



**Figure 1. Dynamique de la distribution de la forêt et de sa limite supérieure pour la commune Valcebollère dans les Pyrénées.** A, Distribution de la forêt et estimation de sa limite supérieure (2179 m) sur la carte d'État-Major (1850) ; B, distribution de la forêt et estimation de sa limite supérieure (2223 m) sur la BD Forêt® v1 (1985) ; C, distribution de la forêt et estimation de sa limite supérieure (2278 m) sur la BD Forêt® v2 (2015).

## Reconstruire, comprendre et modéliser la dynamique des forêts subalpines pour favoriser la séquestration du carbone, la conservation de la biodiversité et la protection des infrastructures

Prénom, Nom du porteur : Cyrille Rathgeber, UMR Silva, INRAE Grand Est – Nancy

Partenaires Labex : Sandrine Chauchard, Noémie Delpouve, Jean-Luc Dupouey, Nathalie Leroy, Rémi Portal, Erwin Thirion (équipe EcoSilva, UMR Silva, INRAE Grand Est – Nancy)

Collaborations : Laurent Bergès (LESSEM, INRAE Grenoble)

Action thématique concernée : WP2

### Contexte —

La limite supérieure des arbres est une caractéristique majeure des paysages alpins, résultant de l'interaction de nombreux facteurs. Malgré un déterminisme complexe, l'expansion récente des limites des forêts subalpines est largement attribuée aux changements d'utilisation des terres et au réchauffement climatique. Des publications récentes suggèrent que cette expansion forestière a un impact important sur la biodiversité et les services écosystémiques en général.

### Objectifs —

Dans le projet SubForDyn, nous prévoyons de quantifier, comprendre et modéliser l'évolution des forêts subalpines françaises, depuis le minimum forestier de 1850 jusqu'à leur expansion maximale actuelle. Par ailleurs, nous voulons également quantifier les impacts écologiques de cette évolution afin de proposer des actions capables d'atténuer les conséquences négatives de ces changements (ex. perte de biodiversité), mais aussi de saisir les opportunités qu'ils représentent (ex. séquestration du carbone).

### Démarche —

Notre connaissance de la répartition des forêts françaises repose principalement sur trois sources distinctes (la carte d'État-Major, d'anciennes cartes IGN, et les BD forêt® versions 1 et 2) que nous comparons pour les régions de montagne (Alpes, Pyrénées). À partir de ces documents et d'un modèle numérique de terrain, nous évaluons la dynamique (expansion et densification) de la forêt subalpine (Figure 1). Cette dynamique est ensuite analysée à l'aide de données économiques, sociales, historiques et environnementales.

### **Résultats marquants —**

À ce stade intermédiaire de notre projet, nous avons déjà pu constater :

- Une élévation de plus de 150 m de la limite supérieure des forêts subalpines dans les Alpes et les Pyrénées depuis le minimum forestier de 1850 ;
- Une accélération de la progression de cette limite en altitude sur la période récente dans les Pyrénées mais un ralentissement dans les Alpes du nord ;
- Une fermeture (densification) des forêts subalpines à la limite supérieure ;
- Une perte de richesse spécifique de la flore vasculaire en forêt subalpine par rapport aux pelouses alpines.

### **Principales conclusions incluant des points-clés de discussion —**

Nos observations montrent que, dans les Alpes comme dans les Pyrénées, l'élévation de la limite supérieure de la forêt s'inscrit dans un contexte historique de déprise rurale qui a conduit à une expansion générale de la forêt. De plus, cette expansion s'accompagne d'une densification des forêts subalpines, c'est-à-dire une maturation des forêts ouvertes en forêts fermées. Le réchauffement climatique s'est ajouté à ce contexte historique pour accélérer la remontée de la forêt en altitude au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Mais alors que la remontée forestière s'accélère actuellement dans les Pyrénées, elle ralentit fortement, voire s'inverse dans les Alpes du nord en raison d'une forte pression anthropique (pâturage et stations de skis). La remontée forestière s'accompagne potentiellement d'une augmentation de la séquestration de carbone, et d'une perte de la biodiversité floristique. Nous avons pu cependant mettre en évidence que la flore alpine pouvait persister plusieurs décennies dans la forêt subalpine, ce qui ouvre des perspectives pour la conservation des espèces.

### **Perspectives —**

Ce projet fournira des résultats essentiels sur la dynamique de la limite supérieure de la forêt, qui est considérée comme un élément clé du paysage alpin, et un marqueur crucial du changement environnemental, mais qui résiste encore à notre compréhension. Ces résultats seront également utilisés pour comprendre l'influence des facteurs humains et environnementaux sur cette dynamique, puis pour prédire la position des zones sensibles où des actions spécifiques pourraient être envisagées, que ce soit pour la conservation de la biodiversité, la séquestration du carbone, ou le maintien de services écosystémiques.

### **Valorisation —**

À ce stade intermédiaire de notre projet, nous pouvons déjà lister les productions suivantes :

- 2 stages de M1, 1 stage de M2 (Rémi Portal), 1 thèse en cours (Noémie Delpouve) ;
- 1 poster présenté dans une conférence internationale (IMC2022) sur nos résultats dans les Pyrénées ;
- 2 présentations acceptées : EGU2024 (déterminants), World Biodiversity Forum 2024 (biodiversité) ;
- 1 prix de la deuxième meilleure présentation de thèse au forum de l'École Doctorale SIRENA en mars 2024 ;
- 3 manuscrits scientifiques en cours de rédaction : 1) accélération dans les Pyrénées ; 2) déterminants dans les Alpes ; 3) conséquence sur la biodiversité dans les Alpes.

### **Effet levier du projet —**

Grâce au financement du LabEx ARBRE obtenu pour ce projet, nous avons pu attirer un financement complémentaire du pôle A2F de l'Université de Lorraine pour recruter une doctorante et un étudiant de M2. L'étudiante en thèse nous a rejoint en novembre 2021, l'étudiant de M2 en mars 2023. Ce projet nous permet de consolider nos collaborations structurantes avec le LESSEM à Grenoble (Laurent Bergès) et le WSL à Davos (Noémie Delpouve a séjourné 3 mois à Davos dans le cadre d'un parcours EIR-A à l'aide de financements indépendants). Enfin le projet SubForDyn nous a permis de rédiger la tâche 4.1 du PC MONITOR du PEPR FORESTT (financements obtenus de 450 k€ sur 6-7 ans).