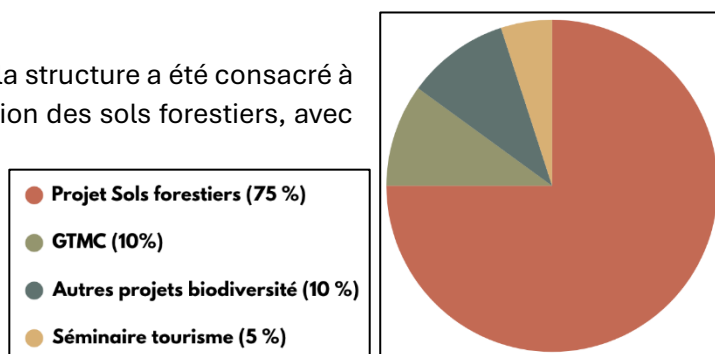


Figure 19 : Répartition du temps de travail (source : C.Pugin)

## Méthodologie des différentes étapes du projet

Dans cette partie, nous allons détailler la méthodologie mise en place pour répondre aux objectifs du stage. Tout d'abord, nous verrons comment mener un projet avec différents acteurs, ensuite les entretiens semi-directifs, et pour finir, nous verrons comment construire des livrables pour transmettre des connaissances aux différents publics cibles.

### La gestion de projet

La principale méthode que nous avons mis en place pour ce projet a été la gestion de projet. En effet, l'IPAMAC réalise essentiellement des missions de chargé.es de projets en coordonnant des programmes d'actions avec les parcs du Massif central.

#### Le cadrage du projet

Cette première étape a consisté à définir précisément le projet en impliquant l'ensemble des parties prenantes, à savoir les chargé.es de mission « Forêts » et/ou les personnes en charge des dossiers forestiers au sein des neuf parcs naturels régionaux avec lesquels nous collaborons. Pour y parvenir, nous avons organisé une réunion de cadrage visant à dresser un état des lieux de leurs connaissances, besoins et objectifs spécifiques concernant les sols forestiers sur leurs territoires respectifs. Cette rencontre a également permis de définir collectivement les livrables attendus et d'établir un calendrier prévisionnel pour structurer le déroulement du projet. Tenue mi-mars, cette réunion a été préparée à l'aide d'un diaporama composé de deux parties : une première partie où nous nous présentons, une seconde partie en lien avec les objectifs du stage.

#### L'état de l'art

À la suite de la réunion de cadrage, nous avons mené un état de l'art bibliographique complet sur les sols forestiers, qui a servi de socle théorique tant pour les livrables du projet que pour la rédaction de ce mémoire. Nos recherches ont porté sur plusieurs axes fondamentaux : la définition même d'un sol forestier, son fonctionnement écologique, les enjeux liés aux changements climatiques qui pèsent sur ces écosystèmes, ainsi que les actions déjà déployées pour limiter l'impact des activités humaines sur leur intégrité. Pour ce faire, nous avons analysé une quarantaine de documents, allant des articles scientifiques aux guides pratiques, en passant par des rapports techniques ou encore des webinaires. Afin d'enrichir cette base documentaire, nous avons également participé à une formation spécialisée sur les sols forestiers, dispensée par l'Association Française pour l'Etude des Sols (AFES). Enfin, un entretien avec Noémie POUSSE, experte des sols forestiers à l'Office National des Forêts (ONF), nous a permis d'approfondir certains aspects techniques et de confronter nos recherches à des retours d'expérience concrets.

#### La réalisation du projet

Une fois les étapes préliminaires achevées, nous sommes passés à la phase de réalisation concrète du projet, marquée par une répartition du travail en deux axes principaux, conformément aux livrables définis en amont. Le premier volet a consisté à élaborer une synthèse des connaissances sous la forme d'une boîte à outils destinée aux chargé.es de mission des parcs naturels régionaux du Massif central, leur offrant ainsi un support pratique et accessible pour leurs actions quotidiennes. Le second livrable prend la forme d'un guide des bonnes pratiques, spécialement conçu pour les acteurs forestiers, qu'il s'agisse des propriétaires, des gestionnaires, des entreprises de travaux sylvicoles ou encore des exploitants, afin de promouvoir des méthodes permettant de limiter l'impact des coupes de bois sur les sols. Pour alimenter ces deux documents, nous nous sommes largement inspirés des travaux menés dans le cadre de

l'état de l'art, complétés par les entretiens semi-directifs réalisés auprès des professionnels du secteur, dont les résultats seront détaillés dans la partie suivante.

### La restitution du projet

A la suite de plusieurs échanges avec la fédération des parcs naturels régionaux qui travaille également sur ce sujet depuis la rédaction du plan d'action national en faveur des sols forestiers, nous avons décidé d'organiser un webinaire à destination de l'ensemble des parcs naturels régionaux de France, afin de partager les avancées issues de nos travaux et de renforcer la cohésion entre les acteurs du territoire.

Cet événement, structuré en deux temps, permet d'abord de présenter les résultats de notre travail, incluant les méthodologies employées, les données recueillies et les retours d'expérience terrain, avant de laisser place à une intervention de Noémie POUSSE, experte du tassement des sols, qui y aborde les enjeux écologiques, les impacts sur les écosystèmes forestiers et les pistes pour atténuer ce phénomène. Au-delà de la diffusion des connaissances, ce webinaire offre également l'opportunité de mettre en avant le guide pratique élaboré durant le stage, un outil conçu pour accompagner les gestionnaires dans leurs démarches de préservation. Pour appuyer ces échanges, nous avons conçu un diaporama reprenant les éléments essentiels du livret produit, afin de rendre les informations plus accessibles et de faciliter leur appropriation par les participants.

### Les entretiens semi-directif

Afin de bien cerner les enjeux de chacun des parcs du Massif central, nous avons réalisé des entretiens semi-directifs avec les chargé.es de mission « Forêt » (pour les parcs n'ayant pas de chargé.e de mission forêt au moment de l'entretien, ce sont les chargé.es de mission biodiversité et/ou les responsables de pôle biodiversité). Ces entretiens ont eu lieu durant le mois de mars et d'avril.

### Cadrage des entretiens

La première étape a donc consisté à cadrer ces échanges. Nous avons ainsi défini les objectifs, afin par la suite de construire les guides d'entretiens. Le but de ces temps est d'échanger sur le contexte forestier de chaque territoire, et sur les actions menées par les parcs, ainsi que le positionnement des acteurs forestiers sur cette thématique.

Nous avons donc réalisé des entretiens avec les chargé.es de mission « Forêt » (ou des personnes s'occupant de la thématique forêt) des neuf parcs impliqués dans le projet. Pour compléter, nous avons réalisé un entretien avec la fédération des parcs naturels régionaux (qui porte un projet pilote sur les sols forestiers), et aussi le chargé de mission « Forêt » du PNR du Pilat puisqu'il a participé à déjà menés des projets sur les sols. Nous avons également réalisé des entretiens avec Noémie POUSSE (pédologue au sein de l'ONF), ainsi que deux personnes de l'ADEME (l'agence de la transition écologique, qui finance des projets autour des sols) pour bien cerner le sujet et comprendre comment s'articule les projets à l'échelle nationale sur les sols forestiers.

## Les guides d'entretiens

Afin de réaliser une analyse qualitative approfondie des entretiens menés, nous avons élaboré des grilles d'analyse spécifiques, adaptées à chaque catégorie d'acteurs interrogés. Ces grilles constituent un outil essentiel pour structurer les informations recueillies et en faciliter l'exploitation (voir annexe n°6).

Les entretiens ont, dans leur grande majorité, été réalisés en visioconférence, une modalité qui a permis de surmonter les contraintes géographiques et logistiques. Seule exception : l'échange avec le chargé de mission forêt du Parc Naturel Régional du Pilat, qui a pu se tenir en présentiel, nos locaux étant communs.

Pour organiser ces données, nous avons opté pour une structuration par thématiques, visible dans le tableau présenté ci-dessous. Cette approche offre plusieurs avantages majeurs. D'une part, elle permet une comparaison systématique des réponses entre les différents acteurs, en mettant en évidence les convergences, divergences ou complémentarités dans leurs discours. D'autre part, elle favorise une analyse transversale, en révélant les liens entre les différentes dimensions abordées.

| Thématiques abordées                        | Fédération des Parcs naturels régionaux | ADEME | Noémie POUSSE – pédologue à l'ONF | Chargé.e de mission des parcs impliqués dans le projet | Chargé de mission « Forêt » au PNR du Pilat (hors projet) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Contexte forestier du territoire            |                                         |       |                                   | X                                                      | X                                                         |
| Généralité sur les sols forestiers          |                                         |       | X                                 |                                                        |                                                           |
| Sensibilité des acteurs aux sols forestiers |                                         | X     | X                                 | X                                                      | X                                                         |
| Actions déjà mises en place                 | X                                       |       |                                   | X                                                      |                                                           |
| Rôle des parcs                              | X                                       | X     | X                                 | X                                                      | X                                                         |
| Enjeux et objectifs du projet               | X                                       | X     | X                                 | X                                                      |                                                           |
| Techniques sylvicoles favorables aux sols   |                                         | X     | X                                 |                                                        |                                                           |
| La mise en place d'un plan d'action         |                                         | X     | X                                 |                                                        | X                                                         |

Tableau 2 : Thématiques abordées dans les entretiens (source : C.Pugin)

## L'analyse des entretiens

Nous avons fait le choix de ne pas réaliser de retranscription des verbatims, car nous ne souhaitons pas réutiliser le discours des personnes interrogées par la suite. Nous avons donc pris des notes sur papier, que nous avons parfois compléter avec la retranscription en direct proposée par Microsoft Teams, dans le but de réaliser des comptes-rendus.

Ces entretiens nous ont permis de connaître un peu mieux le contexte forestier de chaque parc, pour ensuite orienter nos recherches bibliographiques et adapter nos recommandations d'actions. Par exemple, nous avons approfondi la question de la gestion des espaces post-incendies et des conséquences sur les sols forestiers.

## La construction des livrables

### La synthèse des connaissances pour les chargé.es de mission des parcs

Ce premier livrable est à destination des parcs, dans le but de les faire monter en compétence sur les sols forestiers. L'enjeu est de faire un document assez court qui prend en compte un niveau de connaissance assez hétérogène entre les personnes. Celle-ci sera construite sous la forme d'une boîte à outils, avec des documents complémentaires pour approfondir certains sujets. Ce travail se base donc sur la bibliographie que nous avons réalisé en début de stage, servant de base à l'ensemble des livrables et à ce mémoire. Il n'y a pas de méthodologie particulière appliqué à ce travail, mais simplement un travail de rédaction et de synthétisation des données que nous avons récolté.

### Le livret des « bonnes pratiques »

Ce second livrable consiste à réaliser un livret d'une dizaine de page à destination des acteurs forestiers (propriétaires, gestionnaires, etc.). Le but est de leurs apporter quelques connaissances sur les sols forestiers et de les sensibiliser aux impacts de la sylviculture. Ce livret sera découpé en deux parties :

- Une première partie qui consiste à apporter des connaissances sur les sols forestiers, afin d'en comprendre le fonctionnement, ainsi que le rôle qu'ils jouent dans l'écosystème forestier et notamment sur les peuplements. Cette partie est complété par une illustration qui met en avant les conséquences d'un sol dégradé sur les peuplements par rapport à un sol en bon état.
- Une seconde partie consiste à mettre en avant les différentes actions pour réduire les impacts de la sylviculture. Cette partie se base sur des documents existants : guide PROSOL, Pratic'Sol, GERBOISE, ou encore l'application For-Eval qui proposent déjà des outils et pratiques peu connues par les forestiers.

Pour la réalisation de ce livret, nous nous sommes appuyés sur l'ensemble des lectures que nous avons fait, mais aussi des entretiens, afin de proposer quelques choses de cohérents avec les territoires. Ce projet a été créé et mis en page sur le logiciel Affinity, un logiciel de graphisme gratuit associé à l'outils Canva. Nous avons donc dû apprendre à manipuler ce logiciel afin de produire un rendu similaire au guide « Trame de Vieux Bois chez moi » qui avait été produit par l'IPAMAC lors d'une précédente phase du programme « Forêts Anciennes ». De plus, ce travail a nécessité de faire de la vulgarisation scientifique, pour rendre accessible et donner envie aux acteurs de faire évoluer leurs pratiques. Pour cela, nous avons notamment fait relire notre livret à Laura et Clara (les autres personnes de l'équipe) pour avoir un avis extérieur et un regard neuf sur notre travail.

## Partie 4 : Résultats

### Les sols forestiers, une préoccupation des parcs du Massif central ?

Dans cette première partie, nous allons exposer les résultats des entretiens avec les chargés de mission des parcs ainsi que personnes que nous avons pu interroger. Nous avons pour cela, regrouper en quatre grandes thématiques les réponses.

#### Enjeux associés aux sols forestiers

Les sols forestiers des parcs du Massif central constituent un enjeu majeur dans un contexte marqué par les changements climatiques et l'augmentation des risques d'incendie, nécessitant une prise en compte urgente dans la gestion sylvicole. En effet, les travaux forestiers, tels que le passage de machines lourdes, peuvent entraîner un tassement des sols, une érosion accrue ou encore une perte de fertilité chimique, compromettant ainsi leur rôle écologique essentiel (régulation hydrique, stockage du carbone, maintien de la biodiversité). Les entretiens avec les acteurs locaux révèlent que la réduction de ces impacts, par l'adoption de techniques alternatives (matériel adapté, limitation des interventions en période humide, maintien d'une couverture végétale), est devenue une priorité. Parallèlement, un second enjeu émerge : garantir la résilience à long terme des peuplements forestiers, en préservant les capacités nutritives des sols, en protégeant les zones humides et en anticipant les effets du climat (sécheresses, canicules) par la diversification des essences et la création de mosaïques de milieux. Ainsi, les sols ne sont plus seulement un support de production, mais le fondement même de la durabilité des écosystèmes et de l'adaptation des territoires aux défis futurs.

Les parcs du Massif central doivent également s'emparer de la question des sols forestiers, qui soulève plusieurs défis transversaux : l'apport et la diffusion de connaissances sur leur état, leur fonctionnement et leur vulnérabilité apparaissent comme une priorité, afin de sensibiliser les gestionnaires, les propriétaires et le grand public à leur importance écologique et à la nécessité de pratiques adaptées. Par ailleurs, se pose la question du partage de l'espace forestier avec les activités récréatives (randonnée, VTT, etc.), dont l'augmentation peut générer des pressions supplémentaires sur les sols (piétinement, érosion des sentiers). Enfin, les parcs doivent aussi arbitrer les conflits d'usage entre citoyens et acteurs de la filière bois, notamment autour des coupes rases, souvent perçues comme une menace pour la biodiversité et la qualité des paysages, tandis que les professionnels y voient un outil de gestion nécessaire à la régénération des peuplements ou à la prévention des incendies. Ces tensions soulignent l'importance d'une approche concertée, alliant expertise scientifique, dialogue territorial et recherche de compromis pour concilier préservation des sols, activités humaines et gestion forestière durable.

