



**HAL**  
open science

## **Les dernières hêtraies-sapinières subnaturelles européennes: une étude globale sur la longue durée pour leur meilleure connaissance, conservation et gestion**

Vanessa Py-Saragaglia, Mélanie Saulnier, Cécile Brun, Sylvie Guillerme, Ruppert Vimal, Antoine Brin, Laurent Larrieu, Sylvie Ladet, Sylvain Burri, Nicolas Poirier,  
et al.

### ► **To cite this version:**

Vanessa Py-Saragaglia, Mélanie Saulnier, Cécile Brun, Sylvie Guillerme, Ruppert Vimal, et al.. Les dernières hêtraies-sapinières subnaturelles européennes: une étude globale sur la longue durée pour leur meilleure connaissance, conservation et gestion. CNRS. 2024. <halshs-04770635>

**HAL Id: halshs-04770635**

**<https://shs.hal.science/halshs-04770635v1>**

Submitted on 7 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

	<b>Compte-rendu de fin de projet</b>	

**Projet ANR-19-CE03-0010**

**BENDYS: The last European old-growth fir-BEech forests: a loNg term and global stuDY for their better underStanding, conservation and management**


Programme CE03 2019

<b>A</b>	<b>IDENTIFICATION .....</b>	<b>2</b>
<b>B</b>	<b>RESUME CONSOLIDE PUBLIC .....</b>	<b>3</b>
B.1	Instructions pour les résumés consolidés publics .....	3
B.2	Résumé consolidé public en français .....	4
B.3	Résumé consolidé public en anglais .....	6
<b>C</b>	<b>MEMOIRE SCIENTIFIQUE .....</b>	<b>8</b>
C.1	Résumé du mémoire.....	8
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art .....	9
C.3	Approche scientifique et technique.....	10
C.4	Résultats obtenus.....	12
C.5	Exploitation des résultats .....	17
C.6	Discussion .....	19
C.7	Conclusions .....	21
C.8	Références .....	21
<b>D</b>	<b>LISTE DES LIVRABLES .....</b>	<b>23</b>
<b>E</b>	<b>IMPACT DU PROJET .....</b>	<b>23</b>
E.1	Indicateurs d'impact .....	23
E.2	Liste des publications et communications.....	24
E.3	Liste des éléments de valorisation .....	28
E.4	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires).....	30
<b>F</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>32</b>

*Ce document est à remplir par le coordinateur en collaboration avec les partenaires du projet. L'ensemble des partenaires doit avoir une copie de la version transmise à l'ANR.*

*Ce modèle doit être utilisé uniquement pour le compte-rendu de fin de projet.*

## A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	BENDYS 
Titre du projet	The last European old-growth ("subnatural") fir-Beech forests: a loNg-term and global stuDY for their better underStanding, conservation and management
Coordinateur du projet (société/organisme)	Vanessa Py-Saragaglia UMR IRAMAT 7065 CNRS UTBM (ex UMR 5602 GEODE CNRS UT2J)
Période du projet (date de début – date de fin)	T0 scientifique 01/10/2019 Tfinal scientifique 31/03/2024
Site web du projet, le cas échéant	<a href="https://anr-bendys.cnrs.fr">https://anr-bendys.cnrs.fr</a>

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Vanessa Py-Saragaglia
Téléphone	0695807548
Adresse électronique	<a href="mailto:vanessa.py-saragaglia@utbm.fr">vanessa.py-saragaglia@utbm.fr</a> <a href="mailto:vanessa.py-saragaglia@cnrs.fr">vanessa.py-saragaglia@cnrs.fr</a>
Date de rédaction	Septembre 2024

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)  Nouveaux partenaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GEODE UMR 5602 CNRS-Université de Toulouse (France) (Vanessa Py-Saragaglia, Mélanie Saulnier, Cécile Brun, Sylvie Guillerme, Ruppert Vimal, Florence Mazier, Magali Philippe, Sandrine Buscaino, Emilie Lerigoleur)</li> <li>• IRAMAT-LMC UMR 7065 CNRS-Université de Technologie Belfort-Montbéliard (France) (Vanessa Py-Saragaglia)</li> <li>• DYNAFOR UMR 1201 INRAE-Université de Toulouse (France) (Antoine Brin, Laurent Larrieu, Sylvie Ladet)</li> <li>• TRACES UMR 5608-Université de Toulouse (France) (Sylvain Burri, Nicolas Poirier)</li> <li>• CRBE UMR 5300 (regroupant les ex laboratoires EDB et EcoLab-LEFE), INP, IRD, Université Paul Sabatier (Toulouse) (Gaël Le Roux)</li> <li>• Université de Nantes (France) (Cécile Brun)</li> <li>• Faculty of Biology, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi (Romania) (Mihaela Danu)</li> <li>• LASA-Università degli studi di Genova (Italy) (Anna Stagno)</li> <li>• FED-tWIN Deep in Heritage, Liege University, 4000 Liège / KIK-IRPA B-1000 Bruxelles (Vincent Labbas)</li> <li>• IRL IFAECI – Institut Franco Argentin sur l'étude du climat et ses impacts, Universidad de Buenos Aires, Dpto. de Ciencias de la Atmosfera y los Oceanos,</li> </ul>
---	---

	<p>FCEN (Argentina) (François de Vleeschouwer, Mélanie Roy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ștefancel Mare University (Romania) (Marcel Mîndrescu)</li> <li>• Faculty of Forestry and Wood Sciences - Czech University of Life Sciences Prague (Tchéquie) (Miroslav Svoboda)</li> <li>• Babeș-Bolyai University (Romania) (Calin Tamas)</li> <li>• CNPF-CRPF Occitanie (France) (Laurent Larrieu)</li> <li>• ONF (Alice Triquenot)</li> <li>• Romsilva (Florin Mârzac)</li> <li>• WWF Romania (Călin Ardelean) et WWF France (Daniel Vallauri)</li> <li>• Parcul Natural Munții Maramureșului (Cătălina Bogda)</li> </ul>
--	--

## B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

*Ce résumé est destiné à être diffusé auprès d'un large public pour promouvoir les résultats du projet, il ne fera donc pas mention de résultats confidentiels et utilisera un vocabulaire adapté mais n'excluant pas les termes techniques. Il en sera fourni une version française et une version en anglais. Il est nécessaire de respecter les instructions ci-dessous.*

### B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RESUMES CONSOLIDES PUBLICS

*Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.*

**Titre d'accroche du projet** (environ 80 caractères espaces compris)

*Titre d'accroche, si possible percutant et concis, qui résume et explicite votre projet selon une logique grand public : il n'est pas nécessaire de présenter exhaustivement le projet mais il faut plutôt s'appuyer sur son aspect le plus marquant.*

*Les deux premiers paragraphes sont précédés d'un titre spécifique au projet rédigé par vos soins.*

**Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique** (150 caractères max espaces compris)

**Paragraphe 1 :** (environ 1200 caractères espaces compris)

*Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique ou/et sociétal*

**Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées** (150 caractères max espaces compris)

**Paragraphe 2 :** (environ 1200 caractères espaces compris)

*Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).*

**Résultats majeurs du projet** (environ 600 caractères espaces compris)

*Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ.*

*Préciser aussi toute autre retombée= partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.*

**Production scientifique et brevets depuis le début du projet** (environ 500 caractères espaces compris)

*Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation*

### **Illustration**

*Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.*

### **Informations factuelles**

*Rédiger une phrase précisant le type de projet (recherche industrielle, recherche fondamentale, développement expérimental, exploratoire, innovation, etc.), le coordonnateur, les partenaires, la date de démarrage effectif, la durée du projet, l'aide ANR et le coût global du projet, par exemple « Le projet XXX est un projet de recherche fondamentale coordonné par xxx. Il associe aussi xxx, ainsi que des laboratoires xxx et xxx). Le projet a commencé en juin 2006 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de xxx € pour un coût global de l'ordre de xxx € »*

## **B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS**

*Suivre impérativement les instructions ci-dessus.*

**Titre d'accroche :** Mieux connaître les vieilles forêts pour mieux les gérer et les conserver

**Titre 1 :** Les vieilles forêts : des écosystèmes exceptionnels en danger

### **Paragraphe 1 : enjeux et objectifs**

Les vieilles forêts sont au cœur des débats actuels sur la lutte contre le réchauffement climatique et la crise de la biodiversité. En effet, elles possèdent une capacité d'accueil de la biodiversité très supérieure à celle des autres forêts et constituent d'importants puits de carbone. Or, des inventaires récents montrent qu'elles représentent moins de 3% de la surface forestière européenne. D'autre part, outre le climat, les peuplements survivants sont confrontés à d'autres menaces telles que les coupes à blanc, les plantations, l'utilisation non durable des ressources ou l'exploitation forestière illégale. Il devient donc urgent de mieux les connaître pour savoir ce qui doit être protégé et comment. La production de cette connaissance implique un véritable effort interdisciplinaire pour démêler les principaux moteurs, naturels et anthropiques, qui ont conduit à leur état actuel. En se basant sur une approche holistique intégrant une approche réflexive sur nos pratiques scientifiques et sur comment elles peuvent influencer les forêts de demain, le projet porte sur les hêtraies-sapinières des Pyrénées françaises et des Carpates roumaines où se concentre la majeure partie des dernières vieilles forêts de montagnes tempérées.

**Titre 2 :** Une approche holistique et multiscalaire intégrant les dynamiques plurimillénaires

### **Paragraphe 2 : Méthodes et technologies utilisées**

Le projet repose sur un protocole interdisciplinaire et multiscalaire déployés dans 6 sites-ateliers. Il consiste à étudier les forçages naturels et anthropiques qui ont influencé les dynamiques forestières depuis la dernière reconquête forestière post-glaciaire. Pour cela, il repose sur l'analyse multiproxy d'archives sédimentaires, ainsi que sur l'analyse des sources écrites et archéologiques, intégrant des approches dendroarchéologique et anthracologiques (sols, charbonnières). Le projet vise également à caractériser la diversité biologique et culturelle héritée de ces dynamiques. Il repose sur l'analyse dendrologique et dendrochronologique des peuplements, sur la technologie LiDAR, sur le monitoring des sols combinant des analyses XRF et le protocole TEAComposition, et sur une analyse de la diversité

des champignons, des insectes et des eucaryotes en utilisant le métabarcoding de l'ADNe. Les pratiques et les perceptions des communautés locales sont appréhendées par des enquêtes sociales. Enfin, le projet étudie la production de données sur les vieilles forêts depuis plusieurs décennies en Europe et au sein même du projet BENDYS pour questionner les pratiques interdisciplinaires et montrer comment la science façonne les forêts de demain.

**Résultats majeurs :** le projet a montré que les dynamiques plurimillénaires dont sont héritées les vieilles forêts actuelles, considérées comme primaires (forêts de Strâmbu-Băiuț et Bistra) ou subnaturelles (forêts des Pyrénées) par les conservateurs des espaces naturels, les gestionnaires et les écologues, ont été fortement influencées par l'humain au moins depuis 6000 ans et jusqu'aux XIX<sup>e</sup>–début XX<sup>e</sup> siècles. Certaines essences ont reculé ou disparu, tandis que d'autres ont été favorisées en fonction des besoins économiques et des stratégies de gestion. Les plus anciennes traces d'activités humaines remontent à l'âge du Bronze (Photo) et ces espaces sont toujours fréquentés et utilisés par les communautés locales très attachées à leurs forêts. L'état de maturité actuel a été atteint en raison d'un relâchement des prélèvements lié à la déprise rurale et à des décisions politiques. En dépit de cet héritage bioculturel complexe, les vieilles forêts constituent des références pour inspirer des pratiques de gestion proches de la nature favorisant la biodiversité et la résilience des forêts.



Bistra (Carpates) : découverte de la plus ancienne charbonnière connue en Europe, datée par le radiocarbone du Bronze ancien (autour de 4000 calBP), où avait été charbonné de l'if (*Taxus baccata* Mill.), une espèce aujourd'hui disparue du peuplement (Photo Vanessa Py-Saragaglia)

**Production scientifique et brevets depuis le début du projet :** les résultats du projets ont été diffusés auprès des spécialistes dans des communications orales (10) ou affichée (1) (colloques, journées d'études, workshops) et des articles ou des DATA Papers (13) publiés ou en cours de publication dans des journaux *peer-reviewed*. Ils ont également été disséminés auprès du public dans le cadre de conférences (5), mais aussi dans un dossier de la revue grand public [Archéologia](#) et un [dessin animé](#) réalisé avec le collectif « Past & Curious ». Certains résultats ont été consignés dans des rapports inédits, en particulier les travaux des membres non permanents et des stagiaires de Master. Les principaux acquis du projet sont intégrés dans la réflexion du « Plan National d'Actions Vieux Bois et Forêts subnaturelles » piloté par le ministère de la transition écologique, et dans la phase 4 du projet sur les vieilles forêts d'Occitanie. Le projet BENDYS a également donné lieu ou contribué à plusieurs projets connexes ou associés (OcciGen, ELFES, BOSCA, EVOC, Vieilles Forêts d'Occitanie Phase 4, Étude la réserve naturelle de Montious). La *core team* s'est aussi investie dans la formation avec la co-organisation de l'école thématique CNRS Pluribois 2022 en collaboration avec le GDR Sciences du bois, mais également avec l'encadrement (ou co-encadrement) de 4 stagiaires de Master et d'une thèse de doctorat en cotutelle financée par une bourse Vinci.

**Informations factuelles :** BENDYS est un projet de recherche fondamentale coordonné par Vanessa Py-Saragaglia, actuellement chercheuse au laboratoire IRAMAT-LMC UMR 7065 à Belfort (France), et rattachée pendant la durée du projet au laboratoire GEODE UMR 5602 à Toulouse (France). BENDYS est un projet « JCJC » qui associe plusieurs chercheuses et chercheurs rattaché.e.s à des laboratoires du CNRS et de l'INRAE et/ou à des universités françaises et étrangères (Toulouse, Nantes, Cluj, Iasi, Suceava, Prague, Gênes, Buenos Aires). Le projet a commencé en octobre 2019 et a duré 54 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 378000 € pour un coût global de l'ordre de 378000 €.

### **B.3 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS**

*Suivre impérativement les instructions ci-dessus.*

**Tagline:** A better understanding of old-growth forests to improve their management and conservation

**Title 1:** Old-growth forests: exceptional ecosystems under threat

#### **Paragraph 1: Issues and Objectives**

Old-growth forests are at the heart of current debates on combating global warming and the biodiversity crisis. Indeed, they have a much greater capacity to host biodiversity than other forests and are important carbon sinks. Yet recent inventories show that they account for less than 3% of Europe's forest area. What's more, the surviving stands face threats other than climate change, such as clear-cutting, plantations, unsustainable resource use and illegal logging. There is therefore an urgent need to understand them better, so that we know what to protect and how. Generating this knowledge requires a truly interdisciplinary effort to unravel the key drivers, both natural and anthropogenic, that have led to their current state. Based on a holistic approach that includes a reflexive approach to our scientific practices and how they may affect the forests of tomorrow, the project focuses on the beech-fir forests of the French Pyrenees and the Romanian Carpathians, where most of the last old-growth temperate mountain forests are concentrated.

**Title 2:** A holistic, multi-scalar approach integrating multi-millennial dynamics

**Paragraph 2: Methods and technologies used**

The project is based on an interdisciplinary and multiscale protocol applied at 6 workshop sites. BENDYS investigates the natural and anthropogenic forcing that has influenced forest dynamics since the last postglacial forest reconquest. To do this, BENDYS relies on multi-proxy analysis of sedimentary archives, as well as analysis of written and archaeological sources, integrating dendroarchaeological and anthracological approaches (soils, charcoal kilns). The project also aims to characterise the biological and cultural diversity inherited from these dynamics. It is based on dendrological and dendrochronological analysis of the stands, LiDAR technology, soil monitoring combining XRF analysis and the TEAComposition protocol, and an analysis of the diversity of fungi, insects and eukaryotes using eDNA metabarcoding. The practices and perceptions of local communities are being understood through social surveys. Finally, the project examines the production of data on old-growth forests over several decades in Europe and within the BENDYS project itself, in order to challenge interdisciplinary practices and show how science is shaping the forests of tomorrow.

**Main results:** The project has shown that the multi-millennia-old dynamics from which today's old-growth forests are inherited - considered by conservationists, managers and ecologists as primary (Strâmbu-Băiuț and Bistra forests) or subnatural (Pyrenean forests) - have been strongly influenced by humans for at least the last 6,000 years and until the 19th and early 20th centuries. Some tree species have retreated or disappeared, while others have been favoured according to economic needs and management strategies. The oldest traces of human activity date back to the Bronze Age (Photo) and these areas are still visited and used by local communities who have a strong attachment to their forests. The current state of maturity has been reached as a result of a relaxation of harvesting linked to rural abandonment and political decisions. Despite this complex biocultural heritage, old-growth forests provide a benchmark for biodiversity-friendly practices that promote forest resilience.

