OUTILS ET MÉTHODES

Propositions concrètes pour un suivi complet et rigoureux de la biodiversité des forêts hexagonales.

Synthèse et leçons des projets PASSIFOR2 et PASSIFOR2bis

Frédéric Gosselin*[1], Julie Dorioz [2], Aristide Chauveau [1], Hélène Le Borgne [1], Marion Gosselin [1], Christophe Bouget[1], Frédéric Archaux [1], Antoine Lévêque [3], Lise Maciejewski [3,6], Romain Julliard [4], Hervé Jactel [5], Guy Landmann [2]

1. INRAE – UR EFNO – Domaine des Barres, 311 chemin de la Grande Métairie, F-45290 NOGENT-SUR-VERNISSON, FRANCE
2. GIP ECOFOR – 42, rue Scheffer, F-75116 PARIS, FRANCE
3. PatriNat (OFB – MNHN – CNRS – IRD) 36 rue Geoffroy-Saint-Hilaire CP41, F-75005 PARIS, FRANCE
4. UMR CESCO – MNHN – 55, rue Buffon, 75005 PARIS, FRANCE
5. UMR BIOGECO - INRAE - 69, route d'Arcachon, F-33612 CESTAS cedex, FRANCE
6. Univ Lorraine, AgroParisTech, INRAE, Silva, F-54000 Nancy, France

*Auteur correspondant : Frédéric Gosselin, https://orcid.org/0000-0003-3737-106X, frederic.gosselin@inrae.fr

Propositions concrètes pour un suivi complet et rigoureux de la biodiversité des forêts hexagonales. Synthèse et leçons des projets PASSIFOR2 et PASSIFOR2bis

Le déploiement d'un suivi plus complet de la biodiversité en forêt apparaît nécessaire pour mieux estimer et connaître l'état et la dynamique de cette biodiversité et leurs liens avec des choix de gestion forestière et les politiques publiques associées. Les projets PASSIFOR2 et PASSIFOR2BIS ont élaboré des propositions de systèmes de suivis de la biodiversité en forêt de France hexagonale autour de trois objectifs différents. La réalisation de ces systèmes a conduit à engager une réflexion sur plusieurs dimensions complémentaires : la gouvernance, le choix des compartiments de biodiversité suivis, les pratiques de gestion forestière sur lesquelles se concentrer, ainsi que les éléments statistiques.

Concrete proposals for thorough and rigorous monitoring of forest biodiversity in mainland France: synthesis of and lessons learnt from the PASSIFOR2 and PASSIFOR2bis projects.

The deployment of a more thorough monitoring of forest biodiversity seems necessary for improving the estimation and understanding of its state and dynamics linked to forest management choices and associated public policies. The PASSIFOR2 and PASSIFOR2BIS projects have developed systems for monitoring forest biodiversity in European France based on three different objectives. To develop these systems, several complementary aspects were considered: governance, the biodiversity compartments to be monitored, forestry management practices and statistical elements.

Messages clés :

- Nous proposons des systèmes de suivi de la biodiversité des forêts hexagonales pour trois objectifs différents.
- Les propositions de suivi portent sur une sélection de huit compartiments de biodiversité et intègrent des dispositifs existants et d'autres à créer.
- Une place importante est accordée à la représentativité des suivis et/ou à la prise en compte de facteurs confondants.

Mots clés : suivi, biodiversité, forêt, gestion forestière, réserves

Highlights:

- We propose systems for monitoring the biodiversity of forests in France based on three different objectives
- The monitoring approaches are based on a selection of eight biodiversity compartments, and integrate existing systems as well as others to be created.
- Much importance is given to the representativeness of the monitoring and/or the consideration of confounding factors.

Keywords: monitoring, biodiversity, forest, forestry management, reserves

Citation de l'article : Gosselin, F., Dorioz, J., Chauveau, A., Le Borgne, H., Gosselin, M., Bouget, C., Archaux, F., Lévêque, A., Maciejewski, L., Julliard, R., Jactel, H. et Landmann G., (2025). Propositions concrètes pour un suivi complet et rigoureux de la biodiversité des forêts hexagonales. Synthèse et leçons des projets PASSIFOR2 et PASSIFOR2bis. *Revue forestière française*, 76(3), 243-261. https://doi.org/10.20870/revforfr.2025.9632

Licence Creative Commons
Attribution - 4.0 International (CC BY 4.0)

Malgré les efforts déployés à de multiples échelles, l'érosion de la biodiversité et la dégradation des écosystèmes se poursuivent à un rythme alarmant. Cette situation est largement documentée, notamment par les rapports d'évaluation de la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) qui montrent un effondrement de la biodiversité à l'échelle mondiale, dans tous les types de milieux – la forêt tempérée n'étant pas épargnée (Ipbes, 2018, 2019). À l'échelle européenne, les stratégies en faveur de la biodiversité se succèdent sans réussir jusqu'à présent à enrayer les pertes en la matière (European Commission, 2022). La nouvelle stratégie de l'UE (Union européenne) en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 insiste sur la nécessité d'intensifier les efforts pour lutter contre les facteurs directs et indirects de perte, et fixe des objectifs volontaristes visant à protéger la nature au sein de l'UE. En complément de ceux-ci et face à l'ampleur des enjeux, des objectifs juridiquement contraignants pour l'UE et ses États membres sont portés par le nouveau règlement européen relatif à la restauration de la nature (Règlement (UE) 2024/1991 du Parlement européen et du Conseil du 24 juin 2024 relatif à la restauration de la nature et modifiant le règlement (UE) 2022/869, 2024).

Le secteur forestier européen s'est très tôt soucié de la biodiversité : dès le début des années 1990, la Conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe (*Forest Europe*) a transformé son approche, originellement tournée vers les problèmes de pollution atmosphérique, pour promouvoir un suivi de six critères de gestion forestière durable et multifonctionnelle des écosystèmes forestiers. La biodiversité est l'objectif premier d'un de ces critères (biodiversité comme une fin), en même temps qu'elle peut aider à atteindre d'autres critères (biodiversité comme un moyen) (Gosselin et Gosselin, 2008). Cela fait donc plus de trois décennies que le monde forestier européen rapporte des indicateurs sur la biodiversité. En parallèle, suite au Grenelle de l'environnement (2007-2009), l'Observatoire national de la biodiversité (ONB) a été mis en place afin de mettre à la disposition de tous des informations précises et documentées sur la biodiversité[1]. Il a également produit des indicateurs de biodiversité en forêt, partiellement différents des précédents. Les tendances mises en évidence par ces deux systèmes de rapportage de la biodiversité des forêts françaises sont mitigées, et moins alarmantes que celles observées par exemple pour la biodiversité des systèmes agricoles.

Malgré l'existence de ces deux dispositifs bien en place (*Forest Europe* et ONB), force est de constater qu'il n'existe pas de réel système de suivi de biodiversité – au sens du suivi de l'état et de la dynamique de la biodiversité des forêts (Levrel *et al.*, 2007 ; Gosselin et Gosselin, 2008) – et qu'il manque des indicateurs renseignant sur le lien entre pressions ou réponses de la société et état ou dynamique de la biodiversité (Gosselin *et al.*, 2012). De fait, malgré un suivi régulier de la ressource en bois et de différentes variables dendrométriques au niveau de l'écosystème, les dispositifs existants ne permettent pas, à de rares exceptions près, d'établir les évolutions de la biodiversité en forêt, et de les relier aux pratiques sylvicoles (Gosselin et Dallari, 2007 ; Gosselin et Gosselin, 2008). Le besoin de suivi temporel de la biodiversité en forêt est donc fort : il s'agit d'abord de mettre en œuvre une « surveillance » – au sens de disposer d'une vision régulière et précise de l'état et de la dynamique de la biodiversité des forêts à l'échelle du territoire hexagonal, au moyen d'indicateurs directs – et d'en rendre compte, en publiant des indicateurs au sein de l'ONB, de *Forest Europe* ou dans le cadre des rapportages européens (Directives « Oiseaux » et « Habitats-Faune-Flore », règlement sur la restauration de la nature). Il s'agit aussi, dans une visée opérationnelle, d'appréhender les facteurs explicatifs des tendances observées, de faire des liens entre pressions, états et réponses, afin de répondre aux questions que se pose la société sur les effets de la gestion forestière ou d'autres pressions anthropiques, ou sur l'efficacité des politiques publiques, notamment celles de conservation de la biodiversité.

La nécessité d'établir un suivi régulier à long terme ("*monitoring*" en anglais) de la biodiversité est démontrée par les scientifiques (Yoccoz *et al.*, 2001) mais également reconnue par les acteurs de la filière forêt-bois comme un élément important de la gestion adaptative du milieu forestier (Cordonnier et Gosselin, 2009), complémentaire d'approches expérimentales à visée explicative. L'idée de concevoir les modalités pratiques d'un suivi hexagonal selon un ou plusieurs scénarios est à l'origine du programme PASSIFOR (pour « Propositions d'amélioration du système de suivi de la biodiversité forestière »). Dans le premier volet de PASSIFOR, soutenu par le ministère chargé de l'agriculture (2012-2015 ; Landmann et Gosselin, 2015), l'état des lieux des réseaux de suivi existants à l'échelle hexagonale a mis en évidence une base intéressante mais encore insuffisante, pour appréhender l'état et la dynamique de la biodiversité des forêts hexagonales et leur lien avec les gestions forestières et d'autres facteurs de changement. Une réflexion a donc été initiée pour proposer un système de suivi « multi-dispositifs » de la biodiversité en forêt, à travers les projets « PASSIFOR2 » et « PASSIFOR2bis » soutenus par le ministère chargé de l'écologie (2019-2022 et 2023-2024). Ce système a vocation à s'insérer dans le réseau national de surveillance de la biodiversité terrestre prévu par le Plan Biodiversité adopté le 4 juillet 2018 (Ac-

1 https://naturefrance.fr/observatoire-national-de-la-biodiversite. NB : le site est actuellement inaccessible, suite à une attaque informatique contre le MNHN. Le site devrait être de nouveau accessible en janvier 2026.

tion 70) et dont le schéma directeur a été publié en janvier 2024 (Pilotage OFB/PatriNat).

L'objectif général des deux projets était de :

1- Intégrer différentes sources de données sur la biodiversité en forêt, existantes ou à créer, protocolées ou opportunistes… – c'est pourquoi nous parlerons souvent d'*assemblage* pour désigner le système de suivi ; et

2- Mettre en relation politiques publiques, pratiques de gestion et biodiversité.

Nous avions également la volonté très forte de jointer notre travail avec le Programme national de surveillance de la biodiversité terrestre, qui a commencé en même temps que PASSIFOR2. Ce programme s'inscrit dans l'action 2 de la mesure 36 de la Stratégie nationale pour la biodiversité 2030, qui prévoit notamment de conforter les réseaux de surveillance.