#### Pratiques dégradantes dans les territoires

Nous savons que certaines pratiques sylvicoles ont des impacts négatifs avérés sur les sols forestiers, c'est pourquoi nous avons sollicité chaque parc du Massif central pour identifier ces pratiques, afin de dresser un état des lieux à l'échelle des territoires. Plusieurs parcs sont ainsi confrontés à la culture de plantations monospécifiques, notamment de douglas, qui font aujourd'hui l'objet de coupes à blanc, une méthode particulièrement dégradante pour la structure et la fertilité des sols. Certains territoires subissent même des conversions de parcelles d'accrus feuillus en plantations de résineux, une tendance qui varie en intensité et en superficie selon les parcs et les zones, avec des conséquences directes sur la biodiversité et la résilience des écosystèmes. Par ailleurs, la problématique des coupes sanitaires d'épicéas, souvent suivies elles aussi de coupes rases et parfois de replantation en douglas, s'ajoute à ces pressions, tandis que d'autres territoires, comme le Périgord-Limousin, se retrouvent confrontés aux impacts de

l'exploitation en taillis, et plus particulièrement du taillis de châtaignier, dont les cycles de coupe répétés peuvent accentuer l'érosion et l'appauvrissement des sols.

Pour finir, certaines dégradations des sols forestiers peuvent également provenir, de manière localisée, des pratiques récréatives, et plus particulièrement de l'usage d'engins motorisés (4x4, motos, etc.), dont le passage répété peut entraîner tassement, érosion ou perte de végétation. Cependant, ces impacts restent marginaux dans les secteurs forestiers du Massif central et ne constituent, à ce jour, pas une priorité d'action pour les parcs, ceux-ci concentrant davantage leurs efforts sur les enjeux liés aux pratiques sylvicoles et à la gestion durable des peuplements.

## Freins potentiels pour travailler sur les sols

Les territoires du Massif central doivent aussi composer avec plusieurs freins structurels qui compliquent la mise en œuvre d'une gestion durable des sols forestiers, qu'ils proviennent de la filière bois ou des parcs eux-mêmes. Côté acteurs forestiers, le principal obstacle réside dans la forte proportion de parcelles privées, entraînant un morcellement important du foncier et une multiplicité de propriétaires, ce qui rend difficile la coordination des pratiques et la mise en place de projets cohérents à l'échelle d'un territoire. À cela s'ajoutent parfois des difficultés de dialogue entre les professionnels de la filière et les parcs, limitant la concertation nécessaire pour une gestion adaptée.

Côté parcs, leur rôle reste parfois peu reconnu dans le domaine forestier, car ils ne sont pas directement gestionnaires de forêts, ce qui peut freiner leur capacité à influencer les pratiques ou à fédérer les acteurs autour d'objectifs communs. De plus, les chargé.es de mission travaillent sur une multitude de sujet au sein de cette thématique, ce qui fait qu'ils n'ont pas spécialement le temps de mettre en place des actions sur les sols. Ils n'ont pas toujours de connaissance sur les sols, ce qui impact la mise en place de projet.

## Les actions déjà mises en place

Malgré des pratiques dégradantes et divers freins dans les territoires, les parcs en travaillant avec les entreprises sylvicoles essayent de mettre en place des actions pour limiter l'impact sur les sols. Dans le parc des Cévennes ou encore des Volcans d'Auvergne, il y a une volonté de certains acteurs à mettre en place de la futaie irrégulière. De plus, certains exploitants réalisent des cloisonnements lors des coupes, avec néanmoins des difficultés à les maintenir dans le temps. Parfois les entreprises de travaux adaptent le pneumatique des engins, non pas pour réduire l'impact sur le sol mais pour éviter de trop s'enfoncer. Il faut donc aussi expliquer à la personne pourquoi son engin s'enfonce à cet endroit, car cela est directement lié à la portance du sol et à sa sensibilité au tassement. Pour finir, certains parcs ont déjà mis en place ou participer à des chantiers avec la mise en place de débardage alternatif soit par câble-mât, soit par traction animale. Cela reste toutefois très ponctuelle et dans le cadre d'arbres à forte valeur économique.

Au-delà des actions menées par les entreprises elles-mêmes, les parcs portent quelques projets en lien avec les sols forestiers. Ils organisent des journées thématiques aussi bien pour le grand public que pour les acteurs de la filière bois. Les chargé.es de mission s'occupent également de l'animation de la charte forestière territoire (lorsque celle-ci existe). Deux parcs du Massif central, le PNR du Pilat et Livradois-Forez ont participé au projet pilote de la fédération des parcs sur la santé des sols. Ce projet consistait à proposer un plan d'action chiffré aux parcs sur les sols agricoles, forestiers et urbains. Le parc du Livradois-Forez réalise aussi des chantiers de restauration des berges, dans le cadre de la compétence GEMAPI. Ils prennent en charge l'ensemble des frais d'exploitation pour supprimer les plantations de douglas aux abords de l'eau, afin de laisser à nouveau des forêts alluviales s'installer. Pour finir, le parc national des Cévennes (de par son statut) réalise en zone cœur des diagnostics écologiques lors de la conception des

plans de gestion par les gestionnaires ou propriétaires. Ainsi, ils limitent les impacts majeurs sur les écosystèmes forestiers comme les coupes à blanc.

Afin de faire le parallèle avec ce que font déjà les parcs, nous avons demandé aux autres acteurs que nous avons interrogé, le rôle que peuvent avoir les parcs sur cette question des sols forestiers. Pour rappel, les parcs ne sont pas gestionnaires de parcelles forestiers, mais une structure qui vise à développer les territoires tout en prenant en compte les enjeux écologiques. Afin que les choses évoluent sur les territoires, il faut faire discuter tous les acteurs de la filière bois (gestionnaires, propriétaires, entreprises de travaux, scieries, etc.) pour trouver des solutions que les personnes sont prêtes mettre en place sur le territoire. Il faut également apporter des connaissances sur les sols, car les personnes n'ont pas toujours conscience des conséquences de leur action. Ce qui fonctionne le mieux est d'aller sur le terrain pour montrer directement les impacts. Cela passe donc par la formation des chargé.es de mission sur les sols. Pour finir, il faut réaliser des temps d'animations avec le grand public afin de leur faire découvrir la gestion sylvicole, car souvent les citoyens ont une méconnaissance.

Suite à ces différents entretiens, nous nous rendons compte que les chargé.es de mission ont besoin de monter en compétences, c'est pourquoi nous allons proposer une synthèse de connaissance sur les sols forestiers. Dans un second temps, pour toucher les acteurs et notamment les propriétaires, nous avons décidé de réaliser un livret sur les bonnes pratiques pour réduire les impacts de la sylviculture sur les sols (voir annexe n°7).



Figure 20 : Bilan des entretiens avec les chargés de mission (source : C.Pugin)

## La montée en compétence des chargés de mission des parcs sur les sols

### La synthèse de connaissance sur les sols forestiers

Suite à la réunion de cadrage, que nous avons fait en mars, nous nous sommes rendu compte que les chargés de mission des parcs avaient besoin de développer leurs connaissances sur les sols forestiers avant de mettre en place des actions dans leur territoire. Pour cela, nous avons validé ensemble de créer une synthèse sous la forme de boîte à outils. La plus grande difficulté

de ce travail, est de réussir à faire un document qui soit à la fois synthétique, mais assez riche en informations. En effet, nous avons des chargé.es de mission qui ont un niveau de connaissance sur les sols très hétérogène, certains ont une formation d'ingénieur forestier, et donc des notions dans le domaine, d'autres ont suivi la formation délivrée par l'AFES et certains n'ont aucune connaissance sur la thématique.

Pour ce document, nous nous sommes appuyé la bibliographie que nous avons réalisé en début de stage. Nous avons également demandé aux différentes personnes, les sujets sur lesquelles elles souhaitent avoir des informations pour compléter nos recherches. Nous avons donc divisé le travail en 5 parties.

| Parties                                             | Eléments abordés                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Un sol forestier, quésaco ?                         | Comprendre un sol forestier (définition, formation, etc.), et le fonctionnement avec les différents processus                                                 |
| Comment définir un sol forestier                    | Définir une texture, prendre en compte la végétation et les grands types de sols forestiers dans le Massif central                                            |
| Les enjeux autour des sols                          | Le rôle des sols dans l'écosystème forestier, les sols forestiers de demain face aux changements climatiques (avec un zoom sur la lutte contre les incendies) |
| Les impacts des activités anthropiques              | Le tassement et l'érosion du sol, les traitements sylvicoles (coupe à blanc, taillis, plantations, le bois énergie).                                          |
| Les actions possibles en bref                       | Un tableau synthétique des actions, et une ouverture sur l'action des parcs sur cette thématique                                                              |
| Partie complémentaire sur les activités récréatives | Les impacts et les solutions possibles, ainsi qu'un zoom sur les manifestations sportive tel que les trails                                                   |

Tableau 3 : Plan de la synthèse des connaissances pour les chargé.es de missions des parcs du Massif central (source : C.Pugin)

Cette synthèse fait donc une dizaine de page, soit un petit peu plus que la commande de départ, qui était de 4-5 pages. Ce document est complété par un tableau de synthèse sur les sols forestiers qui met en parallèle les informations sur le fonctionnement des sols, les impacts avec les causes et les conséquences, ainsi que les actions à mettre place pour réduire les impacts. Ce tableau rend visuel les liens et les interdépendances entre les différentes composantes des sols.

## Le séminaire sur l'impact de la fréquentation d'un site naturel sur les sols

Nous avons participé en tant qu'intervenante à un séminaire avec les pôles de pleine nature et les chargé.es de mission « Tourisme » des parcs du Massif central. Lors de cette journée, nous avons échangé et travaillé sur la thématique suivante : « Accueillir sans dégrader : outils, leviers et innovations pour un tourisme responsable dans les territoires du Massif central », afin de faire monter en compétence les participants. La journée était découpée en deux temps, avec une matinée de présentation, avec trois intervenants, et une après-midi d'atelier (animé par les trois intervenants du matin).



Figure 21 : Temps de présentation sur les sols (source : IPAMAC)

Nous avons donc le matin, réalisé une présentation d'une trentaine de minute sur l'impact de la fréquentation sur les sols, que nous avons découpé en trois grandes parties :

- **La première partie** consistait à expliquer ce qu'est un sol et comment il fonctionne, ainsi que le rôle qu'ils ont dans les écosystèmes (aussi bien forestiers, que de manière générale). Nous avons également remis en contexte les termes fréquentation et surfréquentation d'un site naturel.
- **Une seconde partie** qui visait à mettre en avant les impacts des activités de pleine nature sur les sols, avec un zoom sur les manifestations sportives comme les trails. Nous nous sommes concentrés sur les impacts de la randonnée et du VTT.
- **Une dernière partie** sur des pistes de solutions pour réduire l'impact sur les sols. Nous avons illustré ces actions avec des exemples concrets dans le Massif central : aménagement au sommet du Puy de Dôme, du Sancy, etc. Nous avons également apporté quelques éléments en lien avec les manifestations sportives.

La présentation était couplée avec une trentaine minute de questions, afin de compléter et pouvoir échanger sur les actions déjà mises en place dans les territoires. Le but de cette matinée était d'apporter des connaissances et d'échanger sur les solutions.



Figure 22 : Temps de présentation sur les sols (source : IPAMAC)

L'après-midi, nous avons animé un atelier d'une heure et demie avec une douzaine de personnes, toujours sur la thématique autour des sols. Cet atelier est un jeu de rôle avec 6 acteurs différents dans le but de trouver des solutions pour réduire l'impact de la fréquentation sur les sols à partir d'un site exemple. Nous avons donc créé une carte (ci-dessous, figure 23) afin de visualiser la zone de travail. Le contexte était le suivant :

*« Un point de vue à proximité d'un parking offre une vue imprenable sur la chaîne des Alpes et notamment le Mont Blanc. C'est le spot à avoir sur son compte Instagram. »*

Cependant le site se retrouve impacté par cette fréquentation trop importante avec des conséquences visibles sur le paysage : tassement et érosion des sentiers, création de chemins sauvages, piétinement de la végétation, dérangement d'insectes, etc. La capacité d'accueil du parking contraint les visiteurs à se garer en bord de route, augmentant le risque de collision avec les autres usagers. De plus, certains habitants à proximité commencent à en avoir marre de cette surfréquentation. Le Parc naturel régional des Monts Olympes est gestionnaire du site, et le site est sur une seule commune, la commune d'Olympe. »

Et voici les objectifs : « Les acteurs locaux veulent donc trouver des solutions pour canaliser la fréquentation tout en maintenant l'attractivité du site, car c'est un point d'intérêt pour le territoire. Le but est d'échanger pour trouver des solutions communes afin de repenser l'usage de cet espace. »

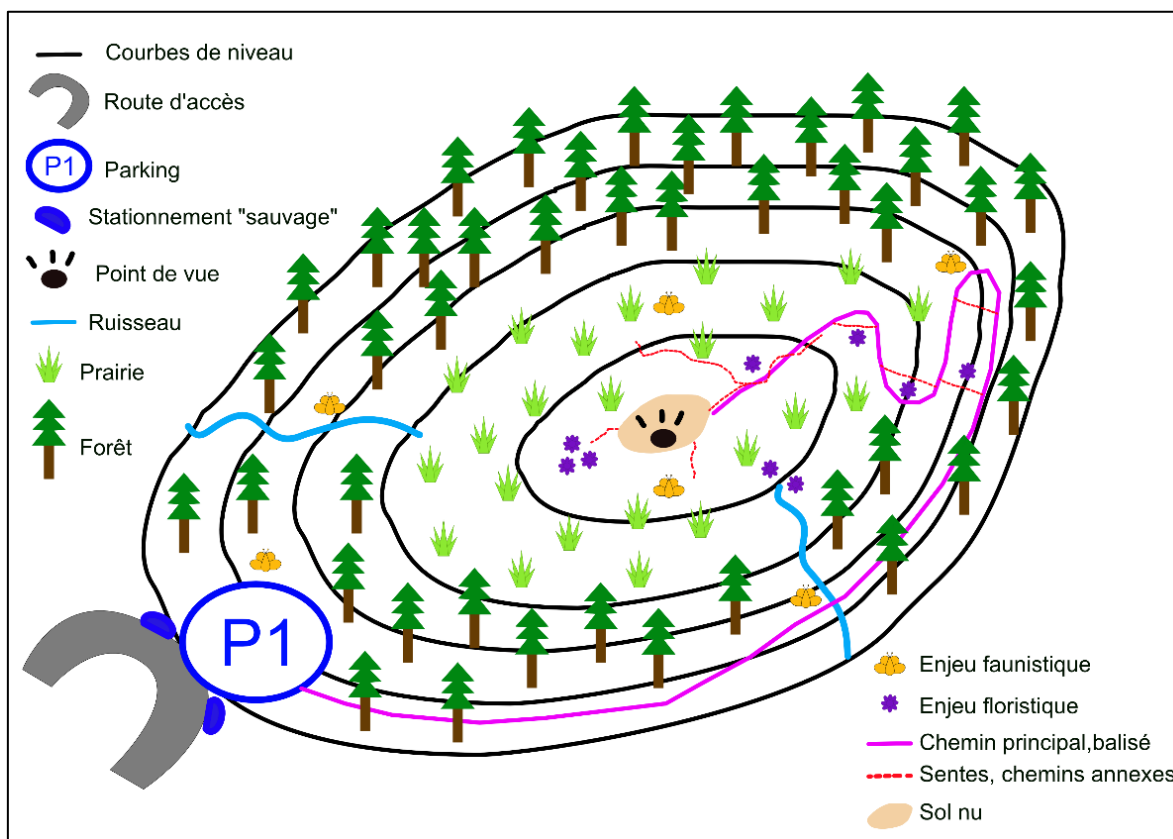


Figure 23 : Support graphique pour l'atelier (source : C.Pugin)

