

TRAMETES

Contribution de la trame de vieux bois à l'état de conservation des habitats forestiers et des espèces

Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés En Montagne (LESSEM, INRAE)

Lire la notice (fin de document) avant de remplir la fiche.

* champ à renseigner obligatoirement pour que le dossier soit considéré comme complet.

Identification du porteur du projet	
	IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE PORTEUSE
Nom*	INRAE – Centre Lyon - Grenoble
N° SIRET*	180 070 039 025 87
Statut juridique*	EPST
Adresse du siège*	147 Rue de l'Université, 75338 PARIS CEDEX 07
Code postal*	75007
Commune*	PARIS
Site internet	https://www6.lyon-grenoble.inrae.fr/lessem/LESSEM/Presentation-generale
	IDENTIFICATION DU REPRÉSENTANT LÉGAL
Prénom et nom*	Monsieur Pascal BOISTARD
Fonction*	Président du Centre INRAE Lyon-Grenoble Auvergne Rhône-Alpes
Téléphone	
Adresse e-mail*	Pascal.boistard@inrae.fr
	IDENTIFICATION DU RESPONSABLE DU PROJET
Prénom et nom*	Yoan Paillet
Fonction*	Ingénieur de recherche (Lessem)
Téléphone*	04.76.76.28.78
Adresse e-mail*	Yoan.Paillet@inrae.fr
Autres personnels techniques susceptibles d'intervenir dans le projet	Marc Fuhr (Ingénieur-Chercheur) Nathan Daumergue (Technicien Recherche) Sebastien De Danieli (Ingénieur d'études)
	Autres informations
KBis	Joindre un KBis de moins de 3 mois
TVA	Si la structure porteuse n'est pas redevable de la TVA sur la prestation considérée, joindre un justificatif d'exonération.
	MISSIONS DE LA STRUCTURE
Détailler*	Le Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés En Montagne (LESSEM) développe des recherches sur les dynamiques des socio-écosystèmes en montagne en visant l'équilibre entre approfondissement disciplinaire (en écologie : écologie fonctionnelle, écologie des communautés, écologie de la restauration ; en modélisation spatiale ; en sciences humaines et sociales : sociologie, agronomie, aménagement, économie) et développement de

	recherches interdisciplinaires, entre apports thématiques et perspectives méthodologiques.
--	--

Identification des autres partenaires (en cas de consortium) <i>(dupliquer ce tableau autant de fois que nécessaire)</i>	
	IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE
Nom*	Laboratoire ECODIV, Université de Rouen Normandie
N° SIRET*	197 619 042 00017
Statut juridique*	Laboratoire de recherche universitaire
Adresse du siège*	UFR Sciences et Techniques, Place Emile Blondel
Code postal*	76130
Commune*	Mont-Saint-Aignan
Site internet	https://ecodiv.univ-rouen.fr/
	IDENTIFICATION DU REPRÉSENTANT LÉGAL
Prénom et nom*	Michaël Aubert
Fonction*	Directeur de laboratoire
Téléphone	02 32 76 94 37
Adresse e-mail*	michael.aubert@univ-rouen.fr
	IDENTIFICATION DU RESPONSABLE DU PROJET
Prénom et nom*	Lucie Vincenot
Fonction*	Maîtresse de Conférences
Téléphone*	02 32 76 94 34
Adresse e-mail*	lucie.vincenot@univ-rouen.fr
Autres personnels techniques susceptibles d'intervenir dans le projet	Sylvaine Buquet, Technicienne Philippe Delporte, Technicien
	Autres informations
KBis	Joindre un KBis de moins de 3 mois
TVA	Si la structure du partenaire n'est pas redevable de la TVA sur la prestation considérée, joindre un justificatif d'exonération.
	MISSIONS DE LA STRUCTURE
Détailler*	Les travaux du laboratoire ECODIV sont centrés sur l'étude des relations entre assemblages d'espèces à l'interface sol-végétation et le fonctionnement des écosystèmes via les cycles biogéochimiques sous l'effet de leur gestion et des changements globaux, notamment en contextes forestiers français. Ces écosystèmes sont soumis à de profonds changements dans leurs pratiques de gestion (intensification d'exploitation, modification de la préparation des sols, conversion des peuplements vers des essences adaptées aux changements globaux) qui impactent la biodiversité et les stocks de carbone, problématiques pour lesquelles le laboratoire ECODIV est régulièrement sollicité au regard de ses compétences.

Identification des autres partenaires (en cas de consortium) <i>(dupliquer ce tableau autant de fois que nécessaire)</i>	
	IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE
Nom*	UMR EGCE
N° SIRET*	18000602500027
Statut juridique*	Etablissement public à caractère scientifique et technologique (EPST)
Adresse du siège*	32 Avenue Henri Varagnat
Code postal*	93140
Commune*	Bondy
Site internet	http://www.egce.cnrs-gif.fr/
	IDENTIFICATION DU REPRÉSENTANT LÉGAL
Prénom et nom*	Périnne Guillon
Fonction*	Déléguée régionale
Téléphone	01 48 02 56 01
Adresse e-mail*	perrine.guillon@ird.fr
	IDENTIFICATION DU RESPONSABLE DU PROJET
Prénom et nom*	Fabrice Requier
Fonction*	Chargé de Recherche
Téléphone*	01 69 82 37 50
Adresse e-mail*	fabrice.requier@egce.cnrs-gif.fr
Autres personnels techniques susceptibles d'intervenir dans le projet	
	Autres informations
KBis	Joindre un KBis de moins de 3 mois
TVA	Si la structure du partenaire n'est pas redevable de la TVA sur la prestation considérée, joindre un justificatif d'exonération.
	MISSIONS DE LA STRUCTURE
Détailler*	Le thème central et fédérateur de l'unité est l'évolution et son corollaire la biodiversité. La démarche est pluridisciplinaire, relevant de la génomique, de la génétique et de l'écologie et est menée à différents niveaux d'intégration, du génome à l'espèce et parfois à la communauté. Différents aspects de l'évolution sont déclinés par les différentes équipes: adaptation, spéciation, interactions génome-environnement ou encore interactions entre espèces au sein d'un écosystème. Les études concernent également, à un niveau individuel, comportement ou plasticité des génomes. Ces mots clefs sont retrouvés comme axes transversaux dans les activités des différents pôles du laboratoire.

Identification des sous-traitants <i>(dupliquer ce tableau autant de fois que nécessaire)</i>	
Rattachement du sous-traitant*	Lessem, INRAE Grenoble
IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE	
Nom*	foldAI - Turner und Partner Data Scientists PartG
N° SIRET*	PR1942
Statut juridique*	PartG
Adresse du siège*	Hauffstr. 9
Code postal*	81369
Commune*	Munich, Allemagne
Site internet	https://fold.ai
IDENTIFICATION DU REPRÉSENTANT LÉGAL	
Prénom et nom*	Foerstner Friedrich
Fonction*	COO
Téléphone	648148166
Adresse e-mail*	friedrich@foerstner.org
IDENTIFICATION DES PARTIES SOUS-TRAITEES	
Description des actions sous-traitées*	Elaboration d'un outil de suivi des écosystèmes forestiers relevant les paramètres nécessaires au projet, installation et maintenance de capteurs in-situ et de l'infrastructure. Mise à disposition de données ainsi récoltées.
Autres informations	
KBis	Joindre un KBis de moins de 3 mois
TVA	Si la structure sous-traitante n'est pas redevable de la TVA sur la prestation considérée, joindre un justificatif d'exonération

Identification synthétique du projet		
Titre court	TRAMETES	
Titre long du projet*	Contribution de la trame de vieux bois à l'état de conservation des habitats forestiers et des espèces	
Objectifs du projet*	<p>L'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers repose sur des méthodes principalement indirectes. En ce qui concerne les espèces à enjeux, la contribution des éléments de structure forestière à l'état des populations est assez mal connue et, de fait, le lien entre conservation des habitats naturels et conservation d'espèces reste relativement méconnu. Le projet TRAMETES a un double objectif à la fois de connaissance et méthodologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Connaissance fondamentale : nous proposons de tester les liens entre deux indicateurs potentiels d'état de conservation des forêts (densité de cavités de pic noir et maturité structurale) avec la diversité d'espèces des directives faune-flore et oiseaux (chouettes, pics, chauve-souris), ainsi qu'avec d'autres espèces non-incluses dans la directive mais avec un rôle fonctionnel important (champignons lignicoles, abeilles mellifères) ; - Méthodologiques : nous utiliserons différentes méthodes d'identification d'habitats et de relevés d'espèces, de manière à tester leur efficacité pour l'évaluation de l'état de conservation : ADN environnemental pour la caractérisation des communautés fongiques, bioacoustique pour les relevés de communauté d'oiseaux et de chauve-souris, LIDAR aérien pour la caractérisation de la maturité forestière à large échelle. 	
Espèces, habitats, et/ou milieux ciblés*	<p>Chouette de Tengmalm, Chouette Chevechette, Pics (noir, épeiche, épeichette, éventuellement mar, cendré, vert), Chauve-Souris, champignons lignicoles, abeilles mellifères</p> <p>Milieux forestiers de plaine et de montagne</p>	
Principales étapes et résultats attendus (résumé)*	<p>La première année du projet sera dédiée à la sélection de placettes d'échantillonnage dans les sites dits « intensifs » où seront faites les mesures de biodiversité. Les premières mesures dendrométriques, les prélèvements de matière organique et l'installation des capteurs écoacoustiques seront également réalisés la première année.</p> <p>La seconde année sera consacrée d'une part au complément de mesures sur les autres sites (pas de mesures de biodiversité), et aux analyses moléculaires (champignons, abeilles), ainsi qu'à l'exploitation des données écoacoustiques.</p> <p>La troisième année sera consacrée aux analyses et aux synthèses mutigroupes, ainsi qu'à la confrontation aux indicateurs d'état de conservation des habitats forestiers. Les différentes valorisations du projet (articles, communications) auront lieu cette année également.</p> <p>Un comité de pilotage se réunira lors du lancement, puis une fois par an au cours du projet.</p>	
Date de début / date de fin et durée totale du projet*	<i>Du 10/2021 au 09/2024 (36 mois)</i>	
Acteurs*	Responsable unique du projet (au sein de la structure porteuse)	Yoan Paillet