**Scientific output and patents since the start of the project:** the results of the project have been disseminated to specialists in the form of oral (10) or poster (1) presentations (conferences, study days, workshops) and articles or DATA Papers (13) published or in the process of being published in peer-reviewed journals. They have also been disseminated to the general public at conferences (5), in a special issue of the general public magazine *Archéologia* and in a cartoon produced with the 'Past & Curious' collective. Some of the results have been recorded in unpublished reports, particularly the work of non-permanent members and Masters students. The main results of the project will be incorporated into the 'National Action Plan for Old-Growth Forests and Subnatural Forests', piloted by the French Ministry of Ecological Transition, and into Phase 4 of the Occitania Old-Growth Forests Project. The BENDYS project has also given rise to or contributed to several related or associated projects (OcciGen, ELFES, BOSCA, EVOG, Vieilles Forêts d'Occitanie Phase 4, Étude la réserve naturelle de Montious). The core team has also been involved in training, co-organising the CNRS Pluribois 2022 thematic school in collaboration with the GDR Sciences du bois, as well as supervising (or co-supervising) 4 Masters trainees and a co-supervised PhD thesis funded by a Vinci grant.

**Factual information:** BENDYS is a fundamental research project led by Vanessa Py-Saragaglia, currently a researcher at the IRAMAT-LMC UMR 7065 laboratory in Belfort (France), and attached to the GEODE UMR 5602 laboratory in Toulouse (France) for the duration of the

project. BENDYS is a “JJC” project involving several researchers from CNRS and INRAE laboratories and/or French and foreign universities (Toulouse, Nantes, Cluj, Iasi, Suceava, Prague, Genoa, Buenos Aires). The project started in October 2019 and lasted 54 months. It received ANR funding of €378,000 for a total cost of around €378,000.

## C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

*Maximum 5 pages. On donne ci-dessous des indications sur le contenu possible du mémoire. Ce mémoire peut être accompagné de rapports annexes plus détaillés.*

*Le mémoire scientifique couvre la totalité de la durée du projet. Il doit présenter une synthèse auto-suffisante rappelant les objectifs, le travail réalisé et les résultats obtenus mis en perspective avec les attentes initiales et l'état de l'art. C'est un document d'un format semblable à celui des articles scientifiques ou des monographies. Il doit refléter le caractère collectif de l'effort fait par les partenaires au cours du projet. Le coordinateur prépare ce rapport sur la base des contributions de tous les partenaires. Une version préliminaire en est soumise à l'ANR pour la revue de fin de projet.*

*Un mémoire scientifique signalé comme confidentiel ne sera pas diffusé. Justifier brièvement la raison de la confidentialité demandée. Les mémoires non confidentiels seront susceptibles d'être diffusés par l'ANR, notamment via les archives ouvertes <http://hal.archives-ouvertes.fr>.*

**Mémoire scientifique confidentiel** : oui / ~~non~~

### C.1 RESUME DU MEMOIRE

*Ce résumé peut être repris du résumé consolidé public.*

Ce mémoire fait état des recherches menées dans le cadre du projet BENDYS qui a démarré à la fin de l'année 2019 et dont les deux premières années ont été perturbées par l'épidémie mondiale COVID 19. Le projet initialement prévu sur 36 mois s'est donc étalé sur 54 mois. L'ensemble des données acquises a été en partie valorisé dans le cadre de plusieurs publications et communications, même si d'autres valorisations sont encore attendues pendant au moins les deux prochaines années. Une publication de synthèse est en cours d'écriture et devrait être soumise à la fin de l'année 2024. La plupart des objectifs fixés en termes d'acquisition des données ont été atteints. Le décès d'un membre de l'équipe laisse cependant une séquence sédimentaire étudiée de façon incomplète. Les échantillons sont néanmoins accessibles et pourront faire l'objet d'études ultérieures. L'ensemble des données acquises a été traité et une partie a été analysée et interprétée dans le cadre de plusieurs publications et communications. Une publication de synthèse est en cours d'écriture.

Le projet BENDYS porte sur les vieilles forêts des montagnes tempérées d'Europe et plus particulièrement sur les hêtraies-sapinières. Ces forêts constituent aujourd'hui des sanctuaires pour la biodiversité forestière en raison de leurs caractéristiques liées à leur degré élevé de maturité, à leur hétérogénéité et à la dominance des peuplements par les dryades. Leur conservation et leur gestion s'avèrent fondamentales dans un contexte globale d'érosion de la biodiversité et de dérèglement climatique. Le projet visait à comprendre quelles ont été les trajectoires holocènes qui ont conduit à ces écosystèmes afin de produire des nouvelles connaissances et des références pour les forêts du futurs. Il repose pour cela sur une ambitieuse approche interdisciplinaire co-construite avec des chercheuses et des chercheurs issues de disciplines des sciences de la nature et de la terre et des sciences humaines et sociales. La pratique de l'interdisciplinarité à l'intérieur du projet, qui s'est avérée un exercice complexe en raison de la diversité des ordres spatio-temporels, a été étudiée sous l'angle du terrain.

L'équipe BENDYS a bénéficié d'un renfort RH conséquent financé avec les crédits de l'ANR, avec le recrutement d'une chercheuse (Mélanie Saulnier, 15 mois de post-doc puis recrutée au CNRS en CDD puis en tant que titulaire en octobre 2022) et de deux chercheurs postdoctoraux (Vincent Labbas, 13 mois, Evan Fisher, 24 mois), de deux personnels d'appui (Coralie Roy-Camille, 6 mois, Agnes Ruskal, 6 mois) et d'un stagiaire de Master (Théo Maisonhaute, 6 mois). Elle a également accueilli une doctorante en cotutelle cofinancée par une bourse Vinci (Sarah Parrilla), une étudiante en Master dans le cadre d'un stage professionnalisant (Pauline Bordes), et deux autres étudiants de Master dont les stages ont été financés par des projets partenaires (Geoffrey Bédé et Julien Touzeau). Le projet BENDYS a financé ou contribué à financer deux séjours d'études à Toulouse de chercheurs roumains (Marcel Mîndrescu et Mihaela Danu) et a permis la venue dans les Pyrénées de l'équipe tchèque du réseau [Remote Primary Forests](#). Alors que ce réseau s'intéressait principalement au suivi et au monitoring des forêts subnaturelles des Carpates et des Balkans, BENDYS a permis son ouverture sur l'Europe de l'ouest avec un nouveau terrain monitoré dans les Pyrénées.

Le projet BENDYS a permis de renverser le paradigme de la forêt primaire ou quasi intacte en Europe tempérée (*remote relict primary forests*) en révélant des trajectoires d'anthropisation holocènes similaires à celles perçues aux échelles régionales dans les montagnes de l'Europe tempérée. Il met en lumière que les vieilles forêts montagnardes sont des socioécosystèmes complexes, hérités d'une interaction plurimillénaire entre les pratiques humaines et les dynamiques naturelles. Il montre également que ces forêts accueillent aujourd'hui une biodiversité bien plus élevée que les forêts homogènes et régulièrement rajeunies, gérées pour la production de bois, qui est liée à la maturation de peuplements hétérogènes où les principales dryades ont été conservées en dépit de la favorisation des conifères à croissance rapide, surtout entre les XVIIIe et XXe siècles.

## C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

*Présenter les enjeux initiaux du projet, la problématique formulée par le projet, et l'état de l'art sur lequel il s'appuie. Présenter leurs éventuelles évolutions pendant la durée du projet (les apports propres au projet sont présentés en C.4).*

Les changements globaux et l'érosion de la biodiversité (Watson et al., 2018) conduisent à un intérêt accru pour les forêts « naturelles » ou « primaires », y compris en Europe où elles représentent aujourd'hui moins de 3% de la couverture forestière totale, sans couvrir l'ensemble de la diversité des types de forêts (Sabatini et al., 2021). Les derniers inventaires montrent que ces forêts ne représentent environ que 0,1% de la couverture forestière actuelle en France (4% des forêts de montagne dans les Pyrénées, Savoie et al., 2015) et qu'elles ne représentent plus que 2% de la couverture forestière en Roumanie où elles sont concentrées dans les Carpates (Knorn et al., 2013; Sabatini et al., 2018, 2021). Les forêts les mieux préservées, dont la biodiversité est très largement supérieure à celle des forêts gérées, sont en effet majoritairement localisées dans les hautes vallées aux versants escarpés, loin des voies d'accès et des agglomérations (Sabatini et al. 2018; Larrieu et al. 2023). Elles sont concentrées dans l'étage montagnard où le climat favorise la croissance du hêtre et du sapin blanc (Ozenda, 1994). Les écologues forestiers et les conservateurs de la nature considèrent donc les vieilles (*old-growth*) hêtraies-sapinières comme des forêts naturelles (ou proche d'un état naturel, i.e. « subnaturel ») à prendre comme référence pour la conservation des écosystèmes et de la biodiversité (Larrieu et al., 2023). En effet, en dépit de l'abondance des études archéologiques et paléoenvironnementales (E.g. Vera, 2000; Bradshaw and Hannon, 2004; Tinner and Lotter, 2006; Walsh et al., 2007, 2008; Kaplan et al., 2009; Galop and Catto, 2014; Gauthier et al., 2015)

qui montrent d'une part l'anthropisation très ancienne des massifs montagneux d'Europe et, d'autre part, le développement de certaines dryades en même temps que celui des activités humaines, ces peuplements relictuels sont encore considérés comme primaires (forêts qui se seraient constituées de façon spontanée et sans intervention humaine depuis la dernière déglaciation) ou proches d'un état naturel (forêts naturellement régénérées et constituées d'essences natives sans traces visibles d'activités humaines). De plus, au-delà de la dominance des essences longévives et sciaphiles, ce postulat repose aussi sur l'observation des caractéristiques de *old-growth forests* (Bauhus et al., 2009) dans les peuplements actuels : hétérogénéité structurale, diversité des essences, nombreux gros et présumés vieux arbres, grandes diversités de dendromicrohabitats, grande diversité de bois mort à différents états de saproxylation, qui offrent des habitats et des ressources à une riche biodiversité. Or les études qui s'intéressent à ces écosystèmes et à leur biodiversité n'intègrent que très rarement des recherches sur leur histoire très longue (Pokorný et al., 2022). Les forêts européennes ont pourtant toujours fourni de nombreuses ressources aux sociétés du passé (matériaux divers, combustibles, fibres, exsudats, nourriture, etc.) dont l'exploitation s'est progressivement intensifiée depuis environ 8000 ans BP et surtout à partir de 6000 ans BP au travers de pratiques d'ébranchage et d'émondage, de systèmes de pâturages boisés, de taillis ou encore de futaies irrégulières (Rotherham, 2013 ; Buckley and Mills, 2015 ; Savill, 2015). Aussi le projet postule que les vieilles forêts dont l'exploitation pour la production de bois est aujourd'hui nulle (ou quasi), ont potentiellement une histoire ancienne partagée avec les sociétés du passé qui se sont succédées (Kirby and Watkins, 2015; Latałowa et al., 2015). Cette interaction a été étudiée pour mieux comprendre comment ces forêts ont maintenu des caractéristiques et une dynamique « naturelles » ou proches de ce que nous jugeons de « naturel ». Pour cela, nous avons sélectionné 6 sites parmi les mieux conservés dans les Pyrénées françaises et les Carpates roumaines pour mettre en place un ensemble d'études s'inscrivant dans le champ polymorphe et interdisciplinaire de l'écologie historique (Szabó & Hédl, 2011; Szabó, 2015; Odone & Molino, 2020) qui s'intéresse au passé et à son héritage vivant, dans la perspective d'une meilleure gestion et conservation des patrimoines bioculturels. Notre objectif était donc de réviser le paradigme des forêts primaires relictuelles en Europe, de clarifier leurs dynamiques sur le long terme pour montrer que la hêtraie-sapinière climacique est en réalité le résultat d'une co-construction nature-culture. En outre, il s'agissait de questionner ce qui doit être pris comme référence en termes de gestion pour une meilleure expression de la biodiversité et pour bénéficier des services rendus par ces écosystèmes dynamiques et de grande longévité. La production de connaissances scientifiques sur les vieilles forêts en Europe et dans le cadre même du projet BENDYS a également été étudiée afin de montrer comment la science influence d'une part l'ontologie des forêts et, d'autre part, leur futur.

### **C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE**

Le projet repose sur une approche multiscalair et diachronique inédite : de l'échelle de l'arbre et du peuplement à celle de l'Europe, et du présent au début de l'Holocène (il y a environ 12000 ans), avec des pas de temps variés, propres à chacune des disciplines mobilisées (Py-Saragaglia et al., 2020, *in prep.*, Annexe 1, figures 1, 2). En focalisant sur le temps des vieilles forêts et les temporalités forestières, cette approche a intégré la question de la production de connaissances scientifiques (*scoping review*) et de leur influence sur la perception et l'ontologie des vieilles forêts, mais également sur les politiques forestières (Fisher et al., 2024). Le projet constitue donc un point de convergence entre des disciplines des sciences de la nature, de la terre et de l'environnement, et des sciences humaines et sociales. Cette convergence se traduit

par des pratiques collectives et un lourd travail commun sur le terrain qui a nécessité de très nombreuses missions en France et à l'étranger (voir photos annexe 2), ainsi que des réunions régulières et des réajustements du protocole. Ce travail collectif a fait l'objet d'un suivi ethnographique (observation participante) et d'interviews individuels, menés au sein de l'équipe de recherche pour (i) étudier la mise en œuvre de pratiques interdisciplinaires et en particulier dans leur dimension spatio-temporelle, et (ii) montrer en quoi le travail de terrain, par une approche empirique et descriptive, produit de l'interdisciplinarité (Fisher & Vimal, 2024).

Les sites pilotes choisis sont situés aux extrémités ouest et est de l'Europe tempérée (Annexe 3, cartes 1, 2, 3) (3 dans les Pyrénées, 3 dans les Carpates). Ils présentent néanmoins des caractéristiques communes : (i) ils sont localisés dans l'étage montagnard, (ii) ils appartiennent à l'aire de répartition de la hêtraie-sapinière, (iii) ils présentent des caractéristiques de *old-growth forests*, (iv) ils sont considérés comme « primaires », « vierges », ou « naturels » ou, en tout cas, préservés des activités humaines « depuis très longtemps » (sans que ce temps n'ait été précisément évalué), (v) ils sont localisés dans des secteurs riches en ressources métalliques et minérales, et plusieurs d'entre eux sont situés au cœur ou à proximité de secteurs miniers plus ou moins importants (Zsomboki, 1989; Kovacs and Fülöp, 2009 ; Borcoş and Udubaşa, 2012). Les sites pilotes appartiennent à six communes (Marignac, Gèdre-Gavarnie, Saint-Mamet en France, et Băiuţ, Poiana botizii, Bistra en Roumanie) rattachées à deux départements français, la Haute-Garonne et les Hautes-Pyrénées, et au Judeţ de Maramureş en Roumanie, et dont les archives historiques ont été consultées en mettant l'accent sur les forêts et les activités minières (XIV<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles) (Ruskal, 2022 ; Bordes, 2024). Bien qu'une enquête sociale ait été initialement envisagée dans les deux régions montagneuses des Pyrénées centrales et des Carpates nord-occidentales, elle s'est finalement concentrée sur deux des trois communes des Carpates (Băiuţ et Poiana Botizii), permettant ainsi d'approfondir l'analyse dans ces localités spécifiques (Guillaume, *in prep.*). Au sein des départements français et des communes roumaines, le bâti vernaculaire a été étudié afin de sélectionner et d'échantillonner des bâtiments propices à des analyses dendroarchéologiques (Labbas et al., *accepted*). Ces analyses visent d'une part à connaître les essences exploitées localement pour le bâti, et d'autre part à construire des référentiels dendrochronologiques pouvant être exploités dans une perspective dendroclimatique et dendroécologique. Ces approches ambitionnent de reconstruire l'histoire des perturbations et des prélèvements de bois d'œuvre historiques provenant des sites pilotes (Labbas et al., 2024 ; Burri et al., *in prep.*).

Pour reconstruire l'histoire de l'environnement à l'échelle régionale, trois séquences sédimentaires ont été prélevées (tourbière de Burat et le lac d'Espingo en Haute-Garonne et la tourbière de Taul Rosia dans le Maramureş, dans la commune de Băiuţ). Deux des trois séquences (Espingo et Taul Rosia) ont fait l'objet d'une étude multi-proxies intégrant les pollen et les NPPs, le signal incendie (micro-charbons) et les pollutions en éléments traces (géochimie) (Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review*). La partie supérieure des vallées de Băiuţ et de Poiana botizii qui sont situées dans le secteur minier de Băiuţ (district minier de Baia Mare) et qui sont particulièrement touchées par les activités minières au moins depuis le XIV<sup>e</sup> et jusqu'au XXI<sup>e</sup> siècle, ont fait l'objet d'un relevé des niveaux de contamination en plomb dans les alluvions et les versant des principaux cours d'eau à l'aide de l'analyseur portable XRF (Annexe 4, figure 1).