Nous avons également préparé 6 fiches acteurs, que nous avons distribué aux personnes, une fois les rôles tirés au sort. Ces fiches (voir annexe n°8) présentaient les objectifs et les contraintes des différents rôles. Voici les rôles sélectionnés pour cet atelier :

- **Un office de tourisme** qui avait pour but de maintenir l'attractivité du site, car c'est un lieu incontournable du territoire et satisfaire les clients qui visite le site ;
- **Un parc naturel régional** avec pour objectifs de limiter la dégradation du milieu et trouver un compromis entre maintenir l'accès au site et le préserver aux vues des enjeux écologiques ;
- **Une association de randonneurs** avec pour but de défendre l'accès à la nature et plus particulièrement au site ;
- **Un influenceur sur les réseaux sociaux** qui a aussi pour but de continuer d'avoir accès au site, ainsi que de trouver des spots uniques pour les réseaux ;

- **Un habitant local** qui souhaite réduire la fréquentation du site en préservant la tranquillité des lieux et la nature ;
- **Un élu local** qui aimerait trouver un équilibre entre le développement touristique de son territoire et la préservation du site, mais aussi assurer la sécurité des visiteurs.

Les participants étaient divisés en deux groupes et chacun à proposer des solutions différentes en fonction de ce qui a été dit lors des présentations dans la matinée, ainsi que les expériences des chargé.es de mission sur ces questions de fréquentation.

| Actions                   | Groupe 1                                                                                                                                                                                                                               | Groupe 2                                                                                                                                                                 |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Restauration du site      | Modification du tracé avec une sécurisation par un fil permanent au niveau des endroits problématiques, création d'une passerelle sur la rivière.                                                                                      |                                                                                                                                                                          |
|                           | Aménagement au sommet : plateforme avec bois local, explication des points de vue (vue lointaine et vue prairie fleurie) ; sécurisation avec des barrières, fil d'ariane ou mis en défens, pour empêcher l'accès aux zones d'intérêts. |                                                                                                                                                                          |
| Sensibilisation du public |                                                                                                                                                                                                                                        | Valorisation du lieu avec des panneaux pédagogiques.                                                                                                                     |
|                           | Utilisation de la communication engageante.                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |
| Aménagement               | Suppression du parking : aménagement d'une aire de pique-nique, de stationnements vélos, mise en place de panneaux de sensibilisation et de poubelles de tri.                                                                          | Création d'un sentier retour pour faire une boucle accessible aux PMR (avec un platelage bois pour limiter les impacts sur le milieu).                                   |
|                           | Aménagement d'une piste pédestre depuis le bourg, location de vélos et mise en place de navettes (gratuites ou peu coûteuses) en saison (dans lesquelles des vidéos de sensibilisation sont transmises).                               | Mise en place d'un chantier associatif avec les habitants, valorisation des actions avec une campagne Instagram ; étude du foncier et réhabilitation de l'ancien chemin. |

Tableau 4 : Résultats des ateliers (source : C.Pugin)

Nous constatons que les deux groupes ont plus ou moins aboutis à des actions similaires. Ils ont mené un travail de réflexion sur l'accès du site, que ce soit au niveau du sentier, mais également du parking d'accès. Il y a même un groupe, qui a proposé un système de navette en période estivale. Ils se sont également inspiré des exemples d'aménagement (que nous avons présenté le matin) pour proposer une restauration du site. Cela passe notamment par la création de passerelle au niveau du ruisseau, mais aussi la mise en place d'une corde qui permet de canaliser les visiteurs sur le sentier. Une dernière solution s'appuyait sur de la communication engageante, dont nous avons échangé le matin, avec un autre intervenant.

## Un webinaire sur les sols forestiers

Afin de poursuivre sur la montée en compétence des chargé.es de mission des parcs, nous avons décidé avec la fédération des parcs naturels régionaux, d'organiser un webinaire pour la restitution de mon stage. Le but est de partager le travail réalisé au-delà des parcs du Massif central. Ce webinaire durera 1h30 et aura lieu le 1<sup>er</sup> septembre (c'est pourquoi, il ne sera pas analysé dans le cadre de ce mémoire). Ce temps d'échange est co-animé avec Noémie POUSSE de l'ONF, qui fera une intervention de 30 min sur le tassement des sols, ainsi qu'un rapide point d'actualité sur le plan national d'action en faveur de la santé des sols forestiers.

Concernant notre partie, nous allons le diviser en trois grandes parties :

- Une partie de mise en contexte du projet, où nous allons présenter l'association IPAMAC, ainsi qu'un rapide point sur la définition d'un sol forestiers.
- Une seconde partie qui fera le point sur les différents impacts liés à la gestion sylvicole.
- Une dernière partie, la plus importante, qui mettra en avant les actions formulées dans le livret que nous avons construit.

## Un guide pour préserver les sols forestiers

Ce livret constitue le livrable principale de ce stage qui a été décidé collectivement lors de la réunion de cadrage avec les chargé.es de mission des parcs engagé dans le projet. Le visuel est basé sur un autre livret « Trame de vieux bois chez moi » qui avait été élaboré par l'IPAMAC. Nous avons fait ce choix car le livret a plutôt bien été diffusé et apprécié auprès des propriétaires forestiers. Le public cible de notre livret est donc également les propriétaires et gestionnaires forestiers. Nous allons rapidement détailler les grandes parties : (mettre des captures des pages)

- Première double page qui présente ce qu'est un sol forestier, en apportant une définition, des éléments sur la biodiversité, mais aussi un schéma qui explique les grands types d'horizons. Pour finir, il y a un encadré sur l'influence du climat et le rôle que les sols assurent pour l'écosystème forestier (voir figure 24).



Figure 24 : Première double page du livret sur les sols forestiers (source : C.Pugin)

- La seconde double page est composée d'une illustration qui compare un sol en bon état et un sol dégradé. L'objectif est de montrer, visuellement le lien entre l'état du sol et celui des peuplements, ainsi que les conséquences d'une sylviculture mal pensée (voir figure 25).

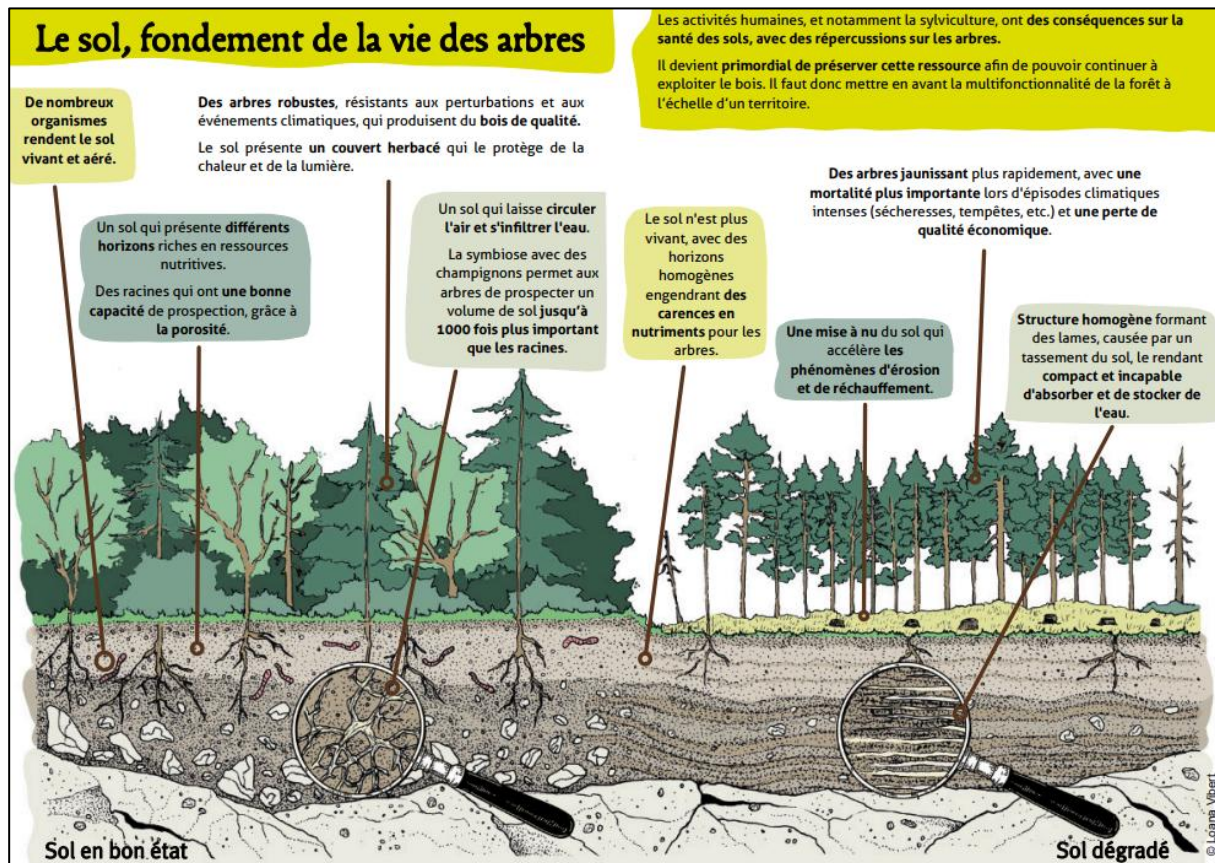


Figure 25 : Illustration sur les conséquences d'un sol dégradé sur les peuplements (source : C.Pugin)

- Il y a ensuite 4 pages qui décrivent les actions à mettre en place pour limiter les impacts sur les sols. Nous avons dans un premier temps, hiérarchisé ces actions en fonction de leur temporalité par rapport au chantier (avant, pendant ou après), mais cela manquait de sens car certaines devaient être prises en compte lors de toutes les phases. Nous avons donc fait le choix, de ne pas hiérarchiser les actions car aucun classement (difficulté de mise en place, coût, etc.) ne semblait pertinent. Pour chacune des actions, nous avons mis le lien des guides à consulter. Voici un récapitulatif des actions proposées dans le livret (voir figure 26) :

| Actions                                 | Objectifs                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Réaliser des diagnostics de sensibilité | Evaluer la sensibilité de sa parcelle au niveau des nutriments, de l'érosion ou encore du tassement.                                             |
| Adapter le planning des coupes          | Réduire le risque de dégradation majeure du sol par tassement, ainsi que la formation d'ornières.                                                |
| Mettre en place des cloisonnements      | Limiter le tassement du sol. L'impact maximal des engins a lieu dans les 3 premiers passages, avec un tassement de 90 % du sol.                  |
| Limiter l'export des menus-bois         | Réduire les carences nutritives suite à un export de matière organique.                                                                          |
| Adapter les engins                      | Diminuer le risque de dégradation majeure du sol par tassement, ainsi que la formation d'ornières.                                               |
| Le débardage alternatif                 | Limiter les impacts des engins forestiers sur les sols. Cela permet de préserver des zones sensibles comme les cours d'eau et les zones humides. |
| La régénération du peuplement           | Avoir une forêt diversifiée, résistante aux aléas climatiques (tempêtes, sécheresses, etc.), avec un bois de qualité et un sol vivant.           |
| La futaie irrégulière                   | Avoir une forêt diversifiée, riche en biodiversité et capable de s'adapter aux changements climatiques                                           |

Tableau 5 : Actions préconisées dans le livret des bonnes pratiques (source : C.Pugin)

### Réaliser des diagnostics de sensibilité

Cela permet d'évaluer la sensibilité de sa parcelle au niveau des nutriments, de l'érosion ou encore du tassement.

**Étape 1 :**  
Faire les quatre diagnostics de sensibilité proposés par l'application [For-Eval](#).

| Export de nutriment                                                                                   | Érosion hydrique                                        | Sensibilité au tassement                                                | Réservoir en eau utilisable                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Évalue si les réserves nutritives d'un sol sont suffisantes pour supporter une récolte de menus-bois. | Détermine si une forêt est exposée au risque d'érosion. | Analyse si un sol est capable de résister à une intervention mécanisée. | Estime la capacité du sol à stocker l'eau, permettant d'ajuster la gestion et le choix des essences. |

**Étape 2 :**  
Prendre en compte les recommandations associées à la parcelle diagnostiquée et se référer aux guides [PROSOL](#), [Pratic'sols](#) ou encore [GERBOISE](#).

### Mettre en place des cloisonnements

Cette action vise à limiter le tassement du sol. L'impact maximal des engins a lieu dans les 3 premiers passages, avec un tassement de 90 % du sol.

**Étape 1 :**  
Faire un état des lieux des voies de circulation de la parcelle et identifier les zones sensibles : zones humides, cours d'eau, etc.

**Étape 2 :**  
Mettre en place un réseau de cloisonnement optimisé. Les cloisonnements doivent faire 4 m de large et être espacés de 20 m.

**Étape 3 :**  
Faire une signalétique adaptée sur le terrain et réaliser une carte. Informer l'entreprise de travaux lors de la visite préalable du chantier.

### Adapter le planning des coupes

Cela permet de réduire le risque de dégradation majeure du sol par tassement, ainsi que la formation d'ornières.

**Étape 1 :**  
Surveiller les conditions météorologiques, prévoir un chantier de repli ou une autre période pour la coupe.

| Texture                                          | État d'humidité                 |           |            |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|------------|
|                                                  | Sol sec sur 50 cm de profondeur | Sol frais | Sol humide |
| Sol très caillouteux (éléments grossiers > 50 %) |                                 |           |            |
| Sol très sableux (sable > 70 %)                  |                                 |           |            |
| Argile dominante                                 |                                 |           |            |
| Limon dominant et sable limoneux                 |                                 |           |            |

Source : guide PROSOL.