	Autres correspondants au sein de la structure porteuse du projet	Marc Fuhr
	Autres correspondants externes (co-responsable en cas de collaboration, tutelles et autres personnes concernées par le suivi du projet, y compris co-financeurs éventuels).	Lucie Vincenot (Ecodiv, Univ. Rouen Normandie), Fabrice Requier (EGCE), Alicia Charennat (FoldAI)

Coût du projet	
Coût complet du projet (HT)*	283 712 €
Coût complet du projet (TTC)*	289 515 €
Montant du financement sollicité auprès de l'OFB (HT)*	121 388€ (soit 43 % du coût complet HT)
Montant du financement sollicité auprès de l'OFB (TTC)*	127 191 € (soit 43 % du coût complet TTC)
Montant du co-financement par le porteur et les partenaires du projet (HT)*	162 324 €
Montant du co-financement par le porteur et les partenaires du projet (TTC)*	162 324€

TRAMETES

Contribution de la trame de vieux bois à l'état de conservation des habitats forestiers et des espèces

Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés En Montagne (LESSEM, INRAE)

Programme détaillé du projet

1. Cadrage et objectifs principaux du projet*

Objectifs et finalités

L'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers repose sur des paramètres de distribution et de structure, de composition et de fonctionnement de l'écosystème (Maciejewski et al. 2016). Si la distribution des habitats sur le territoire français est relativement bien connue, notamment par le biais de la caractérisation d'habitat par l'Inventaire Forestier National et des cartographies en zones Natura 2000, le diagnostic des éléments de structure, de composition et de fonctionnement repose en grande partie sur de l'expertise et reste peu validé scientifiquement pour les forêts métropolitaines (cf. note de cadrage du présent appel, et Touroult et al. (2020)). Ces derniers caractérisent des habitats d'espèces ou des éléments plus généraux potentiellement favorables à la biodiversité forestière (bois mort, très gros arbres, tableau 8 dans Maciejewski et al. 2016, Gosselin and Paillet 2017), à la fois à l'échelle de la placette forestière et à l'échelle du site évalué. D'autres éléments de structure ne sont pas inclus à la méthode d'évaluation, sans doute parce que les connaissances à leur propos ont récemment progressé, mais n'ont pas été validées pour l'évaluation. C'est notamment le cas des dendromicrohabitats, qui sont des singularités portées par une partie des arbres du peuplement (e.g. cavités du bois, carpophores de champignons), et pour lesquels les recherches se sont développées au cours des dernières années (e.g. Larrieu et al. 2018, Paillet et al. 2018). De nombreuses espèces de la Directive habitat faune flore et de la Directive oiseaux dépendent potentiellement de ces éléments pour leur cycle de vie (oiseaux cavicoles primaires et secondaires, chauve-souris). En outre, d'autres espèces, qui ne sont pas mentionnées dans les directives mais au rôle fonctionnel essentiel pour l'écosystème forestier et au-delà, montrent également une forte dépendance à ces éléments de structure. Par exemple, les abeilles jouent un rôle de pollinisation majeur en agriculture (Klein et al. 2007) et pour la reproduction de 87,5% des plantes à fleurs (Ollerton et al. 2011) ; les champignons lignicoles participent à la dégradation de la matière organique, au stockage de carbone et sont la base de la chaîne trophique détritivore du sol forestier (e.g. Lonsdale et al. 2008). Ainsi, la mise en relation de ces taxons avec des éléments de la trame forestière de vieux bois de manière quantitative et rigoureuse participe à une meilleure évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers.

Type de contenu

Le projet TRAMETES vise à analyser le lien de deux indicateurs potentiels de biodiversité forestière avec la biodiversité de plusieurs taxons, dont une partie relève des Directives habitats et oiseaux (chauve-souris, oiseaux cavicoles) et une autre joue un rôle fonctionnel essentiel dans l'écosystème (abeilles, champignons lignicoles). L'étude de ces liens permettrait de compléter et améliorer l'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers en complétant les connaissances sur les indicateurs de structure, de composition et de fonctionnement. Les deux indicateurs de biodiversité

concernés par ce projet sont les cavités de pic noir (*Dryocopus martius* L.) qui constituent un dendromicrohabitat essentiel de nombreux taxons forestiers (e.g. Cockle et al. 2011, Puverel et al. 2019), et la maturité forestière (Cateau et al. 2015) caractérisée par des éléments liés notamment au vieillissement des arbres et à l'absence d'exploitation (bois mort, gros arbres).

Justification du caractère « recherche et développement »

Au travers de l'évaluation de l'efficacité des éléments au regard de plusieurs taxons à plusieurs échelles (de l'arbre au site, en passant par la placette forestière), nous contribuons à une meilleure définition de l'état de conservation des habitats forestiers. Il s'agit aussi de mieux comprendre quels sont les éléments à favoriser dans la gestion courante pour maintenir des espèces à enjeux conservatoires (petites chouettes de montagne, pics, chauve-souris) ou avec un rôle fonctionnel fort (pollinisateurs, décomposeurs). Le projet TRAMETES propose également des développements méthodologiques sur la base de technologies en cours de développement et qui pourraient être déployées à grande échelle pour le suivi de biodiversité (LIDAR aérien, bioacoustique, ADN environnemental). Enfin, le projet associe étroitement gestionnaires d'espaces naturels et chercheurs pour la co-construction de connaissances et de méthodes ainsi que des visions partagées des problématiques de recherche et de gestion forestières.

2. Cibles thématiques du projet*

Espèces, habitats, milieux visés

Nous travaillons sur les habitats forestiers sur un large gradient biogéographique (altitude, continentalité) incluant des forêts de plaine (< 600m d'altitude), de moyenne montagne (600 – 1000m) et de montagne (>1000m, Tableau 1, Figure 1). Ce travail multisite permet à la fois de traiter de grands types d'habitats forestiers au niveau national mais aussi de tester la robustesse des deux indicateurs évalués dans le projet.

Les espèces ciblées par le projet peuvent être réparties dans les deux groupes suivants :

- Espèces inscrites aux Directives habitat et oiseaux : oiseaux cavicoles, notamment les pics, les petites chouettes de montagne et plus généralement les passereaux cavicoles et les chauve-souris forestières ;
- Espèces ne relevant pas de la directive mais avec un rôle fonctionnel essentiel pour l'écosystème forestier voire au-delà pour la résilience d'autres écosystèmes : abeilles (pollinisation) et champignons lignicoles (décomposition de la matière organique et rôle dans la chaîne trophique). Ces derniers font d'ailleurs figure de « parents pauvres » des évaluations internationales de conservation (Dahlberg and Mueller 2011) avec 425 espèces de champignons répertoriées par la Liste Rouge de l'UICN, contre 54172 espèces de plantes et 79858 d'animaux (www.iucnredlist.org/).

Territoire(s) concerné(s)

Grâce à différents partenariats avec des gestionnaires locaux (Tableau 1), nous disposons de cartographies de cavités de pic noir à des échelles variables qui constituent une base de connaissance inestimable pour construire des plans d'échantillonnage robustes. Nous travaillerons ainsi sur au moins 8 sites d'étude répartis en France métropolitaine (Tableau 1, Figure 1). Les gestionnaires des

sites seront associés au comité de pilotage du projet (un par année de projet), ce qui permettra de formuler des questions de recherches communes intéressant à la fois les partenaires académiques et non-académiques. Même s'ils ne sont pas identifiés comme des partenaires formels de cet appel, les gestionnaires sont déjà en contact avec le consortium et ont donné leur accord pour la participation au projet et supportent pleinement l'initiative (cf. lettre d'intention du Parc National des Cévennes).