L'objectif de cet article est de synthétiser les acquis des projets PASSIFOR2 et PASSIFOR2bis afin d'aider à la structuration de la surveillance de la biodiversité terrestre et de nourrir une phase de mise en œuvre dans les forêts françaises hexagonales. Nous commencerons par exposer les développements réalisés dans quatre domaines importants pour la mise en place de suivis : la gouvernance du suivi ; le choix des compartiments de biodiversité à suivre ; le choix des variables et pratiques forestières à suivre en parallèle de la biodiversité ; les choix statistiques du suivi. Nous intégrerons ensuite ces différents développements pour proposer des assemblages opérationnels de dispositifs[2] pour différents objectifs de suivis. Nous finirons par quelques éléments conclusifs et de perspective.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Afin de bâtir les assemblages de dispositifs de suivi de la biodiversité en forêt, nous avons eu besoin de faire avancer la connaissance sur les quatre aspects suivants :

1- Les bonnes pratiques en matière de gouvernance de dispositifs de suivis. Pour cela, nous avons réalisé une synthèse bibliographique et analysé la gouvernance de quelques systèmes de suivis liés à la biodiversité. Nous mettons derrière la notion de gouvernance :

– La définition, le partage et la légitimation des objectifs du suivi ;
– L'obtention, l'archivage et la diffusion des données ;
– L'organisation pour l'analyse des données et l'interprétation des résultats ;
– La communication sur le dispositif et ses résultats ;
– Les liens entre le système de suivi et d'éventuelles décisions qui pourraient en dépendre ou des politiques publiques associées ;
– Les liens avec la recherche.

Il s'agit donc d'une définition large de la gouvernance, et ces différents points sont importants pour les suivis écologiques (Vos *et al.*, 2000).

2- Le choix des compartiments de biodiversité à suivre. Nous désignerons dans cet article par « compartiment de biodiversité » toute partie de la biodiversité (notamment génétique, spécifique, interspécifique, écosystémique…) que le système cherche à suivre plus particulièrement. Nous avons mis l'accent sur la biodiversité interspécifique – le compartiment est alors un groupe taxinomique ou un groupe taxo-écologique – à travers une analyse multicritères objective fondée sur l'avis de spécialistes (écologues, naturalistes, taxinomistes) de 62 groupes d'espèces et sur 46 critères balayant les dimensions biologiques, taxinomiques et pratiques. Cette analyse a été réalisée pour chaque objectif de suivi prédéfini (cf. partie suivante). Nous avons également produit trois synthèses bibliographiques sur les développements récents d'outils acoustiques, optiques et génétiques de recueil de données de biodiversité pouvant faciliter le suivi (Le Borgne et Bouget, 2023a, 2023b, 2024).

3- L'identification des pratiques de gestion forestière promues par les politiques publiques et en lien avec la biodiversité en forêt. Pour cela, nous avons d'abord identifié à dire d'expert les politiques publiques susceptibles d'influencer les pratiques forestières, et nous avons conclu que le Programme national de la forêt et du bois (PNFB) et ses déclinaisons régionales (PRFB, Programmes régionaux de la forêt et du bois) intégraient l'ensemble des orientations de ces politiques publiques. Nous avons alors identifié les principales pratiques susceptibles d'être impactées par la mise en œuvre du PNFB et des PRFB. Puis, en nous appuyant sur la bibliographie concernant les liens entre pratiques forestières et biodiversité, nous avons construit une procédure pour identifier les variables de gestion et les variables dendrologiques et écologiques (VDE) à suivre pour chacune de ces pratiques en parallèle des variables d'état de la biodiversité.

4- La définition d'un plan d'échantillonnage et l'amélioration des analyses de données de la diversité spécifique. Le premier axe de développement statistique a consisté à proposer et tester (par simulation) une méthode permettant de vérifier la qualité de modèles statistiques de fusion de données hétérogènes, tout en utilisant la totalité des données pour estimer les tendances de biodiversité – plutôt que de garder une partie des données uniquement

2 Aussi appelés maquettes dans les rapports des deux projets.

pour vérifier la qualité des modèles statistiques, donc hors de l'estimation. Cette méthode utilise des développements récents d'outils d'évaluation de la qualité d'ajustement des modèles. En effet, des méthodes statistiques ont été développées pour corriger les données opportunistes de façon à pouvoir les fusionner avec des données protocolées avant une analyse conjointe. Les méthodes développées jusqu'ici (par exemple Coron *et al.*, 2018) gardaient une partie des données uniquement pour vérifier l'adéquation du modèle – et donc pas pour estimer les tendances. Le second axe de travail statistique a porté sur l'intérêt des placettes permanentes *vs* temporaires selon les niveaux de corrélation spatiale et temporelle résiduelle de la variable de biodiversité. Il a consisté à mettre en place un simulateur de dynamique spatio-temporelle de données de biodiversité et de leur analyse statistique plus complet que les travaux initiaux de Rhodes et Jonzén (2011) afin de guider nos choix en matière d'échantillonnage et d'analyse de données.

Ces développements ont nourri l'élaboration de sous-assemblages de dispositifs de suivis pour chaque couple d'un objectif de suivi *et* d'un compartiment de biodiversité[3]. L'élaboration de ces assemblages s'est faite en plusieurs étapes :

- Des acteurs volontaires ont défini en webinaire les objectifs possibles de suivis de biodiversité en forêt ainsi que les attentes associées – en matière d'échantillonnage spatial, de composante temporelle, de compartiments de biodiversité suivis et de mesures de biodiversité effectuées, de variables explicatives collectées ;
- Nous avons interviewé des responsables d'une vingtaine de dispositifs nationaux de suivis de biodiversité existants ou de collectifs pouvant être utiles pour le développement de tels suivis et renseigné, pour chacun, une grille décrivant les caractéristiques de ces suivis ou collectifs en lien avec les attentes associées aux différents objectifs définis à l'étape précédente ;
- Nous avons, enfin, mis au point une méthode pour analyser ces dispositifs au regard des attentes associées à chaque objectif, pour pouvoir proposer des assemblages de dispositifs existants ou à créer. La discussion de cette méthode a fait l'objet d'un second webinaire. Cette méthode repose sur une analyse qualitative de différentes propriétés attendues, complétée par une synthèse graphique de l'adéquation des dispositifs à l'objectif, en matière d'échantillonnage spatial, d'échantillonnage temporel, de type de placette, de type de données et de mesure de biodiversité, de variables environnementales et de gestion. Ces représentations synthétiques sont accompagnées d'un texte explicatif rendant compte des évaluations effectuées. Notre méthode vise notamment à déterminer les dispositifs jugés indispensables au suivi considéré et qui en constitueront le cœur, et les dispositifs complémentaires qui pourraient améliorer l'assemblage sous certaines conditions (par exemple les dispositifs de collecte de données opportunistes). L'analyse de ces tableaux résumés a permis de proposer des améliorations et travaux techniques ou scientifiques à mettre en place, avant, pendant ou après le déploiement de l'assemblage. Quand de nouvelles mesures sur un nouveau dispositif étaient proposées, nous avons par ailleurs proposé des protocoles de mesures associés. Enfin, pour chaque objectif, nous avons décrit l'assemblage de dispositifs synthétisant l'ensemble des sous-assemblages et nous fournissons des éléments d'analyse à l'échelle multicompartiments.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Objectifs de suivi

Trois objectifs ont fait l'objet de propositions d'assemblage dans le projet, en essayant au maximum de coordonner les trois propositions d'assemblage les unes par rapport aux autres – notamment en termes d'utilisation des mêmes données entre différents objectifs :

- Objectif 1 : Suivre l'état et la dynamique de compartiments de biodiversité en forêt. Il s'agit de l'objectif de surveillance classique et générique, avec un fort souhait de le faire reposer sur un échantillonnage représentatif de la forêt en France hexagonale, aujourd'hui et dans le futur. Cela signifie notamment : (1) que l'assemblage doit pouvoir prendre en compte dans le futur les nouvelles forêts qui apparaîtront, et (2) que toutes les forêts doivent être prises en compte, et non uniquement les forêts « de production », comme le fait l'Inventaire forestier national aujourd'hui.
- Objectif 2 : Suivre et comparer l'état et la dynamique de compartiments de biodiversité en forêts en libre évolution « garantie » (*i.e.* statutaire) en comparaison avec le reste des forêts. Il s'agit d'un objectif de surveillance de la biodiversité dans les « réserves » garantissant la libre évolution des forêts, mais aussi d'évaluation des impacts sur la biodiversité de l'ensemble des pressions propres aux forêts non protégées (Gosselin *et al.*, 2012) en considérant les forêts en libre évolution « garantie » comme des références, à l'image de ce qui a été fait dans le cadre de la Directive cadre sur l'eau de l'Union européenne.
- Objectif 3 : Suivre l'état et la dynamique de compartiments de la biodiversité en lien avec certaines actions de gestion jugées importantes à évaluer – par exemple le type de coupe de régénération, le mode de traitement,

3 On parle d'« assemblage de dispositifs de suivis » pour un objectif, tous compartiments confondus, et de « sous-assemblage » pour un compartiment de biodiversité et un objectif donné.

la conservation de certains types d'arbres... Il s'agit ici, dans la plupart des cas, de mettre en place des suivis ciblés associés à ces pratiques. Il faut noter que nous ne visions pas la mise en place d'expérimentations au sens strict mais bien de suivis observationnels structurés.

Nous avons souhaité commencer notre travail par bien définir l'objectif du suivi de biodiversité – le « pourquoi » du suivi (Vos *et al.*, 2000). Ce travail nous a naturellement amenés à proposer pour les objectifs 2 et 3 des suivis de type « ciblés » (« *targeted monitoring* » : Nichols et Williams, 2006, Lindenmayer et Likens, 2010), qui visent à répondre à une question clairement identifiée, en complément du suivi de type surveillance (« surveillance monitoring ») pour l'objectif 1 (Haughland *et al.*, 2010), qui collecte de multiples informations sur un domaine donné sans chercher à répondre à une question précise. Si des points de vue contrastés existent sur ces deux types de suivis, Wintle *et al.* (2010) les réconcilient d'une certaine façon en montrant que les suivis de type surveillance peuvent être préférables aux suivis ciblés quand ils sont plus à même de détecter des phénomènes initialement non prévus et que les gains associés à cette découverte sont supérieurs à ceux d'un suivi ciblé.

Modalités de gouvernance

L'analyse des enjeux de gouvernance (cf. Annexe A[4]) a permis de dresser un état des lieux des questions qui se posent et des écueils à éviter. Parmi les facteurs clés de réussite, on peut citer :

– Des liens à tisser entre les gestionnaires forestiers, la recherche et les pouvoirs publics à différents niveaux pour une meilleure acceptation/légitimité et pertinence de l'outil ;
– Une adéquation entre les moyens et la préfiguration du projet, avec notamment des financements stables et sécurisés, et le choix d'un collectif ou organisme « central » coordinateur, reconnu pour sa fiabilité ;
– Des objectifs de suivi définis précisément en amont et en concertation ;
– La conception d'un outil adaptatif.

Nous avons essayé de prendre en compte la plupart de ces points clés dans nos propositions d'assemblage, même si certains d'entre eux sont du ressort de choix politiques et n'ont pas été explicités ici.

Compartiments de biodiversité à suivre

L'analyse multicritère a produit un classement, qui met aux premiers rangs : les oiseaux, la flore vasculaire, les champignons ectomycorhiziens, les chiroptères, les bryophytes, les orthoptères et les gastéropodes terrestres. Même si les arthropodes dominent les autres embranchements par le nombre de groupes testés, un seul groupe d'arthropodes (criquets et sauterelles) figure dans le haut du classement. Ces arthropodes sont pénalisés par leur hyperdiversité et par des difficultés pratiques d'échantillonnage et d'identification, que les évolutions technologiques en marche (ADN barcoding, IA) pourraient à terme relativiser.

La méthode utilisée est objective mais les données de base proviennent de dires d'expert(s), la plupart du temps un seul expert par compartiment, ce qui introduit un effet confondant entre l'expert et le groupe taxinomique. En augmentant le nombre d'experts pour deux des groupes bien classés (oiseaux et flore vasculaire), nous avons démontré un effet opérateur non-négligeable sur le classement final du groupe, même si les deux groupes restent sélectionnés dans le top 8 par tous les experts. Il s'agit donc d'une limite de nos résultats.

