

➤ **BIOFORDIV**

**Diversité taxonomique, fonctionnelle et  
phylogénétique des biocénoses forestières  
le long d'un gradient de naturalité**

**Métaprogramme BIOSEFAIR**

**Bilan de projet : 2021 - 2024**

janvier 2026



Le projet BIOFORDIV vise l'analyse de la réponse de la biodiversité forestière à l'historique de gestion sylvicole et au gradient de naturalité des sapinières autochtones anciennes, en mobilisant une approche multi-taxonomique et pluridisciplinaire. Il s'inscrit dans un contexte de forte attente sociétale et opérationnelle concernant la gestion durable des forêts et la conservation de la biodiversité, en particulier dans les massifs montagnards soumis à des héritages d'exploitation contrastés.

Les travaux ont été menés dans deux massifs des Pyrénées, le Canigou et le Burat, au sein de hêtraies-sapinières représentatives de trois catégories de forêts correspondant à un gradient d'anthropisation : (i) des forêts de production actuellement exploitées, (ii) des forêts anciennement exploitées mais laissées en libre évolution depuis au moins 50 ans, et (iii) des vieilles forêts présentant de très rares traces d'exploitation, remontant à plus de 100 ans. BIOFORDIV s'est appuyé sur l'étude de trois groupes indicateurs complémentaires (oiseaux forestiers, coléoptères saproxyliques et flore vasculaire) afin de caractériser la biodiversité sous différentes dimensions (taxonomique, fonctionnelle et phylogénétique) et d'en analyser les déterminants.

Les communautés biologiques et les composantes environnementales ont été caractérisées à l'aide d'inventaires standardisés, couplés à l'évaluation de méthodes innovantes de suivi de la biodiversité, telles que l'acoustique passive, l'analyse automatisée des données et les outils moléculaires basés sur l'ADN environnemental (ADNe). La comparaison avec les méthodes classiques a permis d'en tester la complémentarité, les performances et les limites opérationnelles.

Les résultats mettent en évidence des réponses différenciées des communautés biologiques à l'historique de gestion forestière. À l'échelle multi-taxonomique, la richesse spécifique apparaît principalement déterminée par le contexte propre à chaque massif, tandis que la composition des communautés, leur abondance et certaines dimensions de la diversité sont fortement influencées par le degré de naturalité et la maturité des peuplements. Chez les coléoptères saproxyliques (241 espèces recensées), la richesse spécifique varie peu selon la gestion, mais la composition des assemblages est nettement structurée par l'historique sylvicole, soulignant l'importance de la qualité et de la continuité des habitats plutôt que de la seule quantité de ressources. Les communautés d'oiseaux (24 espèces) montrent une dominance d'espèces généralistes, mais leur richesse, leur abondance et leur diversité phylogénétique augmentent avec la complexité structurale des peuplements et la densité de dendro-microhabitats, identifiés comme des éléments clés. La flore vasculaire (85 espèces) révèle une forte différenciation entre massifs et une influence marquée des conditions locales, tout en mettant en évidence une spécificité floristique associée aux vieilles forêts.

Les approches innovantes ont confirmé leur intérêt. L'acoustique passive, couplée à l'outil d'identification automatisée BirdNET, a montré des performances comparables aux points d'écoute standardisés. Les analyses par ADNe ont permis de détecter une part significative des espèces et genres d'insectes identifiés morphologiquement, ainsi que des espèces complémentaires aux approches classiques, et d'accéder à une diversité fongique jusque-là peu documentée.

Dans son ensemble, BIOFORDIV souligne l'importance d'intégrer des indicateurs qualitatifs de structure forestière, tels que les dendro-microhabitats et la continuité écologique, dans l'évaluation et la gestion des forêts. Le projet renforce ainsi les recommandations en faveur de pratiques sylvicoles visant à préserver ou enrichir ces éléments, y compris en forêt de production. Les résultats et limites identifiées ont directement conduit à la construction du projet SALUD (2025–2029), qui prolonge BIOFORDIV en élargissant le dispositif spatial, les taxons étudiés et en intégrant une approche « One Health », afin de renforcer la portée scientifique et opérationnelle des travaux

## Résultats détaillés

### Réponse des patrons de biodiversité à l'historique de gestion forestière

Les inventaires de biodiversité menés sur les massifs du Canigou et du Burat mettent en évidence des réponses différenciées des communautés biologiques à l'historique de gestion forestière et au contexte environnemental local. L'analyse conjointe des coléoptères saproxyliques, des oiseaux et de la flore vasculaire souligne un découplage récurrent entre la richesse spécifique et la structure des communautés, ainsi que l'importance des caractéristiques qualitatives des peuplements forestiers.