**Étape 2 :**  
Faire un diagnostic de sensibilité à l'érosion hydrique au moment de réaliser le chantier.

**Étape 3 :**  
Limiter au maximum la formation d'ornières, en disposant les rémanents sur les pistes, et prévoir un protocole d'orniérage pour arrêter le chantier dès que :

- Les cloisonnements de circulation ont des ornières de 20 cm
- Les zones de collecteurs ont des ornières de 30 cm

### Limiter l'export des menus-bois

Cette action consiste à réduire les carences nutritives suite à un export de matière organique.

**Étape 1 :**  
Faire un diagnostic de sensibilité à l'export des menus-bois et se référer au guide [GERBOISE](#).

| Statut de protection de la biodiversité | Sensibilité des sols à l'exportation minérale                             |                                                     |                                     |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                         | Faible                                                                    | Moderée                                             | Forte                               |
| Pas de statut particulier               | Laisser au moins 1/10 <sup>ème</sup> de menu bois                         | Laisser au moins 3/10 <sup>ème</sup> des menus bois | Récolte des menus bois déconseillée |
| Statut intermédiaire                    | Laisser au moins 2/10 <sup>ème</sup> des menus bois                       | Laisser au moins 3/10 <sup>ème</sup> des menus bois | Récolte des menus bois déconseillée |
| Statut fort                             | Récolte de menus bois fortement déconseillée (lorsque pas déjà interdite) |                                                     |                                     |

**Étape 2 :**  
Privilégier un export lors de la première phase d'éclaircies ou la coupe finale. Les espacer de minimum 15 ans.

**Étape 3 :**  
Faire ressuyer les bois avant extraction de la parcelle, afin de ne pas appauvrir en nutriment le sol.

Figure 26 : Fiches action sur les sols forestiers (source : C.Pugin)

## Partie 5 : Discussion

### L'animation territoriale, un outil pour apporter des connaissances ?

Nous avons pu identifier, à travers les différents entretiens réalisés avec les chargé.es de mission, un besoin de renforcer leurs connaissances sur les sols forestiers, afin de pouvoir porter efficacement des projets sur leur territoire. En effet, si ces professionnel.les ont une bonne compréhension des impacts liés à la sylviculture, ils rencontrent souvent des difficultés à mobiliser des arguments concrets et précis lors de leurs échanges avec les acteurs du secteur forestier. Cette limite s'explique en partie par un manque de temps dédié à la formation ou à l'approfondissement de leurs compétences, leur activité étant rythmée par la gestion simultanée de nombreux dossiers aux enjeux variés. Face à ce constat, notre objectif a été de les accompagner en produisant un document synthétique, complété par une sélection d'articles, afin de leur offrir des ressources des éléments clés sur les sols forestiers. Ce travail de recherche et de compilation, qui nous a demandé près de deux mois d'investigation, représente un investissement en temps que les chargé.es de mission ne peuvent généralement pas se permettre dans le cadre de leurs missions. Au-delà de l'aspect pratique, cette montée en compétence revêt également une dimension stratégique pour les parcs : elle leur permettra de gagner en légitimité auprès de la filière bois, un secteur où leur rôle n'est pas toujours reconnu. En effet, les parcs, bien qu'ils ne soient pas gestionnaires directs de parcelles forestières, jouent un rôle clé dans l'animation et la coordination des acteurs locaux. En disposant davantage de connaissances sur les sols forestiers, ils pourront ainsi intervenir de manière plus convaincante lors des journées d'échange ou de concertation, en apportant des données permettant de faire évoluer les pratiques mises en place dans le territoire. Ils pourront également s'appuyer sur le livret lors de ces temps d'échange, qui vient apporter un support aux discours.

La deuxième phase de ce stage a consisté à réfléchir à des moyens concrets pour promouvoir et faciliter la mise en œuvre d'actions en faveur de la préservation des sols forestiers au sein des territoires. Pour y parvenir, nous avons choisi de nous appuyer sur un format déjà approuvé : la création d'un livret synthétique d'une dizaine de pages, spécialement conçu à destination des propriétaires et gestionnaires forestiers. Cette approche s'inspire directement d'une initiative antérieure menée par l'IPAMAC, qui avait produit un guide sur la trame de vieux bois ; un outil qui s'est avéré efficace et bien accueilli par les parcs naturels régionaux. L'objectif principal de ce nouveau livret est de valoriser et diffuser les recommandations issues de projets de recherche, afin de les rendre accessibles et applicables sur le terrain. Pour élaborer ce document, nous nous sommes appuyés sur trois guides de référence : *PROSOL*, *Pratic'sols* et *GERBOISE*. Ces ressources, bien que riches en informations et en bonnes pratiques, restent aujourd'hui peu connues des acteurs forestiers, en partie en raison de leur volume important et de leur diffusion encore limitée. En les synthétisant et en les adaptant à un public opérationnel, nous visons à diffuser ces connaissances et à encourager leur adoption dans les pratiques quotidiennes de gestion forestière.

Pour rendre ce livret pédagogique et incitatif, nous avons opté pour une présentation claire et visuelle : chaque action en faveur des sols est illustrée sur une demi-page, avec un contenu concis et direct, allant à l'essentiel. Afin de faciliter leur mise en œuvre, ces actions sont découpées en étapes clés, permettant aux lecteurs de comprendre aisément le cheminement nécessaire pour les appliquer sur le terrain. Par ailleurs, nous avons intégré des liens directs vers les guides complets (*PROSOL*, *Pratic'sols*, *GERBOISE*), offrant ainsi aux propriétaires et gestionnaires forestiers la possibilité d'approfondir leurs connaissances et d'accéder à des informations plus détaillées si besoin.

L'objectif sous-jacent est d'inciter les acteurs forestiers à faire évoluer leurs pratiques, car nos observations ont révélé que les sols sont encore trop peu pris en compte dans la gestion sylvicole actuelle. Initialement, nous avons envisagé de hiérarchiser les actions en fonction de leur temporalité par rapport aux chantiers (avant, pendant, après). Cependant, après une analyse approfondie des ressources existantes et des échanges avec les professionnels du secteur, nous avons choisi d'abandonner cette classification. En effet, il est apparu que ces actions, plutôt que d'être séquentielles, sont complémentaires et doivent s'inscrire dans une démarche de long terme. Prenons l'exemple de la mise en place de cloisonnements de circulation : celle-ci nécessite une réflexion en amont du chantier (avec l'élaboration d'un plan de circulation et le marquage des zones à préserver), un respect strict pendant le chantier (en suivant les voies définies), mais aussi une pérennisation après les travaux, afin de garantir leur efficacité pour les futures interventions sylvicoles. Cette approche globale montre bien que la préservation des sols forestiers repose sur une vision intégrée et continue, bien au-delà d'une simple application ponctuelle.

L'avantage de l'IPAMAC est de pouvoir travailler à une large échelle, celle du Massif central et donc de pouvoir diffuser plus largement les connaissances. Au-delà du livret et de la synthèse sur les sols forestiers, nous avons pu transmettre cette connaissance à d'autres réseaux que les chargés de mission forêts. Nous avons ainsi pu travailler avec les chargés de mission tourisme, mais aussi les pôles de pleine nature du Massif central, dans le cadre des impacts de la fréquentation sur les sols. Le but de ce travail était (comme pour les autres livrables) mettre en avant les impacts que les activités anthropiques ont sur les sols. En effet, nous parlons peu souvent des conséquences sur les sols, alors que sans eux, et les rôles qu'ils jouent dans les écosystèmes, nous ne pourrions pas vivre. Pour finir sur cette diffusion des connaissances, nous avons réalisé un webinaire qui présente le projet sur les sols que nous portons à l'IPAMAC. Ce webinaire étant co-organisé avec la fédération des parcs naturels régionaux, nous allons pouvoir échanger sur notre travail à l'échelle nationale. De plus, notre livret sera accessible gratuitement sur le site de l'IPAMAC et pourra ainsi être utilisé en dehors des parcs du Massif central.

L'un des atouts majeurs de l'IPAMAC réside dans sa capacité à agir à une échelle élargie, celle du Massif central, ce qui permet une diffusion plus large des connaissances sur les sols forestiers. Au-delà de la création du livret et de la synthèse technique, notre travail a également consisté à élargir les connaissances que nous avons acquises en les partageant avec d'autres réseaux que celui des chargés de mission forêts. Nous avons ainsi échangé avec les chargés de mission tourisme, et les pôles de pleine nature du Massif central, dans le cadre d'une réflexion sur les impacts de la fréquentation humaine sur les sols, lors d'une journée de séminaire. L'objectif de cette démarche, similaire à celle des autres livrables produits, était de mettre en avant les conséquences souvent méconnues des activités anthropiques sur les sols. En effet, bien que les sols jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes et, par extension, dans notre propre survie, leurs dégradations et leurs limites sont encore trop rarement évoquées dans les débats publics ou les stratégies de gestion.

Pour clore cette dynamique de diffusion des connaissances, nous avons organisé un webinaire présentant le projet sur les sols que nous avons mené durant ce stage. Co-organisé avec la Fédération des Parcs Naturels Régionaux, et Noémie POUSSE (de l'ONF) cet événement offre une plateforme d'échange à l'échelle nationale, permettant de partager nos travaux et nos réflexions avec un public plus large. Enfin, notre livret sera mis à disposition gratuitement sur le site de l'IPAMAC, ce qui permettra son utilisation bien au-delà des parcs du Massif central, et ainsi amplifier l'impact de nos recommandations auprès de tous les acteurs concernés.

## Une prise en compte des sols dans la gestion sylvicole encore minime dans le Massif central

Malgré l'existence de nombreux guides techniques (*PROSOL*, *Pratic'sols*, *GERBOISE*) et les efforts déployés pour les promouvoir, leur adoption par les acteurs de la filière bois reste limitée. En effet, ces ressources, bien qu'issues de plusieurs années de recherche, sont encore peu connues, y compris parmi les professionnels du secteur. Les entretiens, comme celui mené avec Noémie POUSSE de l'ONF, ont confirmé cette réalité : il est essentiel de diffuser ces connaissances et de faire connaître ces outils, mais aussi de prendre le temps de montrer les impacts sur le terrain pour convaincre les personnes de les mettre en place.

Au niveau des parcs, cette difficulté se manifeste également par un manque de maîtrise technique, ainsi que par la diversité de leurs missions, qui limite le temps qu'ils peuvent consacrer à ce sujet. De plus, les parcs, bien qu'ils jouent un rôle clé dans la sensibilisation et la coordination, ne sont pas des gestionnaires forestiers directs et ne sont pas toujours reconnus comme des acteurs légitimes par les professionnels de la filière bois. Cette situation rend d'autant plus complexe l'intégration des bonnes pratiques liées aux sols dans les stratégies de gestion sylvicole.

S'ajoutent à ces défis des freins structurels et politiques qui compliquent davantage la prise en compte des sols. Le poids de la filière bois, marqué par des orientations économiques et politiques fortes, exerce une pression importante sur les pratiques sylvicoles. Le monde forestier, bien que moins organisé que le monde agricole, n'en reste pas moins influencé par des syndicats et des groupes d'intérêt qui peuvent favoriser des modèles de gestion peu respectueux des sols, notamment en privilégiant la productivité à court terme. Par ailleurs, le contexte politique évolue lui aussi rapidement, avec des orientations changeantes qui peuvent entrer en conflit avec les nécessités écologiques. Par exemple, la volonté d'augmenter la récolte de bois énergie, considéré comme une ressource renouvelable, exerce une pression supplémentaire sur les forêts. De même, la mise en place d'un Plan national d'action pour la préservation des sols forestiers, bien que louable, illustre les tensions entre l'urgence politique et les temps longs nécessaires à la recherche et à la sylviculture. Les pouvoirs publics souhaitent en effet obtenir des résultats rapides pour passer à l'action, alors que la phase de recherche peut prendre plusieurs années avant d'aboutir à des solutions concrètes et efficaces.

Enfin, les pratiques évoluent très rapidement, alors que les cycles sylvigénétiques et la recherche scientifique nécessitent du temps pour aboutir à des solutions durables. Par exemple, les engins forestiers sont toujours plus gros et plus lourds (passés d'une douzaine de tonnes à vide à plus de 18 tonnes aujourd'hui) afin de couper davantage de bois et de réduire les risques d'accidents pour les bûcherons. Cette évolution technique, bien que compréhensible d'un point de vue économique et sécuritaire, aggrave les risques de tassement et de dégradation des sols, déjà fragilisés par des pratiques intensives. Pour rappel, 80 % du tassement à lieu entre le premier et le troisième passage de l'engin, avec un temps de restauration qui dépasse l'échelle humaine.

Ces dynamiques montrent que la prise en compte des sols forestiers reste complexe et difficile dans les territoires du Massif central. Le contexte institutionnel, marqué par des changements rapides et des pressions économiques, contraste avec les rythmes naturels des écosystèmes forestiers. Les arbres, les sols et les écosystèmes ont besoin de décennies, voire de siècles, pour se régénérer et retrouver un équilibre, alors que les décisions politiques et économiques se prennent souvent sur des échelles de temps beaucoup plus courtes. Ce décalage entre les temps de la nature et ceux des institutions rend d'autant plus difficile l'intégration durable des enjeux liés aux sols dans les pratiques sylvicoles. Pourtant, sans une prise de conscience collective et

sans des actions concrètes, la dégradation des sols forestiers pourrait avoir des conséquences irréversibles, non seulement pour les écosystèmes, mais aussi pour les générations futures.

## Partie 6 : Perspectives du stage

### Bilan du stage

#### Retour d'expérience

Le stage s'est très bien passé, avec principalement une phase de conception des livrables et surtout du livret pour les acteurs forestiers. Nous avons également eu la chance de prendre part aux autres missions de l'association comme le séminaire sur la Trame Noire, les journées techniques MOH ou encore le séminaire des pôles de pleine nature, la Grande Traversée du Massif central, etc., mais aussi à des sorties sur le terrain avec le Conservatoire Botanique National. Ce stage m'a permis d'acquérir un grand nombre de connaissances sur les sols forestiers et par conséquent le fonctionnement de ces écosystèmes.

#### Les apports

Les apports de ce stage ont été divers. Nous avons pu approfondir nos connaissances sur le milieu forestier et plus particulièrement sur les sols, mais aussi sur les impacts de la sylviculture et les actions en faveur des sols forestiers. Le travail à une large échelle, celle du Massif central et la participation aux divers sujets de l'IPAMAC, nous a permis de rencontrer beaucoup d'acteurs et de nous constituer un réseau professionnel. A cela s'ajoute la réalisation d'un webinaire sur le travail que nous avons mené à l'échelle nationale, permettant à la fois de diffuser la connaissance que nous avons acquise mais aussi d'élargir un peu plus notre réseau.