Au sein de chaque site pilote (à l'exception de Bistra et de Burat en raison de leur accessibilité actuelle difficile et de la topographie accidentée), les zones pouvant être potentiellement survolées à vue par un drone, ont fait l'objet d'un relevé LiDAR avec un double objectif : (i)

produire des modèles numériques 3D représentatifs du sol et des éléments à la surface du sol tels que les sites archéologiques et (ii) cartographier/analyser la structure des forêts (Inairtech, 2022). À l'intérieur des zones (polygones) pouvant être potentiellement survolées par un drone, 5 à 10 placettes d'un hectare ont été positionnées de façon aléatoire (à l'exception du site de Bistra où les placettes BENDYS ont été positionnées sur les placettes de suivi *Remote Primary Forest*). Au sein de ces placettes, un protocole interdisciplinaire a été appliqué. Dans toutes les placettes, une prospection archéologique systématique a été menée (Py-Saragaglia et al., 2024). En outre, tous les replats de charbonnage détectés ont été inventoriés, géoréférencés et échantillonnés pour leur datation radiocarbone et leur analyse anthracologique. Un inventaire des TREMs (TREe related Microhabitats) et du bois mort anthropique à différents stades de saproxylation a été conduit ainsi qu'une évaluation du potentiel d'accueil d'un peuplement forestier pour les êtres vivants en utilisant l'outil IBP déplafonné (Indice de Biodiversité Potentielle). Trois hêtres et trois sapins dominants (géoréférencés) ont été échantillonnés pour leur analyse dendrochronologique visant à déterminer leur âge et à reconstruire l'histoire des perturbations (Saulnier et al., *in prep.* ; Bédé, 2024). Les sites pyrénéens et le site de Bistra ont également été étudiés suivant le protocole *Remote Primary Forest*. Le protocole Tea-Composition a été appliqué sur les placettes de Băiuț et de Poiana botizii, ainsi que sur celles des trois sites pyrénéens. Il a été associé systématiquement à un relevé des métaux traces en utilisant l'analyseur P-XRF. Dans 3 placettes/5 et pour l'ensemble des sites, un échantillonnage des sols a été réalisé pour leur étude physico-chimique et génomique utilisant le métabarcoding appliqué à l'ADN environnemental suivant des protocoles appliqués aux sols forestiers (Mennicken et al., 2020). Du bois mort a été prélevé dans chaque site pyrénéen pour mettre au point les protocoles visant à décrire les communautés de champignons et d'insectes en utilisant également le métabarcoding de l'ADNe à partir de ce substrat considéré comme récalcitrant (Roy-Camille, 2023). Ces prélèvements focalisés sur les diamètres supérieurs à 25 cm ont été stratifiés pour couvrir la diversité en essences dominantes (sapin ou hêtre), la position (au sol ou sur pied) et le gradient de décomposition. Dans 2 placettes/5, une fosse pédoanthracologique a été creusée, décrite et échantillonnée pour l'analyse des charbons (dans l'ensemble des sites) et des restes d'insectes (uniquement dans les Pyrénées) afin de reconstruire la dynamique holocène des essences et du paysage et l'histoire des perturbations « feu » à haute résolution spatio-temporelle (Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review* ; Parrilla et al., *in review* et voir annexe 3, cartes 2 et 3 pour la localisation des fosses).

#### **C.4 RESULTATS OBTENUS**

*Positionner les résultats par rapports aux livrables du projet et aux publications, brevets etc. Revisiter l'état de l'art et les enjeux à la fin du projet.*

Pour positionner les résultats par rapport aux livrables du projet, ils sont présentés ici par Task (T) et Subtask (ST). Le projet initialement prévu sur 36 mois a été prolongé d'un an et demi (au total 54 mois) en raison des contraintes liées à la crise du Covid et à ses conséquences sur le long terme (organisation des missions, morcellement de la phase d'acquisition, faible disponibilité des membres du consortium impliqués dans d'autres programmes etc.). Cette durée a été nécessaire pour finaliser l'acquisition et le traitement des données. Une partie de la valorisation/dissémination a été réalisée, mais plusieurs travaux sont encore prévus et le projet va donner lieu à des communications et des publications encore au moins durant les deux prochaines années (sans compter les conférences grand public).

**T1-ST1-1.** Le chercheur chargé d'échantillonner le lac d'Oo a finalement mobilisé la séquence du lac d'Espingo (dont le carottage avait déjà été réalisé) pour la mettre au service du projet qui a financé les analyses radiocarbone. Une autre séquence a été prélevée dans la tourbière de Burat (après des tests négatifs dans le lac de Burat) en octobre 2021 (par hélicoptère). En outre, deux placages tourbeux ont été prélevés au sein du Plot MAR 91 (Burat) en septembre 2022. Il était prévu d'éventuellement échantillonner des placages tourbeux dans le secteur de Bistra, mais aucun site approprié n'a été trouvé. La séquence d'Espingo a été entièrement étudiée (pollens, NPPs, microcharbons, Pb/Ti) et datée. La séquence remonte à 2000 cal BP et permet la reconstruction de 4000 ans d'histoire de l'environnement. Elle est en cours de publication (Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review* et voir annexe 4, figure 2). La séquence de Burat a été échantillonnée, datée, et seulement en partie étudiée. Le décès en octobre dernier du chercheur pilotant ces travaux les a laissés en suspens. Les placages tourbeux ont été traités pour une approche paléontomologique en lien avec la thèse de Sarah Parrilla (en cours). La séquence de Taul Rosia a été datée et entièrement étudiée pour les pollens et la géochimie. Par contre, l'analyse du signal incendie reste en suspens car le séjour d'Ancuta Petras destiné à finaliser ce travail a été annulé à cause du COVID au début de l'année 2020. Cette dernière n'a pas pu revenir en 2022 car elle n'avait pas repris son doctorat à cette période. L'analyse du signal incendie est donc restée en suspens depuis. La séquence sédimentaire permet de reconstruire plus de 5000 ans d'histoire de la végétation. Cette séquence pollinique est également en cours de publication dans une étude de synthèse (Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review*). Les données géochimiques n'ont pas encore été valorisées mais devraient l'être d'ici la fin de l'année dans une publication intégrant l'ensemble des proxies (pollens, microcharbons, éléments traces). Elles révèlent une activité minière à l'époque romaine avec un pic de pollution au plomb. Parallèlement, l'évaluation des contaminations en plomb réalisée à l'aide de l'analyseur P-XRF sur deux transects dans les vallées de Băiuț et Poiana botizii montre des taux élevés de métaux traces à proximité des cours d'eau et des ouvrages miniers. Une seconde carotte réalisée dans la même tourbière et couvrant un pas de temps moins important, a été valorisée dans le cadre de la fin de thèse d'Ancuta Petras et a donné lieu à une publication comprenant une analyse du signal incendie et de la pollution (Mîndrescu et al., 2023).

**T1-ST1-2.** Trente-sept journées de terrain ont été dédiées aux recherches dendroarchéologiques (contrat postdoctoral de Vincent Labbas de 13 mois). Le temps d'analyse (préparation, mesures et interdatation des prélèvements dendrochronologiques) a été estimé à 60 jours, soit 35 jours pour les données de Gavarnie-Gèdre, 20 jours pour les données de Haute-Garonne et environ 5 jours pour les données dendrochronologiques des Carpates roumaines. Au total, 601 bois archéologiques ont été analysés dont 301 pour Gavarnie-Gèdre, 176 pour la Haute-Garonne et 124 pour les Carpates roumaines. On est donc largement au-dessus du nombre de bois prévu par site (50). Les analyses ont permis de construire deux chronologies pyrénéennes de cernes de sapin qui couvrent les périodes 1446-1655 et 1679-1952 (annexe 4, figure 3). Les résultats ont fait l'objet de trois communications dont une affichée et d'un data paper dans *Annals of Forest Science* (Labbas et al., *accepted*).

**T1-ST1-3.** Le nombre de points au sol extraits des données LiDAR (travaux Inairtech dans les Pyrénées et Nicolas Poirier en Roumanie) était trop limité pour permettre leur exploitation archéologique (Inairtech, 2022). Ce phénomène est attribuable à trois principaux verrous : la dominance des peuplements par des conifères, la densité de la végétation forestière, et les pentes fortes des versants localisés dans des haut vallons encaissés, faiblement accessibles avec les moyens actuels (à l'exception de l'hélicoptère auquel nous n'avons pas pu faire appel en raison du coût et de l'impact environnemental). La prospection pédestre a été conduite sur

l'ensemble des placettes (45 ha). Elle s'est étalée de 2020 à 2022 avec plusieurs missions dans les Pyrénées et les Carpates (au total une vingtaine de journées de terrain). Un total de 93 replats de charbonnage a été inventorié, cartographié, et échantillonné. Le budget a permis la datation radiocarbone de 44 charbonnières (26 en Roumanie et 18 en France) avec une chronologie qui couvre la période de 4000 cal BP à nos jours (Annexe 4, figure 4). Quatre cabanes pastorales ont également été géoréférencées dans les Pyrénées. L'ensemble des données est intégré dans le SIG du projet (Annexe 3, cartes 2 et 3). Parallèlement à cette recherche archéologique, une recherche historique a été réalisée dans les fonds d'archives pyrénéens et dans les archives Arhivele Naționale ale României (Antenne Maramureș, Baia Mare). Pour la partie française, le travail de dépouillement et d'analyse devait être réalisé par Sylvain Burri assisté d'un stage de master (6 mois) en histoire moderne et contemporaine. Mais en raison des difficultés liées à la pandémie de Covid 19, la gratification de stage prévue a été utilisée pour prolonger le CDD de Mélanie Saulnier. Néanmoins, l'exploitation des données pyrénéennes concernant le XIXe siècle a fait l'objet d'un stage de master 1 en écologie (Bordes, 2024). Sylvain Burri a effectué plusieurs missions de dépouillement d'archives dans différents fonds, à savoir les Archives Nationales (Paris), les Archives départementales de la Haute-Garonne (siège de Toulouse et Antenne de Saint-Gaudens) et des Hautes-Pyrénées (Tarbes), et les archives municipales de Cierp-Gaup, de Bagnères-de-Luchon et de Toulouse (Haute-Garonne). Ces missions ont permis de constituer un corpus exhaustif – bien que peu riche en raison de problèmes de conservation – de la documentation concernant les forêts domaniales de Marignac, de Saint-Mamet et de Barrada. Les données recueillies documentent les pratiques de gestion et d'exploitation des communautés depuis le XVIe siècle et ont permis de renouveler notre compréhension de la trajectoire écologique récente des forêts de Burat et de Saint-Mamet. Les archives roumaines ont été étudiées par Agnes Ruskal, recrutée en tant que technicienne dans le cadre du projet BENDYS (6 mois) et encadrée par Sylvain Burri. Après une mission préparatoire commune destinée à identifier les fonds intéressants pour le projet BENDYS, Agnes Ruskal a dépouillé les archives déposées de l'Oculul Silvic, des entreprises minières de Băiuiț, et des archives municipales de Băiuiț, conservées aux Arhivele Naționale ale României (Antenne Maramureș, Baia Mare). Afin de compléter cette étude, Agnes Ruskal a essayé d'avoir accès à d'autres séries d'archives récentes, non déposées aux archives nationales, notamment celles de l'Oculul Silvic – Romsylva, mais l'accès lui a été refusé pour cause de confidentialité. Sylvain Burri s'est quant à lui focalisé sur l'étude du fond médiéval (14e-15e siècle) concernant les districts miniers de Baia Mare et de Cavnic, conservé dans les archives municipales de Baia Mare. Bien qu'elles ne permettent pas une microhistoire fine des interactions humain-forêt, ces archives mettent en évidence le poids des entreprises minières sur les forêts présentes au sein des districts miniers, tant pour leur consommation en charbon de bois que pour le bois d'échafaudage des galeries essentiellement pour le XXe siècle. La moindre qualité des fonds d'archives étudiés ne se prêtaient pas à une valorisation disciplinaire dans des colloques ou publication d'histoire, hormis le dossier concernant les forêts de Marignac et de Saint-Mamet (Bordes, 2024). Une publication est en cours de rédaction pour être soumise à *Journal of historical geography* (Burri et al., *in prep.*). Le reste des données ont partiellement fait l'objet de communications à des colloques (Colloque Marges, Pau 2023 ; Colloque TRACES, Brasov 2024 ; Wood Heritage, Helsinki 2024) et à des événements grand public (Nuits des forêts, Saint-Croix-Volvestre 2023, Luz-Saint-Sauveur 2024). Elles seront valorisées dans le cadre de publications interdisciplinaires au sein du consortium BENDYS.

**T1-ST1-4.** Comme initialement prévu, 2 à 4 fosses pédoanthracologiques/site ont été creusées, décrites et échantillonnées pour l'analyse des charbons de bois (Py-Saragaglia & Saulnier et

al., *in review*). En outre, une approche qui n'était pas initialement prévue, a été développée : l'analyse des restes d'insectes dans les sols. Ce travail a été réalisé dans le cadre la thèse de Sarah Parrilla qui, en raison du caractère très exploratoire de l'approche, a focalisé son étude sur les Pyrénées (Parrilla et al., 2023, 2024 ; Parrilla et al., *in review*). Un stagiaire de Master a réalisé une partie des analyses pédoanthracologiques (Maisonhaute, 2022). Au total, 3370 charbons ont été analysés et 1136 restes d'insectes (Parrilla et al., *in review*). Cinquante-huit fragments de charbons ont été datés avec une chronologie qui couvre l'ensemble de l'Holocène (et la fin du Pléistocène pour les Carpates, voir Annexe 4, figure 5). Onze restes d'insectes ont également été datés avec des résultats peu concluants en raison de la faible quantité de carbone préservée. Il a donc été nécessaire de créer une grille de critères de dégradation des restes pour évaluer leur chronologie relative. Mille-trois-cent-soixante charbons de bois issus de 44 replats de charbonnage ont été étudiés en combinant l'identification taxinomique avec des mesures et des observations dendroanthracologiques. Une partie des résultats est en cours de publication (Py-Saragaglia & Saulnier et al., *in review*) et une seconde partie a fait l'objet d'une présentation au colloque de l'EAA à Rome 2024 (session « *The archaeology of EU-POTARCH* »).

**T2-ST2-1.** Les missions de terrain ont été réalisées entre octobre 2020 et le printemps 2022. Sur l'ensemble des placettes (45), les protocoles destinés à décrire les peuplements actuels ont été mis en œuvre et l'ensemble des données a été traité. L'équipe du réseau *Remote Primary Forest* est venue mettre en œuvre la méthodologie précise et l'échantillonnage exhaustif des 15 parcelles pyrénéennes en juin 2022. L'équipe de 9 personnes (principalement des doctorants et des postdoctorants), accompagnée de Mélanie Saulnier et de Laurent Larrieu, a travaillé dans les Pyrénées pendant 10 jours. L'échantillonnage dendrochronologique a été réalisé sur l'ensemble des placettes entre octobre 2020 et septembre 2023. Des données complémentaires ont également été acquises dans le cadre du projet associé OCCIGEN dirigé par l'INRAE d'Avignon. Ce travail a été piloté par Mélanie Saulnier dans le cadre de son contrat postdoctoral et il s'est poursuivi avec son entrée au CNRS en tant que chargée de recherche en octobre 2022. Au total pour le projet BENDYS, 99 carottes de sapin (69 dans les Pyrénées et 30 dans les Carpates) et 80 carottes de hêtre (51 dans les Pyrénées et 29 dans les Carpates) ont été prélevées ce qui représente 10 journées de terrain mobilisant plusieurs membres de l'équipe (Annexe 4, figure 8). La mise en œuvre par l'équipe tchèque et Mélanie Saulnier du dispositif *Remote Primary Forest* en juin 2022 a conduit à l'acquisition de 478 carottes de 4 espèces (410 de sapin, 37 de hêtre, 15 de bouleau et 16 de sorbier). De plus, dans le cadre du projet OcciGen, 75 carottes supplémentaires ont été collectées sur le site de Burat permettant ainsi de confirmer l'interdatation des premières carottes. Les données acquises au sein du réseau *Remote Primary forest* permettront également de reconstruire l'ensemble des perturbations.

**T2-ST2-2.** En Roumanie, le LIDAR a couvert 44 ha (Băiuț et Poiana botizii) sans pouvoir survoler l'ensemble des polygones prévus et donc l'ensemble des placettes. Les données ont néanmoins fourni suffisamment de points pour réaliser des analyses de structure forestière, dont les données ont commencé à être analysées (Thèse INRAE Dynafor, abandonnée). Dans les Pyrénées, les survols LIDAR ont été confiés à un prestataire privé INAIRTECH après dépôt d'un appel d'offre (Inairtech, 2022). À la suite d'une première mission infructueuse en raison des conditions météorologiques dégradées, la mission suivante a été recentrée sur les deux sites de Barrada (Gèdre-Gavarnie) et de Bois-Neuf (Saint-Mamet). Toutes les données acquises en Roumanie et dans les Pyrénées ont permis de produire des Modèles Numériques de Terrain (MNT), de surface (MNS) et de hauteur (MNH). Toutefois, les MNT restent trop peu précis pour être exploités dans une démarche de détection archéologique en raison de la densité insuffisante de points-sols.