	Massif forestier	Grands types d'habitats forestiers	Institutions gestionnaires	Protocole Dendrométrie	Relevés Terrain biodiversité	Valorisation de données existantes (non exhaustif)
Sites de plaine	Auberive (Haute Marne)	Hêtraie-chênaie de plaine	Office National des Forêts Parc National de Forêts de Plaine Réserve Naturelle	20 placettes	20 placettes « intensives » Protocole Abeilles	Relevés Chauve-souris
	Loches (Indre et Loire)	Chênaie de plaine	Office National des Forêts	10 placettes		
	Forêt Domaniale de Rambouillet (Yvelines)	Chênaie de plaine	Office National des Forêts	10 placettes	Protocole Abeilles	
Sites de moyenne montagne (massif central)	Parc National des Cévennes	Hêtraie-sapinière de montagne, influences méditerranéenne aux basses altitudes	Office National des Forêts Forestiers privés Parc National	20 placettes	20 placettes « intensives »	Protocole Petites Chouettes de Montagne
	Chaîne des Volcans	Hêtraie-sapinière de moyenne montagne	Parc Naturel Régional Forestiers privés	10 placettes		Protocole Petites Chouettes de Montagne
Sites de Montagne (Alpes)	Bauges (Semnoz)	Hêtraie sapinière de montagne	Ligue pour la Protection des Oiseaux	20 placettes	20 placettes « intensives »	Protocole Petites Chouettes de Montagne
	Forêt Domaniale du Vercors et Réserves Biologique Intégrale des Hauts-Plateaux (Isère / Drôme)	Hêtraie sapinière pessière de montagne	Office National des Forêts			
	Espaces Naturels Sensibles d'Isère (Col du Coq, Ecouges)	Hêtraie sapinière pessière de montagne, forêt alluviale	Conseil Départemental de l'Isère			

Tableau 1 : Descriptif des sites d'échantillonnage (les nombres de placettes d'études sont données à titre indicatif et pourront varier au cours du projet). Les placettes « intensives » seront équipées de capteurs bioacoustiques (oiseaux, chauve-souris) et feront l'objet des prélèvements de matière organique (protocole metabarcoding champignons). En grisé, les sites « intensifs ».

Paramètres, variables visés

Les différents plans d'échantillonnages ainsi que les protocoles seront adaptés aux espèces cibles. Nous tacherons ainsi de croiser le gradient de maturité forestière avec la présence de cavités de pic noir. Si les cavités sont des éléments qui ne sont pas inclus dans l'évaluation de l'état de conservation (cf. Tableau 3 dans Maciejewski et al. 2016), un certain nombre d'indicateurs d'état de conservation sont également des indicateurs de maturité forestière (Paillet et al. 2015) : Nombre de très gros bois à l'hectare, % de, nombre de bois mort > 30 cm/ha (effets positifs sur la maturité), et surface de jeune peuplement (effet négatif). Au travers de l'approche de description adoptée, nous pourrions à la fois tester l'influence de ces caractéristiques individuelles sur les espèces cibles, mais également

diagnostiquer, à l'échelle du site, le degré de maturité forestière et la fonctionnalité de la trame de vieux bois au travers d'une approche synthétique.

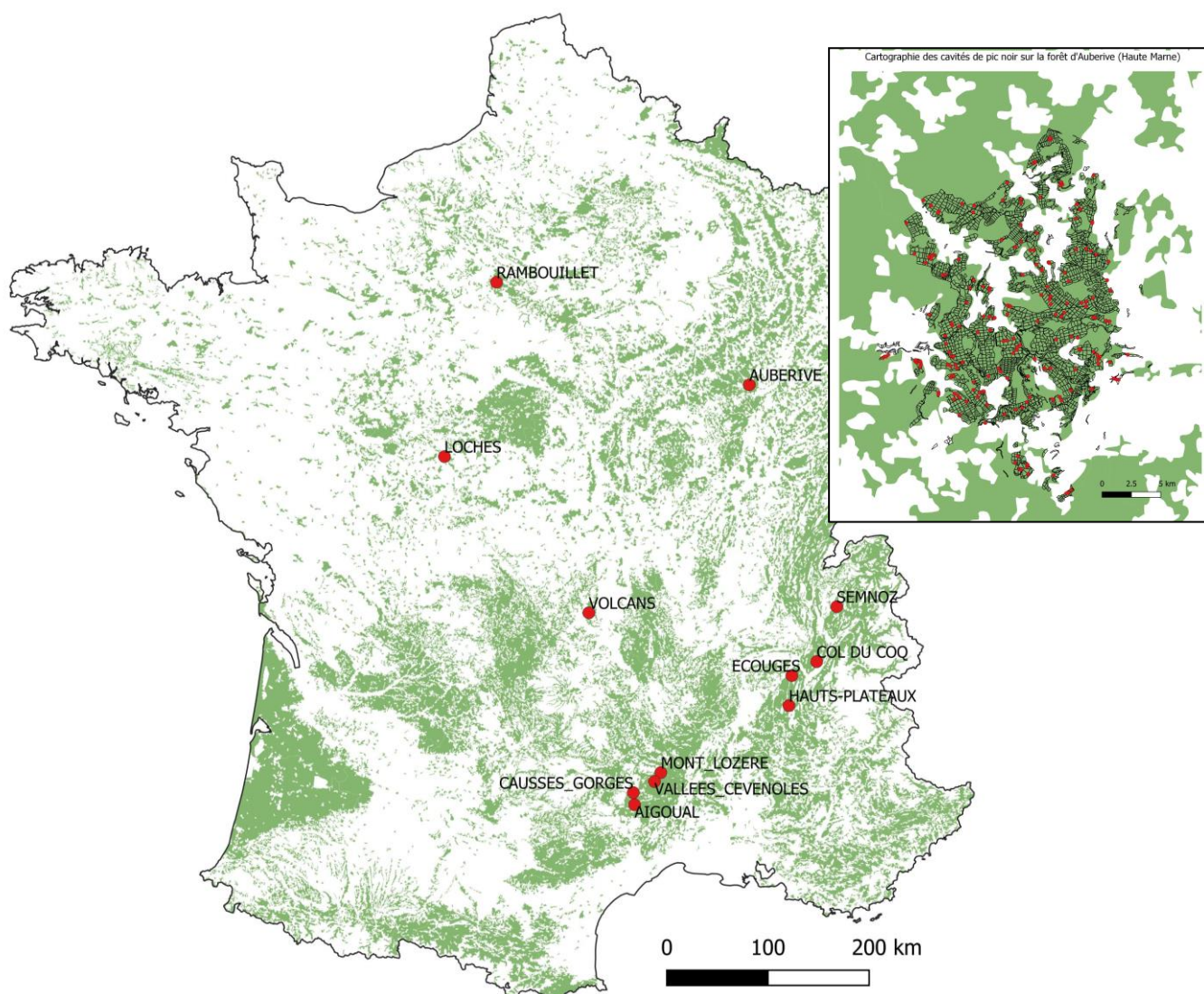


Figure 1 : Cartographie des massifs concernés par le projet TRAMETES. En encart, un exemple de cartographie de cavités de pic noir sur la forêt d'Auberive (Haute-Marne)

3. Contexte du projet, travaux antérieurs*

Etat de l'art

Lien entre cavités de pic et biodiversité

Les pics (en France principalement : pics noir, vert, épeiche, mar, cendré et épeichette) sont considérés comme des espèces ingénieurs de l'écosystème, dans la mesure où ils sont capables de creuser dans des troncs des cavités pour nicher (loges) et pour se nourrir qui peuvent ensuite servir d'habitat à une multitude d'autres espèces (mammifères, oiseaux, insectes, fonge et bactéries). De ce fait, de nombreux gestionnaires d'espaces naturels forestiers conservent les arbres porteurs de cavités, en particulier celles de pic noir, comme « arbres habitats » en tant qu'éléments constitutifs de

la trame intraforestière de vieux bois. Cependant, l'efficacité de ces mesures au regard de la biodiversité forestière est encore peu documentée, notamment à l'échelle du massif forestier.

Certaines études estiment que 10 à 40% de la faune forestière (oiseaux et mammifères) dépend des cavités creusées dans les arbres (Cockle et al. 2011). Les pics sont des cavicoles – excavateurs – primaires susceptibles de modifier sensiblement leur milieu en creusant des cavités pour nidifier (Roberge et al. 2008). Leur activité d'excavation est reconnue comme favorable à de nombreuses espèces de vertébrés et d'invertébrés, voire de champignons, au travers notamment de la contribution à des réseaux fonctionnels (« nest webs ») de cavités (Martin and Eadie 1999, Martin et al. 2004, Jankowiak et al. 2019). En Europe, les pics, en tant qu'excavateurs primaires, sont pourvoyeurs d'environ un quart des cavités disponibles en forêt (Cockle et al. 2011). Ils fournissent un gîte pour de nombreuses autres espèces - insectes (abeilles, coléoptères), oiseaux nicheurs (mésanges, pigeon colombin, chouettes, en particulier en montagne pour ces dernières) et mammifères (chauve-souris, écureuil, martre). Le pic noir a par ailleurs la particularité de s'attaquer à des arbres vivants et semble potentiellement responsable de la sénescence progressive des arbres soit parce qu'il facilite l'accès à des agents de décomposition du bois (Wesołowski 2011, Zahner et al. 2012) comme les champignons ou les insectes xylophages, soit parce qu'il semble lui-même inoculer des champignons lignivores lors de l'excavation (Jackson and Jackson 2004, Jankowiak et al. 2019). Cette sénescence progressive est, en retour, génératrice de dendromicrohabitats favorables à un cortège d'espèces qui dépendent du bois mort ou en décomposition (Regnery et al. 2013, Paillet et al. 2018), notamment d'espèces de champignons qui peuvent différer des espèces du bois mort au sol (e.g. Jusino et al. 2016). Les travaux qui ont cherché à quantifier l'influence du creusement de cavités par les pics sur les cavicoles secondaires ont pris principalement place en Amérique du nord (Martin et al. 2004, Remm and Lohmus 2011) et ont surtout concerné les oiseaux, au travers d'une approche des réseaux de cavités (nest webs, sensu Martin and Eadie 1999). En Europe, en dehors d'études sur les oiseaux en Scandinavie (Roberge and Angelstam 2006), peu de travaux se sont intéressés au lien entre creusement de cavités par les pics et biodiversité – sans mentionner l'état de conservation des habitats forestiers – notamment en forêt tempérée d'Europe de l'ouest et dans un contexte d'exploitation forestière (e.g. Zahner 2013). D'autre part, les cortèges fongiques liés aux cavités de pics restent assez mal connus, en particulier en raison de problèmes méthodologiques qui limitent la détection des espèces à phénologie irrégulière (Halme and Kotiaho 2012) ou non cultivables en laboratoire (Jankowiak et al. 2019), appelant à un recours à des méthodes moléculaires comme le métabarcoding sur ADN environnemental