#### Les limites

Malgré un très bon stage, nous avons pu mettre en avant quelques limites. Nous n'avons pas fait de terrain en lien directement avec le projet sur les sols. La superficie du Massif central et la localisation des bureaux complique les déplacements dans les parcs. En effet, il n'est pas évident de bien cerner les enjeux de chaque territoire, lorsque nous ne les connaissons pas. Une autre limite concerne la position de l'IPAMAC sur le territoire. Cette association est unique en France et permet de travailler à une échelle plus réduite que celle de la fédération des parcs. Néanmoins, l'association ne réalise pas directement les actions sur le territoire mais travaille avec les parcs, qui eux par la suite essaye de les mettre en place. Cela est d'autant plus marqué pour les projets en lien avec la forêt, car les parcs ne sont pas gestionnaires forestiers.

#### Lien avec le master GEMO

Ce stage s'inscrit dans le parcours du master GEMO, en géographie des environnements de montagnes. Après un an et demi de formation, cette expérience professionnelle vient clôturer le master, et m'a permis de mettre une nouvelle fois en application les apprentissages universitaires pour la réussite de ce travail. Les cours dispensés m'ont donné des clés de compréhension essentielle en outils de gestion de l'environnement et de projet. Il me semble que la géographie appliquée aux environnements montagnards, permet d'appréhender des sujets extrêmement variés avec une approche sociologique et une compréhension des enjeux écologiques associés. J'ai ainsi pu approfondir des sujets divers, pour lesquels je n'avais pas nécessairement d'expertise : les sols forestiers, la construction d'un plan d'action.

## Perspective du projet

Concernant le travail que nous avons réalisé, il va être diffusé à travers le site internet de l'IPAMAC. Nous allons également imprimer quelques exemplaires du livret sur les sols forestiers pour que les parcs le diffusent dans leurs territoires. La synthèse de connaissance va permettre aux chargé.es de mission d'intégrer la question des sols dans les nouvelles chartes forestières territoriales. Certains parcs vont poursuivre leur travail sur les sols en participant à l'appel à projet sur la santé des sols forestiers de l'ADEME. Pour finir, le travail que nous avons réalisé sur les sols servira de base pour le stage de l'année prochaine au sein de l'IPAMAC sur la question de l'eau en forêt, car celle-ci transite par le sol.

## Conclusion

La mise en place d'un projet sur les sols forestiers avec les parcs naturels du Massif central, nous a permis de faire plusieurs constats. Tout d'abord, les chercheurs n'ont pas encore réussi à comprendre l'ensemble des interactions et des processus qui ont lieu dans les sols forestiers. Par exemple, sur les effets tassement des sols, les chercheurs sont entrain de se rendre compte (avec de nouvelle étude) qu'ils ont peut-être sous-estimé les conséquences et l'ampleur de celui-ci. A cela s'ajoute que le fonctionnement et le rôle des sols forestiers reste souvent méconnus des acteurs de la filière bois, qui n'ont pas toujours conscience des impacts de leur activité. De plus, les parcs n'ont pas toujours les connaissances nécessaires pour faire évoluer les pratiques dans leur territoire. Pour pallier à ces lacunes, nous avons produit dans le cadre de ce stage, deux livrables permettant de faire monter en compétences les acteurs : une synthèse sur les sols forestiers à destination des chargé.es de mission des parcs, ainsi qu'un livret des bonnes pratiques à mettre en place, lors d'une coupe de bois, pour les propriétaires et gestionnaires forestiers.

Nous pouvons également soulever l'évolution récente au niveau institutionnel, avec la mise en place d'un plan national d'action pour la préservation des sols forestiers. La fédération des parcs naturels régionaux et parallèle avec l'ADEME, ont porté plusieurs projets en lien avec les sols. Dans cette dynamique, la restitution de notre travail a été réalisé à l'échelle national, lors d'un webinaire organisé par la fédération. Le but de tout ce travail sur les sols forestiers est de diffuser les connaissances pour faire évoluer les pratiques et réduire les impacts des activités sylvicoles, mais plus généralement des activités anthropiques.

Les sols forestiers, ressource non renouvelable à l'échelle humaine, sont des piliers de la résilience forestière. Ils agissent comme des réservoirs d'eau et des puits de carbone, essentiels pour atténuer les effets du changement climatique, tout en soutenant la biodiversité végétale. Un sol sain favorise en effet des peuplements capables de résister aux événements climatiques extrêmes, comme les sécheresses ou les tempêtes. Ainsi, les stratégies à déployer dans les Parcs du Massif central reposent sur la formation des acteurs, l'intégration des enjeux liés aux sols dans les plans de gestion forestière, et la coordination nationale pour mutualiser les efforts. Seule une gestion proactive des sols permettra de garantir des forêts résilientes, capables de s'adapter aux bouleversements climatiques à venir.

# Bibliographie

## Références scientifiques

- [1] Comité du Massif central, 2025. Plan stratégique d'adaptation au changement climatique du Massif Central. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/agir/espace-documentaire/plan-strategique-dadaptation-au-changement-climatique-du-massif-central>
- [2] Parc Naturel Régional du Pilat, [sans date]. *Adapter la forêt du Pilat au dérèglement climatique*. Disponible à l'adresse : <https://www.parc-naturel-pilat.fr/nos-actions/forets/nos-actions-foret/adapter-la-foret-du-pilat-au-dereglement-climatique/>
- [3] Fédération des Parcs naturels régionaux, [sans date]. Qu'est-ce qu'un Parc naturel régional ? [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parcs-naturels-regionaux.fr/les-parcs/comprendre-les-parcs/quest-ce-quun-parc-naturel-regional>
- [4] Fédération des Parcs nationaux de France, [sans date]. Les parcs nationaux de France. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parcsnationaux.fr/fr/des-decouvertes/les-parcs-nationaux-de-france>
- [5] Office National des Forêts, 2024. Les sols forestiers : l'ONF pratique une gestion durable pour les protéger. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/onf/+/2466::les-sols-forestiers-lonf-pratique-une-gestion-durable-pour-les-protger.html>
- [6] Centre National de la Propriété Forestière, 2017. *Le sol forestier : élément clé pour le choix des essences et la gestion durable* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.cnpf.fr/actualites/le-sol-forestier-element-cle-pour-le-choix-des-essences-et-la-gestion-durable>
- [7] Parc Naturel Régional Périgord-Limousin, 2012. Sols et Forêts : rencontres autour de la prise en compte du sol et de ses composantes, organiques ou minérales, pour une gestion sylvicole durable [document disponible auprès du parc]
- [8] Office national des forêts, 2024. Les sols forestiers, un patrimoine naturel très riche mais menacé. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/vivre-la-foret/+/2464::les-sols-forestiers-un-patrimoine-naturel-tres-riche-mais-menace.html>
- [9] CHARNET, François, 2018. *Les sols forestiers*. CNPF-IDF. ISBN 978-2-916525-44-0.
- [10] GisSol, [sans date]. Portail des thématiques sur les sols. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.gissol.fr/thematiques>
- [11] LEGROS, Jean-Paul, 2012. C'est quoi un sol ? [Disponible sur le site de l'Association Française pour l'Etude du Sol]
- [12] COUSIN, Isabelle, DESROUSSEAU, Maylis, LEENHARDT, Sophie, ANGERS, Denis, AUGUSTO, Laurent, AY, Jean-Sauveur, BAYSSE-LAINÉ, Adrien, BRANCHU, Philippe, BRICHLER, Marie-Caroline, PRÉVOST-BOURÉ, Nicolas Chemidlin, COMPAGNONE, Claude, FROGER, Claire, GROS, Raphaël, HERMON, Carole, ITEY, Julie, KELLER, Catherine, LAROCHE, Bertrand, LELIEVRE, Virginie, MARESCHAL, Sybille de, MEULEMANS, Germain, MONTAGNE, David, PÉRÈS, Guénola, SABY, Nicolas P. A., VAUDOUR, Emmanuelle, VILLERD, Jean et VIOLLE, Cyrille, 2024. *Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Synthèse du rapport scientifique de l'étude* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-04828558>

- [13] Observatoire des forêts françaises, 2025. *Les enjeux associés aux sols forestiers*. [en ligne]. 2025. Disponible à l'adresse : <https://observatoire.foret.gouv.fr/>
- [14] Observatoire des forêts françaises, 2025. *Plan national d'action pour préservation des sols forestiers* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://observatoire.foret.gouv.fr/>
- [15] Parc Naturel Régional du Morvan, 2021. *CAHIERS SCIENTIFIQUES n°13 - 2021 -LES COUPES À BLANC EN FORÊT* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.calameo.com/read/001010586a8c953909231>
- [16] Fédération des Parcs naturels régionaux, 2024. *Une fréquentation respectueuse de la biodiversité dans les Parcs naturels régionaux* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parcs-naturels-regionaux.fr/mediatheque/ressources/une-frequentation-respectueuse-de-la-biodiversite-dans-les-parcs-naturels>
- [17] AUSSENAC, Gilbert, BONNEAU, Maurice, LANDMANN, Guy et TROY, Jean-Pierre, 1996. Evolution des sols et changements globaux : deux enjeux majeurs pour la durabilité des écosystèmes forestiers. *Revue forestière française*. 1996. Vol. 48, n° Spécial, pp. 75-88. DOI [10.4267/2042/26806](https://doi.org/10.4267/2042/26806).
- [18] Association Française pour l'Etude du Sol, 2023. *Webinaire AFES 50 | N. Pousse | Gestion durable des sols forestiers* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=2gEcwDgxK20>
- [19] Office national des forêts, 2024. Rendez-vous techniques de l'ONF - n°79. [en ligne]. 9 juillet 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/onf/+/21ea::les-rendez-vous-techniques-de-lonf-numero-79.html>
- [20] GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC DU MASSIF CENTRAL, 2023. *A la rencontre de la biodiversité des sols forestiers, à travers le projet INSYLBIO : quels enseignements pour les forestiers* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.massif-central.eu/ressources/webinaires-2/a-la-rencontre-de-la-biodiversite-des-sols-forestiers-a-travers-le-projet-insylbios-quels-enseignements-pour-les-forestiers/>
- [21] Centre National de la Propriété Forestière, [sans date]. Forêt Irrégulière Ecole. *Site Internet du CNPF Occitanie* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://occitanie.cnpf.fr/nos-actions/focus-sur-quelques-projets/foret-irreguliere-ecole>
- [22] VENNETIER, M., LADIER, J. et REY, F., 2014. Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux. *Revue forestière française*. Vol. LXVI, n° 4, pp. 15 p.
- [23] MARTIN, Francis, 2025. Les communautés fongiques des sols forestiers face aux changements climatiques. *Comptes Rendus. Biologies*. Vol. 348, n° G1, pp. 167-181. DOI [10.5802/crbio.179](https://doi.org/10.5802/crbio.179).
- [24] Office National des Forêts, 2025. *Rendez-vous techniques de l'ONF - n°81* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/vivre-la-foret/+/273e::les-rendez-vous-techniques-de-lonf-numero-81.html>
- [25] Office National des Forêts, 2021. *Pratic'sols - Guide sur la praticabilité des parcelles forestières* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/produits-services/+/192::praticsols-guide-sur-praticabilite-des-parcelles-forestieres.html>
- [26] GIP ECOFOR et ADEME, 2019. *GERBOISE : Gestion raisonnée de la récolte de Bois Energie* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://librairie.ademe.fr/agriculture-alimentation-foret-bioeconomie/892-gerboise-gestion-raisonnee-de-la-recolte-de-bois-energie.html>

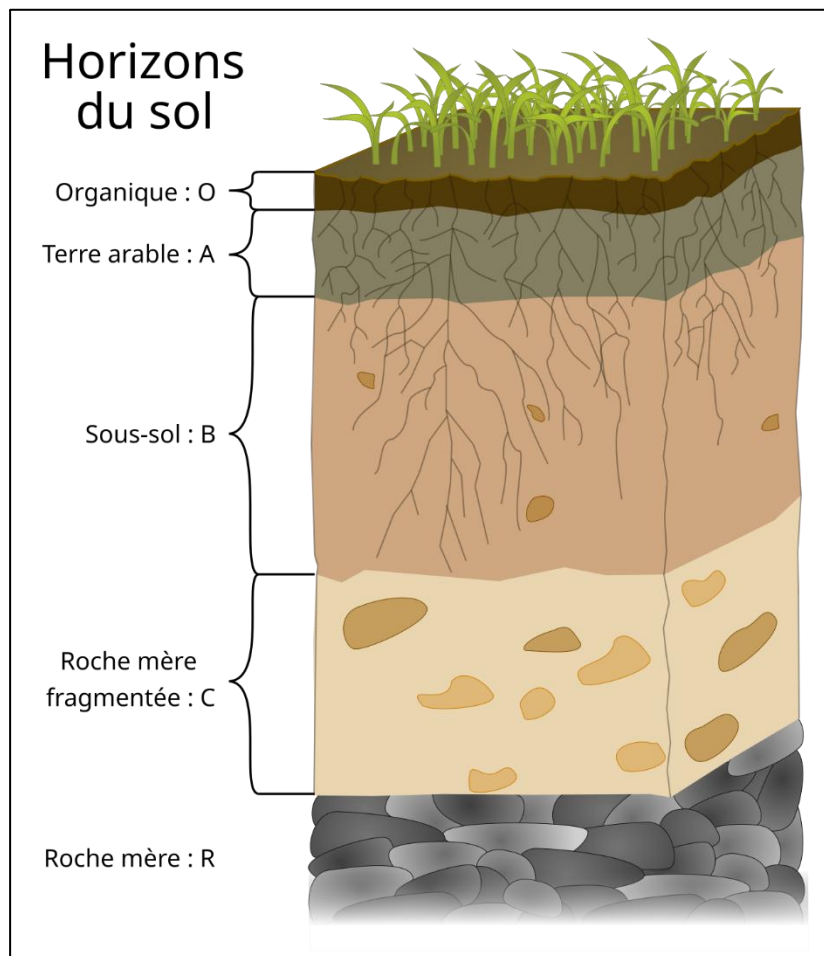
- [27] Office National des Forêts, 2019. *Prosol - Guide pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/produits-services/+18b::prosol-guide-pour-une-exploitation-forestiere-respectueuse-des-sols-et-de-la-foret.html>
- [28] LEGRAND, Philippe P., BARTOLI, François et CURT, Thomas, 2007. Spécificités des sols volcaniques du Massif central : bénéfices et contraintes pour la gestion forestière. *Revue forestière française*. Vol. 59, n° 2, pp. 99-118. DOI [10.4267/2042/9014](https://doi.org/10.4267/2042/9014).
- [29] DARBOUX, Frédéric, POUSSE, Noémie et LEGOUT, Arnaud, 2025. Préserver les sols forestiers de l'érosion. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*. N° 81, pp. 25-27.
- [30] Office National des Forêts, 2010. *Diagnostiquer la sensibilité du sol au tassement* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/+18c::diagnostiquer-la-sensibilite-du-sol-au-tassement.html>
- [31] Office National des Forêts, 2023. *Rendez-vous techniques de l'ONF - n°77* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/onf/+1afa::les-rendez-vous-techniques-de-lonf-numero-77.html>
- [32] VINCENT, Quentin, 2023. La trame brune : pourquoi ? comment ? quelles limites ? [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/3\\_jet\\_nouvellestrames\\_2023\\_vincent.pdf](https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/3_jet_nouvellestrames_2023_vincent.pdf)
- [33] EMBERGER, Céline, MOLINES, Loïc, DUMAS, Yann, GOSSELIN, Marion, GOSSELIN, Frédéric, AUBERT, Michaël, MOULIN, Vincent, VINCENOT, Lucie et CHAUVIN, Camille, 2023. *Rapport final du projet Insylbios. « Mieux comprendre et INTégrer dans les pratiques SYLvicoles le rôle de la BIOdiversité des Sols dans le fonctionnement des forêts du sud du Massif central »* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-04805976>
- [34] Conservatoire Botanique National du Massif central, [sans date]. *Les forêts du Massif central, une histoire mouvementée*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://projets.cbnmc.fr/forets/histoire-forets-massif-central>
- [35] Conservatoire botanique national du Massif central, 2023. *Un catalogue des végétations forestières du Massif central* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://projets.cbnmc.fr/forets/actions/catalogue-vegetations-forestieres-massif-central>
- [36] BAIZE, Denis, GIRARD, Michel-Claude et Association Française pour l'Etude du Sol, [sans date]. *Référentiel pédologique 2008* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.afes.fr/ressources/referentiel-pedologique-2008/>
- [37] Association Française pour l'Etude du Sol, 2017. *Détermination de la texture (5 classes)* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.afes.fr/ressources/determination-de-la-texture-5-classes/>