**T2-ST2-3.** Le protocole TEA n'a pas montré de différences significatives entre les différents sites ni même entre les différents massifs. L'étude physico-chimique (24 échantillons analysés, à raison d'1 échantillon/placette) et en métabarcoding des sols (384 échantillons analysés, à raison de 16 échantillons/placette) a été réalisée sur l'ensemble des sites et a fait l'objet de deux séquençage en MiSeq ciblant le marqueur ITS1 des champignons dans un premier temps puis les eukaryotes. L'étude de l'ADNe des bois morts a bénéficié d'une synergie avec un autre projet de recherche, nous permettant d'échantillonner 69 pièces de bois. Tous les échantillons dédiés à l'ADNe ont été traités dans le cadre du contrat de Coralie Roy-Camille et l'analyse a été réalisée en collaboration avec Alexandre Raimbault (doctorant, bourse INP Purpan – Région Occitanie) et Julien Touzeau (Master 2, INP Purpan). Pour les échantillons issus du bois mort, une étape de mise au point de protocoles d'extraction de l'ADN a été nécessaire (Roy-Camille, 2023). La méthode initialement proposée pour le groupe des collemboles a été rapidement abandonnée pour concentrer l'effort sur l'acquisition d'ADN environnemental. En effet, l'objectif initial impliquait une grosse phase d'expérimentation que nous avons jugé, en accord avec tous les membres du consortium, ne plus avoir sa place dans ce projet. Au final, nous avons pu utiliser 3 marqueurs pour cibler i) dans le sol, les champignons et, de manière moins résolutive, les Eukaryotes dans leur ensemble, et ii) dans le bois mort, les insectes et les champignons. Les analyses globales du jeu de données se poursuivront dans le cadre de la thèse Occitanie de Léonie Gratacap (Région Occitanie, INP Purpan). Les résultats partiels soulignent l'importante diversité des vieilles forêts notamment en champignons ectomycorhiziens ; l'importance de facteurs locaux favorisant aussi la diversité fongique dans des forêts plus récentes ; la difficulté d'identification des espèces patrimoniales des insectes et des champignons à partir des seules données ADNe.

**T2-ST2-4.** L'effort d'échantillonnage s'est principalement concentré sur la Roumanie, sur les sites Băiuț et Poiana botizii, où plus de 50 entretiens individuels approfondis (d'une durée allant de 1h30 à plus de 6h), 20 entretiens de groupe, ainsi que de l'observation participante ont été réalisés avec l'assistance d'une traductrice (50 jours de mission). En revanche, seules 8 interviews ont été menés dans les sites pyrénéens (principalement à Gèdre-Gavarnie) en raison des contraintes liées à la pandémie de Covid-19 et des difficultés à rencontrer des personnes âgées. La richesse des entretiens réalisés en Roumanie met en lumière la complexité et la diversité des interactions entre les communautés locales et les forêts. Ils révèlent un fort attachement des villageois à l'arbre et à la forêt, éléments culturels majeurs dans le Maramureș, lié à une proximité et à un mode de vie ancré dans la forêt dès le plus jeune âge. L'analyse des données est encore en cours, mais un article valorisera ces résultats d'ici 2025 (Guillaume, *in prep.*).

**T3.** En raison des multiples contraintes liées à la crise Covid empêchant les nombreuses missions initialement prévues pour réaliser des entretiens dans le cadre des ST3-1 (*Local scale study* visant à étudier la perception des vieilles forêts par les principaux stakeholders en charge de leur conservation et à étudier la littérature scientifique) et ST3-2 (*Continental scale study*, visant à analyser les méthodes et le discours scientifique sur les vieilles forêts pour comprendre comment la question de la *wilderness* est traitée en Europe), la task 3 a été entièrement réorganisée et recentrée autour de deux principaux dossiers : (1) *scoping review* avec analyse quantitative de 67 articles dans les sciences écologiques et forestières, (2) observation ethnographique des activités du projet BENDYS sur le terrain pendant 3 semaines et 11 entretiens semi-dirigés auprès des membres de l'équipe. Chaque dossier, traité dans le cadre du contrat postdoctoral d'Evan Fisher dirigé par Ruppert Vimal, a donné lieu à une

publication parue (Fisher et al., 2024 ; Fisher & Vimal, 2024). De plus, trois communications ont été présentées (Fisher, 2022a,b, 2021).

## C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

T1. Les données acquises au sein de la T1 ont permis de reconstruire les trajectoires régionales de la végétation (Annexe 4, figure 6) et de les mettre en regard avec les trajectoires locales saisies par l'étude des sols, des vestiges archéologiques et des sources écrites pour les trois derniers siècles (Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review*). Elles montrent un accroissement des pressions anthropiques (exploitation des ressources naturelles, pratiques agro-sylvo-pastorales) aux périodes protohistoriques et antiques, durant lesquelles les activités minières et métallurgiques se développent, et leur intensification au Moyen Âge et à l'époque moderne. Dans les deux massifs, le développement des principales dryades est contemporain du développement des activités humaines (autour de 4000 cal BP) dont la plus ancienne trace directe a été retrouvée à Bistra avec une charbonnière datée du Bronze ancien (la plus ancienne jamais retrouvée en Europe à ce jour). Les pics d'activités des feux de forêt diffèrent néanmoins. Dans les Pyrénées, le nombre d'incendies par période de 250 ans atteint son maximum entre 3750 et 1500 cal BP, pour ensuite décliner dans la période récente, tandis que dans les Carpates, le nombre d'incendie s'intensifie depuis 770 cal BP jusqu'à la période actuelle (Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review*). Localement, la continuité du couvert boisé depuis la reconquête forestière postglaciaire paraît globalement maintenue, mais des indicateurs de milieux ouverts montrent des phases d'ouvertures/d'éclaircissements. Dans la majorité des sites étudiés, la dominance des conifères dans les peuplements actuels est héritée de la gestion sylvicole mise en œuvre entre le milieu du XVIIe et le début du XXe siècle, favorisant l'exploitation en futaie et les conifères à forte croissance radiale. Cette stratégie de gestion a été profondément influencée par les sciences forestières, étroitement liées aux progrès techniques et à l'industrie, notamment minière, et à l'école forestière germanique (et les ingénieurs des mines), recommandant la conversion de toutes les forêts en futaies régulières. Dans les Pyrénées et les Carpates, le sapin est l'essence qui est majoritairement utilisée dans la construction traditionnelle (élévations, charpentes et toitures) depuis la fin du Moyen Âge, et surtout à partir du XVIIe siècle. Dans les sites étudiés, le sapin est aussi très fréquemment utilisé (combiné ou pas au hêtre ou à d'autres essences) pour la production de charbon de bois (Labbas et al., *accepted* ; Py-Saragaglia & Saulnier, et al., *in review*) qui paraît étroitement liée à celle de bois de construction avec le recyclage des rémanents (Py-Saragaglia et al., 2024). La conservation de proportions plus élevées de hêtre que de sapin et d'épicéa dans les seuls sites de Poiana et de Bistra répond à d'autres stratégies locales, potentiellement liées à des pratiques communautaires favorisant, d'une part, le hêtre (pour la production de charbons et de combustible domestique) et des peuplements mixtes et diversifiés, et d'autre part, résistant aux politiques centralisatrices et aux prédatons industrielles. Les pratiques humaines ont également conduit à la raréfaction de l'if qui disparaît du site de Bistra entre l'âge du Bronze ancien, où il est charbonné pour des pratiques métallurgiques, et l'époque moderne, où il est toujours charbonné mais en moindre quantité par rapport au sapin, au hêtre et à l'épicéa. À l'exception des forêts de Poiana (UNESCO) et dans une moindre mesure de Băiuț et de Burat (Réserve), les sites étudiés n'ont pas fait l'objet de mise en réserve ou de protection particulière entre la fin du XIXe et le début du XXIe siècle. Dans les Pyrénées, ils ont bénéficié du relâchement global de la pression anthropique après-guerre (exode rural) et en Roumanie, le site de Bistra est intégré dans le Parc naturel des Monts du Maramureș déclaré comme une « aire protégée » au début des années 2000.

**T2.** Les enquêtes sociales montrent que les forêts de Băiuț et Poiana botizii sont très fréquentées et utilisées par les communautés locales, notamment pour la cueillette et le ressourcement personnel. Cependant, cet attachement ne se retrouve pas chez les personnes extérieures, qui exploitent le bois ou participent à des activités sportives récentes (notamment en 4x4). L'étude dendrologique des peuplements révèle au travers de l'analyse du bois mort anthropique un degré d'anthropisation très récente (50 à 100 dernières années) plutôt faible, en particulier dans les sites de Burat, Băiuț et Poiana botizii, et significativement plus élevé dans le site de Bistra (Annexe 4, figure 7). Les inventaire quasi-exhaustif courte distance (tour relascopique et placette à surface fixe) et les échantillonnages grossiers « longue » distance (IBP 1ha) montrent globalement l'hétérogénéité structurale des peuplements et leur maturité élevée qui se traduit par une diversité importante de dendromicrohabitats (TREM). En complément, les données acquises avec le protocole Remote Primary Forest ont montré que la quantité d'individus morts au sol ou sur pied dans les parcelles varie de 54 (Burat plot 92) à 544 (Burat plot 95), confirmant la très grande hétérogénéité au sein d'un même site. Leur dispositif a aussi fourni des données précises sur le nombre de TREMs par placette variant de 44 à 84. L'espèce qui présente le plus de TREMs en moyenne par individu est le hêtre (2,89), suivi par le bouleau (2,46) puis le sapin (2,06). Les données dendrochronologiques confirment la présence d'arbres âgés avec des hêtres dont l'âge dépasse les 400 ans en Roumanie (Poiana), et les 250 ans en France (Burat), et des sapins avec un âge maximum supérieur à 300 ans en France (Barrada) et 250 ans en Roumanie (Poiana) (Saulnier et al., submitted, annexe 4, figure 8). Concernant la fonge observée dans les sols, la richesse en MOTUS est relativement comparable entre les sites à l'exception de Bistra. Elle est 1.5 à 2 fois plus élevée que la richesse observée dans des forêts exploitées pyrénéennes en conditions stationnelles comparables. Dans notre jeu de donnée, cette richesse est indépendante du C/N, du pH, de la diversité en essences ou de la forme d'humus. Dans les bois morts (étudiés seulement dans les Pyrénées), le niveau de diversité est le plus élevé à Barrada et le plus bas à Bois-Neuf où le degré d'anthropisation récente est le plus élevé. Pour les données relatives aux sols pour les Eukaryotes, dont les champignons et les insectes, les traitements bio-informatiques nécessitent encore des ajustements mais ont souligné sur les sites Roumains l'importance de facteurs locaux, conduisant à une diversité élevée tant dans des vieilles forêts que des forêts récentes adjacentes. L'analyse dendroclimatique et dendroécologique des arbres vivants montre que les températures estivales, contrôlant la longueur de la saison de croissance, ainsi que les indices de sécheresse (PDSI), sont le principal moteur climatique de la croissance. Les années particulièrement xériques, encore rares dans ces contextes forestiers, conduisent à certaines années de croissance des arbres très faible comparativement à la moyenne. Cependant, en comparaison avec les analyses conduites en versant sud des Pyrénées (espagnoles), les faibles corrélations avec les variables climatiques supposent que les sapins de notre jeu de données ne montrent pas un signal d'alarme relié aux changements climatiques en cours. Ceci peut s'expliquer par les conditions locales qui demeurent encore très humides. De plus, bien que nous nous attendions à ce que des pressions sylvicoles fortes, conduisant à des conditions microclimatiques plus sèches, impactent négativement la croissance des arbres, nous n'avons pas détecté de différences entre la croissance radiales des arbres dans les vieilles forêts et celle de ceux échantillonnés dans des forêts gérées (Saulnier et al., 2024). Les reconstructions des perturbations ont pu être mises en lien avec les données historiques de gestion forestière depuis le XIX<sup>ème</sup> s. Ils révèlent une parfaite corrélation entre les sources écrites (coupes et éclaircies) et les données de relâche observées dans la croissance des arbres des sites de Burat et de Saint-Mamet (Borde, 2024 ; Bédé, 2024 ; Burri & Saulnier, et al., *in prep.*). La chronologie

construite dans le peuplement de Barrada se chevauche et offre de très bonnes corrélations avec la chronologie établie sur les bois archéologiques (granges et cabanes) permettant de construire une chronologie maitresse couvrant la période 1446-2022 pour le sapin. Les fortes corrélations obtenues suggèrent aussi un approvisionnement local pour la construction des édifices.

**T3.** Le travail de *scoping review* a mis en lumière l'évolution des manières de concevoir le temps des vieilles forêts en Europe au cours des dernières décennies (continuité et maturité), ainsi que la performativité spécifique au « temps passé » des forêts. Cette performativité vient du fait que les sciences forestières attribuent une agentivité au « temps passé » car il est constitutif des vieilles forêts. L'étude a aussi montré comment ces conceptions influent sur les politiques de conservation des forêts. La continuité (ancienneté) et la maturité sont en effet deux qualités complémentaires des écosystèmes forestiers mis en exergue dans la gestion intégrée des forêts et étudiées dans le cadre du projet BENDYS. L'observation des pratiques scientifiques sur le terrain et les interviews ont montré la difficulté majeure que représentait l'articulation des spatio-temporalités propres à chaque discipline. Les sciences de terrain produisent "une unité hétérogène" (Barry et al. 2008) qui contribue aussi à transformer les définitions, conceptions, et perceptions scientifiques des vieilles forêts. L'interdisciplinarité du projet BENDYS a donc permis de questionner la dichotomie commune entre "forêt gérée" et "forêt naturelle" ou "primaire", et de reformuler ce qui constitue un problème pour les sciences forestières qui prennent pour objet les vieilles forêts. Au-delà de déceler des traces d'activités humaines dans le passé pour statuer sur la "naturalité" des forêts, le projet rend compte d'une histoire longue et complexe qui a produit des espaces forestiers exceptionnels toujours utilisés.

## C.6 DISCUSSION

*Discussion sur le degré de réalisation des objectifs initiaux, les verrous restant à franchir, les ruptures, les élargissements possibles, les perspectives ouvertes par le projet, l'impact scientifique, industriel ou sociétal des résultats.*

Globalement, les objectifs fixés au début du projet ont été atteints. Seules les approches anthropologiques et ethnologiques sont restées relativement limitées par rapport à ce qui avait été initialement prévu. La ST2-4 s'est centrée sur deux des six sites initialement prévus. La T3 a été entièrement recomposée avec un recentrage de l'enquête ethnographique sur l'équipe de recherche du projet (démarche qui s'est inscrite dans le champ des Science & Technology Studies). Les crédits prévus initialement pour les nombreuses missions en France et à l'étranger (pour la T3 et la ST2-4) ont été réaffectés principalement aux analyses en prestation (notamment les datations radiocarbone) et à la valorisation grand public ([dessin animé réalisé avec le collectif Past & Curious](#)).

Le projet a été particulièrement efficient dans sa dimension rétrospective. Les données acquises sont robustes et permettent une reconstruction particulièrement convaincante des dynamiques environnementales depuis le début de l'Holocène jusqu'à aujourd'hui. Le projet a même intégré une approche exploratoire, qui n'était pas prévue initialement, qui a consisté à étudier les restes d'insectes conservés dans les sols pour affiner la reconstruction de la trajectoire des socio-écosystèmes forestiers reposant sur l'étude des charbons de bois. L'étude fine des trois dernières centaines d'années en combinant l'analyse des archives historiques et des cernes de croissance des arbres vivants et des bois dans le bâti s'est avérée aussi particulièrement efficiente et prometteuse. En effet, la compréhension des dernières centaines d'années est indispensable à la caractérisation de l'état actuel des peuplements en particulier en termes de structure et de composition. En outre, l'analyse fine de la croissance du sapin

blanc a démontré qu'il ne semble pas affecté par le réchauffement en cours ni même par l'augmentation des événements de sécheresse. Alors que de nombreux questionnements sur l'avenir de cette espèce émergent chez gestionnaires en raison des dépérissements observés dans plusieurs massifs forestiers français, notre étude montre que dans les Pyrénées, le sapin blanc présente une forte résilience.

L'utilisation de la technologie LiDAR avec le capteur porté par un drone s'est avérée inadaptée aux terrains d'études. Pour réaliser des enquêtes archéologiques extensives par télédétection dans les vieilles forêts de montagne, il faudrait dans l'avenir prévoir des survols avec des avions embarquant des capteurs LiDAR plus puissants et pouvant survoler des superficies plus importantes ce qui permettrait aussi de détecter des vestiges paléo-paysagers dans leur continuité spatiale (chemins, parcellaires, charbonnières, etc.). Cette approche particulièrement efficiente dans les forêts de plaine, doit encore être développée dans les contextes montagnards et les versants abrupts.