À noter que les résultats ont évolué depuis le rendu du projet, incluant des analyses de complémentarité écologique et phylogénétique entre groupes ainsi que d'autres arguments que le résultat brut de l'analyse multicritère (cf. Bouget *et al.* in Prep. et Annexe B) ; une liste complémentaire a été retenue. Elle inclut des groupes associés à des habitats forestiers complémentaires (insectes odonates, amphibiens urodèles) ou des groupes phylogénétiques (insectes fourmis, mammifères ongulés) non couverts par la sélection brute. Ces modifications n'ont pas pu être prises en compte dans les propositions suivantes. Nous avons en effet travaillé avec les sept compartiments sélectionnés par les premières analyses multicritères : arbres, flore vasculaire, bryophytes, champignons ectomycorhiziens, gastéropodes terrestres, oiseaux, chauves-souris, auxquels nous avons ajouté les habitats forestiers pour la diversité écosystémique.

Pratiques de gestion à suivre en lien avec la biodiversité

Nous avons établi une liste de treize pratiques d'intérêt, au titre de leur lien avec les PNFB et PRFB ou de leur lien avec la biodiversité : création de réserves intégrales, mise en place d'îlots de sénescence, maintien de forêts anciennes[5], coupes, mélange d'essences, changement d'essences, mode de régénération, mode de traitement sylvicole, maintien de souches, maintien d'arbres habitats, de vieux arbres et de gros bois morts, maintien de rémanents, remise en exploitation forestière, gestion différenciée des zones humides.

4 Les annexes peuvent être consultées sur site Internet : https://zenodo.org/records/16980580.
5 On désigne ici par « forêt ancienne » une forêt qui est de manière continue dans l'état de forêt – en termes foncier et d'occupation du sol – depuis longtemps – le plus classiquement depuis le milieu du XIX^{e} siècle.

Au final, chacune des treize pratiques fait l'objet d'une fiche qui présente par ordre de priorité les variables de gestion (VG) et les variables dendrologiques et écologiques (VDE) retenues, détaille les attendus pour chaque variable (pas de temps de définition, mode et échelle d'obtention des données) et les croise avec les mesures réalisées par une sélection de dispositifs existants. L'évaluation est synthétisée dans un tableau qui présente sous forme graphique (camemberts), pour chaque dispositif évalué, la proportion de variables suivies de manière conforme, partiellement conforme ou non conforme aux attendus par le dispositif. Ils permettent *in fine* de renseigner le critère « Variables environnementales et de gestion » dans le tableau synthétique coloré des sous-assemblages. La procédure a été appliquée entièrement pour la pratique « coupes d'exploitation » et partiellement (liste hiérarchisée de VG et VDE) pour les douze autres pratiques.

Méthodes statistiques

Sur le plan des analyses statistiques (cf. Annexe D), nous avons d'abord proposé une nouvelle méthode de fusion de données hétérogènes – typiquement de données protocolées et de données opportunistes – qui permet dans la même analyse d'estimer les tendances de biodiversité et de diagnostiquer le modèle de fusion. Ces résultats nous ont confortés dans la volonté d'identifier des sources de données opportunistes comme compléments aux cœurs des assemblages. Ces compléments pourraient s'avérer très utiles en permettant des estimations plus précises si nous arrivons à mettre en place des modèles de fusion de données dont les hypothèses ne sont pas remises en cause par les données elles-mêmes. Un exemple de remise en question du modèle de fusion de données serait le cas où le diagnostic détecterait une préférence d'habitat des observateurs des données opportunistes qui varie dans l'espace alors que le modèle de fusion de données suppose sa constance dans l'espace (Bouchet, 2020).

Par ailleurs, l'outil de simulation statistique de la dynamique spatio-temporelle de données de biodiversité a permis de conclure que les placettes permanentes sont préférables à des placettes temporaires pour une large gamme de valeurs d'autocorrélation spatiale et temporelle. Ce constat a été une des raisons pour lesquelles nous avons donné une place centrale aux placettes permanentes dans nos propositions d'assemblages de dispositifs.

Proposition d'assemblage de dispositifs pour l'objectif 1 – Suivi de surveillance de la biodiversité en forêt

Pour chaque compartiment de biodiversité, l'analyse de l'adéquation de chacun des dispositifs de suivi existants avec les attentes pour l'objectif 1 a été synthétisée sous forme graphique comme illustré dans la figure 1 pour le cas des arbres. Cela nous a permis de décider pour chaque dispositif s'il pouvait intégrer le cœur ou la partie complémentaire du sous-assemblage correspondant au compartiment traité.

- **Analyse des dispositifs existants, sélection des cœurs et des compléments**

Dans le cas des arbres (figure 1), nous avons retenu uniquement l'IGN dans le cœur du dispositif – avec des adaptations souhaitables sur plusieurs aspects – alors que pour la partie complémentaire nous avons identifié plusieurs dispositifs : RENECOFOR pour ses apports méthodologiques et la possibilité de lier la mesure de biodiversité des arbres avec des aspects fonctionnels, et d'éventuels réseaux de placettes permanentes de gestionnaires (ONF, CNPF…) – non analysés ici – si ces placettes étaient suffisamment nombreuses, en tant que données opportunistes.

- **Nécessité d'un suivi multi-taxon**

Aucun des dispositifs existants ne répondant à la majorité des attentes pour la plupart des compartiments de biodiversité retenus, nous avons conçu un suivi multi-taxon, actif pour l'ensemble des compartiments de biodiversité considérés (cf. tableau 1 et texte qui suit). Ce choix repose sur trois nécessités : (1) mettre en place un suivi pour les quatre compartiments (bryophytes, champignons ectomycorhiziens, gastéropodes terrestres et chiroptères) qui ne bénéficient actuellement d'aucun suivi national assez représentatif pour figurer en cœur de suivi ; (2) améliorer ou compléter le plan d'échantillonnage du cœur de suivi par rapport à celui de suivis existants qui figurent en cœur (oiseaux) ; (3) permettre des analyses conjointes des différents compartiments de biodiversité sur les mêmes placettes avec les mêmes informations écologiques.

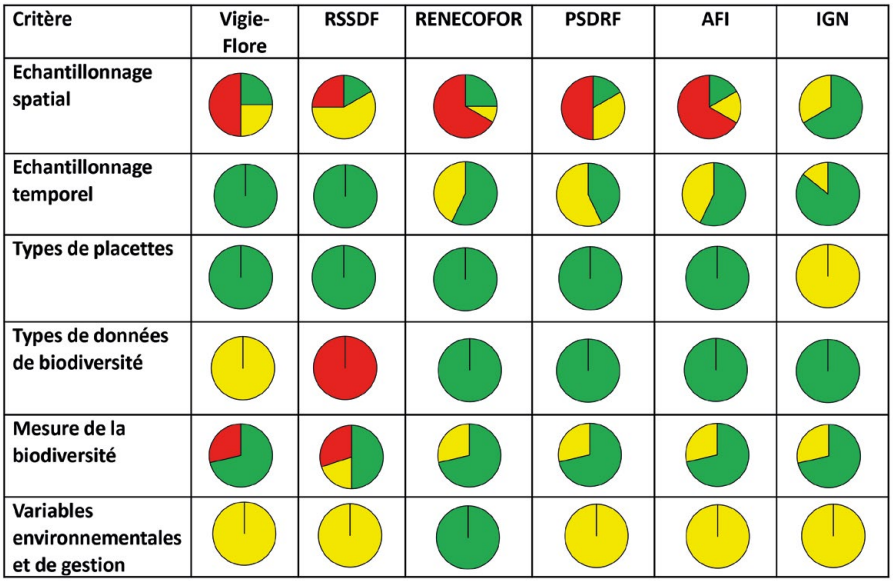
Les sous-assemblages proposés pour les huit compartiments de biodiversité sont résumés dans le tableau 1. Les cœurs de suivi impliquent tous le nouveau suivi multi-taxon complété parfois par des dispositifs existants (ici : l'Inventaire forestier national (IFN) de l'IGN et le Suivi temporel des oiseaux communs de Vigie Nature). D'autres réseaux apparaissent comme complémentaires dans le suivi (RENECOFOR, Faune-France de la LPO, Vigie-Chiro ; éventuellement : Vigie-Flore, EPOC-ODF, le réseau Bécasse, le réseau Petites Chouettes de Montagne).

Notre proposition d'échantillonnage multi-taxinomique s'appuie sur une approche similaire à celle de l'IFN pour la constitution du plan d'échantillonnage. Cela signifie notamment que des mailles de 1 × 1 km sont les unités de base, au sein desquelles un ou des tirages au sort de points sont effectués – soit une fois pour toutes pour une maille à placette permanente, soit de manière répétée pour une maille permanente à placettes temporaires.

Figure 1 l Analyse des dispositifs collectant des données sur la biodiversité des arbres par rapport aux attentes définies pour l'objectif 1 (« suivre l'état et la dynamique de compartiments de biodiversité en forêt »).

Pour chaque critère, l'adéquation avec les attentes définies pour l'objectif 1 a été évaluée comme suit : vert : le dispositif répond complètement aux attentes ; jaune : tel quel il répond imparfaitement aux attentes et demande des corrections ; rouge : il ne répond pas aux attentes et ne peut pas convenir pour l'objectif.

Vigie-Flore : réseau de suivi de la flore sauvage (CESCO-MNHN et Tela Botanica) ; RSSDF : Réseau systématique de suivi des dégâts forestiers (Département Santé des forêts du ministère en charge de l'agriculture) ; RENECOFOR : Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (ONF) ; PSDRF : Protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières (RNF – ONF) ; AFI : réseau de suivi de parcelles de référence de l'Association futaie irrégulière ; IGN : inventaire forestier national de l'IGN.



Composantes principales des critères :

- Échantillonnage spatial : logique de positionnement des unités d'échantillonnage (aléatoire, systématique ; stratifié ou pas…) et éventuels biais de positionnement ; représentativité de la forêt hexagonale ; stratification…

- Échantillonnage temporel : fréquence des relevés des placettes permanentes ; échéance de détection de tendances temporelles ; recul temporel

- Types de placettes : proportion de placettes permanentes et temporaires ; présence de placettes de référence…

- Types de données de biodiversité : composante de biodiversité (génétique, interspécifique, écosystémique, fonctionnelle…) ; type de données : présence seule, présence-absence, abondance…

- Mesure de la biodiversité : existence d'un protocole de mesure ; pour la biodiversité interspécifique : choix des espèces suivies ; estimation de la détectabilité des objets suivis ;

- Variables environnementales et de gestion : présence de données sur les variables environnementales et de gestion jugées importantes pour cet objectif.

Tableau 1 | Synthèse des dispositifs placés en cœurs et compléments des (sous-)assemblages de l'objectif 1 de surveillance pour les différents compartiments de biodiversité retenus. Le suivi multi-taxon est le nouveau suivi présenté dans le texte.