## Sitographies

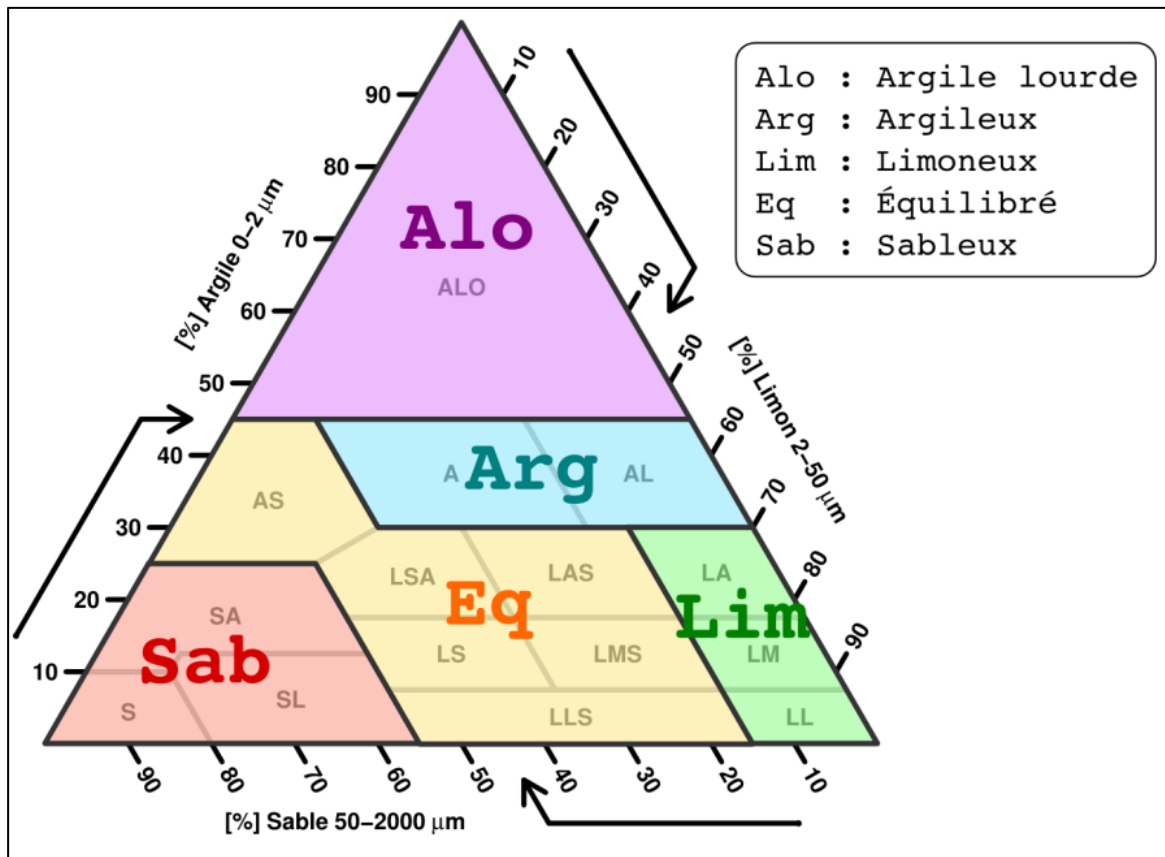
- Association IPAMAC, [sans date]. *Le réseau des Parcs naturels du Massif central · Innover et expérimenter autour de projets partagés*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://ipamac.fr/>
- Massif central, 2026. *Wikipédia* [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Massif\\_central&oldid=238349108](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Massif_central&oldid=238349108)
- Parc naturel régional du Haut-Languedoc, [sans date]. *Page pour les forestiers*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parc-haut-languedoc.fr/le-parc-peut-vous-aider/forestiers>
- Parc naturel régional de l'Aubrac, [sans date]. *Page sur la forêt*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parc-naturel-aubrac.fr/en-action/en-action-forets/>
- Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne, [sans date]. *Page sur la mise en place d'une trame de vieux bois*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.agir.parcdesvolcans.fr/trame-de-vieux-bois>
- Parc naturel régional Périgord-Limousin, 2024. *Page sur la forêt*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.pnr-perigord-limousin.fr/foret/>
- Parc naturel régional du Morvan, [sans date]. *Page sur la forêt et la filière bois*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parcumorvan.org/le-parc-en-actions/la-foret-et-la-filiere-bois/>
- Parc naturel régional Livradois-Forez, [sans date]. *Page sur la forêt et la filière bois*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parc-livradois-forez.org/valoriser/foret-filiere-bois/>
- Parc naturel régional des Grands Causses, [sans date]. *Page sur le bois et les forêts*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.parc-grands-causses.fr/bois-et-forets>
- Parc naturel régional Millevaches en Limousin, 2024. *La forêt : entre habitat naturel et production*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.pnr-millevaches.fr/territoire/milieus-forestiers/>
- Parc national des Cévennes, [sans date]. *Encourager une gestion durable des forêts*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.cevennes-parcnational.fr/fr/des-actions/accompagner-le-developpement-durable/encourager-une-gestion-durable-des-forets>

## Annexes

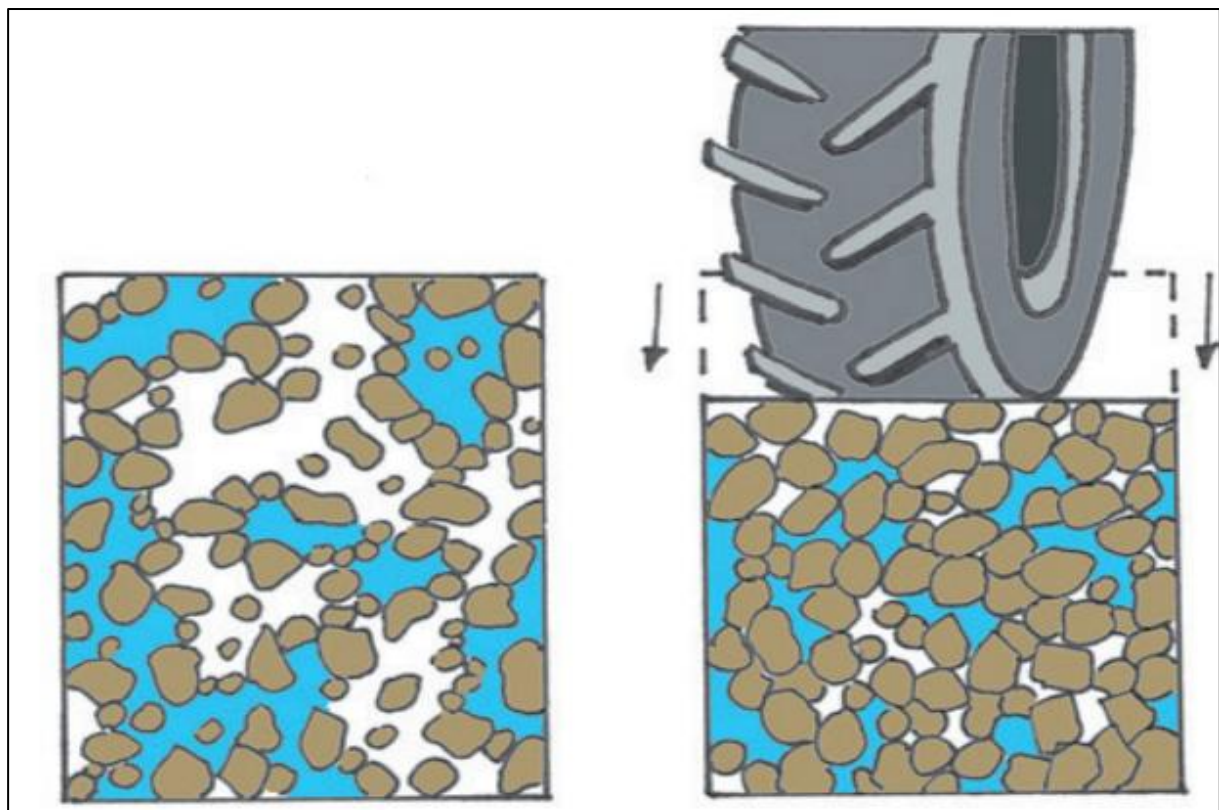
Annexe n°1 : Schéma des horizons pédologiques d'un sol forestier (source : BAIZE et al., 2008, [36])

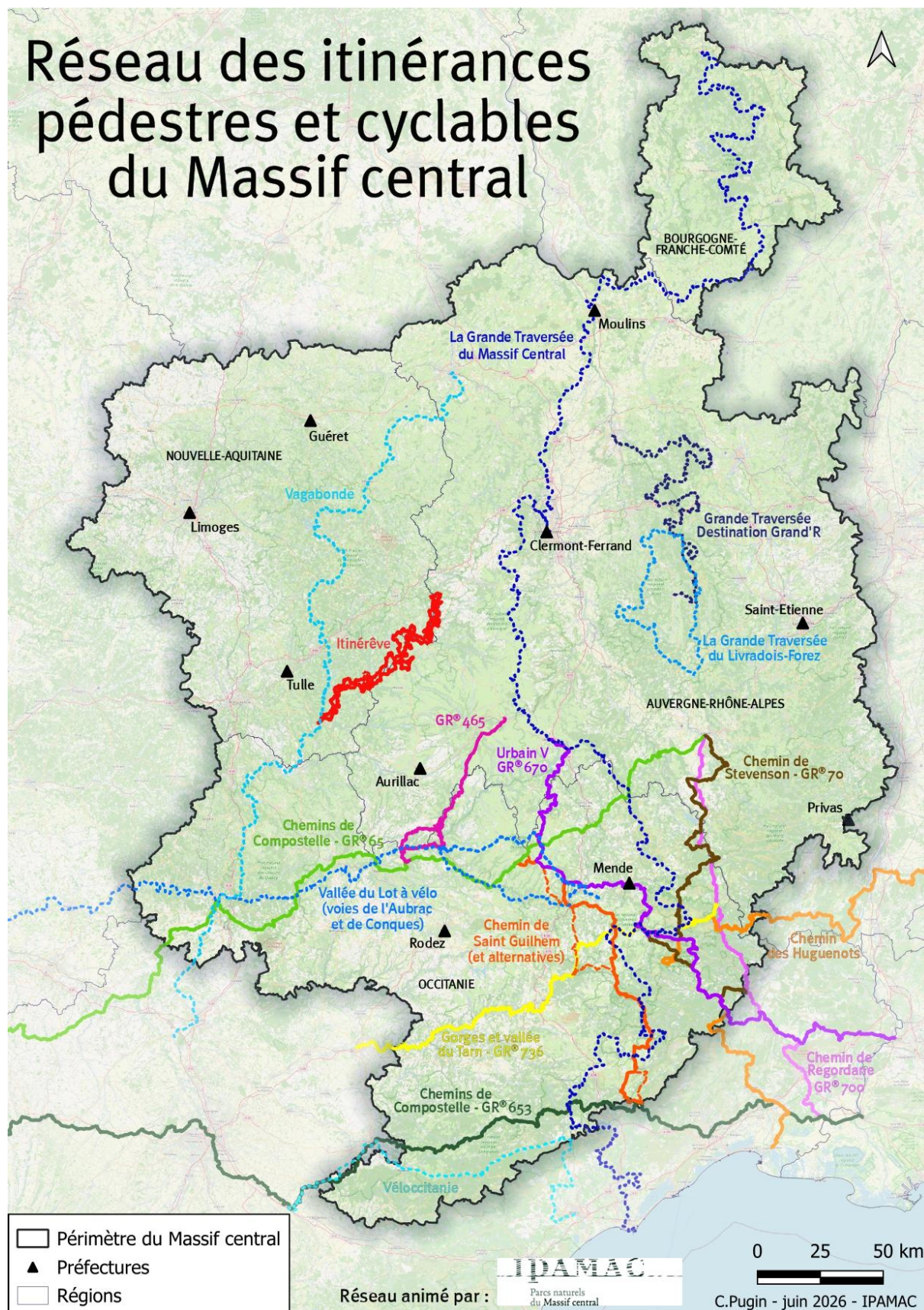


Annexe n°2 : Triangle de détermination des classes de textures d'un sol simplifié (source : Association Française pour l'Etude du Sol, 2017, [37])