Importance de la maturité forestière pour l'état de conservation

Une multitude d'espèces animales et végétales dépendent des attributs structuraux des forêts matures que sont les très gros arbres vivants et le bois mort, qui entrent en jeu dans la fonctionnalité de l'écosystème.

- Un lien positif est par exemple établi entre le diamètre des arbres et la richesse spécifique des champignons (Heilmann-Clausen and Christensen 2004), ou la présence d'espèces de mousses et de lichens aux exigences écologiques strictes, souvent menacées (Odor et al. 2006). Une explication provient de l'augmentation de la densité et la diversité des dendromicrohabitats (cavités mais aussi fentes, décollements d'écorce, branches mortes dans le houppier, carpophores de champignons saproxyliques, lianes,...) avec le diamètre des arbres (Larrieu and Cabanettes 2012, Paillet et al. 2019)
- De nombreuses études ont également montré une réponse de la biodiversité au bois mort, pour les organismes saproxyliques mais aussi pour les espèces d'oiseaux cavicoles. La richesse

de ces taxons augmente avec la quantité de bois mort disponible (Butler et al. 2004, Lassaue et al. 2011, Lachat et al. 2013, Bouget et al. 2014) mais également avec sa qualité, c'est-à-dire la nature (sur pied ou au sol), la diversité des dimensions et la diversité des stades de dégradation des pièces de bois mort (Brin et al. 2011, Bouget et al. 2013).

Cependant, les effets respectifs des attributs de maturité et de la présence de dendromicrohabitats ont jusqu'à présent été peu étudiés conjointement, dans la mesure où les dendromicrohabitats sont par nature plus abondants dans les forêts plus matures (Paillet et al. 2015, Paillet et al. 2017).

Rôle des habitats forestiers pour le maintien des colonies d'abeilles mellifères

L'abeille mellifère, *Apis mellifera*, est une espèce emblématique, largement reconnue pour son importance pour la production de miel et le service de pollinisation (Potts et al. 2010), mais également pour son état de santé menacé par de multiples pressions telles que des agents pathogènes, des pesticides et le manque de ressources florales (Goulson et al. 2015). Bien que beaucoup d'attention soit accordée aux colonies d'abeilles mellifères gérées par l'apiculture, leur existence à l'état sauvage est souvent négligée (Requier et al. 2019) et sont même largement considérées comme éteintes (De La Rúa et al. 2009, Jaffé et al. 2010, Meixner et al. 2015, Geldmann and González-Varo 2018). Néanmoins, des études récentes ont montré que des colonies sauvages d'*A. mellifera* peuvent encore être trouvées dans les forêts européennes (Oleksa et al. 2013, Kohl and Rutschmann 2018, Requier et al. 2020), soulignant la nécessité d'accroître les connaissances sur ces populations (Requier et al. 2019, Requier et al. 2020).

La conservation des colonies d'abeilles mellifères sauvages peut favoriser la préservation des populations natives en danger (Requier et al. 2019) et pourrait favoriser la résistance naturelle des populations gérées d'abeilles mellifères aux agents pathogènes (ex.: *Varroa destructor*) (Seeley 1985). Les colonies d'abeilles mellifères sauvages sont ainsi considérées comme un réservoir génétique de résistance aux pressions biotiques (Seeley 1985). En effet, les populations natives d'abeilles mellifères sauvages sont affectées par l'expansion des populations allochtones gérées en Europe et par le transfert d'agents pathogènes non locaux (Moritz et al. 2007, De La Rúa et al. 2009, Muñoz et al. 2014). Les activités apicoles actuelles comprennent la sélection de sous-espèces non locales qui ont conduit à une hybridation réduisant à la fois la santé et la survie des populations de la sous-espèce locale (De La Rúa et al. 2009, Meixner et al. 2015).

En Europe, les cavités creusées par des pics ou résultant de la décomposition du bois constituent les principaux sites de nidification de ces colonies sauvages dans les forêts (Requier et al. 2020). D'autres sites de nidifications existent, comme des cavités de roche ou des structures humaines (e.g. cheminées). Cependant, la complexité d'exploration de larges territoires limite à ce jour les connaissances sur l'écologie des colonies sauvages d'abeilles mellifères et empêche l'établissement d'un statut de conservation (Nieto et al. 2014).

Articulation éventuelle avec d'autres projets

Fin 2020, un groupement de cinq Parcs Naturels Régionaux (PNR) préalpins a déposé une demande de financement au « Programme Opérationnel Interrégional FEDER du Massif des Alpes » pour évaluer la fonctionnalité de la trame de forêts matures sur leurs territoires. Le projet, en cours de lancement, inclut des développements méthodologiques pour la cartographie des forêts matures par

télédétection, en particulier à partir de données LiDAR. Ces développements pourront, le cas échéant, être valorisés et approfondis dans le projet TRAMETES.

Travaux antérieurs (le cas échéant)

Dans le cadre du programme PSDR (Pour et Sur le Développement Régional) 4, le projet OUIGEF a développé un indice de caractérisation de la maturité structurale des forêts pour les hêtraies sapinières montagnardes (Fuhr 2016, 2018). Cet indice, nommé IMAT (Indice de MATurité) sera utilisé dans le projet TRAMETES pour caractériser la maturité forestière, après adaptation aux principaux types de peuplements forestiers rencontrés.

Par ailleurs, TRAMETES fait suite aux travaux entrepris au cours du projet « Gestion Forestière, Naturalité et Biodiversité » (<https://gnb.inrae.fr/>) et qui visait à la comparaison de biodiversité entre zones exploitées et non exploitées (réserves intégrales). Il vient également compléter des travaux ponctuels et exploratoires qui ont déjà utilisé les données qui seront remobilisées pour le projet TRAMETES :

- Cartographies des cavités de pic noir : stages de master 2 de Cédric Cabrera (2021) concernant la caractérisation de l'environnement paysager des arbres porteurs de cavités de pic noir sur l'ensemble des sites mentionnés dans ce projet à INRAE Grenoble ; travaux de Puverel et al. (2019), en lien avec le projet AVINECK (<https://mecadev.cnrs.fr/avineck/>), et sur les deux sites d'Auberive et de Loches ;
- Données de présence de petites chouettes de montagne sur les sites des Alpes (Ben Sussan 2020, Bilger et al. 2021);
- Données LIDAR et cartographie de maturité, notamment sur le massif du Semnoz.

4. Principales étapes et calendrier du projet*

La description des actions doit impérativement être cohérente avec les actions/prestations décrites dans le bordereau des prix de la fiche financière (bien découper le projet par phases qui font chacune l'objet d'un montant demandé à l'OFB).

Actions/prestations

Tâche 1 : Analyse des paramètres favorables à la biodiversité : cavités de pic noir et maturité forestière

Sous-tâche 1.1 : Caractérisation des peuplements favorables au creusement des cavités par le pic noir

De nombreux éléments favorables au creusement de cavités (loges) par le pic noir sont présents dans une littérature qui peut être qualifiée de naturaliste (e.g. Cuisin 1967), mais relativement peu quantifiée au sens scientifique du terme. Or cette caractérisation est nécessaire pour mieux comprendre les facteurs qui concourent au creusement des cavités mais aussi pour tenter de démêler les effets des cavités sur la biodiversité de ceux d'autres facteurs dendrométriques réputés essentiels pour un certain nombre d'espèces (bois mort par exemple). Cette tâche reposera sur un plan d'échantillonnage comparant la structure de zones à forte densité de cavités (placettes centrées sur un arbre à cavité par exemple) et des zones qui en sont dépourvues. Nous mesurerons ainsi entre 80 et 100 placettes appariées réparties sur l'ensemble des massifs pour lesquels nous disposons des cartographies (Tableau 1, Figure 1) tout en contrôlant le type d'habitat forestier afin de contextualiser les mesures par grand type d'habitat. Ce plan d'échantillonnage servira de base à l'analyse du lien

entre biodiversité, cavités et éléments de maturité (Tâches 2.1 et 2.2), et pourra également servir de référentiel de terrain pour la caractérisation à plus grande échelle de la maturité structurale par interprétation de données LIDAR (Tache 1.2). Sur la base des cartographies de cavités, nous établirons un plan d'échantillonnage associé au domaine vital « cœur » du pic noir (Bocca et al. 2007) - les placettes avec ou sans cavités seront choisies dans des zones d'au minimum 90 ha - et nous identifierons des zones préférentielles de creusement de cavités. Une étude de faisabilité de construction du plan d'échantillonnage est en cours à INRAE Grenoble (stage de M2 de Cédric Cabrera, Mars à septembre 2021 à INRAE Grenoble) et s'appuiera également sur les travaux de Puverel et al. (2019).