L'articulation des approches sur le terrain (observations, relevés, échantillonnages, etc.), guidée par l'expérience acquise durant projet MITI FORETEXIL, a évolué au sein du projet BENDYS avec notamment l'intégration de l'étude du bois mort « naturel » et « anthropique » visant à définir un gradient d'anthropisation actuelle des peuplements et permettant de sortir de la dichotomie simpliste « forêt gérée » vs « forêt naturelle ». Cette démarche s'est avérée nécessaire au regard des données paléoécologiques, archéologiques et historiques, livrant des informations nombreuses et précises sur l'anthropisation de ces peuplements depuis plusieurs milliers d'années. Elle a conduit à revisiter le protocole d'étude des vieilles forêts d'Occitanie avec l'intégration et le développement d'indicateurs d'écologie historique en complément des indicateurs d'écologie forestière déjà utilisés (IBP déplafonné), ainsi que d'indicateurs encore exploratoires dérivés du métabarcoding de l'ADNe (Phase 4 du projet Vieilles Forêts d'Occitanie piloté par le CBNPMP qui vient de démarrer).

L'articulation des échelles spatio-temporelles des disciplines rassemblées dans les T1 et T2 du projet BENDYS a fait l'objet d'un travail réflexif aux assises du projet organisées à Aspet en septembre 2022. Elle sera également au cœur de l'article de synthèse du projet, en cours de préparation. L'objectif est de montrer comment des approches avec des logiques disciplinaires et des ordres spatio-temporels propres peuvent s'articuler avec d'autres, mais nécessairement en sortant de leurs zones de confort, et comment le croisement des regards est seul en mesure de livrer des résultats neufs pouvant conduire à des changements de paradigmes.

Les apports du projet BENDYS ont plus récemment été mobilisés pour le travail de sémantique autour des vieilles forêts conduit dans le cadre du Plan National d'Action du Ministère de la transition écologique en faveur des vieux bois et des forêts subnaturelles visant à améliorer la résilience des forêts face aux changements globaux.

Les résultats du projet offrent donc de nombreuses perspectives non seulement en termes de connaissances des dynamiques des *Old-Growth Forests* sur le temps long (avec une production scientifique significative), mais également en termes de prospective, en identifiant les points d'améliorations des pratiques de gestion forestière et des itinéraires sylvicoles de demain. Ces aspects intègrent deux nouvelles actions majeures de recherche action : le PC4 HUB du PEPR FORESTT où plusieurs membres de BENDYS sont partis prenantes (co-leading des WPs Living Lab et Prospective notamment) et la création d'un Living Lab Pyrénées qui porte sur les forêts anciennes et les vieilles forêts. BENDYS est également impliqué dans l'organisation de la table Ronde "Contribution des forêts passées aux forêts d'aujourd'hui et de demain" qui rassemblera des chercheurs, des conservateurs de la nature et des gestionnaires et qui aura lieu à Aspet les 15-17 octobre 2024. En cela notre apprentissage interdisciplinaire pourra être

utile aux demandes de plus en plus croissantes de recherches en transdisciplinarité autour de la résilience des forêts.

## C.7 CONCLUSIONS

Le projet BENDYS a atteint la majorité des objectifs fixés et l'équipe a su réajuster sa stratégie et ses protocoles en fonction des contraintes auxquelles elle a dû faire face (internes comme exogènes au projet). Elle a notamment construit une approche très polymorphe, transdisciplinaire, combinant au sein des sites pilotes de nombreuses disciplines rarement mises en œuvre ensemble et intégrant des ordres spatio-temporels variés et hétérogènes. Cette approche lui a non seulement permis d'explorer l'interdisciplinarité, avec un vrai effort collectif et interactif, en particulier au sein de la « *core team* », mais lui aussi permis d'éclairer sous un nouveau jour l'objet « vieille forêt » dans toute sa complexité. La production scientifique est riche et de qualité (supports internationaux) et les retombées sociétales sont palpables (implication dans le PNA Vieux Bois et Forêts subnaturelles, co-leading de WPs dans PC4 HUB du PEPR FORESTT, Phase 4 du projet Vieilles Forêts d'Occitanie, etc.). Un important travail de sensibilisation à la forêt, à leur temps long et à leur biodiversité, a également été réalisé (conférences, dessin animé, dossier de revue grand public). Les personnels RH recrutés dans le cadre du projet ont pour la plupart trouvé des postes pérennes ou des contrats leur permettant de valoriser les acquis et leurs expériences au sein de BENDYS.

## C.8 REFERENCES

- Bauhus, J.R., Puettmann, K., Messier, C., 2009. Silviculture for old-growth attributes. *For. Ecol. Manag.* 258, 525–537.
- Bradshaw, R. H. W., & Hannon, G. E. 2004. The Holocene structure of north-west European temperate forest induced from palaeoecological data. *Vegetation History and Archaeobotany*, 13(4), 305-312.
- Borcoş, M., Udubaşa, G., 2012. Chronology and characterization of mining development in Romania, *Romanian Journal of Earth Sciences*, 86/1, pp.17-26.
- Buckley, P., Mills, J., 2015. Coppice Silviculture: From the Mesolithic to the 21st Century, In: Kirby, K., Watkins, Ch., (éd.), *Europe's Changing Woods and Forests: From Wildwood to Managed Landscapes*, 77-92.
- Galop, D., Catto, N., 2014. Environmental History of European High Mountains. *Quaternary in ternational*, 353, 1-266.
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A. Z., Schepaschenko, D. G., 2015. Boreal forest health and global change. *Science*, 349(6250), 819-822.
- Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., & Zimmermann, N. 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 28(27-28), 3016-3034.
- Kirby, K.J., Watkins, Ch., 2015 (Eds). *Europe's changing Woods and Forests. From Wildwood to Managed Landscapes*. CABI.
- Knorn, J., Kuemmerle, T., Radeloff, V.C., et al., 2013. Continued loss of temperate old-growth forests in the Romanian Carpathians despite an increasing protected area network. *Environmental Conservation*. 2013;40(2):182-193. doi:10.1017/S0376892912000355
- Kovacs, M., Fülöp, A., 2009. Baia Mare Geological and Mining Park – a potential new Geopark in the north western part of Romania. *Geologia*, 54/1, 27-32.
- Latałowa, M., Zimny, M., Jędrzejewska, B., Samojlik, T., Kirby, K. J., Watkins, C., 2015. Białowieża primeval forest: a 2000-year interplay of environmental and cultural forces in Europe's best preserved temperate woodland. In: Kirby, K., Watkins, Ch., (éd.), *Europe's Changing Woods and Forests: From Wildwood to Managed Landscapes*, 243-264. <https://doi.org/10.1079/9781780643373.0243>

- Mennicken, S., Kondratow, F., Buralli, F., Manzi, S., Andrieu, E., Roy, M., & Brin, A., 2020. Effects of past and present-day landscape structure on forest soil microorganisms. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 118.
- Odonne, G., Molino, J.-F., eds., 2020. *Methods in Historical Ecology*. New Frontiers in Historical Ecology, 2020, 210 p.
- Ozenda, P., 1994. *Végétation du continent européen*. Delachaux et Niestlé. Paris.
- Pokorný, P., Bobek, P., Šída, P., Novák, J., Ptáková, M., & Walls, M., 2022. Managing wilderness? Holocene-scale, human-related disturbance dynamics as revealed in a remote, forested area in the Czech Republic. *The Holocene*, 32(6), 584-596. <https://doi.org/10.1177/09596836221080762>
- Rotherham, I.D., 2013, ed., *Trees, forested landscapes and grazing animals: a European Perspective on woodlands and grazed treescapes*. Routledge, 432 p.
- Sabatini, F.M., Burrascano, S., Keeton, W.S., Levers, C., Lindner, M., Pötzschner, F., et al., 2018. Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distribution* 24, 1426–1439.
- Sabatini, F.M., Bluhm, H., Kun, Z., Aksenov, D., Atauri, J.A., Buchwald, E., Burrascano, S., Cateau, E., et al., Kuemmerle, T., 2021. European primary forest database v2.0. SCIENTIFIC DATA. Doi: 10.1038/s41597-021-00988-7
- Savill, P., 2015. High Forest Management and the Rise of Even-aged Stands, In: Kirby, K., Watkins, Ch., (éd.), *Europe's Changing Woods and Forests: From Wildwood to Managed Landscapes*, 93-106.
- Savoie, J.M., Bartoli, M., Blanc, F., Brin, A., Brustel, H., Cateau, et al., 2015. Vieilles forêts pyrénéennes de Midi-Pyrénées. Deuxième phase. Evaluation et cartographie des sites. In: *Recommandations. Rapport Final. Ecole d'Ingénieurs de PURPAN/ DREAL Midi-Pyrénées*.
- Szabó, P., 2015. *Historical ecology: past, present and future*. *Biological Reviews*, 90, 997-1014.
- Szabó, P., Hédl, R., 2011. Advancing the integration of History and Ecology for Conservation. *Conservation Biology*, vol. 25, No. 4; 680-687.
- Tinner, W., & Lotter, A. F. (2006). Holocene expansions of *Fagus sylvatica* and *Abies alba* in central Europe: Where are we after eight decades of debate? *Quaternary Science Reviews*, 25(5-6), 526-549.
- Vera, F. W. M., 2000. *Grazing Ecology and Forest History*. CABI Publishing.
- Walsh, K., Court-Picon, M., Mocci, F., Segard, M., Palet-Martinez, J. M., 2007. Occupation de la montagne et transformation des milieux dans les Alpes méridionales au cours de l'Âge du Bronze: approche croisée des données palynologiques et archéologiques en Champsaur et Argentiérois (Hautes-Alpes, France). In C. Mordant, H. Richard, & M. Magny (Eds.), *Environnements et cultures à l'Âge du Bronze en Europe occidentale* (pp. 89–106).
- Walsh, K., Tzortzis, S., Mocci, F., Talon, B., Court-Picon, M., Dumas, V., et al., 2008. Dynamique du peuplement et activités agro-pastorales durant l'âge du Bronze dans les massifs du haut Champsaur et de l'Argentiérois (Hautes-Alpes). In: D. Garcia & H. Richard (Eds.), *Le Peuplement de l'arc alpin* (pp. 123–148).
- Watson, J.E.M., Venter, O., Lee, J., Jones, K.R., Robinson, J.G., Possingham, H.P., Allan, J.R., 2018. Protect the last of the wild. *Nature* 563, 27–30. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07183-6>.
- Zsomboki, L. 1989. One thousand years of mining of non-ferrous ores in Hungary (896-1918), in *History of mineral exploration in Hungary until 1945*, in «Annals of the history of Hungarian geology», special issue 2, pp. 9-24.

## D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
27/11/2020	1	PGD-1	Données	Emilie Lerigoleur/Vanessa Py-Saragaglia	
28/10/2022	2	PGD-2	Données	Emilie Lerigoleur/Vanessa Py-Saragaglia	
15/02/2022	3	Rapport intermédiaire	Rapport	Vanessa Py-Saragaglia	
Avril 2024	4	Justification financière simplifiée	Bilan financier	Vanessa Py-Saragaglia	
Sept 2024	5	Rapport final	Rapport	Vanessa Py-Saragaglia	
Sept 2024	6	PGD-final	Données	Emilie Lerigoleur/Vanessa Py-Saragaglia	

## E IMPACT DU PROJET

Ce rapport rassemble des éléments nécessaires au bilan du projet et plus globalement permettant d'apprécier l'impact du programme à différents niveaux.

### E.1 INDICATEURS D'IMPACT

#### **Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)**

Comptabiliser séparément les actions monopartenaires, impliquant un seul partenaire, et les actions multipartenaires résultant d'un travail en commun.

**Attention :** éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	12	1
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	11	
France	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	6	
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	Un dossier de 16 pages	
	Conférences vulgarisation	5	
	Autres	Un dessin animé + court métrage	

### Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	Ras
Brevet internationaux en cours d'obtention	Ras
Brevets nationaux obtenus	Ras
Brevet nationaux en cours d'obtention	Ras
Licences d'exploitation (obtention / cession)	Ras
Créations d'entreprises ou essaimage	Ras
Nouveaux projets collaboratifs	Phase 4 Projet Vieilles Forêts d'Occitanie (projet région) PEPR Forestt (PC4 HUB) Living Lab Pyrénées Réponse à l'AMI du PEPR FORESTT – Projet Past4Future Table Ronde : Contribution des forêts passées aux forêts d'aujourd'hui et de demain
Colloques scientifiques	12 communications dans des colloques (dont 1 affichée)
Autres (préciser)	4 journées d'études, 1 court métrage « Qui cherche cherche », 1 dessin animé réalisé/produit avec le collectif Past & Curious, organisation d'une école thématique du CNRS

## E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Répertorier les publications résultant des travaux effectués dans le cadre du projet. On suivra les catégories du premier tableau de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** en suivant les normes éditoriales habituelles. En ce qui concerne les conférences, on spécifiera les conférences invitées.

### Publications dans des revues internationales

- Burri S., Saulnier M. (jointly first authors), Labbas V., Borde P., Larrieu L., Py-Saragaglia V., (submission deadline déc. 2024). Reconstruction of the socio-ecological trajectories of old-growth forests in the Central Pyrenees over the last few centuries based on historical documentation and dendroecology. *Journal of historical geography* ou *Environmental history*.
- Guillerme, S., *in prep.* Forest as Heritage: Cultural Landscapes and Local Practices in the Maramureş Woodlands. *People and Nature*.
- Py-Saragaglia, V., and Saulnier, M. (jointly first authors), et al., *in prep.* (submission deadline déc. 2024). How historical ecology provides new insights into reference forest ecosystems for biodiversity conservation? Lessons from old-growth forests in the French Pyrenees and the Romanian Carpathians (article de synthèse du projet, titre non définitif) – plusieurs revues en cours d'étude, dont *Biological Conservation* ou *Forest Ecology and Management*.

- Saulnier, M., Bédé, G., Martin, N., Scotti-Saintagne, C., Jean, F., Morvan, S., D'Andrea, R., Labbas, V., Larrieu, L., Burri, S., Py-Saragaglia, V., *in prep.* Growth patterns, climate sensitivity and resilience of silver fir trees (*Abies alba* Mill.) differ along a gradient of time since the last harvest in the Central Pyrenees. *Forest Ecology and Management* (soumission dans le cadre d'une édition spéciale en décembre)
- Parrilla, S., Saulnier, M., Larrieu, L., Valladares, L., Pescini, V., Moret, P., Py-Saragaglia, V., *in review.* Subfossil insects complement pedoanthracology for reconstructing the past trajectories of old-growth forests: a study case in the Northern central Pyrenees (France). *Journal of Archaeological Sciences: Reports*.
- Py-Saragaglia, V., Saulnier, M., (jointly first authors), Larrieu, L., Burri, S., Brun, C., Danu, M., Galop, D., Parrilla, S., Mazier, F., Ladet, S., *in review.* The beech-fir forest, the baseline natural forest ecosystem in the montagne belt of temperate Europe: questioning an ecological myth. *Journal of Archaeological Sciences: Reports*.
- Fisher, E., Vimal, R., 2024. The Fields of Interdisciplinarity: How do Practices of Place Transform Forest Science and European Forests? *Science & Technology Studies*. doi: 10.23987/sts.128502.
- Fisher, E., Py-Saragaglia, V., Larrieu, L., Doganova, L., Roy, M., Vimal, R., 2024. New times in old forests: How the past matters in European forest science. *Environmental Science & Policy* 157:103757.
- Larrieu, L., Burri, S., Corriol, G., Gouix, N., Ladet, S., Laroche, F., Maillé, S., Py-Saragaglia, V., Savoie, J.-M., Brin, A., 2023. Are the remnants of old-growth forests always relevant to inspire close-to-nature forest management and efficient biodiversity conservation? *Biological Conservation* 279 (1/2): 109954. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109954>
- Mîndrescu, M., Petras, A., Py-Saragaglia, V., Brun, C., Grădinaru, I., Danu, M., 2023. The complementary use of charcoal number and morphology to reconstruct fire history in a Late Holocene peat sequence from NW Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 18(1), 15-25. DOI:10.26471/cjees/2023/018/237
- Py-Saragaglia, V., Bal, M.-C., Brin, A., Brun, C., Burri, S., Buscaino, S., Calastrenc, C., Danu, M., De Vleeschouwer, F., Guillaume, S., Ladet, S., Larrieu, L., Le Roux, G., Mîndrescu, M., Petras, A., Philippe, M., Poirier, N., Roy, M., Saulnier, M., Tămaş, C.G., 2020. Knowledge and conservation of Old-Growth Forests: a key issue to face global changes. The case study of Strâmbu-Băiuţ - Maramureş (Eastern Carpathians, Romania), in: Panetta, A., Pescini, V., Py-Saragaglia, V. (Eds), *Disassembling landscape. Applied environmental archaeology and historical ecology, Quaderni storici*, 2020, n°2, Agosto, Il Mulino, 369-404.

## Data Paper

- Vincent Labbas, Mélanie Saulnier, Sylvain Burri, Laurent Larrieu, Vanessa Py-Saragaglia, *accepted.* A dendroarchaeological tree-ring dataset of *Abies alba* from historic buildings in the French Pyrenees. *Annals of forest Sciences*.
- Saulnier M., Labbas V., Burri S., Morvan S., Bédé G., D'Andrea R., Jean F., Martin N., Larrieu L., Scotti-Saintagne C., Py-Saragaglia V., *submitted.* New tree-ring chronologies

for fir (*Abies alba* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) for the central French Pyrenees. Data paper. *Annals of forest sciences*.