Les communautés de coléoptères saproxyliques recensées comptent 241 espèces pour un total de 4 568 individus. La richesse spécifique ne varie pas significativement selon l'historique de gestion sylvicole, indiquant que le nombre d'espèces présentes à l'échelle des peuplements est peu sensible aux pratiques de gestion récentes. En revanche, la diversité spécifique est fortement influencée par le contexte propre à chaque massif, probablement en lien avec des facteurs biogéographiques, environnementaux et l'histoire forestière à long terme. À l'inverse, la composition taxonomique et l'abondance des assemblages saproxyliques sont nettement structurées par l'historique de gestion, traduisant une réponse marquée des communautés au degré de naturalité et à la maturité des peuplements. L'absence de relation significative entre l'abondance des coléoptères, la quantité de bois mort et le nombre de dendro-microhabitats suggère que ces communautés dépendent moins de la quantité de ressources disponibles que de leur qualité, de leur diversité et de leur continuité spatio-temporelle.

Les communautés d'oiseaux forestiers recensées comptent 24 espèces et 384 individus. Une majorité d'espèces est commune aux deux massifs, reflétant une homogénéité régionale des assemblages aviaires, tandis que quelques espèces traduisent des spécificités locales. La composition spécifique apparaît peu sensible à l'historique de gestion forestière, suggérant une dominance d'espèces généralistes. En revanche, la richesse spécifique et l'abondance varient selon les massifs et sont positivement corrélées à la structure des peuplements et à la disponibilité en ressources, notamment les dendro-microhabitats, plus abondants dans les forêts anciennes et les vieilles forêts. La diversité phylogénétique des oiseaux augmente également avec la densité de dendro-microhabitats et la complexité de la végétation, alors qu'aucune relation n'est observée avec la quantité de bois mort ni avec les indices de diversité fonctionnelle. Cela suggère une forte redondance fonctionnelle, probablement héritée d'un filtrage anthropique plus ancien de ces communautés.

L'inventaire de la flore vasculaire a permis de recenser 85 espèces, avec une différenciation marquée entre les deux massifs, seuls 32 taxons étant communs. La richesse floristique varie fortement à l'échelle fine des sous-placettes et est significativement plus élevée au Burat qu'au Canigou, traduisant un effet massif prédominant. L'historique sylvicole n'exerce pas d'influence claire et généralisable sur la richesse spécifique, celle-ci étant principalement expliquée par l'ouverture du milieu et l'hétérogénéité locale des conditions environnementales. L'analyse de la composition floristique met toutefois en évidence un effet de la gestion, permettant de distinguer les forêts de production des vieilles forêts, les forêts anciennes occupant une position intermédiaire, et suggérant des sols plus riches et une dynamique accrue de la matière organique dans les peuplements les plus anciens. Cela souligne l'importance potentielle de conserver les vieilles forêts car elles peuvent héberger

une flore plus spécifique (nitrophile dans notre cas et certaines espèces sont typiques de ces forêts comme *Circaea alpina*)

### Comparaison de méthodes classiques d'inventaires avec des méthodes innovantes

Pour les oiseaux forestiers, nous avons évalué les performances de BirdNET pour l'identification automatique d'espèces à partir d'enregistrements audio réalisés *in situ*. Nous avons utilisé des enregistreurs acoustiques passifs de type Audiomoth afin de collecter des données acoustiques des communautés d'oiseaux présentes sur les sites du Canigou et de Burat. Un total de 1 512 heures d'enregistrements a été analysé, puis filtré afin de ne conserver que des échantillons présentant une qualité acoustique suffisante pour l'analyse avec BirdNET, un algorithme de reconnaissance automatique des vocalisations aviaires couvrant environ 6 000 espèces à l'échelle mondiale. Les performances de BirdNET pour caractériser la richesse spécifique aviaire ont été comparées à celles d'inventaires réalisés par points d'écoute *in situ* par un expert ornithologue. Tous sites et espèces confondus, BirdNET a détecté quatre espèces de moins que l'expert. Pour les espèces reconnues par les deux méthodes, le taux de concordance entre les détections BirdNET et les observations expertes s'est élevé à 67 %. Toutefois, à l'échelle de certains sites, BirdNET a permis de détecter la présence de trois espèces non observées lors des points d'écoute, mettant en évidence l'intérêt de l'acoustique passive pour l'estimation de la richesse spécifique, notamment grâce à l'augmentation de la couverture temporelle de l'échantillonnage.