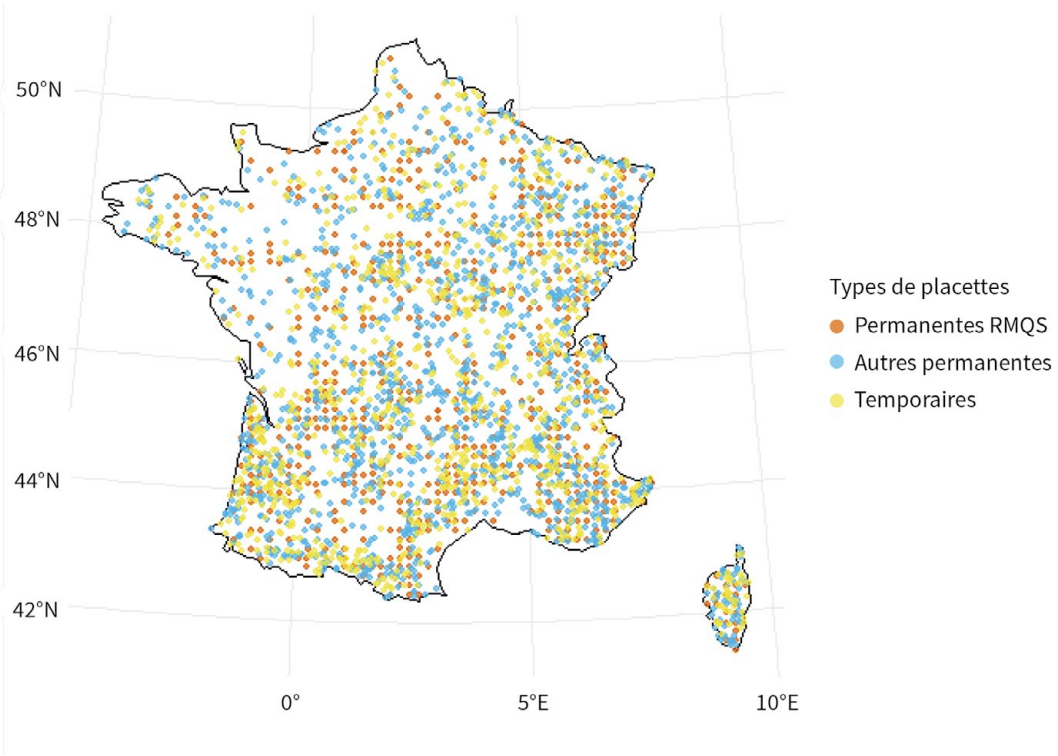
Compartiment de biodiversité	Cœur du sous-assemblage	Compléments du sous-assemblage
Habitats	IFN et suivi multi-taxon	Autres réseaux pour habitats rares
Arbres	IFN et suivi multi-taxon	RENECOFOR (méthodologie de mesure, lien avec fonctionnement de l'écosystème) et éventuelles placettes permanentes de l'ONF et du CNPF (si en nombre suffisant)
Flore vasculaire	Suivi multi-taxon et IFN	RENECOFOR (méthodologie de mesure, lien avec fonctionnement de l'écosystème), Vigie-Flore (si en nombre suffisant)
Bryophytes	Suivi multi-taxon	Possiblement RENECOFOR (lien avec fonctionnement de l'écosystème) et IFN pour une partie des espèces
Champignons ectomycorhiziens	Suivi multi-taxon	RENECOFOR (méthodologie de mesure, lien avec fonctionnement de l'écosystème)
Gastéropodes terrestres	Suivi multi-taxon	Éventuellement Faune-France (LPO ; évaluer le nombre de données disponibles)
Oiseaux	Suivi multi-taxon et Suivi temporel des oiseaux communs	EPOC-ODF (s'il est transformé en dispositif de suivi), Faune-France (LPO ; pour son grand nombre de données, notamment opportunistes) ; éventuellement : réseaux Bécasse et Petites Chouettes de Montagne
Chauves-souris	Suivi multi-taxon	Vigie-Chiro (qui pourrait à terme rejoindre le cœur)

Les points ainsi tirés au sort sont activés uniquement s'ils sont forestiers et suffisamment accessibles. La procédure présente néanmoins des différences importantes avec l'IFN, qui sont : (1) inclure les points – et les mailles associées – de la grille 16 × 16 km du Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), représentant actuellement environ 600 points en forêt, de façon à pouvoir profiter des informations récoltées par ce dispositif, notamment sur les sols ; (2) fonder une grande partie du suivi sur des placettes permanentes, c'est-à-dire des mailles et des points tirés au sort une fois pour toutes et mesurés au fil du temps si le point est forestier ; (3) suivre toutes les forêts – y compris celles qui ne sont pas qualifiées par l'IFN de « forêts de production » – hormis éventuellement celles qui seraient trop difficiles d'accès, toujours pour des raisons de coût ; et (4) pour des raisons logistiques et de coût, mesurer, chaque année, beaucoup moins de points multi-taxon que ne le fait l'IFN pour ses points classiques, *i.e.* environ 380 points par an au lieu des 14 000 points annuels de l'IFN (chiffres de 2023 : plus de 7 800 premières visites et moins de 6 100 secondes visites). À ce stade, nous n'avons pas suffisamment d'éléments pour « optimiser » le nombre de placettes. Notre proposition se base sur un nombre conséquent mais *a priori* réaliste de placettes – proche de ce qui était prévu pour le suivi de la biodiversité forestière en Alberta (environ 330 sites par an, mesurés tous les cinq ans ; Alberta Biodiversity Monitoring Institute, 2019).

Notre proposition est donc de commencer par le suivi, lors de la première décennie, d'environ 2 000 placettes permanentes complétées par 1 000 placettes temporaires – visitées une seule fois et qui seront remplacées lors de la décennie suivante. Durant chaque décennie, un tiers des placettes permanentes serait mesurée deux fois et les deux tiers restants mesurés une fois seulement. Les mailles sont choisies aléatoirement et activées uniquement si le point associé est en forêt et si suffisamment accessibles. Par conséquent, le nombre total de mailles doit être ajusté en fonction du taux de boisement du territoire français afin d'atteindre l'effectif cible de placettes de suivi, par définition forestières. Dans notre réflexion initiale (Dorioz et Gosselin, 2022), nous avions ainsi envisagé la mise en place d'environ 9 450 mailles pour cette première décennie, compte tenu du taux de boisement actuel (31,8 % en 2023) : environ 2 000 mailles correspondant aux points du RMQS, 4 300 à d'autres placettes permanentes et 3 150 à des placettes temporaires (cf. la figure 2 pour un exemple simulé de la répartition entre les différents types de placettes en forêt à travers la France hexagonale). Ce nombre de mailles étant donné, le nombre de placettes s'adapterait « automatiquement » à l'évolution de la surface forestière en France hexagonale, de sorte que le dispositif proposé garde ses propriétés de représentativité de la forêt hexagonale au cours du temps. Nous proposons néanmoins d'envisager un système légèrement différent

Figure 2 | Exemple des différents types de placettes envisagées sur une décennie pour l'échantillonnage multi-taxinomique de l'objectif 1.

Il s'agit d'un tirage au sort de mailles puis d'une placette par maille – y compris pour les positions des points du réseau 16 × 16 km – puis d'un croisement des positions des placettes tirées au sort avec la couche forestière de la BD Forêt V2 de l'IGN, pour n'activer que les placettes en forêt. Dans ce cas simulé, nous avons au final 721 placettes 16 × 16 (mimant le RMQS) en forêt, 1 392 autres placettes permanentes en forêt, et 1 000 placettes temporaires en forêt. Nous proposons que ces placettes soient intégrées au réseau de l'IFN. Ces placettes proviennent du croisement entre la BD Forêt et des mailles et placettes initialement tirées au sort (2 147 pour le réseau 16 × 16, 4 300 pour les autres mailles/placettes permanentes et 3 150 pour les mailles/placettes temporaires). Un tiers des placettes permanentes sont visitées tous les cinq ans, les autres l'étant tous les dix ans. Avec cette simulation, nous aurions ainsi environ 382 placettes à mesurer par an. (Carte : F. Gosselin.)



(cf. Annexe 1 de Gosselin *et al.*, 2025), fondé sur la sélection préalable d'un plus grand nombre de mailles avec un ordre associé, pour ne garder dans le suivi que le nombre de mailles permettant de mesurer sur le terrain le nombre souhaité de placettes permanentes et temporaires – probablement à la manière de ce que fait l'IFN. Ce système permettrait d'intensifier ou d'alléger aisément l'échantillonnage, et donc de s'adapter finement et précisément aux ressources disponibles pour le suivi[6].

Le fait d'échantillonner des points tirés au sort dans des mailles fixes – de 1 × 1 km – rend le suivi multi-taxinomique adaptable sur deux plans :

– Adaptabilité à l'évolution de la surface forestière (cf. ci-dessus), n'entraînant aucun biais de représentation des futures forêts récentes par rapport aux forêts actuelles au cours du temps. En effet, la base du suivi, ce sont ces mailles et points qui ne sont relevés que si le point est forestier, permettant ainsi une adaptabilité simple à l'évolution de la surface forestière ;

– Adaptabilité de la taille de l'échantillon suivant la précision des résultats obtenus. Si les estimations de tendance temporelle sont « trop » précises, il serait possible de réduire le nombre de points suivis. À l'inverse, si la précision n'est pas suffisante, ou si un territoire donné souhaite intensifier le suivi pour produire des résultats plus précis à son échelle, il sera possible d'augmenter le nombre de points suivis en activant de nouvelles mailles et éventuellement de nouveaux points.

Le fait de fonder le dispositif sur une partie importante de placettes permanentes provient, outre les résultats statistiques (cf. ci-dessus), de considérations pratiques et notamment de la possibilité d'utiliser ces placettes pour obtenir des informations de gestion forestière à partir des mesures répétées dans le temps – informations par-

6 Cela pourrait impliquer qu'au bout d'un certain temps, certains placettes permanentes – les dernières dans l'ordre du tirage au sort initial – puissent être abandonnées si (1) le budget et les coûts restent constants alors que de nouvelles forêts doivent être mesurées ou (2) le budget diminue ou si les coûts augmentent. L'inverse étant vrai – création de nouvelles placettes permanentes si les ressources croissent ou si la part de la forêt diminue.

Tableau 2 | Synthèse des protocoles proposés pour les suivis multi-taxons de PASSIFOR2.

Compartiment de biodiversité	Synthèse du protocole du nouveau suivi multi-taxinomique proposé.
Habitats	Méthode de l'IFN.
Arbres	Combinaison d'un relevé dendrométrique spatialisé (sur une surface plus grande que celle de l'IFN), du relevé du couvert des arbres recensables (même méthode que l'Inventaire) et de l'abondance-dominance des arbres non recensables (*i.e.* de moins de 7,5 cm de diamètres à 1,30 m du sol) dans le relevé floristique.
Flore vasculaire	Deux relevés floristiques (à deux dates différentes) en classes d'abondance-dominance. *A priori* même surface que celle de l'Inventaire, mais tests à faire au préalable.
Bryophytes	Prélèvements par type de substrat dans un cercle de rayon 15 m puis détermination au laboratoire par deux méthodes (au début en tout cas) : critères morphologiques et ADN metabarcoding.
Champignons ectomycorhiziens	Prélèvements de sol dans un cercle de rayon 15 m puis détermination au laboratoire par ADN metabarcoding.
Gastéropodes terrestres	Plusieurs petits prélèvements surfaciques de végétation et de sol ensuite tamisés et recherche complémentaire de gastéropodes dans un cercle de rayon 15 m puis détermination morphologique au laboratoire.
Oiseaux	Enregistrement sonore entre 1er et 3e passage puis analyse au laboratoire.
Chauves-souris	Enregistrement ultrasonore entre 1er et 3e passage puis analyse au laboratoire.

ticulièrement utiles pour l'objectif 3 (cf. *infra*). À l'inverse, les placettes temporaires permettent de vérifier qu'il n'y a pas d'évolution de gestion ou de caractéristiques différentes sur les placettes permanentes par rapport aux placettes temporaires – au cas où les gestionnaires/propriétaires adapteraient leur gestion lorsqu'ils apprennent que la placette est suivie. Ces placettes temporaires ont aussi l'avantage de constituer petit à petit un ensemble de placettes mesurées dans le passé et mobilisables pour des intensifications d'échantillonnage (cf. cas de l'objectif 3 ci-après).