## Communications dans des manifestations scientifiques

### 2024

- Py-Saragaglia, V. & Saulnier, M., Levillain, L., Burri, S., Larrieu, L., 2024. Charcoal-making remains in current Old-Growth Forests reveal past human practices from the Early Bronze Age that influenced ecosystem dynamics (Romanian Carpathians, French Pyrenees), EAA Rome, 21-31 Aug., 2024 (C.).
- Parrilla, S., Moret, P., Saulnier, M., Py-Saragaglia, V., 2024. Insect death assemblages: a helpful tool for reconstructing past interactions between humans and landscapes in the french central pyrenees, 30th EAA Annual meeting in Rome, Italy, section 861, 28 au 31 août 2024 (C.).
- Saulnier, M., Bédé G., Martin N., Scotti-Saintagne C., Jean F., Morvan S., D'Andrea R., Labbas V., Larrieu L., Burri S., Py-Saragaglia V., 2024. Growth patterns, climate sensitivity and resilience of silver fir trees (*Abies alba* Mill.) differ along a gradient of time since the last harvest in the Central Pyrenees. TRACE 2024, BRASOV, Roumanie, 2-8 Juin 2024 (C.).
- Vincent Labbas, Mélanie Saulnier, Sylvain Burri, Laurent Larrieu, Vanessa Py-Saragaglia, 2024. Reconstructing ancient timber supply practices of an ancient and mature forest (Gavarnie-Gèdre, Pyrenees, France). Colloque "From Forest to Heritage », Helsinki, mai 2024 (P.).

### 2023

- Burri, S., 2023. Des forêts convoitées. Visiter administrer et exploiter les forêts du Comminges (XVIe-début XVIIe siècles). Colloque Marges, Pau, 6-7 avril 2023 (C.).
- Parrilla, S., Moret, P., Stagno, A., Saulnier, M., Pescini, V., Larrieu, L., Valladeres, H., Brustel, H., Py-Saragaglia, V., 2023. The use of subfossil insects as a complementary tool for pedo-anthracologie studie in old-growth forest soils. Anthraco, 8th International Anthracology Meeting, 29 Aug.-2 sept. 2023, Porto, Portugal (C.).
- Py-Saragaglia, V. & Saulnier, M., Larrieu, L., Ladet, S., Brun, C., Burri, S., Danu, M., Maisonhaute, T., Galop, D., 2023. The beech-fir forest, the baseline forest ecosystem in the mountain belt of temperate Europe: questioning a myth. Anthraco, 8th International Anthracology Meeting, 29 Aug.-2 sept. 2023, Porto, Portugal (C.).
- Py-Saragaglia, V., Burri, S., Larrieu, L., Saulnier, M., Brin, A., Galop, D., 2023. L'écologie historique : une clé pour enrayer l'effondrement de la biodiversité forestière ? 147e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Effondrements et ruptures, 23-26 mai 2023, Université Jean-Jaurès (C.).

### 2022

- Fisher, E., 2022a. L'interdisciplinarité de terrain. L'articulation des ordre spatio-temporels hétérogènes. Journées scientifiques du GEODE, 13 décembre, 2022 (C.).
- Fisher, E., 2022b. The changing Timescapes of Old European Forests. Bi-annual Conference of the European Association for the Social Studies of Science

(Communication à distance). Evan Fisher a été co-organisateur du panel: "ForeSTS: forests as an object for the Social Studies of Science".

- Labbas, V. 2022. From research on timber supply in rural areas to regional watersheds. From Forest to Heritage: a conference on historical timber and wooden cultural heritage. 19-21 april, 2022, Amsterdam (C.).
- Parrilla, S., Moret, P., Stagno, A., Saulnier, M., Pescini, V., Larrieu, L., Valladarès, L., Brustel, H., Py-Saragaglia, V., 2022. Perception de l'évolution du couvert forestier de trois vieilles forêts des Pyrénées centrales : l'apport des insectes à la recherche pédoanthracologique, Journées scientifiques du GEODE, 13 décembre, 2022 (C.).

## 2021

- Labbas, V., 2021. Le bois dans la construction rurale et l'approvisionnement en bois d'œuvre depuis le Moyen Âge dans le Sud de la France. Séminaire de recherche dans le cadre du master ASAR, Rennes 2, 27 novembre 2021 (C.).
- Fisher, E., 2021. Old-Growth Forest Times. A Socio-Historical Reading of the Ecological Literature. CBPW2021 – Carpathian-Balkan paleoscience Workshop 2021, format à distance (C.).
- Py-Saragaglia, V., Saulnier, M., Larrieu, L., Burri, S., Brin, A., Roy, M., Guillerme, S., Vimal, R., Philippe, M., Tamas, C., Mîndrescu, M., 2021. About the BENDYS project on the last Old-Growth Forests in the French Pyrenees and Romanian Carpathians. CBPW2021 – Carpathian-Balkan paleoscience Workshop 2021, format à distance (C.).
- Saulnier, M., Larrieu, L., Labbas, V., Dusatko, M., Fisher, E., Py-Saragaglia, V., 2021. History and dynamics of old-growth forests in the Maramures. CBPW2021 – Carpathian-Balkan paleoscience Workshop 202, format à distance (C.).

## 2020

- Burri, S. et al. (20 contributeur.trice.s), 2020. Investigating past trajectories for a better understanding and conservation of present-day biodiversity: on-going research on the last Maramures Old-Growth fir-beech Forests (Romania), Séminaire de recherche TERRAE 2020 Hors champs. Regards croisés sur les forêts et les incultes au Moyen Âge, Toulouse (C.).

## Valorisations grand public

- « Rencontres avec les chercheurs » organisées par l'association Guillaume Mauran et la Société d'Études des Sept Vallées, communication de Sylvain Burri sur « Approches interdisciplinaires sur l'histoire des vieilles forêts des Pyrénées centrales », 12 octobre 2024.
- « Fête du bois et de la forêt » à Anglès, communication de Cécile Brun sur « L'homme et la forêt dans les Carpates roumaines » 11/08/2024
- Les « vieilles forêts » de rares trésors à conserver, communication de Laurent Larrieu avec la contribution de Vanessa Py-Saragaglia, conférence invitée au Museum de Toulouse, avril 2024.
- « Nuits des forêts » à Sainte-Croix-Volvestre, communication de Sylvain Burri sur « Les forêts du Comminges sous convoitise (XVIe-début XVIIe siècles), 17 juin 2023.

- « L'impact du changement climatique sur la préservation de la biodiversité ». Conférence invitée et participation de Vanessa Py-Saragaglia à une table ronde dans le cadre du 12ème Festival International du Film d'Environnement FReDD, octobre 2022.
- Dessin animé réalisé avec le collectif Past & Curious « Vieilles branches » (Mis en ligne le 14 juin 2024).
- Dossier dédié à l'archéologie de la forêt dans la revue Archéologia (mars 2024).
- Tournage en 2024 d'un film « Qui cherche cherche » (réalisateur Jacques Mitsch), portrait de Vanessa Py-Saragaglia en lien avec BENDYS (porteurs d'ANR JCJC ciblés par le CNRS). Mise en ligne de la vidéo prévu le 31 octobre 2024.
- Participation de plusieurs membres du projet en lien avec BENDYS à l'ouvrage grand public « Vieilles forêts occitanes » en cours de préparation.

### Rapports

- Bédé, G., 2024. Effets combinés du changement climatique et de la pression sylvicole sur la croissance radiale du sapin dans les Pyrénées : approches dendrochronologiques. Rapport de Stage de Master 2, GEODE/Master 2 CEPAGE, Montpellier.
- Bordes, P., 2024. Cartographie et évaluation de la maturité des forêts de la haute vallée de la Garonne à la fin du XIXe siècle : approche de paléoécologie. Rapport professionnalisant, Master 2 écologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, 43 p.
- Roy-Camille, C., 2023. Optimisation de l'extraction de l'ADN environnemental à partir de bois mort pour l'étude de la diversité des insectes/champignons par séquençage Illumina. Compte-rendu d'activités, 11 p.
- Maisonhaute, T., 2022. Évaluation de l'ancienneté des vieilles forêts pyrénéennes à partir de l'analyse des charbons de bois issus des sols naturels. Rapport de Stage de Master 2, GEODE/Master 2 CEPAGE, Montpellier, 32 p.
- Rapport INAIRTECH, 2022. Rapport de mission précisant plan de vol, spécifications techniques de l'acquisition (matériel utilisé, paramètres, etc.) traitement des données réalisées.
- Ruskal, A., 2022. Local communities, mines and forests in the Maramures - historical approach, 5 p. + database.
- Touzeau, J., 2021. Effet de l'ancienneté sur la diversité des champignons et leurs interactions, INP-Purpan, 2021

### E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

*La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On détaillera notamment :*

- *brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.*
- *logiciels et tout autre prototype*
- *actions de normalisation*
- *lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...*
- *le développement d'un nouveau partenariat,*
- *la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté*
- *création d'entreprise, essaimage, levées de fonds*

- autres (ouverture internationale,..)

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

**Projets Partenaires :**

- Remote Primary Forest (Université de Prague)
- Elfes (projet APE GEODE)
- BOSCA (projet région défis clés Sciences du passé)
- OcciGen (projet région)
- EVOC (projet MSHS-T)
- PASTFORPRESENT (projet ZA Pygar)
- CONECTFOR (projet FEDER POCTEFA porté par FORESTPIR, sur la caractérisation, la connectivité et la préservation des espaces forestiers à haute valeur écologique)

**Projets Relais :**

- Phase 4 Projet Vieilles Forêts d'Occitanie (projet région)
- PEPR Forestt (PC4 HUB)
- Création en cours d'un Living Lab Pyrénées (Green Heart) en lien avec le PC HUB du PEPR FORESTT et en particulier le WP Living Labs et le WP Prospective

**Autre :**

- Impact du projet Bendys dans le PNA Vieux bois et forêts subnaturelles et participation de la PI et d'un autre membre du projet (Laurent Larrieu) au Comité scientifique.
- Le projet BENDYS était associé à l'organisation de l'école thématique du CNRS Pluribois 2022 qui a porté sur la question de la dégradation du bois (bois mort) et qui a ouvert le consortium pluridisciplinaire des sciences du bois à la question des vieilles forêts et de façon générale à celle des socioécosystèmes forestiers. Plusieurs membres du projet ont été impliqués dans l'organisation de cette école et d'autres y ont participé en tant qu'élèves.

## E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.

Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Saulnier Mélanie	F	melanie.saulnier@cns.fr	Sept 2024	Doctorat	France	Post-doc à GEODE	PI du projet + PI Task 2	Chercheuse ST 2-1	21	28/09/2022	Chargée de recherche	CNRS	Permanent	oui	oui
Evan Fisher	H	evan.an.fisher@gmail.com	Oct 2023	Doctorat	France	Contrat doctoral	PI du projet + PI Task 3	Chercheur T3	24	31/12/2022	Expert	Privé	Permanent	non	non
Vincent Labbas	H	labvince@gmail.com	Sept 2024	Doctorat	France	Post-doc à TRACES	PI du projet + PI task 1	Chercheur ST 1-2	12	31/10/2022	Postdoctoral researcher	FED-tWIN Deep in Heritage, Liege University	CDD avec renouvellement	non	oui
Agnes Ruskal	F	ruskal.agi5@yahoo.com	Sept 2024	Master	Roumanie	RAS	PI du projet + PI Task 1	Technicienne archives historiques ST 1-3	6	30/04/2022	Doctorante	Babes Bolyai university (Cluj)	Contrat doctoral	Non	oui
Coralie Roy-Camille	F	coralie.roy-camille@prran.fr	Août 2024	Master	France	RAS	PI du projet + PI Task 2	Ingénieure ADN ST 2-3	6	31/03/2022	CDD (1 an + 1 an)	Enseignement et recherche publique	Assistant ingénieur	oui pour le premier CDD	oui

### Aide pour le remplissage

(1) Adresse email : indiquer une adresse email la plus pérenne possible

(2) Poste dans le projet : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)

(3) Durée missions : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet

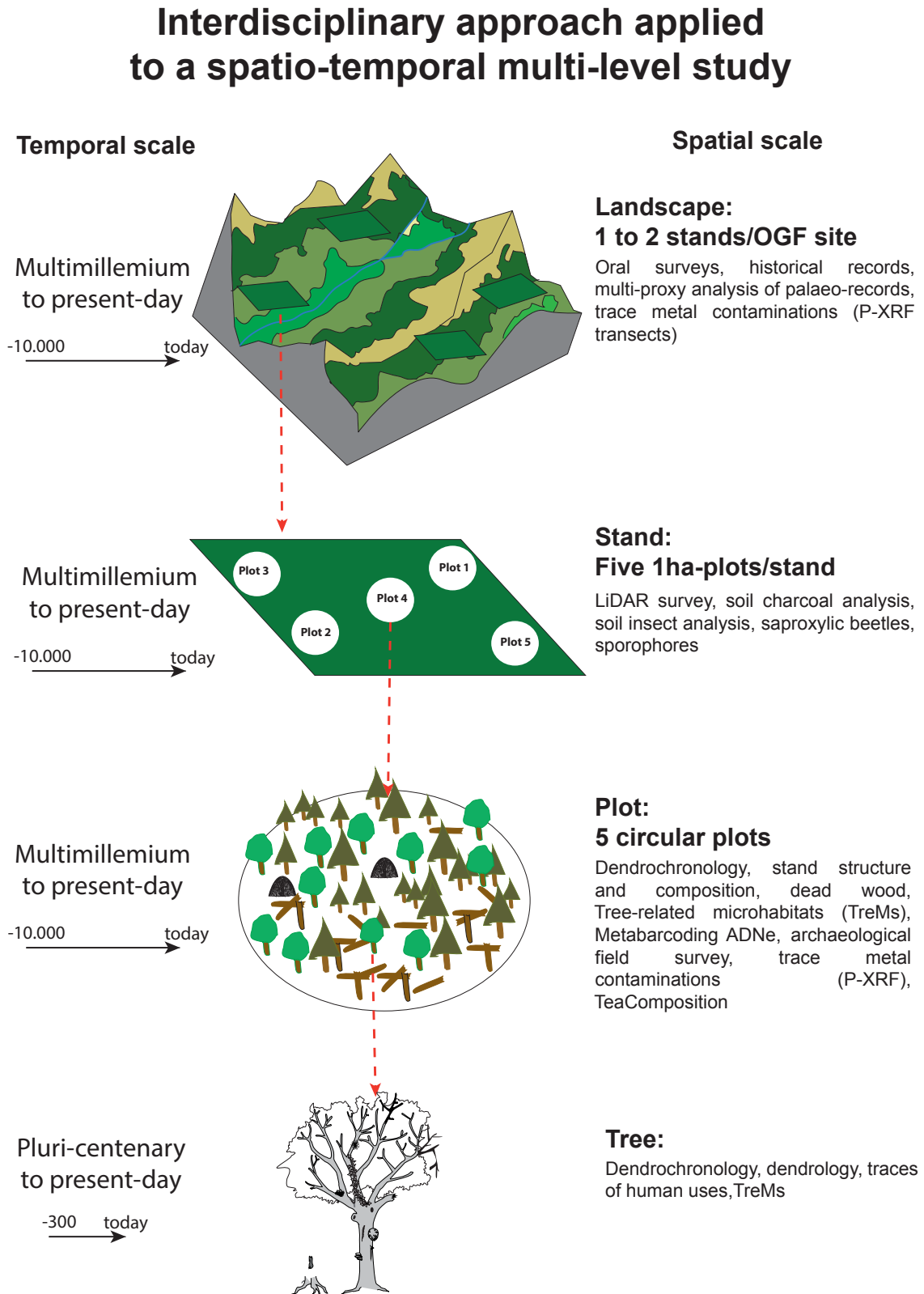
- (4) **Devenir professionnel** : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles
- (5) **Type d'employeur** : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)
- (6) **Type d'emploi** : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)
- (7) **Lien au projet ANR** : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet
- (8) **Valorisation expérience** : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

*Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).*

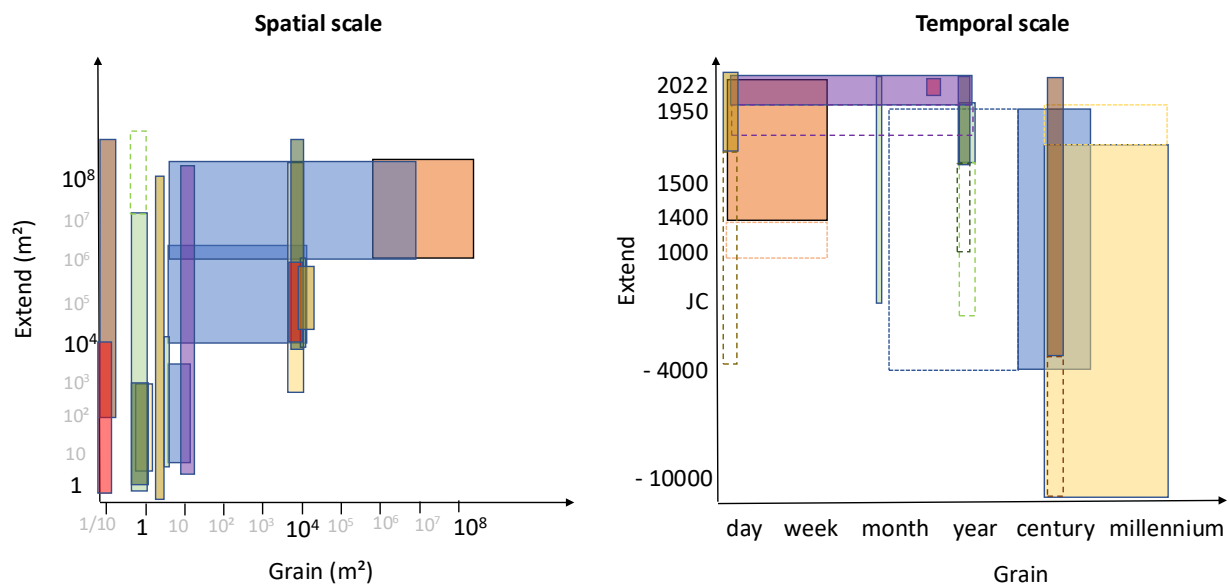
## F ANNEXES

### Annexe 1 – Méthodologie

Figure 1 : illustration des échelles spatio-temporelles du protocole d'après Py-Saragaglia et al., 2020.