Nous décrirons la structure forestière (distribution des arbres vivants et du bois mort) sur des placettes appariées au sein des 90 ha de domaine vital « cœur » du pic noir, avec pour chaque paire (i) une placette au voisinage direct des arbres à cavité et (ii) une placette contrôle dépourvue de cavité, afin de quantifier, de manière indirecte, la biodiversité liée à ces éléments. Cet appariement de placettes pourvues vs dépourvues de cavités permettra de croiser des éléments de maturité forestière (très gros bois vivants, arbres morts) et présence de cavités. Du fait du large gradient biogéographique couvert par nos zones d'étude, nous pourrions comparer l'état de conservation des différents habitats dans lesquels seront situées nos placettes et celui fourni par l'évaluation quinquennale. Il sera également possible de déterminer si les zones matures et/ou riches en cavités de pic noir présentent des états de conservation meilleurs, et sur quels facteurs reposent les différences entre les habitats et les zones.

Les relevés seront effectués par des équipes d'INRAE Grenoble qui ont une expérience solide de ce type de protocole en coordination avec ECODIV (Univ. Rouen-Normandie) et l'EGCE (IRD) en fonction des sites échantillonnés. Un stage de Master sera proposé en appui à cette tâche.

Sous-tâche 1.2 : Diagnostic de la maturité forestière par télédétection

Pour identifier les éléments de la trame de forêt mature sur un territoire, le gestionnaire d'espace naturel dispose de nombreux indicateurs de biodiversité, de naturalité et de maturité des forêts (Paillet et al. 2015, Paillet et al. 2017). Ces indicateurs sont cependant longs à mettre en œuvre et les surfaces parcourues par les protocoles *ad hoc* sont limitées. Il n'existe donc pas, à un instant donné, de cartographie à jour de la trame, ce qui empêche de raisonner en termes de fonctionnalité. En outre, les petits éléments de la trame (îlots de vieux bois, arbres habitat) ne sont pas toujours décelés par les relevés de terrain. Des travaux en cours utilisent la télédétection (en particulier l'imagerie LIDAR) pour compléter les protocoles de terrain. La cartographie repose sur la construction de modèles reliant des variables issues de la télédétection à des variables dendrométriques des peuplements forestiers mesurées sur le terrain : Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières ou Protocole Forêt mature (Fuhr 2016, 2018). Une fois validés, ils permettent une cartographie des variables dendrométriques sur l'ensemble de la zone d'étude.

La sous-tâche 1.2. mettra en œuvre ces méthodologies, dans une démarche d'amélioration continue, sur une sélection de territoires du projet (*a minima*, sur le massif du Semnoz, dans les Alpes). Il s'agira de reconstituer une cartographie de la surface terrière totale des peuplements, de l'hétérogénéité des diamètres et d'un indice de maturité regroupant plusieurs variables relatives aux très gros arbres et au bois mort. A partir des prédictions spatialisées du modèle, les secteurs potentiels seront visités par des opérateurs de terrain pour vérifier la présence de forêts matures.

Tâche 2 : Lien entre espèces et indicateurs d'état de conservation

Sous-tâche 2.1 : Lien avec les espèces des directives habitat et oiseaux

Sur les sites dits « intensifs » (Tableau 1 : Auberive, Cévennes, Alpes), nous installerons des enregistreurs automatiques (bandes audibles et ultrasons) afin de caractériser la diversité des communautés d'oiseaux et de chauve-souris. Cette tâche sera confiée à la société FoldAi

(<https://fold.ai/>), spécialisée dans le recueil et l'analyse de données environnementales, qui fournira et installera les enregistreurs et procédera au recueil et à l'analyse de données acoustiques (une quarantaine de placettes dans les trois massifs intensifs).

Dans un premier temps, les analyses des données recueillies seront ciblées sur des espèces facilement reconnaissables par ce type d'enregistrement : petites chouettes de montagne (hululements) et pics (tambourinage, Miles et al. 2018, Vidaña-Vila et al. 2020). Le couplage d'enregistrements sonores classiques et d'enregistrements ultrasons permettra également de décrire les communautés de chauve-souris sur les mêmes placettes. La mise en base des enregistrements permettra enfin, suivant les possibilités d'identification d'autres espèces, notamment cavicoles (sitelles, mésanges), d'élargir le champ taxonomique à d'autres espèces potentiellement impactées par les éléments de structure forestière relevés lors de la tâche 1 et dépendra des bases de données acoustiques déjà disponibles pour l'entraînement des algorithmes de reconnaissance automatique. Nous testerons ainsi la capacité des méthodes bioacoustiques à assurer le suivi d'espèces. Un stage de Master sera associé à cette tâche.

En complément et du fait de l'existence, pour les zones de montagne, d'un protocole de relevé des petites chouettes de montagne récent (Laguet and Besnard 2019), nous capitaliserons sur ces données existantes (LPO et ONF) pour affiner la caractérisation de l'habitat de ces espèces (sur la base des travaux de Bilger et al. (2021) en région Rhone-Alpes, et le stage de Ben Sussan (2020) dans les Bauges). Ces relevés seront notamment confrontés à la cartographie LIDAR de la maturité forestière. Un stage de Master (INRAE) sera proposé pour mettre en relation les données de biodiversité et les données dendrométriques, et potentiellement co-encadré par des gestionnaires (e.g. LPO).

Sous-tâche 2.2 : Champignons lignicoles

Pour les champignons lignicoles, le metabarcoding environnemental est une méthode relativement récente (Taberlet et al. 2012) qui consiste en une approche moléculaire par séquençage à haut débit à partir d'ADNe (ADN du substrat environnemental d'intérêt). En effet, la description de la diversité biologique par relevés d'observations de terrain, reposant sur des identifications taxonomiques microscopiques et macroscopiques, est d'une résolution très insuffisante pour certains groupes, tels que les champignons, notamment ceux à fructifications rares ou peu visibles. L'approche de metabarcoding permet de révéler cette diversité (e.g. Fukasawa and Matsuoka 2015, Hoppe et al. 2016, Purahong et al. 2019). Sur chacune des placettes de sites « intensifs » (Tâche 2.1, tableau 1), des échantillons de terreau dans les cavités des arbres (avec prise en compte de l'hétérogénéité spatiale intra-cavité) et des échantillons de bois mort sur pied et au sol (à diamètre et essence contrôlés) seront prélevés. Pour chaque échantillon, l'ADN environnemental sera extrait sur la plate-forme technique PRESEN de la FR 3730 SCALE (Université de Rouen Normandie) puis le locus de barcoding ITS indiqué pour l'identification des champignons sera amplifié par PCR, et les amplicons seront séquencés par technologie MiSeq Illumina par le prestataire Genotoul (<https://www.genotoul.fr/>). Après obtention des données brutes de séquençage (25 Millions de séquences), les analyses bioinformatiques seront réalisées au laboratoire ECODIV (Université de Rouen Normandie, L. Vincenot et stagiaire de Master 2). Cette description moléculaire de la diversité taxonomique des espèces fongiques présentes dans les échantillons de bois décomposé permettra ensuite de comparer statistiquement la structure et la composition des communautés associées aux différents contextes forestiers (présence de cavité, état de conservation), et d'examiner finement la réponse de guildes fonctionnelles (e.g. pourritures brune ou blanche, pathogènes) à ces facteurs.

Cette tâche prendra place dans les massifs dits « intensifs » (Auberive, Cévennes et Alpes, cf. Tableau 1) pour lesquels des données sont disponibles et qui permettent d'établir un plan d'échantillonnage cohérent croisant plusieurs facteurs (cf. Tableau 1). Un stage de Master (Univ. Rouen) sera proposé dans le cadre de cette tâche.

Le lien entre les données de biodiversité et les indicateurs d'état de conservation fera l'objet d'une analyse statistique par construction de modèles adaptés aux données recueillies, notamment sous la forme de modèles à équation structurales (e.g. Paillet et al. 2018) qui permettent de hiérarchiser les différents niveaux de variables et formaliser les liens causaux.