Concernant les insectes, les résultats reposent sur la comparaison entre les identifications taxonomiques issues du métabarcoding (séquençage Illumina) réalisé à partir du solvant de piégeage et celles obtenues par expertise entomologique sur la morphologie. Les analyses montrent que 20,7 % des espèces et 28,7 % des genres identifiés morphologiquement ont également été détectés par l'ADN environnemental (ADNe), illustrant une concordance partielle mais significative entre les approches moléculaires et traditionnelles. Des prélèvements d'ADNe réalisés au sein de dendro-microhabitats et du terreau ont permis de détecter 31 espèces complémentaires appartenant à différents ordres d'insectes, non recensées par les autres méthodes. Par ailleurs, l'exploitation du solvant de piégeage et du terreau a offert un accès inédit à la diversité fongique associée aux habitats étudiés, avec l'identification de 206 espèces de champignons dans le solvant et de 145 genres dans le terreau. Ces résultats soulignent le fort potentiel des approches par ADNe pour caractériser de manière intégrative la biodiversité entomologique et fongique, tout en mettant en évidence leur complémentarité avec les méthodes d'inventaire classiques.

Dans l'ensemble, les résultats du projet montrent que la richesse spécifique, à l'échelle multi-taxonomique, est principalement déterminée par le contexte local des massifs, tandis que la composition des communautés, leur abondance et certaines dimensions de la diversité (fonctionnelle et phylogénétique) sont fortement influencées par l'historique de gestion et le degré de maturité forestière. Les conditions stationnelles et la structure des peuplements apparaissent ainsi comme des déterminants majeurs de la diversité des communautés étudiées, parfois plus importants que l'historique de gestion pris isolément. En particulier, les dendro-microhabitats ressortent comme des éléments structurants clés favorisant la diversité multi-taxonomique.

Le projet BIOFORDIV renforce ainsi les recommandations en faveur de pratiques de gestion forestière visant la préservation, voire l'enrichissement, en dendro-microhabitats dans les forêts de production, afin de maintenir des communautés comparables à celles observées dans les forêts peu ou non exploitées. Plus largement, ces résultats soulignent l'importance

d'intégrer des indicateurs qualitatifs de structure forestière, de naturalité et de continuité écologique pour mieux appréhender les effets de la gestion sylvicole sur la biodiversité et en faciliter la prise en compte par les gestionnaires et les décideurs publics.

### **Perspectives scientifiques.**

Malgré des performances statistiques globalement satisfaisantes des modèles développés, plusieurs limites méthodologiques et contextuelles invitent à une interprétation prudente des résultats et ouvrent des perspectives claires pour la poursuite du projet. La forte variabilité observée au sein des modalités, combinée au nombre limité de sous-placettes et de massifs étudiés, réduit la capacité à généraliser certaines relations statistiques mises en évidence, en particulier à l'échelle fine. Pour les insectes, les conditions climatiques défavorables survenues durant la période d'échantillonnage ont probablement affecté l'activité et la détectabilité des espèces, pouvant atténuer ou masquer certaines tendances écologiques. Plus largement, la variabilité intra- et inter-site demeure élevée, soulignant la nécessité d'élargir le dispositif spatial et temporel afin de confirmer la robustesse des résultats. La répliquabilité de ces tendances à une échelle géographique plus large, intégrant un plus grand nombre de massifs forestiers et de placettes, apparaît indispensable pour affiner les analyses et consolider les recommandations de gestion. La poursuite de BIOFORDIV dans ce cadre permettrait ainsi de lever ces contraintes, de mieux intégrer les effets des dynamiques historiques et des pressions anthropiques passées, et de renforcer la portée opérationnelle des résultats en matière de gestion durable des forêts et de conservation de la biodiversité.

Dans cette perspective, les enseignements issus de BIOFORDIV ont conduit à l'élaboration du projet SALUD (2025–2029), projet emblématique du métaprogramme Biosefair. Ce projet vise à approfondir et élargir les résultats obtenus en reconduisant les inventaires de biodiversité sur les trois taxons étudiés, tout en étendant le dispositif à six massifs forestiers à l'échelle nationale, des Vosges aux Pyrénées. SALUD ambitionne également d'explorer l'effet du gradient de naturalité sur la biodiversité de taxons supplémentaires, tels que les chauves-souris, les micromammifères et les ongulés. Enfin, le projet intègre un volet inédit dédié à la santé humaine, dans le cadre conceptuel « One Health », en s'intéressant notamment aux tiques et aux maladies vectorielles associées. Cette approche intégrative en prolongement direct des explorations permises par BIOFORDIV permettra de renforcer la portée scientifique et opérationnelle des travaux, en articulant biodiversité, fonctionnement des écosystèmes forestiers et enjeux de santé publique.