**Figure 2 : positionnement spatio-temporel des approches (document produit par Sylvie Ladet suite aux assises du projet)**



### Annexe 2 : le terrain

Une expérience de l'interdisciplinarité et un lieu de formation (photos V. Py-Saragaglia et Sylvain Burri)







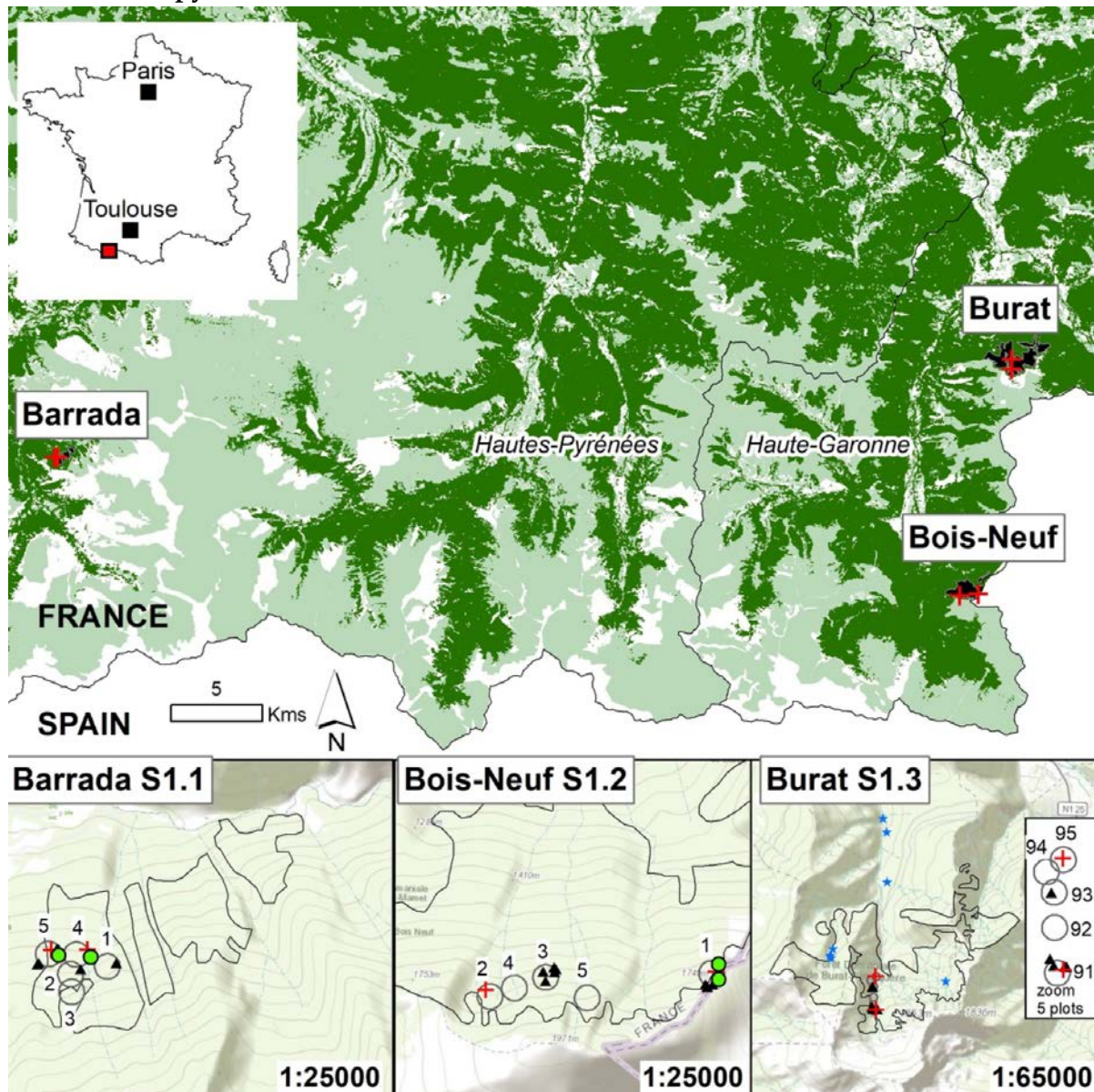


**Annexe 3 : Cartes (réalisation Sylvie Ladet)**

**Carte 1 : localisation générale des sites**

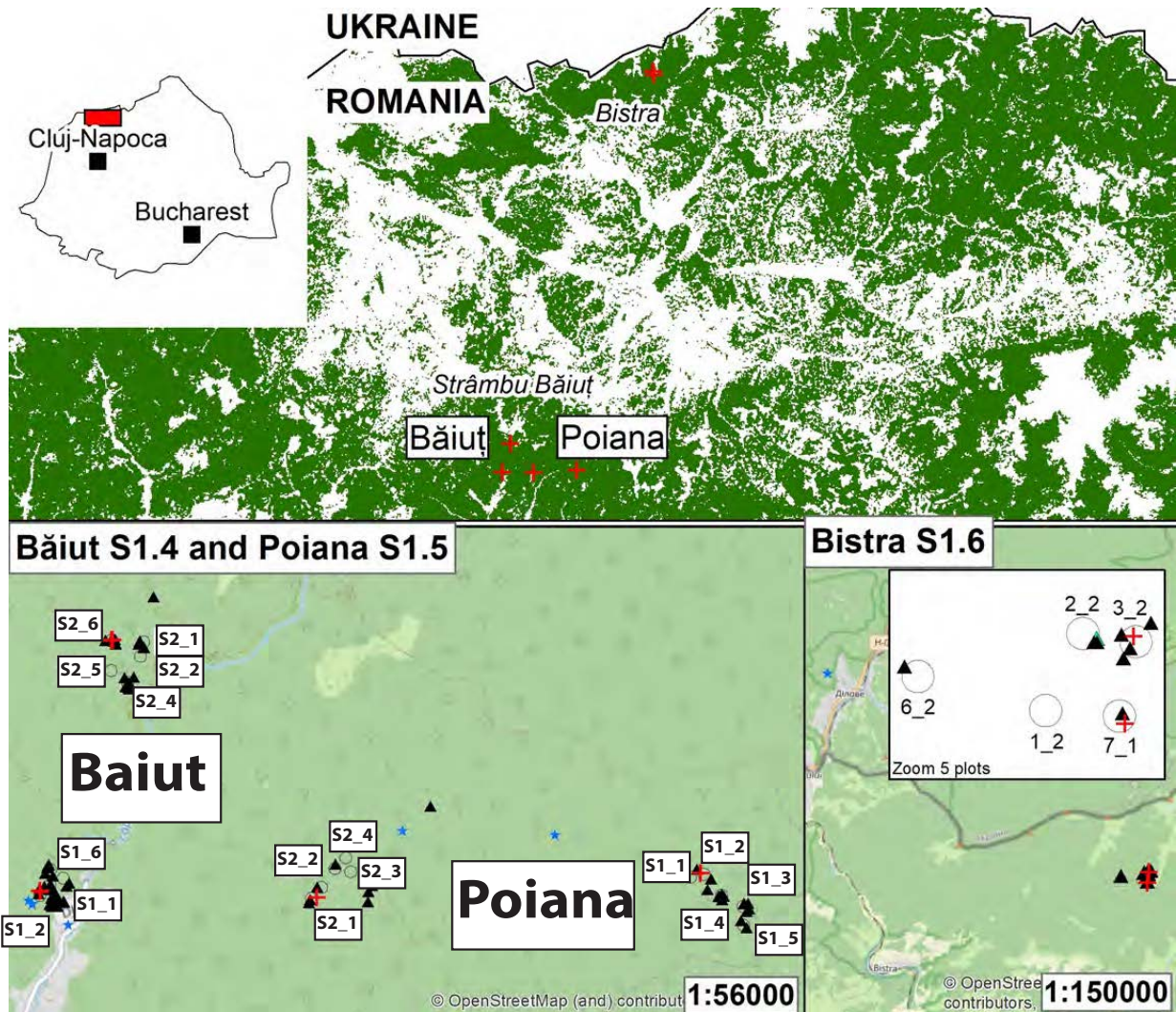


**Carte 2 : sites pyrénéens**



Légende : trame vert foncé : forêts ; trame vert clair : prairies ; cercles : plots ; croix rouges : localisation des fosses d'échantillonnage ; triangles noirs : replats de charbonnage ; étoiles bleues : ouvrages miniers (haldes et entrées de mines) ; points verts : cabanes pastorales.

Carte 3 : sites carpatiques



Légende : trame verte : forêts ; cercles : plots ; croix rouges : localisation des fosses d'échantillonnage ; triangles noirs : replats de charbonnage ; étoiles bleues : ouvrages miniers (haldes et entrées de mines)

## Annexe 4 : Exemple de jeux de données

Figure 1 : transects P-XRF (parties supérieures des vallées de Băiuț et Poiana botizii) et contaminations en plomb (réalisation Gaël Le Roux)

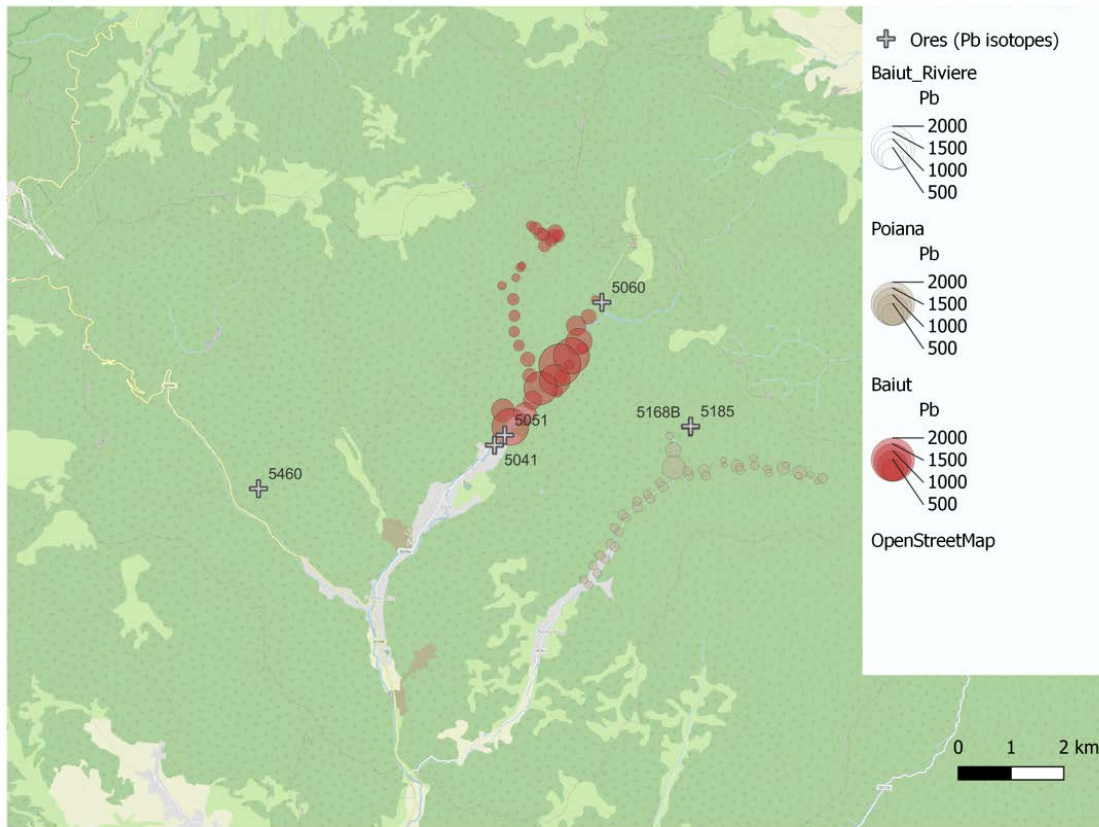
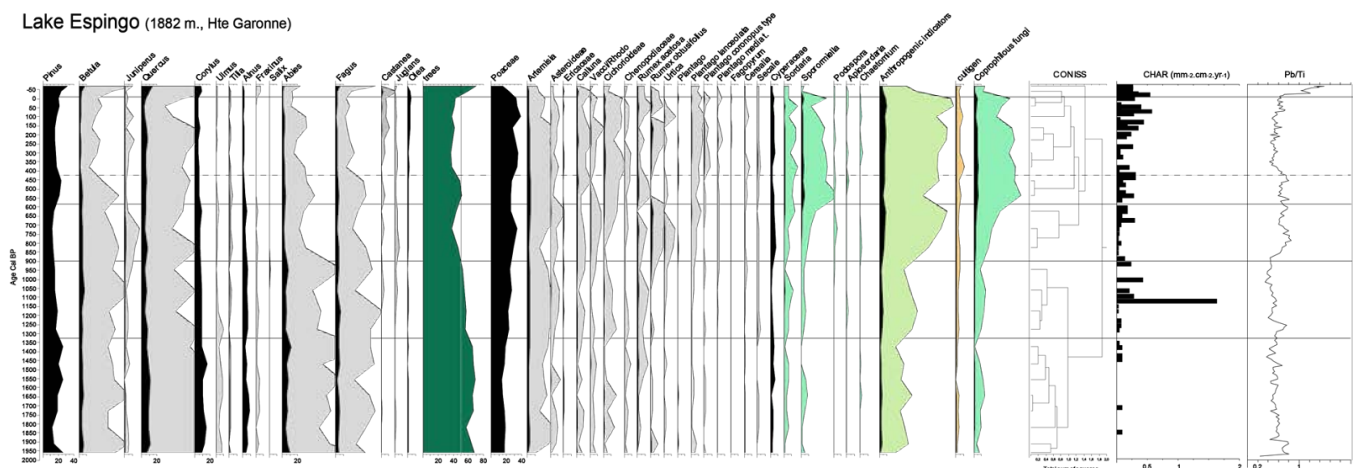


Figure 2 : graphique tiré de l'analyse multi-proxy du lac d'Espingo (étude Didier Galop) (en cours de publication dans Py-Saragaglia & Saulnier, et al., in review)



Légende : Charcoal accumulation rate (CHAR), Pb/Ti and selected pollen and NPP percentage diagram from the palynological Espingo record against age (cal. BP). Exaggerated curves (light colour) are  $\times 10$ . The pollen diagrams are divided into five 'pollen zones', which have been computed using CONISS zonation in Tilia

Figure 3 : (A) Diagramme des 57 séries de cernes de sapin datés disponibles dans le dépôt (B) Deux chronologies principales : 1446-1655 AD et 1679-1952 AD. Le volume des chronologies maîtresses (profondeur de l'échantillon) est représenté en gris clair (étude Vincent Labbas, en cours de publication dans Labbas et al. accepted)