Le relevé de chaque placette une année donnée – que la placette soit temporaire ou permanente – nécessitera trois passages durant l'année :

- En fin d'hiver (pour la plaine), relevé classique de l'IFN et pose d'enregistreurs sonores pour les oiseaux et les chiroptères ;
- En fin de printemps, relevé floristique, relevé du couvert des arbres recensables, prélèvement de sol pour les champignons ectomycorhiziens et vérification des enregistreurs sonores ;
- Au début de l'automne, prélèvements pour les gastéropodes terrestres et les bryophytes et dépose des enregistreurs.

Il est par ailleurs prévu que des équipes indépendantes effectuent une revisite de 25 % des placettes en fin de printemps pour évaluer la fiabilité de la mesure floristique, du couvert des arbres et du type d'habitats. Les protocoles associés sont synthétisés dans le tableau 2.

Davantage de détails sur cette proposition d'assemblage de suivis de la biodiversité en forêt sont disponibles dans Dorioz et Gosselin (2022), avec notamment des réflexions sur différents points de gouvernance, de coûts et de verrous à lever avant ou pendant la mise en place du suivi.

Proposition d'assemblage de dispositifs pour l'objectif 2 – Suivi ciblé de la biodiversité en forêt en lien avec la libre évolution garantie

L'objectif 2 consiste à suivre et comparer l'état et la dynamique de compartiments de biodiversité en forêt en libre évolution garantie (LEG) *versus* dans le reste des forêts. La surface forestière en libre évolution garantie est restreinte à environ 0,24 % des forêts de l'Hexagone selon Debaive *et al.* (2021). Avec le plan d'échantillonnage multi-taxon de l'objectif 1, nous n'aurions en moyenne par décennie qu'un peu plus de 7 placettes en forêts LEG, sur les 3 000 placettes suivies pendant la décennie, c'est-à-dire bien trop peu pour conclure précisément sur l'évolution

temporelle de la biodiversité dans ce type de forêt. Pour répondre à l'objectif 2, nous avons donc bâti un assemblage complémentaire à celui de l'objectif 1, qui permette de suivre ces forêts en LEG en parallèle des forêts hors LEG – qui seraient quant à elles largement suivies sur la base du suivi multi-taxon de l'objectif 1. Pour les forêts en LEG, deux réseaux existants de suivi de biodiversité qui disposent de placettes en LEG (le réseau de réserves appliquant le Protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières (PSDRF) et le nouveau réseau de Suivi habitat-flore de l'ONF) ont été plus particulièrement analysés. Nous avons proposé deux échantillonnages complémentaires dans le cœur du suivi de l'objectif 2 :

– Un premier échantillon constitué d'un réseau spatialement représentatif des zones LEG en France hexagonale, fondé sur des tirages au sort de nombreux points dans des mailles de 1 × 1 km – comme pour l'objectif 1, mais composé cette fois-ci uniquement de placettes « permanentes » et densifié de façon à obtenir 500 placettes durant la première décennie avec un passage tous les dix ans. Dans les réserves qui sont suivies par le PSDRF ou l'ONF, de façon à mutualiser les efforts, nous proposons de déplacer aléatoirement dans l'espace la placette tirée au sort sur une placette existante dans la même zone LEG le cas échéant (une placette ONF dans le même type stationnel que le point tiré au sort – en priorité – ou une placette PSDRF dans la même strate PSDRF que le point tiré au sort). L'analyse de ces deux dispositifs ne montre en effet pas de biais de positionnement à l'échelle de la zone LEG – *modulo* la prise en compte de lisières internes non prospectées pour le PSDRF qui implique qu'un tel déplacement ne sera pas proposé pour les points initialement tirés au sort dans ces zones de lisières internes. Comme pour l'objectif 1, ce réseau est conçu pour s'adapter automatiquement aux nouvelles forêts dans les réserves existantes ou aux nouvelles réserves.
– Un second échantillon, sous-échantillon du réseau de Suivi habitat-flore de l'ONF, réseau de placettes en forêts en zones LEG gérées par l'ONF, réparties pour être représentatives des différentes grandes régions écologiques de France hexagonale et de deux gradients écologiques que sont l'altitude et l'aridité – approche de type « gradsect » (Austin et Heyligers, 1989). Ce second échantillon aurait une utilité différente du précédent : il aurait vocation à être analysé séparément, et permettra d'assurer une bonne répartition des placettes sur les gradients d'altitude et d'aridité et sur le territoire hexagonal. Il serait constitué de 275 placettes permanentes, dont certaines seraient communes avec l'échantillon précédent. Il n'évoluerait pas dans le temps et les placettes seraient mesurées tous les 10 ans.

Nous proposons d'appliquer sur ces placettes les mêmes protocoles de relevés multi-taxinomiques que pour l'objectif 1, avec un complément d'informations relatives à la libre évolution (par exemple pour renseigner la durée depuis la dernière coupe d'exploitation et la surface de libre évolution ; cf. par exemple Paillet *et al.*, 2017 et Archaux et Paillet, 2017).

Les données multi-taxinomiques de ces deux échantillons des zones LEG seraient analysées au regard de celles des dispositifs cœur de l'objectif 1 hors zone LEG. Il sera important dans cette perspective d'envisager différentes pistes de questionnement, que nous avons regroupées en deux sous-objectifs :

– Sous-objectif 2.1 : comparer l'état et les tendances de biodiversité entre les forêts en libre évolution pérenne garantie (LEG) et le reste de la forêt française, en étant représentatif de chaque catégorie dans son ensemble. Une première analyse consiste simplement à comparer la différence de l'évolution temporelle de la biodiversité en zones LEG et hors zones LEG. Comme il existe aussi des forêts en libre évolution en dehors des zones LEG – qu'on appellera « en libre évolution non garantie » (LENG) – un deuxième type d'analyse vise la comparaison de l'évolution temporelle de la biodiversité en zones LEG avec celle observée dans différents types de hors LEG. Par exemple, cette comparaison peut concerner des classes d'intensité de gestion évaluée sur une durée donnée – contribuant par ailleurs à l'objectif 3 : par exemple, forêts non exploitées (ici LENG), forêts exploitées extensivement, forêts exploitées intensivement, évaluées sur une période de 50 ans. Elle peut aussi concerner la composition du paysage en zones LEG, ou encore la durée depuis la dernière exploitation. Ces comparaisons pourront être faites à partir d'analyses spatiales, de données de télédétection actuelles et passées, de données collectées auprès des propriétaires ou gestionnaires ou collectées sur le terrain grâce notamment aux suivis dendrométriques spatialisés sur les placettes permanentes. Toutes ces voies d'analyses contribuent à examiner plus précisément le lien entre biodiversité et différentes dimensions de naturalité anthropique (Gosselin *et al.*, 2021).
– Sous-objectif 2.2 : les forêts en zone LEG et hors zone LEG n'étant pas forcément sur des types stationnels équivalents, prendre en compte d'éventuels facteurs confondants de type stationnel ou spatiaux dans la comparaison entre zones LEG et hors LEG, de façon à réduire ces sources de biais. Cela pourra se faire soit directement dans l'analyse des données, soit en constituant des appariements par type de station entre placettes LEG et hors LEG des échantillons évoqués ci-dessus. À cet effet, à la manière de ce qui a été fait dans Gosselin *et al.* (2017), nous proposons de constituer un échantillon complémentaire. Celui-ci serait composé de placettes situées en zone LEG (issues des échantillons mentionnés ci-dessus) appariées sur des critères stationnels et spatiaux à des placettes en zone hors LEG.

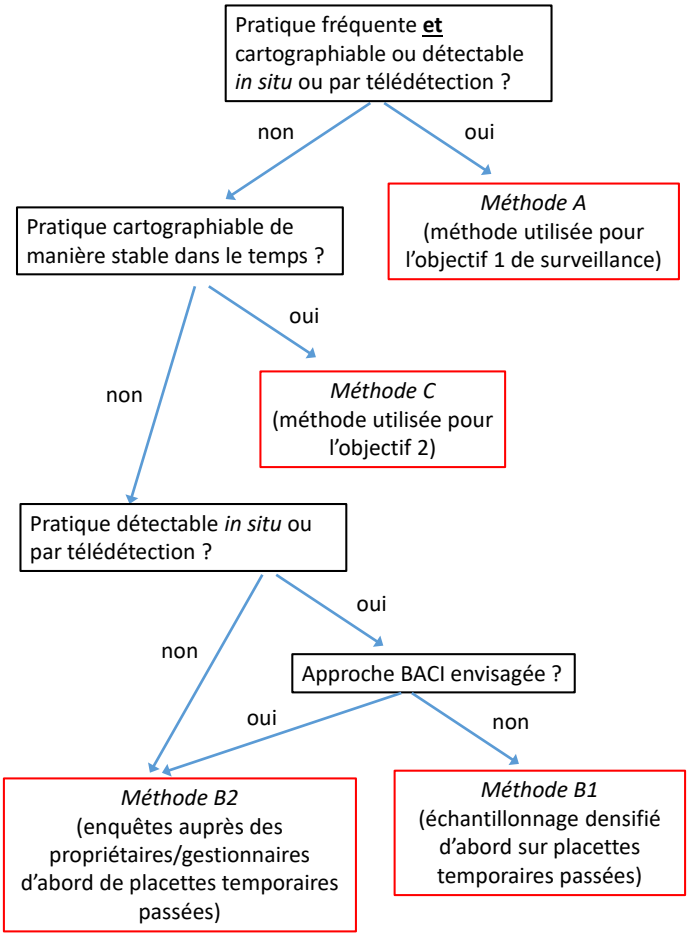
Celles-ci seraient recrutées prioritairement parmi les placettes permanentes de l'objectif 1, mais complémentées si besoin par de nouvelles placettes (100 au maximum). Cet échantillon complémentaire pourrait évoluer dans le temps si de nouvelles réserves étaient créées.

Ces différents niveaux d'analyse permettraient de créer différents types d'indicateurs, depuis de simples indicateurs d'états nous renseignant sur l'évolution des différences en termes de biodiversité entre zones LEG et zones hors LEG, à des indicateurs plus précis en termes de type de gestion dans la partie hors LEG – ce qui est légitimement attendu – et enfin à des indicateurs qui essaient d'estimer les mêmes quantités mais en enlevant l'effet de variables potentiellement confondantes car corrélées avec la libre évolution garantie ou avec l'intensité de la gestion, par exemple.

Assemblage de dispositifs pour l'objectif 3 de suivi ciblé de la biodiversité en forêt en lien avec des pratiques de gestion – méthode proposée

L'objectif 3 vise à suivre la biodiversité en forêt en lien avec des pratiques de gestion forestière. L'assemblage de dispositifs de suivis dépendra des pratiques concernées. Le travail sur les treize pratiques retenues pour l'objectif 3 nous a amené à proposer non pas un assemblage de dispositifs, mais une méthode pour y parvenir, avec des approches différentes selon que la pratique est cartogra-

Figure 3 | Logigramme des différentes méthodes envisagées pour constituer l'échantillon pour le suivi de la biodiversité en forêt en lien avec des pratiques de gestion (objectif 3), suivant les caractéristiques de ces pratiques.
La méthode A consiste à utiliser le suivi multi-taxon de surveillance (objectif 1), notamment la partie sur placettes permanentes – aucune autre placette n'est requise. La méthode C s'applique aux pratiques cartographiables de manière stable dans le temps (à l'horizon d'un siècle environ) – elle utilise les méthodes d'échantillonnage mises en place pour l'objectif 2. Les méthodes B1 et B2 sont propres à l'objectif 3, fondées respectivement sur la détection à distance des pratiques ou sur la détection de la pratique sur le terrain, sur les placettes temporaires actuelles et futures si cela est faisable (méthode B1), ou sur des enquêtes auprès de propriétaires/gestionnaires (méthode B2) sinon. Ces deux méthodes se déploient d'abord sur les placettes temporaires (soit du suivi multi-taxon de l'objectif 1, soit de l'IFN) pour profiter des informations passées déjà collectées. Cette approche permet une inférence plus rigoureuse.



phiable de manière stable dans le temps, selon sa fréquence, selon la possibilité de la détecter/mesurer sur le terrain ou par télédétection et selon qu'un suivi de type BACI (« *Before/After/Control/Intervention* », plus rigoureux pour l'inférence) est souhaité ou pas (cf. figure 3).