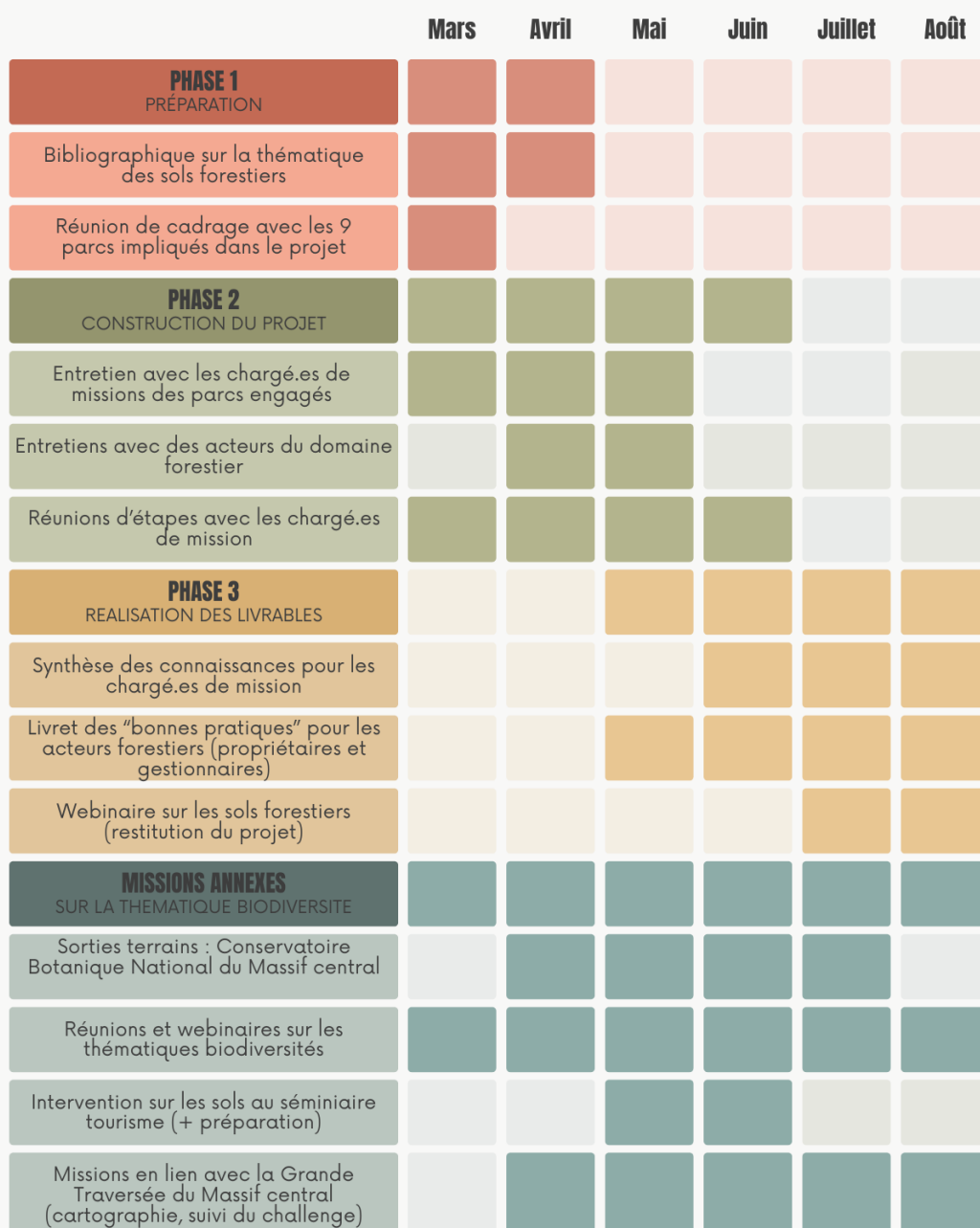
Annexe n°3 : Schéma du tassement du sol sous le passage d'un engin forestier (source : guide Pratics'sols, [25])





# Planification de mes missions

## Diagramme de Gantt



## **Mise en contexte sur mon stage**

- ❖ Créer un plan d'action à trois échelles (niveau IPAMAC, niveau Parcs, niveau acteurs forestiers)
- ❖ Le but est de proposer des actions envisageables à l'échelle de tous les parcs, et des actions spécifiques à chaque territoire partenaires

## **Contexte forestier du territoire (régime parcellaire, gestion, traitement sylvicole, essences dominantes)**

- ❖ Comment s'organise la répartition des parcelles publiques et privées sur le territoire du parc ?
- ❖ Comment s'organise la gestion sylvicole sur le territoire, quels sont les prestataires ?
- ❖ Quels sont les traitements sylvicoles mis en place (plantations, futaie, taillis, etc.)
- ❖ Quels sont les essences dominantes dans les peuplements ?
- ❖ Comment s'organise les activités récréatives liées à la forêt sur le territoire ?

## **Enjeux et objectifs par rapport au projet**

- ❖ Quels sont les enjeux de votre territoire autour des sols forestiers ?
- ❖ Quels sont vos enjeux en tant que parc sur cette thématique ?
- ❖ Quels sont les objectifs que vous avez par rapport à la création d'un plan d'action ?
- ❖ Avez-vous des réunions prévues sur le sujet ? Des personnes à interroger (pour des connaissances / point de vue sur la thématique) ?

## **Connaissance sur les sols forestiers**

- ❖ Quelles sont vos connaissances sur les sols forestiers, leurs fonctionnements ?
- ❖ Quelles connaissances voulez-vous que le projet vous apporte ?
- ❖ Avez-vous connaissance de pratique dégradant l'état des sols ?

## **Sensibilité du territoire / acteurs sur la thématique**

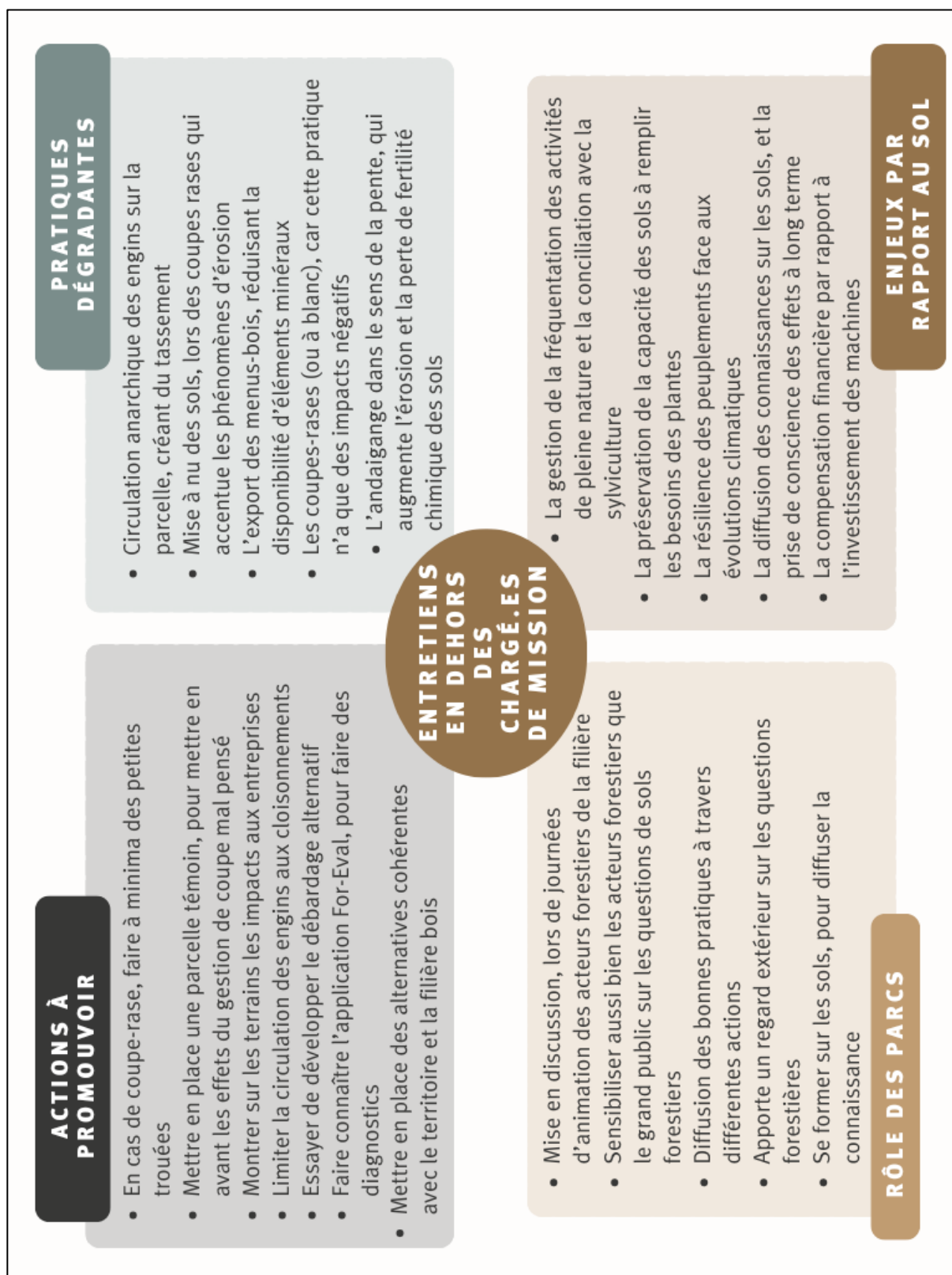
- ❖ Les acteurs forestiers sont-ils sensibles à cette thématique ? La prennent-ils déjà en compte dans leur métier ?
- ❖ La gestion des milieux forestiers est-elle source de conflit sur le territoire ?
- ❖ Quel est le rôle du parc dans cette thématique ?

## **Axes à développer (sylviculture, tourisme, etc.)**

- ❖ Axes que vous souhaitez développer pour ce projet ?
- ❖ Ordres de priorité de ces axes de travail pour votre parc ?

## **Actions déjà mises en place / idées d'actions à mettre en place pour le territoire**

- ❖ Avez-vous déjà mis en place des projets / actions en faveur des sols ? des sols forestiers ?
- ❖ Avez-vous des idées d'actions à mettre en place sur votre territoire ?
- ❖ Quels sont les moyens que vous avez ?



| Office de tourisme                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs du jeu</b> <p>Les acteurs locaux veulent donc trouver des solutions pour canaliser la fréquentation tout en maintenant l'attractivité du site, car c'est un point d'intérêt pour le territoire.</p> <p>Le but est d'échanger pour trouver des solutions communes afin de repenser l'usage de cet espace.</p> | <b>Objectifs du rôle</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Maintenir l'attractivité du site car c'est un lieu incontournable du territoire</li><li>• Satisfaire les clients qui découvre le site</li></ul>  |
| <b>Aide</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Réfléchir à comment faire évoluer la communication</li><li>• Mieux comprendre les attentes du public</li></ul>                                                                                                                                                        | <b>Contraintes</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pression des professionnels du tourisme pour maintenir l'attractivité du site</li><li>• Attentes des visiteurs : accès facile, paysage sauvage, etc.</li></ul>                                                                            |

## Listes des figures et des tableaux

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Localisation de l'association IPAMAC au niveau du Massif central (source : C.Pugin) ...                                       | 8  |
| Figure 2 : Les parcs naturels du Massif central (source : C.Pugin).....                                                                  | 11 |
| Figure 3 : Répartition des forêts publiques à l'échelle du Massif central (source : C.Pugin) .....                                       | 13 |
| Figure 4 : Types de forêts du PNR du Morvan (source : C.Pugin).....                                                                      | 14 |
| Figure 5 : Types de forêts du PNR du Livradois-Forez (source : C.Pugin).....                                                             | 14 |
| Figure 6 : Types de forêts du PNR des Volcans d'Auvergne (source : C.Pugin) .....                                                        | 15 |
| Figure 7 : Types de forêts du PNR Millevaches en Limousin (source : C.Pugin) .....                                                       | 15 |
| Figure 8 : Types de forêts du PNR Périgord-Limousin (source : C.Pugin) .....                                                             | 16 |
| Figure 9 : Types de forêts du PNR de l'Aubrac (source : C.Pugin).....                                                                    | 16 |
| Figure 10 : Types de forêts du PNR des Grands Causses (source : C.Pugin) .....                                                           | 17 |
| Figure 11 : Types de forêts du PNR du Haut-Languedoc (source : C.Pugin) .....                                                            | 17 |
| Figure 12 : Types de forêts du Parc national des Cévennes (source : C.Pugin) .....                                                       | 18 |
| Figure 13 : Temps en salle au séminaire forêts dans le PNR Millevaches en Limousin (source :<br>C.Pugin) .....                           | 35 |
| Figure 14 : Sortie terrain au séminaire forêt (source : C.Pugin) .....                                                                   | 35 |
| Figure 16 : Séminaire sur la Trame Noire dans le PNR du Morvan (source : C.Pugin).....                                                   | 36 |
| Figure 15 : Journées techniques Milieux Ouverts Herbacés dans les Cévennes (source :<br>M.Fougerouse) .....                              | 36 |
| Figure 17 : Séminaire des pôles de pleine nature du Massif central (source : IPAMAC) .....                                               | 36 |
| Figure 18 : Organigramme de la structure (source : C.Pugin).....                                                                         | 37 |
| Figure 19 : Répartition du temps de travail (source : C.Pugin).....                                                                      | 37 |
| Figure 20 : Bilan des entretiens avec les chargé.es de mission (source : C.Pugin) .....                                                  | 44 |
| Figure 21 : Temps de présentation sur les sols (source : IPAMAC).....                                                                    | 45 |
| Figure 22 : Temps de présentation sur les sols (source : IPAMAC).....                                                                    | 46 |
| Figure 23 : Support graphique pour l'atelier (source : C.Pugin) .....                                                                    | 47 |
| Figure 24 : Première double page du livret sur les sols forestiers (source : C.Pugin) .....                                              | 49 |
| Figure 25 : Illustration sur les conséquences d'un sol dégradé sur les peuplements (source :<br>C.Pugin) .....                           | 50 |
| Figure 26 : Fiches action sur les sols forestiers (source : C.Pugin) .....                                                               | 51 |
|                                                                                                                                          |    |
| Tableau 1 : Caractéristiques générales des parcs impliqués dans le projet (source : C.Pugin) ..                                          | 13 |
| Tableau 2 : Thématiques abordées dans les entretiens (source : C.Pugin) .....                                                            | 40 |
| Tableau 3 : Plan de la synthèse des connaissances pour les chargé.es de missions des parcs du<br>Massif central (source : C.Pugin) ..... | 45 |
| Tableau 4 : Résultats des ateliers (source : C.Pugin).....                                                                               | 48 |
| Tableau 5 : Actions préconisées dans le livret des bonnes pratiques (source : C.Pugin) .....                                             | 51 |

## Listes des annexes

|                                                                                                                                                    |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Annexe n°1 : Schéma des horizons pédologiques d'un sol forestier (source : BAIZE et al., 2008, [36])                                               | Référence p.19 |
| Annexe n°2 : Triangle de détermination des classes de textures d'un sol simplifié (source : Association Française pour l'Etude du Sol, 2017, [37]) | Référence p.21 |
| Annexe n°3 : Schéma du tassement du sol sous le passage d'un engin forestier (source : guide Pratics'sols, [25])                                   | Référence p.26 |
| Annexe n°4 : Cartographie du réseau des itinérances pédestres et cyclables du Massif central (source : C.Pugin)                                    | Référence p.36 |
| Annexe n°5 : Diagramme de Gantt de mes missions de stage (source : C.Pugin)                                                                        | Référence p.37 |
| Annexe n°6 : Grille d'entretien pour les chargé.es de mission Forêts (source : C.Pugin)                                                            | Référence p.40 |
| Annexe n°7 : Carte mentale des entretiens en dehors des chargé.es de mission des parcs (source : C.Pugin)                                          | Référence p.44 |
| Annexe n°8 : Fiche acteur pour le jeu de rôle sur l'impact de la fréquentation sur les sols (source : C.Pugin)                                     | Référence p.47 |