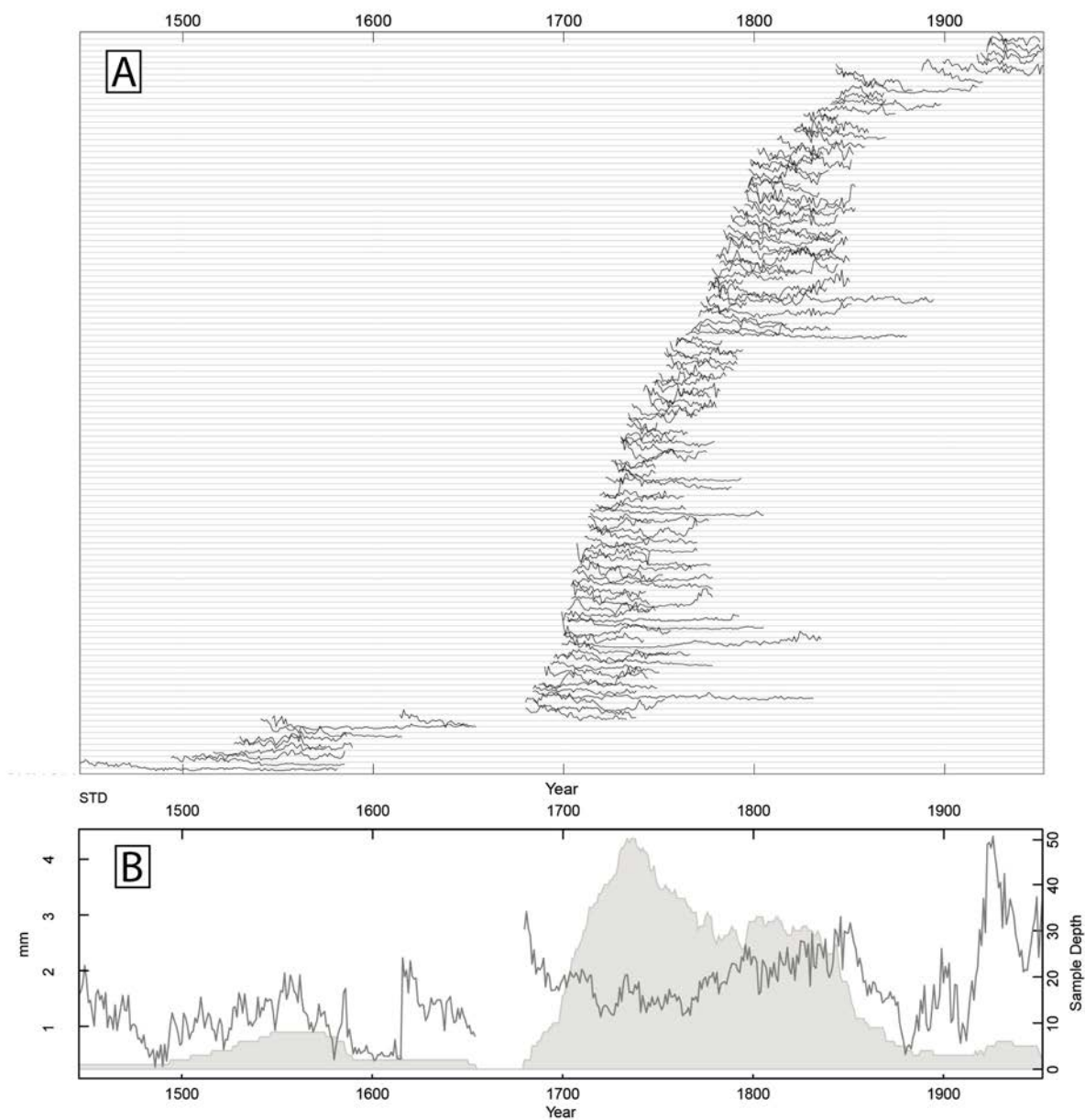


Figure 4 : chronologie des charbonnières (réalisation Mélanie Saulnier) (en cours de publication dans Py-Saragaglia & Saulnier, et al., in review)

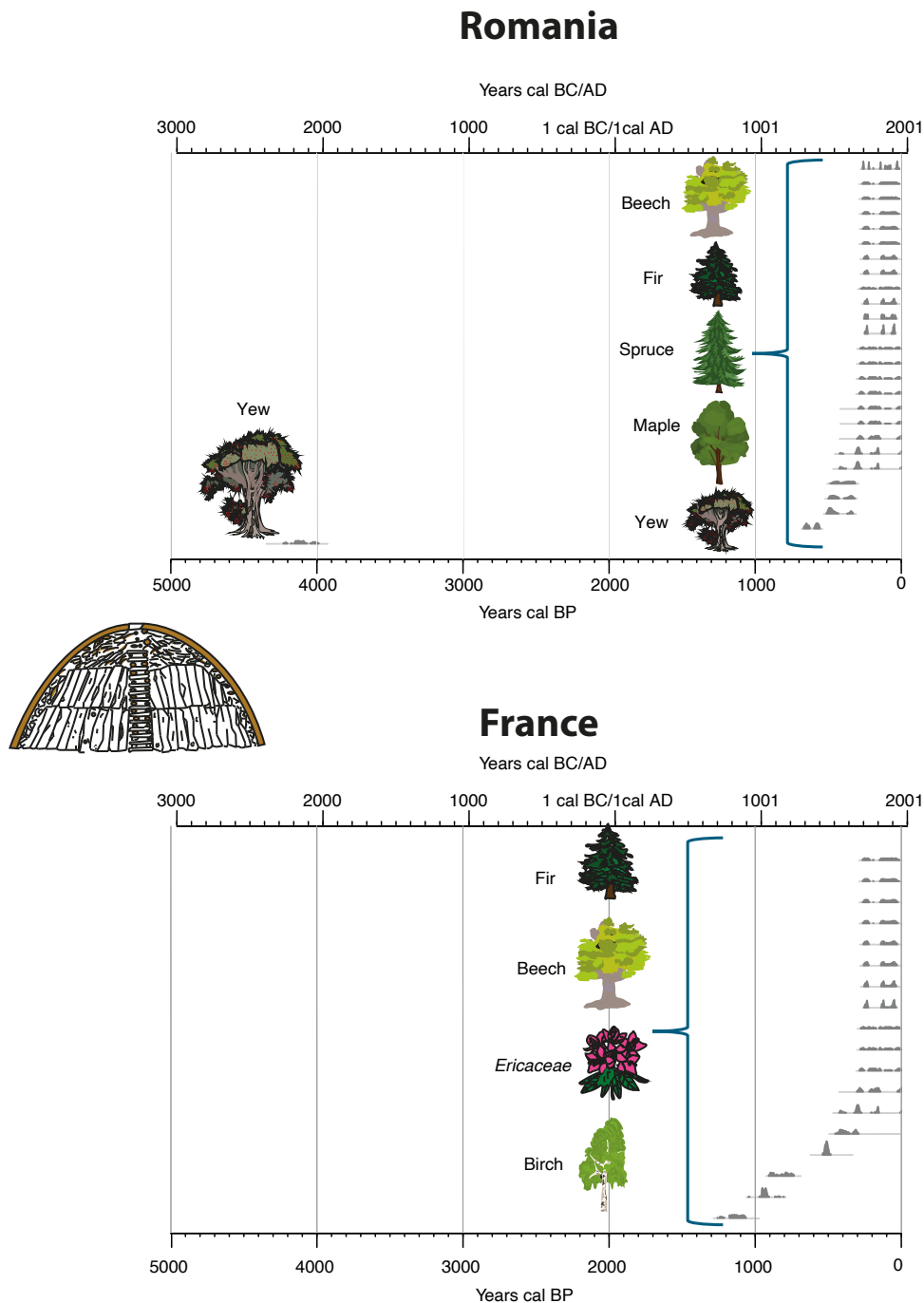
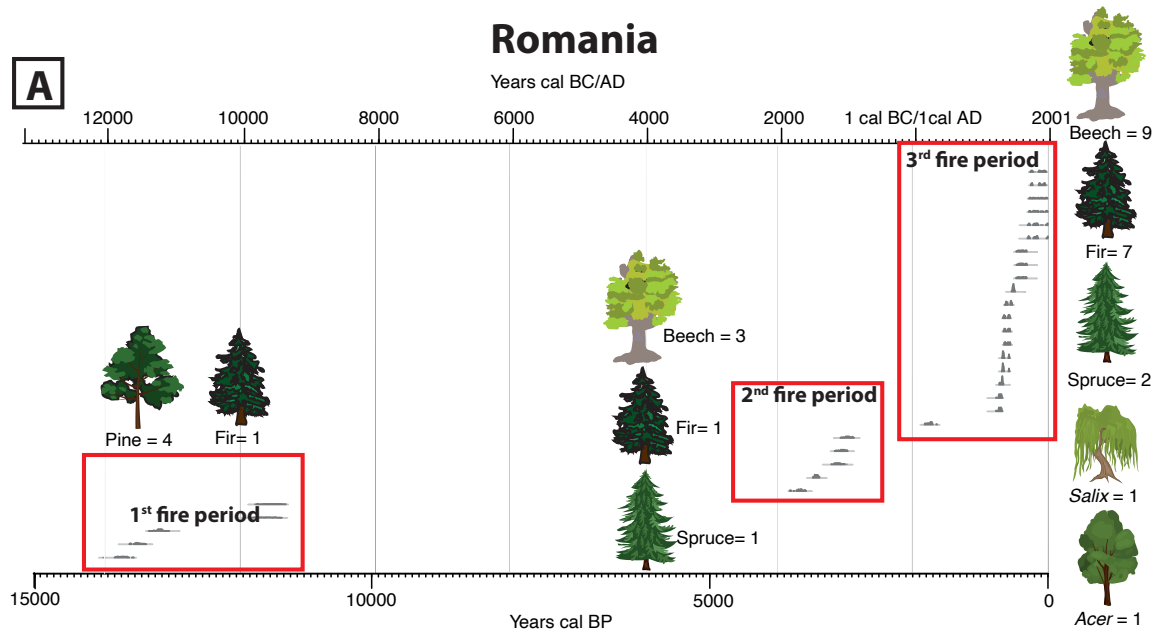
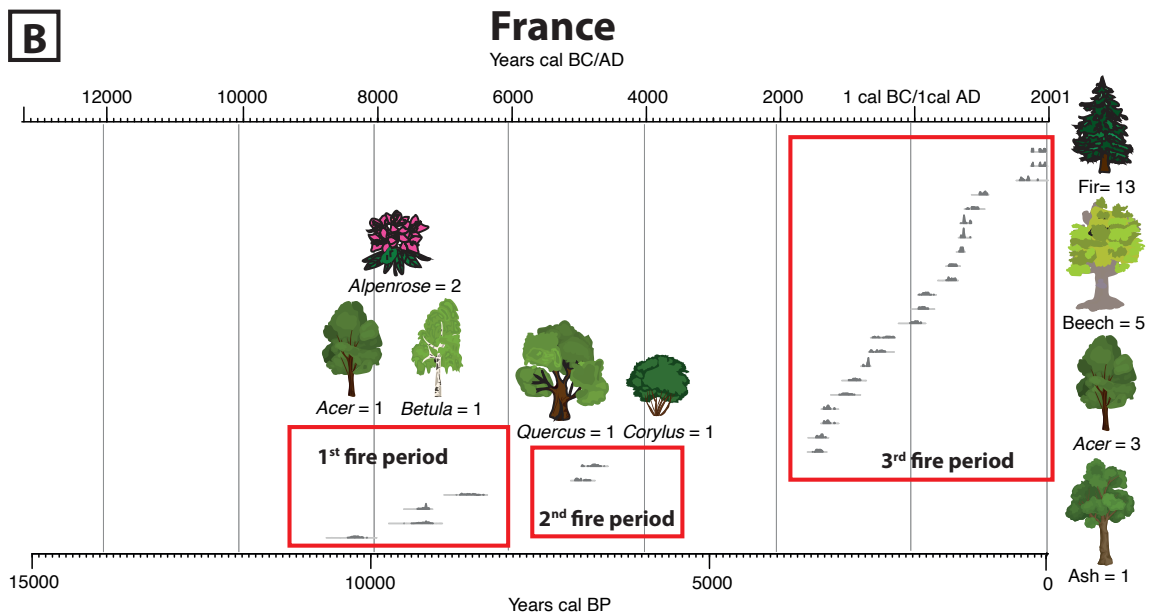


Figure 5 : chronologie des charbons dans les sols (réalisation Mélanie Saulnier) (en cours de publication dans Py-Saragaglia & Saulnier, et al., in review)



## Soil charcoal radiocarbon datings



**Figure 6 : représentation schématique des dynamiques des essences forestières depuis la fin de Pléistocène-début de l'Holocène à nos jours dans les Carpates (A) et les Pyrénées (B) basée sur les données pollinique et du signal incendie (réalisation Mélanie Saulnier) (en cours de publication dans Py-Saraglia & Saulnier, et al., in review)**

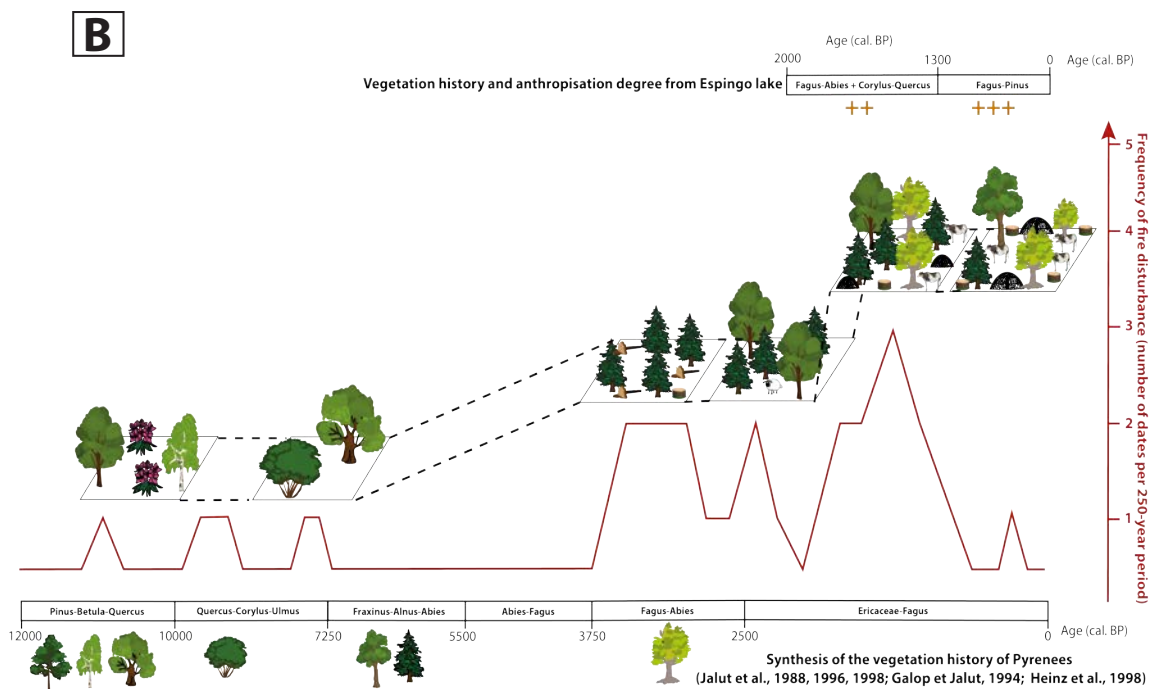
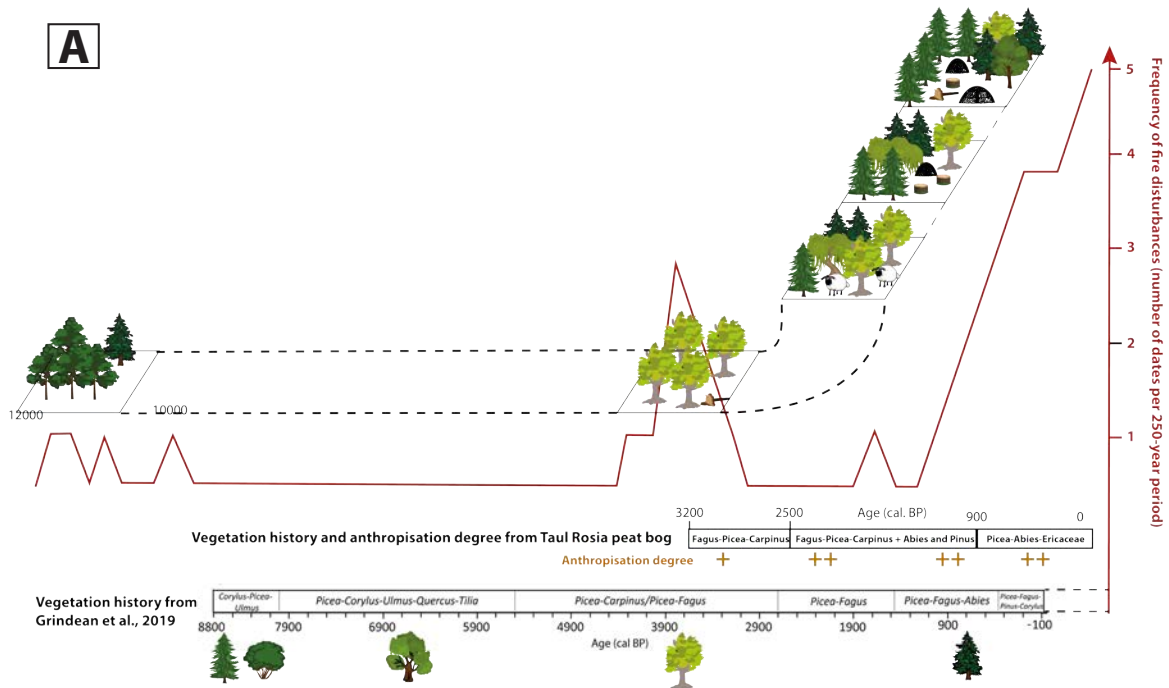




Figure 8 : courbes dendrochronologiques moyennes des arbres vivants carottés dans les Pyrénées et les Carpates (étude Mélanie Saulnier).