Dans le cas où la pratique est suffisamment fréquente et détectable *in situ* ou par télédétection, de sorte que plusieurs centaines des 2 000 placettes permanentes de l'échantillonnage multi-taxon de l'objectif 1 soient concernées par la pratique et plusieurs autres centaines ne le soient pas, nous proposons de commencer le suivi pour l'objectif 3 par le suivi multi-taxon de l'objectif 1 (méthode A) pendant une ou deux décennies pour ensuite examiner la précision des estimateurs obtenus et éventuellement adapter la méthode. Néanmoins, si, dans ce cas de figure, on souhaite pouvoir évaluer le lien entre la biodiversité et la pratique dans des contextes variés (par exemple suivant l'essence dominante, le type de milieu), il faudrait alors envisager d'emblée des méthodes d'intensification du plan d'échantillonnage dans ces contextes (voir les méthodes B1 ou B2).

Dans les autres cas de figure, si la pratique est cartographiable de manière stable dans le temps (mise en réserve, îlots de sénescence, zones hors sylviculture mais sans garantie sur la pérennité de ce statut, ancienneté de l'occupation forestière du sol ; cf. tableau 3), l'approche proposée (méthode C) est la même que celle déployée dans l'objectif 2 de suivi de la biodiversité en lien avec la libre évolution (cf. partie précédente). Pour ces pratiques, une approche BACI semble plus difficile à envisager, dans la mesure où le suivi sera souvent initié après la mise en place de la pratique et qu'il sera difficile de coordonner très en amont la planification de la pratique et celle du suivi.

Si la pratique n'est pas cartographiable mais est mesurable *in situ* ou par télédétection, deux approches d'intensification d'échantillonnage sont envisageables (méthode B1) :

- Dans le cas des pratiques quantifiables par télédétection, en bâtissant un plan d'échantillonnage sur la base de points tirés au sort en amont pour chaque maille de 1 × 1 km, et en vérifiant de manière récurrente si la pratique est détectée sur ces points ; c'est somme toute une méthode qui ressemble à celle de l'objectif 2, avec la différence que la caractérisation de la pratique doit être refaite fréquemment et ne résulte pas d'une information planifiée, connue et cartographique.
- Dans le cas où la pratique est mesurable uniquement sur le terrain, nous proposons de tirer profit des placettes temporaires actuelles et à venir – soit celles des suivis multi-taxon de l'objectif 1, soit celles de l'IFN – pour progressivement constituer un plan d'échantillonnage autour de cette pratique : si certaines de ces placettes font l'objet de la pratique, elles seront converties en placettes permanentes supplémentaires. Cette détection pourra nécessiter des protocoles plus précis – probablement à appliquer non pas sur tous les points, mais dans des conditions où la pratique pourrait avoir lieu pourvu que cette conditionnalité ne pose pas de problème de représentativité. Il faudra que ces protocoles restent de l'ordre du raisonnable, faute de quoi la pratique ne devra pas être considérée comme mesurable sur le terrain.

La méthode B1 permet d'intensifier l'échantillonnage tout en gardant de bonnes propriétés de représentativité de l'échantillon par rapport à la situation de la pratique dans la forêt française hexagonale. En revanche, elle ne permet pas forcément d'accéder à l'information sur la date de mise en place de la pratique ou de mettre en place un suivi de type BACI.

Dans les cas où l'intensification représentative (méthode B1) n'est pas faisable ou pas souhaitable, nous proposons de sortir de cette représentativité en contactant les propriétaires ou gestionnaires de certaines placettes pour intensifier l'échantillon (méthode B2). Cette méthode ne garantit par la représentativité des placettes suivies à l'échelle hexagonale.

Pour garder le travail à une échelle raisonnable et profiter d'une information préalable disponible, nous proposons de le faire pour les gestionnaires et propriétaires des placettes temporaires du suivi multi-taxon de surveillance (objectif 1) ou de l'IFN mesurées depuis relativement peu de temps – mais pas sur les placettes permanentes de l'objectif 1, pour éviter de susciter des changements de gestion à la suite de ce contact. Le laps de temps pourra être adapté à la pratique suivie et concerner, par exemple, les placettes qui ont été mesurées dans les dix ou vingt dernières années. Il s'agirait ensuite de contacter les gestionnaires/propriétaires de manière périodique – par exemple tous les dix ans, pendant vingt ans (juste après le passage, dix ans après et vingt ans après) – afin d'obtenir des informations de gestion sur des placettes déjà visitées et pour lesquelles il n'était initialement pas prévu de revisite. Il faudra dans tous les cas construire un questionnaire standardisé, avec des définitions claires, uniformes, simples et illustrées des termes employés (afin d'éviter qu'un même terme soit interprété différemment selon les personnes enquêtées). Il faudra éventuellement contacter plusieurs personnes par placette (si l'emprise de ce que l'on cherche à mesurer concerne plusieurs propriétaires, par exemple). Lorsque le retour d'enquête révèle des pratiques d'intérêt (passées ou prévues dans le futur), un suivi multi-taxon pourrait être implémenté sur les points concernés – après vérification sur le terrain, si possible, de la véracité des dires des enquêtés. Ces suivis constitueraient un échantillon complémentaire pour la pratique concernée, clairement identifié et séparé des autres suivis dans les ana-

lyses. Il faudra en parallèle poursuivre le contact après la réactivation de la placette avec les gestionnaires/propriétaires concernés pour récolter l'information sur les pratiques effectuées.

Si l'approche précédente ne permet pas de constituer d'échantillonnage satisfaisant ou se révèle trop difficile à mettre en œuvre, une seconde option est de diffuser l'enquête au sein de réseaux de propriétaires ou de gestionnaires déjà constitués, puis d'implémenter des placettes chez les volontaires. Cette approche ne garantit pas non plus d'être représentative, car elle est potentiellement biaisée par l'échantillon initial des membres du réseau et par le profil des volontaires, et ne profitera pas des informations passées d'ex-placettes temporaires.

Comme pour les suivis associés à l'objectif 2, deux sous-objectifs associés aux pratiques orienteront la constitution de l'échantillon et la manière d'analyser les données :

- Le sous-objectif 3.1 vise à comparer l'état et les tendances de la biodiversité en fonction des différentes modalités de mise en œuvre d'une pratique (modalités discrètes ou continues, le long d'un gradient). Ce sous-objectif vise à produire un suivi de fond de la biodiversité en lien avec la pratique. Par exemple, dans le cas des coupes de régénération, différentes modalités pourront être comparées : coupes rases, coupes uniques, coupes directes définitives sur semis acquis, coupes progressives de régénération et régénération par plantation sous abri (cf. partie 4.2 de Gosselin *et al.*, 2025).
- Le sous-objectif 3.2 vise à prendre en compte d'éventuels facteurs confondants de type stationnel ou spatiaux dans la comparaison entre pratiques de gestion. Il peut être appréhendé de différentes façons : d'abord dans les analyses statistiques ; ensuite en appariant des placettes de pratiques différentes mais avec des niveaux de facteurs confondants similaires – l'analyse n'utilisera donc pas forcément tous les points – et enfin en construisant un échantillon complémentaire dédié à cette question[7].

Comme dans l'objectif 2, certaines placettes permanentes de l'objectif 1 peuvent être utilisées comme témoin si l'absence de la pratique est avérée et sert de référence pour la comparaison.

Ces sous-objectifs proposent des stratégies pour répondre aux questions posées, avec différents degrés de représentativité et de contrôle sur des facteurs confondants. Si on utilise les méthodes A, B1 ou C pour constituer le plan d'échantillonnage, le sous-objectif 3.1 permet en théorie de suivre l'évolution de la biodiversité dans les parcelles concernées par ces pratiques, de manière représentative à l'échelle de la France hexagonale, mais rend périlleuse une comparaison avec d'autres pratiques. Les contraintes intégrées au sous-objectif 3.2 – notamment son échantillon complémentaire – entraîneront une perte de représentativité de l'échantillon en matière de pratiques, mais un gain en comparabilité avec les parcelles concernées par d'autres pratiques.

Quelle que soit la méthode retenue pour construire l'échantillonnage, les protocoles du suivi multi-taxinomique de surveillance (de l'objectif 1) devront être utilisés et éventuellement complétés, pour bien caractériser la pratique à partir de relevés de terrain (si c'est une pratique qui se prête à une mesure sur le terrain avec un protocole relativement simple à mettre en place).

Le tableau 3 associe à chacune des pratiques d'intérêt identifiées une méthode adéquate de constitution de l'échantillon pour l'objectif 3. Comme pour l'objectif 1, cette ventilation ne doit pas être considérée comme figée, mais doit pouvoir s'adapter – de même que l'intensité d'échantillonnage de chaque méthode – au niveau souhaité de précision statistique attendue pour la relation entre tendances de biodiversité et pratiques de gestion. Le niveau de précision recherché dépend des objectifs définis, et pourra varier au cours du temps avec les enjeux autour des pratiques. La précision dépend de multiples facteurs, dont la précision de la mesure unitaire de biodiversité, le niveau des variations spatiale, temporelle et écologique de la dynamique de biodiversité et les niveaux d'autocorrélation spatiale et temporelle de ces variations. Ces paramètres – qui varient suivant les compartiments de biodiversité et suivant les métriques de biodiversité – ne seront pas immédiatement accessibles : il faudra vérifier, au fur et à mesure du suivi, que l'approche choisie permette d'atteindre la précision statistique souhaitée et si nécessaire changer de méthode (soit en réduisant l'intensité de l'échantillonnage si la précision est supérieure à ce qui était souhaité, soit en l'intensifiant dans le cas contraire, soit en changeant de méthode).

Nous avons appliqué cette méthode dans Gosselin *et al.* (2025), sur un groupe de pratiques mises en œuvre de façon concomitante : coupe de régénération régulière – changement d'essence durant la régénération – mode de régénération. Il nous a semblé prioritaire de présenter la méthode de manière générique plutôt que le cas particulier de ces pratiques. Nous renvoyons le lecteur à ce rapport s'il souhaite consulter la proposition d'assemblage produite dans ce cas particulier.

7 Dans cet échantillon complémentaire, des contraintes spatiales seront ajoutées aux contraintes stationnelles, afin que les points appariés partagent un même contexte local, à la fois en termes de cortège d'espèces (réservoir d'espèces potentielles), et éventuellement aussi en termes de contexte stationnel non mesuré et qui aurait une autocorrélation spatiale forte à l'échelle de l'appariement local.