Sous-tâche 2.3 : Abeilles

Sur la base des cartographies de cavités (Figure 1), ou en complétant par des inventaires localisés (forêt de Rambouillet), le premier objectif sera de détecter la présence de colonies d'abeilles, et ainsi estimer la taille de la populations d'abeilles mellifères sauvages dans plusieurs habitats caractéristiques des forêts françaises. En effet, il n'existe à ce jour que des prédictions théoriques sur le nombre de colonies sauvages d'abeilles en France, qui concordent néanmoins avec des témoignages de terrain (cf. Requier et al. 2020). Sera associé à ce premier objectif, des mesures dendrométriques – comme pour les autres taxons – ainsi qu'une analyse génétique des colonies d'abeilles pour identifier leurs taux d'hybridations, paramètre important pour la mise en place de conservatoire génétique des populations (Requier et al. 2019). Le second objectif sera de mettre en place un suivi démographique des colonies d'abeilles vivant dans des loges via deux méthodes : (1) une « traditionnelle » visuelle utilisant une détection à la jumelle lors de 3 sessions d'observations dans la saison, (printemps, été et automne) ; (2) une plus originale via l'usage de capteurs de vibration (donc automatique et en continu). Ce suivi servira à estimer le taux de mortalité des colonies sauvages, car à ce jour aucune donnée n'est disponible sur le sujet, alors que des surmortalités de colonies gérées sont couramment observées depuis 20 ans en Europe (Brodschneider et al. 2016, Jacques et al. 2017). De ce fait, ces paramètres pourront également être reliés à des indicateurs de l'état de conservation des habitats forestiers.

Références Citées

- Ben Sussan, D. 2020. Apports des données de structure forestière pour la modélisation des distributions des petites chouettes de montagne. Master 2 Écologie Évolution, Université Paul Sabatier Toulouse III.
- Bilger, I., Y. Paillet, S. Laguët, B. Doutau, F. Bullifon, M. Chevalier, L. Defernez, S. Ducruet, H. Tournier, and F. Archaux. 2021. Modélisation de la distribution des petites chouettes de montagne dans les Alpes du Nord Françaises. *Naturae* **13**:2-14.
- Bocca, M., L. Carisio, and A. Rolando. 2007. Habitat use, home ranges and census techniques in the Black Woodpecker *Dryocopus martius* in the Alps. *Ardea* **95**:17-29.
- Bouget, C., L. Larrieu, and A. Brin. 2014. Key features for saproxylic beetle diversity derived from rapid habitat assessment in temperate forests. *Ecological Indicators* **36**:656-664.
- Bouget, C., L. Larrieu, B. Nusillard, and G. Parmain. 2013. In search of the best local habitat drivers for saproxylic beetle diversity in temperate deciduous forests. *Biodiversity and Conservation* **22**:2111-2130.
- Bouvet, A., Y. Paillet, F. Archaux, L. Tillon, P. Denis, O. Gilg, and F. Gosselin. 2016. Effects of forest structure, management and landscape on bird and bat communities. *Environmental Conservation*:1-13.
- Brin, A., C. Bouget, H. Brustel, and H. Jactel. 2011. Diameter of downed woody debris does matter for saproxylic beetle assemblages in temperate oak and pine forests. *Journal of Insect Conservation* **15**:653-669.
- Brodschneider, R., A. Gray, R. van der Zee, N. Adjlane, V. Brusbardis, J. D. Charrière, R. Chlebo, M. F. Coffey, K. Crailsheim, B. Dahle, J. Danilíh, E. Danneels, D. C. de Graaf, M. M. Dražić, M. Fedoriak, I. Forsythe, M. Golubovski, A. Gregorc, U. Grzęda, I. Hubbuck, R. İvgin Tunca, L. Kauko, O. Kilpinen, J. Kretavicius, P. Kristiansen, M. Martikkala, R. Martín-Hernández, F. Mutinelli, M. Peterson, C. Otten, A. Ozkirim, A. Raudmets, N. Simon-Delso, V. Soroker, G. Topolska, J. Vallon, F. Vejsnæs, and S. Woehl. 2016. Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research* **55**:375-378.
- Butler, R., P. Angelstam, P. Ekelund, and R. Schlaeffer. 2004. Dead wood threshold values for the three-toed woodpecker presence in boreal and sub-Alpine forest. *Biological Conservation* **119**:305-318.
- Cateau, E., L. Larrieu, D. Vallauri, J. M. Savoie, J. Touroult, and H. Brustel. 2015. Ancienneté et maturité: Deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier. *Comptes Rendus - Biologies* **338**:58-73.
- Cockle, K. L., K. Martin, and T. Wesołowski. 2011. Woodpeckers, decay, and the future of cavity-nesting vertebrate communities worldwide. *Frontiers in Ecology and the Environment* **9**:377-382.
- Cuisin, M. 1967. Essai d'une monographie du Pic noir (*Dryocopus martius* (L.)). *L'Oiseau et la Revue française d'Ornithologie* **37**:164-224.
- Dahlberg, A., and G. M. Mueller. 2011. Applying IUCN red-listing criteria for assessing and reporting on the conservation status of fungal species. *Fungal Ecology* **4**:147-162.
- De La Rúa, P., R. Jaffé, R. Dall'Olio, I. Muñoz, and J. Serrano. 2009. Biodiversity, conservation and current threats to European honeybees. *Apidologie* **40**:263-284.
- Fuhr, M. 2016. Outils innovants pour une gestion concertée des forêts. Projet PSDR OUI-GEF Région Rhône Alpes, Série les 4 pages PSDR4.
- Fuhr, M. 2018. Protocole terrain d'identification des forêts matures. Projet PSDR OUI-GEF, Rhône Alpes, Série Focus PSDR4.
- Fukasawa, Y., and S. Matsuoka. 2015. Communities of wood-inhabiting fungi in dead pine logs along a geographical gradient in Japan. *Fungal Ecology* **18**:75-82.
- Geldmann, J., and J. P. González-Varo. 2018. Conserving honey bees does not help wildlife: High densities of managed honey bees can harm populations of wild pollinators. *Science* **359**:392-393.