## Table des matières

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Attestation sur l'honneur de l'utilisation de l'IA .....                       | 1  |
| Résumé .....                                                                   | 2  |
| Abstract .....                                                                 | 3  |
| Remerciement .....                                                             | 4  |
| Sommaire .....                                                                 | 5  |
| Listes des sigles .....                                                        | 6  |
| Introduction .....                                                             | 7  |
| Partie 1 : Contexte du stage.....                                              | 8  |
| L'association IPAMAC.....                                                      | 8  |
| Le programme « Forêts Anciennes » .....                                        | 9  |
| Le territoire d'étude.....                                                     | 10 |
| Le Massif central .....                                                        | 10 |
| L'outil : Parc Naturel Régional.....                                           | 11 |
| L'outil : Parc National.....                                                   | 12 |
| Le territoire IPAMAC.....                                                      | 12 |
| Le contexte forestier des parcs .....                                          | 13 |
| Mes missions au sein de la structure .....                                     | 18 |
| Partie 2 : Etat de l'art.....                                                  | 19 |
| Les sols : une ressource essentielle mais vulnérable .....                     | 19 |
| Qu'est-ce qu'un sol forestier ? .....                                          | 19 |
| Services écosystémiques .....                                                  | 20 |
| Les menaces pesant sur les sols à l'échelle mondiale.....                      | 20 |
| Une prise de conscience progressive .....                                      | 21 |
| Les sols forestiers : fonctionnement et enjeux.....                            | 21 |
| Les spécificités des sols forestiers .....                                     | 21 |
| Fonctionnement des sols forestiers .....                                       | 22 |
| Le rôle des sols forestiers dans le fonctionnement des forêts.....             | 24 |
| Les effets du changement climatique.....                                       | 24 |
| Les impacts des activités humaines sur les sols forestiers .....               | 25 |
| Préserver les sols forestiers .....                                            | 28 |
| Les freins possibles dans le déploiement d'actions .....                       | 31 |
| Les sols forestiers du Massif central : un territoire d'étude particulier..... | 32 |
| Présentation générale.....                                                     | 32 |
| Une géologie et des sols originaux.....                                        | 32 |
| Une histoire forestière marquée par les plantations .....                      | 33 |
| Des enjeux particulièrement importants.....                                    | 33 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Des initiatives régionales en faveur des sols .....                                | 34 |
| Problématique et hypothèses .....                                                  | 34 |
| Partie 3 : Méthodologie mise en place .....                                        | 35 |
| Description de l'ensemble des missions réalisées .....                             | 35 |
| Mes missions en lien avec le projet « Forêts anciennes » .....                     | 35 |
| Mes missions en lien avec les projets Biodiversité de l'IPAMAC .....               | 35 |
| Mes missions annexes .....                                                         | 36 |
| Les ajouts ponctuels .....                                                         | 36 |
| Mon intégration dans l'équipe IPAMAC .....                                         | 37 |
| Calendrier des tâches .....                                                        | 37 |
| Méthodologie des différentes étapes du projet .....                                | 38 |
| La gestion de projet .....                                                         | 38 |
| Le cadrage du projet .....                                                         | 38 |
| L'état de l'art .....                                                              | 38 |
| La réalisation du projet .....                                                     | 38 |
| La restitution du projet .....                                                     | 39 |
| Les entretiens semi-directif .....                                                 | 39 |
| Cadrage des entretiens .....                                                       | 39 |
| Les guides d'entretiens .....                                                      | 40 |
| L'analyse des entretiens .....                                                     | 41 |
| La construction des livrables .....                                                | 41 |
| La synthèse des connaissances pour les chargé.es de mission des parcs .....        | 41 |
| Le livret des « bonnes pratiques » .....                                           | 41 |
| Partie 4 : Résultats .....                                                         | 42 |
| Les sols forestiers, une préoccupation des parcs du Massif central ? .....         | 42 |
| Enjeux associés aux sols forestiers .....                                          | 42 |
| Pratiques dégradantes dans les territoires .....                                   | 42 |
| Freins potentiels pour travailler sur les sols .....                               | 43 |
| Les actions déjà mises en place .....                                              | 43 |
| La montée en compétence des chargé.es de mission des parcs sur les sols .....      | 44 |
| La synthèse de connaissance sur les sols forestiers .....                          | 44 |
| Le séminaire sur l'impact de la fréquentation d'un site naturel sur les sols ..... | 45 |
| Un webinaire sur les sols forestiers .....                                         | 48 |
| Un guide pour préserver les sols forestiers .....                                  | 49 |
| Partie 5 : Discussion .....                                                        | 52 |
| L'animation territoriale, un outil pour apporter des connaissances ? .....         | 52 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Une prise en compte des sols dans la gestion sylvicole encore minime dans le Massif central ..... | 54 |
| Partie 6 : Perspectives du stage .....                                                            | 55 |
| Bilan du stage .....                                                                              | 55 |
| Retour d'expérience .....                                                                         | 55 |
| Les apports .....                                                                                 | 55 |
| Les limites .....                                                                                 | 55 |
| Lien avec le master GEMO.....                                                                     | 55 |
| Perspective du projet .....                                                                       | 56 |
| Conclusion .....                                                                                  | 56 |
| Bibliographie.....                                                                                | 57 |
| Références scientifiques.....                                                                     | 57 |
| Sitographies .....                                                                                | 60 |
| Annexes .....                                                                                     | 61 |
| Listes des figures et des tableaux.....                                                           | 68 |
| Listes des annexes .....                                                                          | 69 |
| Table des matières .....                                                                          | 70 |
| Résumé .....                                                                                      | 73 |
| Abstract.....                                                                                     | 74 |

## Résumé

**Mots clés :** sols forestiers, sylviculture, résilience des peuplements, socle de l'écosystème, impacts anthropiques

Ce mémoire explore la mise en place d'actions en faveur des sols forestiers, en collaboration avec neuf des douze parcs du Massif central : le parc naturel régional du Morvan, du Périgord-Limousin, de Millevaches en Limousin, des Volcans d'Auvergne, du Livradois-Forez, de l'Aubrac, des Grands Causses, du Haut-Languedoc, ainsi que le parc national des Cévennes. L'objectif principal est d'apporter et de diffuser la connaissance sur les sols auprès des acteurs forestiers, afin de réduire les impacts négatifs de la sylviculture sur ces écosystèmes essentiels.

La prise en compte des sols dans la gestion sylvicole reste aujourd'hui minime, alors même que leur rôle est crucial pour la résilience des forêts face aux changements climatiques. En effet, les sols forestiers jouent un rôle clé dans le stockage du carbone, la régulation de l'eau et la biodiversité, mais leur dégradation, souvent liée à des pratiques sylvicoles inappropriées, menace ces fonctions. Ce travail se concentre donc sur l'acquisition et la diffusion de connaissances à destination des chargés de mission, ainsi que sur la création d'un livret pédagogique destiné aux propriétaires et gestionnaires forestiers. Ce livret vise à sensibiliser et à outiller les acteurs de terrain pour une gestion plus durable des sols.

Ce mémoire s'inscrit également dans un projet plus global à l'échelle nationale, avec la mise en place, en juillet 2025, d'un plan national d'action pour la préservation des sols, ainsi que de divers projets portés par la fédération des parcs naturels régionaux. Ces initiatives soulignent l'importance croissante accordée à la protection des sols, non seulement comme support de la production forestière, mais aussi comme élément central de la lutte contre le changement climatique.

La problématique centrale de ce mémoire est la suivante : « **Face aux effets du changement climatique, quelles stratégies de gestion et de préservation des sols forestiers peuvent être mises en œuvre dans les Parcs du Massif central, pour garantir leur résilience à long terme ?** » Pour y répondre, une approche méthodique en plusieurs étapes a été adoptée. Elle commence par un état des lieux des connaissances existantes sur la thématique, permettant de dresser un panorama des enjeux. Ensuite, un cadre méthodologique est défini, précisant les outils et les méthodes utilisés pour mettre en place ce projet. Enfin, les résultats obtenus sont exposés et analysés, afin de proposer des pistes concrètes pour coordonner un projet à l'échelle des parcs du Massif central. L'ambition est de créer une dynamique collective, en impliquant l'ensemble des acteurs concernés, pour une gestion forestière plus respectueuse des sols et plus adaptée aux défis climatiques futurs.

## Abstract

Keywords: forest soils, silviculture, stand resilience, ecosystem foundation, human impacts

This thesis explores the implementation of measures to protect forest soils, in collaboration with nine of the twelve parks in the Massif Central: the Morvan Regional Nature Park, the Périgord-Limousin Regional Nature Park, the Millevaches en Limousin Regional Nature Park, the Volcans d'Auvergne Regional Nature Park, the Livradois-Forez Regional Nature Park, the Aubrac Regional Nature Park, the Grands Causses Regional Nature Park, the Haut-Languedoc Regional Nature Park, and the Cévennes National Park. The main objective is to provide and disseminate knowledge about soils to those involved in forestry, in order to reduce the negative impacts of forestry on these essential ecosystems.

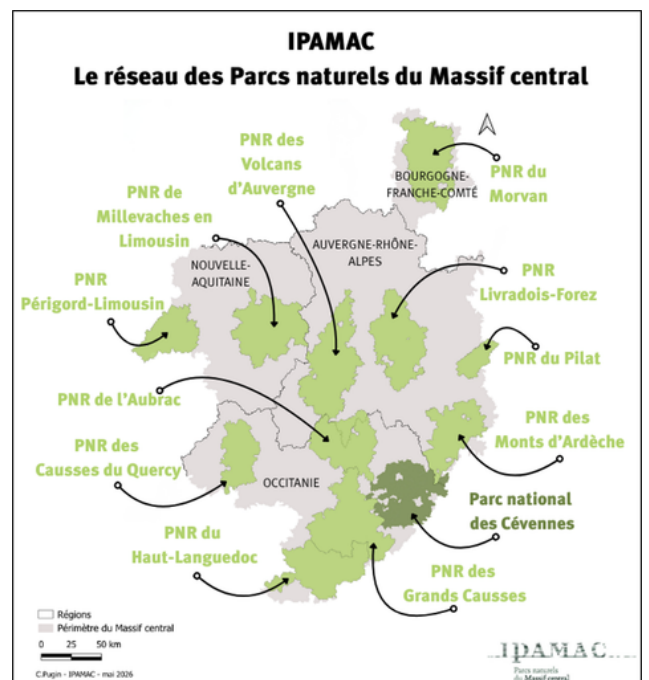
At present, little account is taken of soils in forest management, even though they play a crucial role in the resilience of forests to climate change. Indeed, forest soils play a key role in carbon sequestration, water regulation and biodiversity, but their degradation – often linked to inappropriate silvicultural practices – threatens these functions. This project therefore focuses on building and disseminating knowledge for project officers, as well as on producing an educational booklet for forest owners and managers. This booklet aims to raise awareness and equip those working on the ground with the tools needed for more sustainable soil management.

This thesis is also part of a broader national initiative, involving the introduction, in July 2025, of a national action plan for soil conservation, as well as various projects led by the Federation of Regional Nature Parks. These initiatives highlight the growing importance attached to soil protection, not only as a foundation for forestry production, but also as a key element in the fight against climate change.

The central research question of this dissertation is as follows: 'In light of the effects of climate change, what strategies for the management and conservation of forest soils can be implemented in the Massif Central parks to ensure their long-term resilience?' To address this, a methodical, multi-stage approach was adopted. It begins with a review of existing knowledge on the subject, providing an overview of the key issues. Next, a methodological framework is defined, specifying the tools and methods used to carry out this project. Finally, the results obtained are presented and analysed, with a view to proposing concrete avenues for coordinating a project across the Massif Central parks. The aim is to create a collective momentum, by involving all relevant stakeholders, to achieve forest management that is more soil-friendly and better adapted to future climate challenges.



**Marie Fougereuse - Chargé de projets  
Biodiversité - IPAMAC**



# LES RÉSULTATS

Ces entretiens nous ont permis de mieux comprendre les enjeux et le contexte de chaque territoire.

Nous avons également pu constater que les chargés de mission avaient besoin de monter en compétence sur les sols forestiers. Il faut également arriver à diffuser les bonnes pratiques pour limiter les impacts de la sylviculture sur les sols. Ces entretiens sont venus confirmer les livrables du stage.



Synthèse des entretiens avec les chargés de mission des parcs impliqués dans le projet

## La synthèse pour les parcs

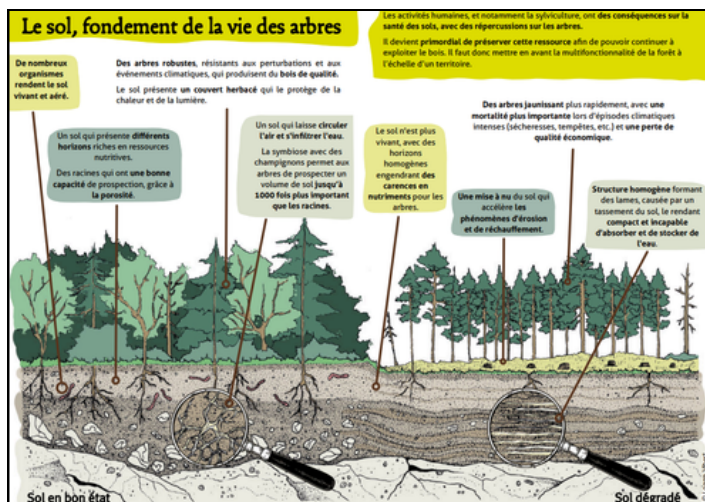
- Synthèse d'une dizaine de page sur les sols forestiers
- Des documents complémentaires sont proposés pour chaque parties

## Intervention lors d'un séminaire

- Journée de séminaire avec les pôles de pleine nature du Massif central et les chargés de mission Tourisme des parcs
- Un temps de présentation sur l'impact de la fréquentation sur les sols
- Un atelier associé à la problématique

## Le livret des bonnes pratiques

- Livret de 10 pages
- Un contexte sur les sols, les conséquences sur les peuplements et les fiches actions



## Conclusion

- Le fonctionnement et l'importance des sols forestiers est souvent méconnus des acteurs forestiers
- Les parcs ne sont pas toujours identifiés comme par la filière bois pour travailler sur ces sujets.
- Les sols forestiers sont une ressource non renouvelable, il faut que les pratiques sylvicoles évoluent. C'est pourquoi nous avons réalisé un livret, qui sera en libre accès sur le site de l'IPAMAC, ainsi qu'un webinaire avec la fédération des parcs naturels régionaux, pour diffuser cette connaissance.