Tableau 3 | Ventilation des treize pratiques identifiées comme d'intérêt suivant les méthodes de constitution d'échantillon proposées. La méthode d'échantillonnage est susceptible de changer au cours du temps suivant la fréquence de la pratique, la précision souhaitée de l'estimation du lien avec la biodiversité, ou la précision ou non du contexte de cette estimation (par exemple : souhaite-t-on un rendu par essence dominante, région, type de station... ?). Le lecteur intéressé par les arguments étayant ce tableau peut se référer à la partie 4.1.9 de Gosselin *et al.* (2025).

Méthode	Pratique étudiée
A	Coupes d'éclaircie
	Mélange d'essences
	Mode de traitement sylvicole
	Maintien de rémanents
	Maintien d'arbres habitats, de vieux arbres, de gros bois morts
B1 et/ou B2	Maintien de souches
	Changement d'essence dominante
	Mode de régénération
	Gestion différenciée des zones humides en forêt
B2	Remise en exploitation forestière
C	Mise en réserves (de différents types)
	Îlots de sénescence (en forêt publique)
	Zones hors sylviculture (en forêt publique)
	Ancienneté de l'occupation forestière du sol

SYNTHÈSE, ENSEIGNEMENTS ET PERSPECTIVES

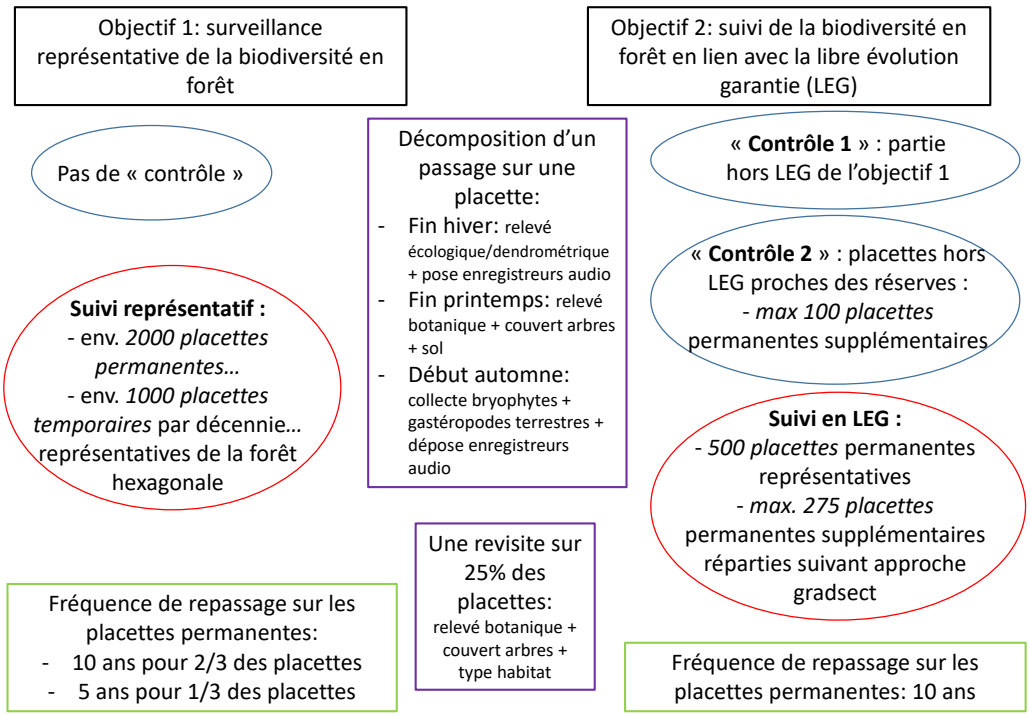
Synthèse

Nous résumons sous forme graphique nos propositions de suivi multi-taxinomique de la biodiversité en forêt : d'une part, la figure 3 illustre la méthode pour élaborer un suivi de la biodiversité en lien avec des pratiques de gestion (objectif 3) ; d'autre part la figure 4 illustre les propositions formulées pour les objectifs 1 et 2.

Nous n'avons pas pu chiffrer ces différentes propositions précisément. Ce serait l'un des objectifs d'un projet PASSIFOR3 (voir plus loin). Nous pouvons néanmoins estimer un ordre de grandeur du coût du suivi multi-taxinomique de l'objectif 1 et des fonctions d'analyse et de coordination inter-dispositifs comme suit : environ 382 placettes devraient être suivies par an avec trois passages sur chacune, ainsi qu'une revisite sur 25 % de ces placettes dont nous estimons que la durée de passage et le nombre de personnes serait proche de celle d'un premier passage de l'IFN. Comme le premier passage multi-taxon serait presque exactement le passage pour l'IFN, nous comptons en coût supplémentaire 2,25 × 382 passages à faire par an soit 860. Ce chiffre est à mettre au regard des 7 800 premières visites et 6 100 secondes visites effectuées par l'IGN en 2023. De manière très grossière, étant donné qu'il y aurait des coûts de déplacement par placette et d'environnement probablement plus forts pour le suivi de la biodiversité (frais de matériel et de laboratoire, frais d'analyse de données, gouvernance inter-dispositifs), nous estimons que le coût supplémentaire du suivi de la biodiversité pour l'objectif 1 serait un dixième de celui de l'IFN, soit d'après les chiffres que nous connaissons environ 8 millions d'euros par an. Pour l'objectif 2 il faudrait ajouter environ un tiers de cela (maximum 3,25 × 88, soit 286 passages sur des placettes à mesurer par an), pour arriver à un budget total pour les objectifs 1 et 2 estimé grossièrement à un peu moins de 11 millions d'euros par an. Cette estimation est très préliminaire et ne fournit qu'un ordre de grandeur.

Figure 4 | Schéma récapitulatif des propositions faites pour les suivis multi-taxons des objectifs 1 et 2.

Ces suivis seront complétés par les dispositifs déjà en place en cœur (cf. tableau 1) et complément du suivi. Ces propositions initiales demanderont à être adaptées au cours du temps en fonction de la précision des estimations produites. Pour l'objectif 3, nous n'avons pas produit de proposition d'assemblage aussi précise (notamment en termes de nombres de placettes) mais avons élaboré une méthode pour concevoir ce type d'assemblage (voir figure 3). Les nombres de placettes mentionnés sont valables en début de suivi et varieront au cours du temps en fonction de l'évolution de la surface forestière et de la création de zones de libre évolution garantie.



Nous insistons à nouveau sur le caractère adaptatif – et adaptable – de ces propositions, à plusieurs titres :

– La procédure de constitution de l'échantillonnage – fondée sur des points tirés au sort dans des mailles – adaptera automatiquement l'échantillon au cours du temps aux nouvelles forêts dans l'objectif 1 et aux nouvelles zones en LEG pour l'objectif 2 ;

– Les échantillonnages peuvent être intensifiés ou allégés en fonction du niveau de précision des estimateurs obtenu, ou des éventuelles demandes pour des résultats à l'échelle locale de territoires ;

– Comme les critères les plus structurants pour le choix de compartiments de biodiversité par analyse multicritère semblaient être des considérations pratiques ou financières, de nouveaux groupes pourraient éventuellement être ajoutés si des méthodes plus simples et moins coûteuses de relevés et identification voyaient le jour pour ces groupes.

Discussion et enseignements

Pour revenir aux différents types de suivis présentés au début de notre propos, nos propositions incluent à la fois des suivis de surveillance (objectif 1), des suivis ciblés permettant de répondre à des questions en éliminant les effets de certains facteurs confondants (sous-objectifs 2.2 et 3.2), et des suivis de type intermédiaire qui sont des suivis représentatifs de certaines conditions (sous-objectifs 2.1 et 3.1). Non seulement les différents types de suivis coexistent-ils dans notre proposition, mais ils sont aussi couplés : d'une part, l'échantillon de l'objectif 1 est utilisé pour la constitution des échantillons des objectifs 2 et 3 et sert de point de comparaison pour ces deux objectifs ; d'autre part, l'échantillon LEG de l'objectif 2 pourrait servir de référence dans divers indicateurs de biodiversité en forêt. Notre propos complète donc celui de Wintle *et al.* (2010) en faveur d'une réconciliation de ces deux types de suivis – de surveillance et ciblés – pour le cas de la biodiversité en forêt. Les suivis ciblés nous permettront de répondre aux questions qui se posent aujourd'hui aux pouvoirs publics ou aux gestionnaires (objectifs 2 et 3) tout en maintenant un niveau de suivi de surveillance (objectif 1) afin d'être à même de répondre à des questions aujourd'hui non formulées et d'apporter des éléments de comparaison pour les objectifs 2 et 3.

Les éléments ci-dessous caractérisent notre travail et en définissent aussi les limites :

– Il est important de réfléchir à la gouvernance des assemblages de dispositifs de suivis. Nous avons malheureu-

sement manqué d'experts académiques de ce domaine pour nous épauler ; c'est certainement un point à approfondir.

– Nous avons innové en appliquant une approche multicritère pour choisir les compartiments de biodiversité à suivre et en sollicitant de nombreux experts. La principale limite est que le choix des huit compartiments retenus dépend fortement de l'unique expert interrogé pour chaque compartiment. Pour mieux objectiver ce choix, il serait nécessaire soit de mobiliser plusieurs experts par compartiment, soit de développer une méthode permettant d'estimer et prendre en compte cet effet.

– Nous avons identifié des pistes intéressantes en termes statistiques :
  - Une procédure pour valider la fusion de données « protocolées » avec des données non protocolées, ouvrant la voie à une architecture d'assemblages de dispositifs qui distingue un « cœur », d'une part, et des compléments, d'autre part – et dont potentiellement des compléments riches en données mais aussi en biais d'observation, et dont il s'agira de vérifier qu'ils sont bien corrigés par le modèle de fusion de données.
  - La mise en place d'un simulateur statistique de suivis spatio-temporels de biodiversité prenant bien en compte les autocorrélations spatiales et temporelles de ces données.

– Afin d'étudier comment les pratiques de gestion affectent la biodiversité, nous avons mis en exergue treize pratiques mises en avant par les politiques publiques actuelles, travaillé les manières de les détecter ou de les mesurer et proposé différentes méthodes pour que le suivi puisse évaluer le lien entre les évolutions de biodiversité et ces pratiques. Nous avons appliqué cette démarche à trois pratiques (coupe de régénération, changement d'essence durant la coupe de régénération et méthode de régénération).

– Nos propositions d'assemblage de dispositifs de suivi sont plus abouties pour les objectifs 1 (surveillance) et 2 (lien entre biodiversité et libre évolution garantie) que pour l'objectif 3.

– Nous avons adapté à nos besoins la riche approche d'échantillonnage de l'IFN. Les tenants des statistiques par sondage trouveront probablement que nous l'avons déformée, en couplant le réseau RMQS avec celui de l'IFN. Nous espérions avoir davantage de dialogue entre différentes écoles statistiques dans ce projet et n'avons malheureusement pas pu aller aussi loin que prévu. C'est probablement un point à développer.

– Nous avons envisagé pour les objectifs 2 et 3 différents niveaux d'analyse – donc de productions d'indicateurs. Cela va d'estimations représentatives, à des estimations prenant en compte certains effets confondants (correspondant respectivement aux sous-objectifs 2.1 et 2.2 pour l'objectif 2, et 3.1 et 3.2 pour l'objectif 3). Les modes d'analyse et de rendus permettent ainsi de questionner le même objectif de différentes manières.

– Nous avons enfin rencontré une limite très classique des projets associant recherche scientifique et expertise : certains résultats produits et mobilisés par le projet ont évolué au moment de leur publication scientifique, comme ce fut le cas pour le choix des groupes d'espèces, créant un hiatus entre les conclusions du projet et celles de la publication scientifique.