- Gosselin, M., and Y. Paillet. 2017. Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière. 2e édition. Quae eds, Versailles.
- Goulson, D., E. Nicholls, C. Botías, and E. L. Rotheray. 2015. Bee declines driven by combined Stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* **347**.
- Halme, P., and J. S. Kotiaho. 2012. The importance of timing and number of surveys in fungal biodiversity research. *Biodiversity and Conservation* **21**:205-219.
- Heilmann-Clausen, J., and M. Christensen. 2004. Does size matter? On the importance of various dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests. *Forest Ecology and Management* **201**:105-119.
- Hoppe, B., W. Purahong, T. Wubet, T. Kahl, J. Bauhus, T. Arnstadt, M. Hofrichter, F. Buscot, and D. Krüger. 2016. Linking molecular deadwood-inhabiting fungal diversity and community dynamics to ecosystem functions and processes in Central European forests. *Fungal Diversity* **77**:367-379.
- Jackson, J. A., and B. J. S. Jackson. 2004. Ecological Relationships Between Fungi and Woodpecker Cavity Sites. *The Condor* **106**:37-37.
- Jacques, A., M. Laurent, M. Ribière-Chabert, M. Saussac, S. Bougeard, G. E. Budge, P. Hendriks, M. P. Chauzat, and E. Consortium. 2017. A pan-European epidemiological study reveals honey bee colony survival depends on beekeeper education and disease control. *PLoS ONE* **12**.
- Jaffé, R., V. Dietemann, M. H. Allsopp, C. Costa, R. M. Crewe, R. Dall'olio, P. de la Rúa, M. A. A. El-niweiri, I. Fries, N. Kezic, M. S. Meusel, R. J. Paxton, T. Shaibi, E. Stolle, and R. F. A. Moritz. 2010. Estimating the Density of Honeybee Colonies across Their Natural Range to Fill the Gap in Pollinator Decline Censuses. *Conservation Biology* **24**:583-593.
- Jankowiak, R., M. Ciach, P. Bilariski, and R. Linnakoski. 2019. Diversity of wood-inhabiting fungi in woodpecker nest cavities in southern Poland. *Acta Mycologica* **54**.
- Jusino, M. A., D. L. Lindner, M. T. Banik, K. R. Rose, and J. R. Walters. 2016. Experimental evidence of a symbiosis between red-cockaded woodpeckers and fungi. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **283**.
- Klein, A.-M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, and T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **274**:303-313.
- Kohl, P. L., and B. Rutschmann. 2018. The neglected bee trees: European beech forests as a home for feral honey bee colonies. *PeerJ* **2018**.
- Lachat, T., C. Bouget, R. Bütler, and J. Müller. 2013. Besoins quantitatifs et qualitatifs en bois mort pour la conservation de la biodiversité saproxylique. Pages 96-107 in D. Kraus and F. Krumm, editors. *Les approches intégratives en tant qu'opportunités de conservation de la biodiversité forestière*. European Forest Institute, Freiburg, Allemagne.
- Laguet, S., and A. Besnard. 2019. Protocole national de suivi des tendances des effectifs des populations de petites chouettes de montagne sur sites de références – point d'avancement 2019. in 3ème rencontres nationales du groupe Petites Chouettes de Montagne, 17-19 octobre 2019. Réseau avifaune ONF, Florac, France.
- Larrieu, L., and A. Cabanettes. 2012. Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research* **42**:1433-1445.
- Larrieu, L., Y. Paillet, S. Winter, R. Bütler, D. Kraus, F. Krumm, T. Lachat, A. K. Michel, B. Regnery, and K. Vandekerckhove. 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators* **84**:194-207.
- Lassauce, A., Y. Paillet, H. Jactel, and C. Bouget. 2011. Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: Meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators* **11**:1027-1039.
- Lonsdale, D., M. Pautasso, and O. Holdenrieder. 2008. Wood-decaying fungi in the forest: conservation needs and management options. *European Journal of Forest Research* **127**:1-22.
- Maciejewski, L., F. Lepareur, D. Viry, F. Bensettiti, R. Puissauve, and J. Touroult. 2016. État de conservation des habitats : propositions de définitions et de concepts pour l'évaluation à l'échelle d'un site Natura 2000. *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)* **71**:3-20.
- Martin, K., K. E. H. Aitken, and K. L. Wiebe. 2004. Nest sites and nest webs for cavity-nesting communities in interior British Columbia, Canada: Nest characteristics and niche partitioning. *Condor* **106**:5-19.
- Martin, K., and J. M. Eadie. 1999. Nest webs: A community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds. *Forest Ecology and Management* **115**:243-257.
- Meixner, M. D., P. Kryger, and C. Costa. 2015. Effects of genotype, environment, and their interactions on honey bee health in Europe. *Current Opinion in Insect Science* **10**:177-184.
- Miles, M. C., E. R. Schuppe, R. M. I. Ligon, and M. J. Fuxjager. 2018. Macroevolutionary patterning of woodpecker drums reveals how sexual selection elaborates signals under constraint. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **285**.
- Moritz, R. F. A., F. B. Kraus, P. Kryger, and R. M. Crewe. 2007. The size of wild honeybee populations (*Apis mellifera*) and its implications for the conservation of honeybees. *Journal of Insect Conservation* **11**:391-397.
- Muñoz, I., A. Cepero, M. A. Pinto, R. Martín-Hernández, M. Higes, and P. De la Rúa. 2014. Presence of *Nosema ceranae* associated with honeybee queen introductions. *Infection, Genetics and Evolution* **23**:161-168.
- Nieto, A., S. P. M. Roberts, J. Kemp, P. Rasmont, M. Kuhlmann, M. García Criado, J. C. Biesmeijer, P. Bogusch, H. H. Dathe, P. De la Rúa, T. De Meulemeester, M. Dehon, A. Dewulf, F. J. Ortiz-Sánchez, P. Lhomme, A. Pauly, S. G. Potts, C. Praz, M. Quaranta, V. G. Radchenko, E. Scheuchl, J. Smit, J. Straka, M. Terzo, B. Tomozii, J. Window, and D. Michez. 2014. European Red List of bees., Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Odor, P., J. Heilmann-Clausen, M. Christensen, E. Aude, K. W. van Dort, A. Piltaver, I. Siller, M. T. Veerkamp, R. Walley, T. Standovar, A. F. M. van Hees, J. Kosec, N. Matocec, H. Kraigher, and T. Grebenc. 2006. Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in semi-natural beech forests in Europe. *Biological Conservation* **131**:58-71.
- Oleksa, A., R. Gawroński, and A. Tofilski. 2013. Rural avenues as a refuge for feral honey bee population. *Journal of Insect Conservation* **17**:465-472.
- Ollerton, J., R. Winfree, and S. Tarrant. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* **120**:321-326.
- Paillet, Y., F. Archaux, V. Boulanger, N. Debaive, M. Fuhr, O. Gilg, F. Gosselin, and E. Guilbert. 2017. Snags and large trees drive higher tree microhabitat densities in strict forest reserves. *Forest Ecology and Management* **389**:176-186.
- Paillet, Y., F. Archaux, S. du Puy, C. Bouget, V. Boulanger, N. Debaive, O. Gilg, F. Gosselin, and E. Guilbert. 2018. The indicator side of tree microhabitats: a multi-taxon approach based on bats, birds and saproxylic beetles. *Journal of Applied Ecology*:0-1.
- Paillet, Y., N. Debaive, F. Archaux, E. Cateau, O. Gilg, and E. Guilbert. 2019. Nothing else matters? Tree diameter and living status have more effects than biogeoclimatic context on microhabitat number and occurrence: An analysis in French forest reserves. *PLoS ONE* **14**.
- Paillet, Y., C. Pernot, V. Boulanger, N. Debaive, M. Fuhr, O. Gilg, and F. Gosselin. 2015. Quantifying the recovery of old-growth attributes in forest reserves: A first reference for France. *Forest Ecology and Management* **346**:51-64.

- Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger, and W. E. Kunin. 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* **25**:345-353.
- Purahong, W., T. Wubet, D. Krüger, and F. Buscot. 2019. Application of next-generation sequencing technologies to conservation of wood-inhabiting fungi. *Conservation Biology*.
- Puverel, C., A. Abourachid, C. Böhmer, J. M. Leban, M. Svoboda, and Y. Paillet. 2019. This is my spot: What are the characteristics of the trees excavated by the Black Woodpecker? A case study in two managed French forests. *Forest Ecology and Management* **453**.
- Regnery, B., D. Couvet, L. Kubarek, J. F. Julien, and C. Kerbiriou. 2013. Tree microhabitats as indicators of bird and bat communities in Mediterranean forests. *Ecological Indicators* **34**:221-230.
- Remm, J., and A. Löhms. 2011. Tree cavities in forests - The broad distribution pattern of a keystone structure for biodiversity. *Forest Ecology and Management* **262**:579-585.
- Requier, F., L. Garnery, P. L. Kohl, H. K. Njovu, C. W. W. Pirk, R. M. Crewe, and I. Steffan-Dewenter. 2019. The Conservation of Native Honey Bees Is Crucial. *Trends in Ecology and Evolution* **34**:789-798.
- Requier, F., Y. Paillet, F. Laroche, B. Rutschmann, J. Zhang, F. Lombardi, M. Svoboda, and I. Steffan-Dewenter. 2020. Contribution of European forests to safeguard wild honeybee populations. *Conservation Letters* **13**.
- Roberge, J. M., and P. Angelstam. 2006. Indicator species among resident forest birds - A cross-regional evaluation in northern Europe. *Biological Conservation* **130**:134-147.
- Roberge, J. M., P. Angelstam, and M. A. Villard. 2008. Specialised woodpeckers and naturalness in hemiboreal forests - Deriving quantitative targets for conservation planning. *Biological Conservation* **141**:997-1012.
- Seeley, T. D. 1985. Honeybee Ecology: A Study of Adaptation in Social Life.
- Taberlet, P., E. Coissac, F. Pompanon, C. Brochmann, and E. Willerslev. 2012. Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding. *Molecular Ecology* **21**:2045-2050.
- Touroult, J., C. Gazay, G. Gigot, P. Rouveyrol, I. Witté, and Y. Paillet. 2020. État de conservation de la biodiversité forestière métropolitaine : peut-on dire que ça va bien ? *Humanité et Biodiversité revue annuelle n°6*:21-31.
- Vidaña-Vila, E., J. Navarro, R. M. Alsina-Pagès, and Á. Ramírez. 2020. A two-stage approach to automatically detect and classify woodpecker (Fam. Picidae) sounds. *Applied Acoustics* **166**.
- Wesołowski, T. 2011. "Lifespan" of woodpecker-made holes in a primeval temperate forest: A thirty year study. *Forest Ecology and Management* **262**:1846-1852.
- Zahner, V. 2013. Research Study of the key structure Black Woodpecker cavity. What is the impact of forestry due to completion and predation?
- Zahner, V., L. Sikora, and G. Pasinelli. 2012. Heart rot as a key factor for cavity tree selection in the Black woodpecker. *Forest Ecology and Management* **271**:98-103.

Calendrier prévisionnel

Année	2021	2022				2023				2024		
Trimestre	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3
Comités de pilotage du projet												
Tâche 1.1a : Plan d'échantillonnage												
Tâche 1.1b Relevés dendrométriques												
Tâche 1.2 : Modélisation de la maturité sur la base des données Lidar												
Tâche 2.1a : Relevés écoacoustiques (oiseaux, chauve-souris)												
Tâche 2.1b : Synthèse des données existantes (à l'échelle des sites d'étude)												
Tâche 2.2a : Prélèvements de matière organique												
Tâche 2.2b : Séquençage ADN des communautés fongiques												
Tâche 2.3a : Inventaires des colonies d'abeilles et analyses génétiques												
Tâche 2.3b : Suivi démographique des colonies d'abeilles (manuel et capteurs électroniques)												
Ensemble du projet : Analyses des données et publications												

5. Résultats prévus et livrables envisagés*

Résultats associés aux actions/prestations

Apports méthodologiques

Le projet TRAMETES fournira des éléments méthodologiques directement appliqués à l'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers ainsi qu'à la prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière et le suivi d'espèces :

- Méthodes des suivis bioacoustiques d'espèces cibles (petites chouettes de montagne, pics) et d'environnement sonore pour qualifier la biodiversité en fonction de différentes modalités de gestion (en l'occurrence, zones à cavités / sans cavités) ;
- Méthodes et mise en œuvre de metabarcoding pour la détermination des champignons lignicoles ;
- Intérêt de l'approche par LIDAR pour la caractérisation de l'état de conservation (au moins des indicateurs de maturité liés) à l'échelle du site d'étude

Apports de connaissances

L'ensemble des données produites lors du projet sera mis à disposition des gestionnaires d'espaces pour alimenter leurs bases de données locales. De même, les synthèses de données par site seront mises en bases de données qui pourront être réutilisées par les producteurs eux-mêmes.