Perspectives

En termes de perspectives, au-delà de la validation scientifique des résultats par des publications internationales, nous pensons qu'il serait pertinent de poursuivre le travail vers une troisième phase du projet (PASSIFOR3) plus proche des dispositifs et à indice TRL – « *Technology Readiness Level* » qui sert à évaluer le niveau de maturité d'une technologie – plus élevé. Ce projet serait animé par le GIP ECOFOR et par les responsables des dispositifs, avec probablement une place moindre de la recherche dans la gouvernance du projet. À cet égard, les signaux venant de la sphère politique seront importants pour donner de la légitimité et une motivation encore plus forte aux protagonistes. Un autre point d'attention sera le couplage avec le programme national de la surveillance de la biodiversité terrestre et un éventuel couplage avec des suivis hors forêt – la mécanique de constitution des échantillons pourrait de fait être étendue à d'autres milieux que la forêt, ce que nous n'avons pas développé ici. ■

ANNEXES

Les Annexes de cet article sont accessibles via le lien suivant : https://zenodo.org/records/16980580.

Remerciements

Ce projet n'aurait pas été possible sans le soutien financier du ministère en charge de l'écologie : convention n° 2102764575 entre le Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires (MTECT) et le Groupement d'intérêt public « Écosystème forestiers » (GIP Ecofor) pour PASSIFOR2 ; puis convention MTEBFMP (DGALN) / INRAE 2023-2024) ; nous le remercions donc vivement pour son appui. Nous remercions les contributeurs à certaines des tâches de PASSIFOR2 : Yann Dumas, Isabelle Bilger, Fabien Laroche, Marie Cluzel, Guillaume Body, Bastien Castagneyrol, Vincent Banos, Philippe Deuffic, Arnaud Sergent, Elodie Brahic , Jean-Luc Dupouey, Christophe Chauvin, Sylvie Durrieu, Marc Fuhr, Jean Mathieu Monnet, Hilaire Martin, Kevin Darras, Lucie Vincenot ; les stagiaires des deux projets : Marie Cluzel, Pierre Bouchet, Kreshnike Maloku, Noudéhouénou Houessou, Lucia Toly-Moboula , Ndongo Seye, El Hadji Cissé Faye, Guillaume Derringer et Youssouf Mahamat Mahamat ; la soixantaine d'experts taxinomiques pour le travail sur le choix des groupes, la quarantaine de responsables de dispositifs et les experts mobilisés pour le travail autour des sous-assemblages et des protocoles ; les responsables et chevilles ouvrières du projet Surveillance de la biodiversité terrestre pour les interactions ; les 40 participants du premier séminaire de PASSIFOR2, les 50 du second et les 80 du dernier, cet apport collectif d'expertise nous ayant été très précieux.

RÉFÉRENCES

Alberta Biodiversity Monitoring Institute. (2019). *ABMI 10-year Science and Program Review.*

Archaux, F., & Paillet, Y. (2017). Biodiversité et naturalité anthropique. *Rendez Vous Techniques (ONF)*, *56*, 40–43.

Austin, M. P., & Heyligers, P. C. (1989). Vegetation survey design for conservation gradsect sampling of forests in North-Eastern New South Wales. *Biological Conservation*, *50*, 13–32.

Bouchet, P. (2020). *Proposition d'une approche pour vérifier la cohérence entre données opportunistes et données protocolées pour mieux estimer l'état et la dynamique de la biodiversité* [, Université d'Orléans, Orléans]. RIS Import EndNote INRAE_Group1. https://hal.inrae.fr/hal-03077582

Bouget, C., Le Borgne, H., Chauveau, A., Archaux, F., Augot, D., Baltzinger, C., Barbaro, L., Barnagaud, J.Y., Braet, Y., Chevalier, R., Corriol, G., Decaens, T., Dumas, Y., Gadoum, S., Galkowski, C., Gillet, F., Gosselin, M., Hedde, M., Jactel, H., Lalanne, A., Langlois, E., Larrieu, L., Moreau, P.A., Petillon, J., Roy, M., Siblet, J.P., Trap, J., Vanvooren, N. *In Preparation*. Selecting indicator taxa for national monitoring of forest biodiversity using multi-criteria decision analysis. En cours d'édition.

Cordonnier, T., & Gosselin, F. (2009). La gestion forestière adaptative: intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion. *Revue Forestière Française*, *61*(2), 131–144. http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/28896

Coron, C., Calenge, C., Giraud, C., & Julliard, R. (2018). Bayesian estimation of species relative abundances and habitat preferences using opportunistic data. *Environmental and Ecological Statistics*, *25*(1), 71–93. https://doi.org/10.1007/s10651-018-0398-2

Debaive, N., Drapier, N., Gautier, G., Larrieu, L., & Bütler, R. (2021). Espaces protégés forestiers et libre évolution. *Revue Forestiere Francaise*, *73*(2-3), 339–365. https://doi.org/10.20870/revforfr.2021.5474

Dorioz, J., & Gosselin, F. (2022). *PASSIFOR-2 – Propositions d'Amélioration du Système de Suivi de la biodiversité FORestière, 2ème phase du projet.* Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires – GIP Ecofor. https://hal.inrae.fr/hal-05239206

European Commission. (2022). *Evaluation of the EU Biodiversity strategy to 2020* (COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT SWD(2022) 284 final).

Gosselin, F., Bouget, C., & Chauveau, A. (2025). *PASSIFOR2bis: Proposition d'Amélioration du Système de Suivi de la biodiversité FORrestière - Elaboration des maquettes en lien avec le réseau des RBI et avec la gestion forestière* (Convention MTEBFMP (DGALN)/INRAE 2023-2024). INRAE, UR EFNO. https://hal.inrae.fr/hal-05239309

Gosselin, F., & Dallari, R. (2007). *Des suivis «taxonomiques» de biodiversité en forêt. Pourquoi? Quoi? Comment?* Cemagref.

Gosselin, F., Génot, J. C., & Lachat, T. (2021). Libre évolution et naturalité en forêt : définitions et métriques associées. *Revue Forestière Française*, *73*(2-3), 115–136. https://doi.org/10.20870/revforfr.2021.5464

Gosselin, F., & Gosselin, M. (2008). Pour une amélioration des indicateurs et suivis de biodiversité forestière. *Ingénieries-EAT*, *55-56*, 113–120. http://cemadoc.cemagref.fr/exldoc/pub/2008/DG2008-PUB00026299.pdf

Gosselin, F., Gosselin, M., & Paillet, Y. (2012). Suivre l'état de la biodiversité forestière : pourquoi ? comment ? *Revue Forestière Française*, *64*(5), 683–700. https://hal.science/hal-00933870/file/no2012-pub00039542.pdf

Gosselin, F., Paillet, Y., Gosselin, M., Durrieu, S., Larrieu, L., Marell, A., Boulanger, V., Debaive, N., Archaux, F., Bouget, C., Gilg, O., Rocquencourt, A., Drapier, N., & Dauffy-Richard, E. (2017). Gestion, Naturalité et Biodiversité: présentation générale du projet de recherche et de son approche. *Rendez Vous Techniques (ONF)*, *56*, 20–32. https://www.onf.fr/+/13b::rendez-vous-techniques-de-lonf-no-56.html

Haughland, D. L., Hero, J. M., Schieck, J., Castley, J. G., Boutin, S., Sólymos, P., Lawson, B. E., Holloway, G., & Magnusson, W. E. (2010). Planning forwards: Biodiversity research and monitoring systems for better management. *Trends in Ecology and Evolution*, *25*(4), 199–200. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.11.005

Ipbes. (2018). *Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.* IPBES secretariat.

Ipbes. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.* IPBES secretariat. https://www.ipbes.net/system/tdf/ipbes_7_10_add.1_en_1.pdf?file=1&type=node&id=35329

Landmann, G., & Gosselin, F. (2015). *PASSIFOR - Propositions d'Amélioration du Système de Suivi de la biodiversité FORes-*

tière (Convention E30/2012). Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor.

Le Borgne, H., & Bouget, C. (2023a). Acoustic biodiversity monitoring: perspectives and challenges in continental terrestrial environments. *Naturae*, *2023*, 129–150. https://doi.org/10.5852/naturae2023a8

Le Borgne, H., & Bouget, C. (2023b). Biodiversity monitoring with automatic species recognition based on photographs: perspectives and challenges. *Naturae*, *2023*, 75–96. https://doi.org/10.5852/naturae2023a6

Le Borgne, H., & Bouget, C. (2024). Biodiversity and species monitoring with species recognition based on DNA: perspectives and challenges in continental terrestrial environments. *Naturae*, *2024*, 31–67. https://doi.org/10.5852/naturae2024a3

Levrel, H., Loïs, G., & Couvet, D. (2007). Indicateurs de biodiversité pour les forêts françaises. état des lieux et perspectives. *Revue Forestière Française*, *59*(1), 45–56. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/2042/8482/1/45_56_LEVREL_OK.pdf

Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2010). Improving ecological monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, *25*(4), 200–201. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.11.006

Nichols, J. D., & Williams, B. K. (2006). Monitoring for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, *21*(12), 668–673. https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.08.007

Paillet, Y., Gosselin, M., & Gosselin, F. (2017). Quelles variables pour analyser la réponse de la biodiversité à la mise en réserve intégrale ? Une approche par naturalité(s). *Rendez Vous Techniques (ONF)*, *56*, 33–39. https://www.onf.fr/+/13b::rendez-vous-techniques-de-lonf-no-56.html

Rhodes, J. R., & Jonzén, N. (2011). Monitoring temporal trends in spatially structured populations: how should sampling effort be allocated between space and time? *Ecography*, *34*, 1040–1048. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.06370.x

Règlement (UE) 2024/1991 du Parlement européen et du Conseil du 24 juin 2024 relatif à la restauration de la nature et modifiant le règlement (UE) 2022/869 (2024).

Vos, P., Meelis, E., & Keurs, W. J. ter (2000). A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*, *61*(3), 317–344. http://springerlink.metapress.com/content/t6w8v14241572236/fulltext.pdf

Wintle, B. A., Runge, M. C., & Bekessy, S. A. (2010). Allocating monitoring effort in the face of unknown unknowns. *Ecology Letters*, *13*(11), 1325–1337. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01514.x

Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, *16*(8), 446–453. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02205-4



THE COOKING PASSPORT

A unique collection of recipes with a pinch of food science and sustainability



2021
226 pages
ISBN 978-2-493139-00-9

24,00 € TTC

The Cooking Passport, ouvrage entièrement en langue anglaise, est un livre de recettes du monde unique en son genre ! Créé de toutes pièces (recettes, photos, textes, mise en page) par les étudiants du Master Erasmus Mundus FIPDes (Food Innovation and Product Design) à l'occasion du 10e anniversaire de la formation, ce livre de cuisine dévoile des recettes de plus de 60 pays qui représentent les nationalités des étudiants du Master depuis 2011 dans un esprit gourmand, aventureux et curieux.

Dans son introduction, l'ouvrage parle de la genèse de ce projet unique et retrace la trajectoire de cette formation d'excellence cohabilitée par quatre universités européennes.

Chaque recette est agrémentée d'un paragraphe qui aborde la science et la durabilité car la communauté FIPDes (étudiants et personnels) est passionnée par les aliments, de la molécule à l'expérience sensorielle finale !

Ouvrages édités et diffusés par : AgroParisTech - Service éditions
14 rue Girardet - CS 14216 - F-54042 NANCY Cedex

Renseignements et commandes auprès de Laurence Genevois-Corgiolu
Tél. : 03 83 39 68 23. Mél. : laurence.genevois@agroparistech.fr