En termes analytiques, TRAMETES vise à mieux comprendre le lien entre présence de cavités de pic noir et état de conservation des habitats forestiers d'une part, et de la biodiversité de plusieurs groupes taxonomiques, mentionnés en partie dans les directives Habitat faune-flore et oiseaux. Ainsi, cette approche permettra de valider des indicateurs d'état de conservation au regard de la biodiversité associée et d'en proposer des nouveaux le cas échéant. Les résultats seront également contextualisés par grand type d'habitat forestier, cet qui permettra de tester leur robustesse.

Livrables et dates prévisionnelles

Nous fournirons un rapport d'avancement du projet à mi-parcours (début 2023) avec une partie concernant les développements méthodologiques et une partie concernant les connaissances acquises. Sur le même modèle, le rapport final (Trimestre 3 2024) fera l'état des lieux des avancées du projet et des perspectives (notamment en lien avec le plan de relance et le développement du Lidar au niveau national).

Chaque tâche du projet fera l'objet d'au moins un article scientifique publié dans une revue à comité de relecture, et/ou d'une publication technique à l'issue du projet.

N° de l'action	Résultats prévus détaillés	Livrables scientifiques et/ou techniques	Date de début de l'action	Dates des livraisons intermédiaires (le cas échéant)	Date de fin de l'action (livraison finale)
Tache 1.1a	Plan d'échantillonnage réfléchi sur la base des données disponibles	Cartographie des points de relevés	T4 2021		
Tache 1.1b	Relevés dendrométriques sur les placettes sélectionnées	Tableau contenant les données relevés	T4 2021	T1 2022 (sites intensifs)	T2 2023 (données tous sites)
Tache 1.2	Cartographie de l'indice de maturité sur le site du Semnoz à partir des données LIDAR	Fichier cartographique et notice détaillée	T4 2021		T3 2022
Tache 2.1a	Relevés écoacoustiques (sites intensifs) : fichier écoacoustiques bandes audibles et ultrasons (4h d'enregistrement par jour)	Fichiers bruts et fichiers interprétés pour les espèces cibles (petites chouettes, pics). Rapport technique	T1 2022		T3 2022
Tâche 2.1b	Synthèse des données écologiques et biologiques existantes sur les sites	Base des données existantes par site (ciblées principalement sur oiseaux – Petites chouettes, pics – et chauve-souris	T4 2021		T2 2022
Tâche 2.2a	Prélèvements des échantillons de matière organique (cavités, bois mort) sur les placettes des sites « intensif »		T3 2022		T4 2022
Tâche 2.2b	Séquençage ADN des communautés fongiques	Base de donnée des séquences ADN	T1 2023		T3 2023
Tache 2.3a	Cartographie des colonies sauvages d'abeilles	Estimation de la densité de colonies sauvages et détermination du taux d'hybridation des colonies	T1 2022	T1 2023	T4 2023
Tache 2.3b	Suivi démographique des colonies sauvages d'abeilles	Estimation du taux de survie estivale et hivernale des colonies sauvages d'abeilles	T3 2022	T4 2023	T3 2024

6. Gouvernance

Gouvernance prévue pour le projet (le cas échéant)

Un comité de pilotage et d'orientation associant partenaires académiques et non académiques sera constitué et se réunira 4 fois au cours du projet : à l'occasion du lancement, puis chaque année au cours du projet. Ce comité permettra de co-construire les questions de recherches entre gestionnaires et chercheurs et de partager les expériences acquises le long du projet. De manière à contribuer à l'acculturation des parties prenantes, certains stages d'étudiants pourront être co-encadrés par des gestionnaires et des chercheurs.

Ces comités seront le plus possible tenus à distance afin de limiter l'impact environnemental des déplacements des parties prenantes. Pour ceux qui se tiendront en présentiel, nous maximiserons les possibilités de co-voiturage et nous encouragerons l'usage du train.

L'ensemble des travaux de laboratoire respecteront les normes environnementales en vigueur, et les mesures de terrain en saison de nidification (mesures dendrométriques) veilleront à minimiser l'impact sur les espèces nicheuses.

Les agents (permanents, contractuels, stagiaires) seront formé.es aux procédures de sécurité sur le terrain et en laboratoire, notamment pour la récolte de matière organique en hauteur, pour laquelle une formation spéciale sera assurée (grimpe libre en arbre, travaux en hauteur).

7. Valorisation et communication

Moyens de valorisation et communication envisagés (le cas échéant)

À l'image de sa conception, la valorisation du projet sera co-construite avec les gestionnaires. Les actions de valorisation suivantes seront mises en œuvre :

- Un site internet dédié au projet et plus généralement à la connaissance sur la trame de vieux bois intraforestière sera mis en place. Ce site sera hébergé par INRAE et alimenté par l'ensemble des partenaires du projet ;
- Un court documentaire sur la thématique de l'état de conservation des habitats forestiers et des espèces sera réalisé par S. De Danieli (personnel INRAE, <https://fr.sebastiendedanieli.com/>) avec la contribution de l'ensemble des partenaires.

D'un point de vue académique, nous planifions à minima une publication scientifique ou technique pour chaque tâche du projet et une publication interdisciplinaire transversale aux différentes tâches. Ces publications associeront partenaires scientifiques et gestionnaires du projet (cf. par exemple Bouvet et al. 2016, Bilger et al. 2021).

8. Capitalisation et transfert des résultats

Diffusion prévue des résultats auprès des utilisateurs (le cas échéant)

Nous comptons sur les comités de pilotage, mais aussi sur des sessions de terrain communes et les stagiaires co-encadrés pour une acculturation réciproque des partenaires académiques et non académiques. Cela passera également par la rédaction de publications communes et cosignées par les partenaires. L'ensemble des données produites par le projet sera mis à disposition des sites. Les

résultats de l'étude pourront également être présentés lors de conférences nationales et internationales. Enfin, le documentaire sur le projet participera à sa vulgarisation au-delà des partenaires et auprès d'un public plus large, de manière à faire connaître les enjeux d'évaluation et de conservation des habitats forestiers.

9. Perspectives du projet

Suites prévisionnelles au projet (le cas échéant)

Si les conditions (locales ou nationales) sont favorables, nous pourrions étendre les protocoles mis en place dans les sites « intensifs » aux autres sites, voir à des sites disposant de cartographies de cavités non encore identifiés à ce jour. Le dispositif ainsi étendu pourrait faire l'objet d'un projet de thèse, voire d'un suivi sur le long terme, par exemple dans le cadre de l'observatoire des forêts sentinelles (<https://www.reserves-naturelles.org/rnf/projets/observatoire-des-forets-sentinelles>).

10. Résumé publiable*

Maximum ½ page.

L'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers repose sur des paramètres de distribution et de structure, de composition et de fonctionnement de l'écosystème. Si la distribution des habitats forestiers sur le territoire français est relativement bien connue, le diagnostic des éléments de structure, de composition et de fonctionnement repose en grande partie sur de l'expertise et reste peu validé scientifiquement pour les forêts métropolitaines. Ces derniers caractérisent des habitats d'espèces ou des éléments plus généraux potentiellement favorables à la biodiversité forestière. D'autres éléments de structure ne sont pas inclus à la méthode d'évaluation, notamment les dendromicrohabitats, qui sont des singularités portées par une partie des arbres du peuplement (e.g. cavités du bois, carpophores de champignons), et pour lesquels les recherches se sont développées au cours des dernières années. De nombreuses espèces de la Directive habitat faune flore et de la Directive oiseaux dépendent potentiellement de ces éléments pour leur cycle de vie (oiseaux cavicoles primaires et secondaires, chauve-souris). En outre, d'autres espèces, qui ne sont pas mentionnées dans les directives mais au rôle fonctionnel essentiel pour l'écosystème forestier et au-delà, montrent également une forte dépendance à ces éléments de structure (fonge, abeilles emllifères). Ce projet propose d'évaluer la contribution des cavités de pic noir, et au-delà de la trame de vieux bois intraforestière, comme indicateurs d'état de conservation des habitats, et comme support d'espèces des directives habitat et oiseaux. Nous évaluerons également cette contribution pour d'autres espèces non mentionnées dans ces directives mais avec un rôle fonctionnel et trophique important (fonge lignicole et abeilles mellifères). Ainsi, nous testerons les liens entre deux indicateurs potentiels d'état de conservation des forêts (densité de cavités de pic noir et maturité structurale) avec la diversité d'espèces incluses ou non dans les directives habitat-faune-flore et oiseaux. Nous utiliserons différentes méthodes d'identification d'habitats et de relevés d'espèces, de manière à tester leur efficacité pour l'évaluation de l'état de conservation : ADN environnemental pour la caractérisation des communautés fongiques, bioacoustique pour les relevés de communauté d'oiseaux et de chauve-souris, Lidar aérien pour la caractérisation de la maturité forestière à large échelle.