



Programme FRB-MTE-OFB
*Pressions anthropiques et impacts sur la
biodiversité terrestre*

Restitutions Juin 2026

Projet FRAGSHIFTS

Impacts de la fragmentation forestière et des infrastructures routières sur
la vitesse de migration des espèces végétales vers les sommets des
montagnes françaises

Axe Synergie

Jonathan LENOIR

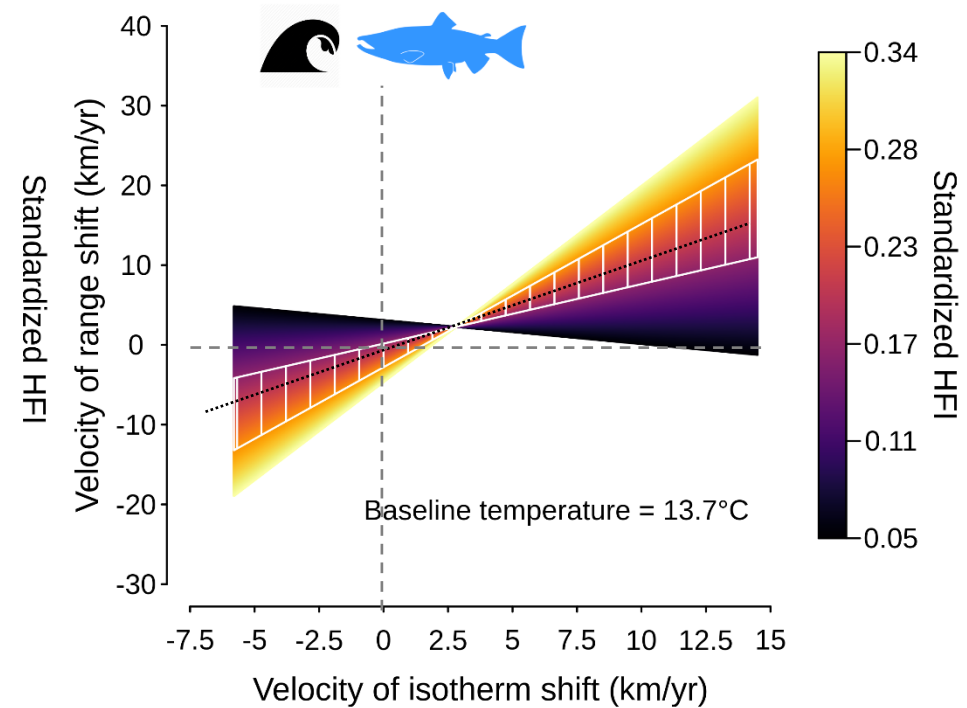
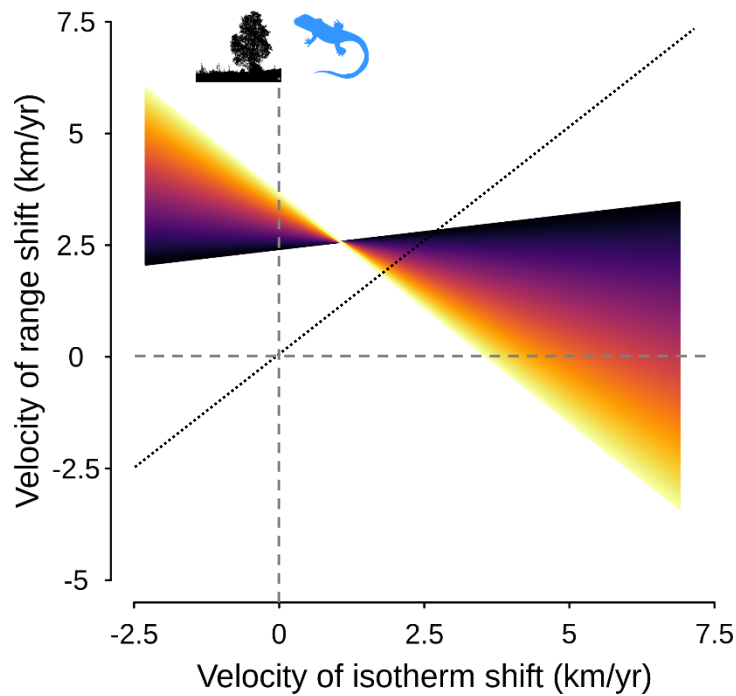
Chargé de Recherche Hors Classe
CNRS, UMR 7058 EDYSAN

Travaux réalisés avec la participation de :

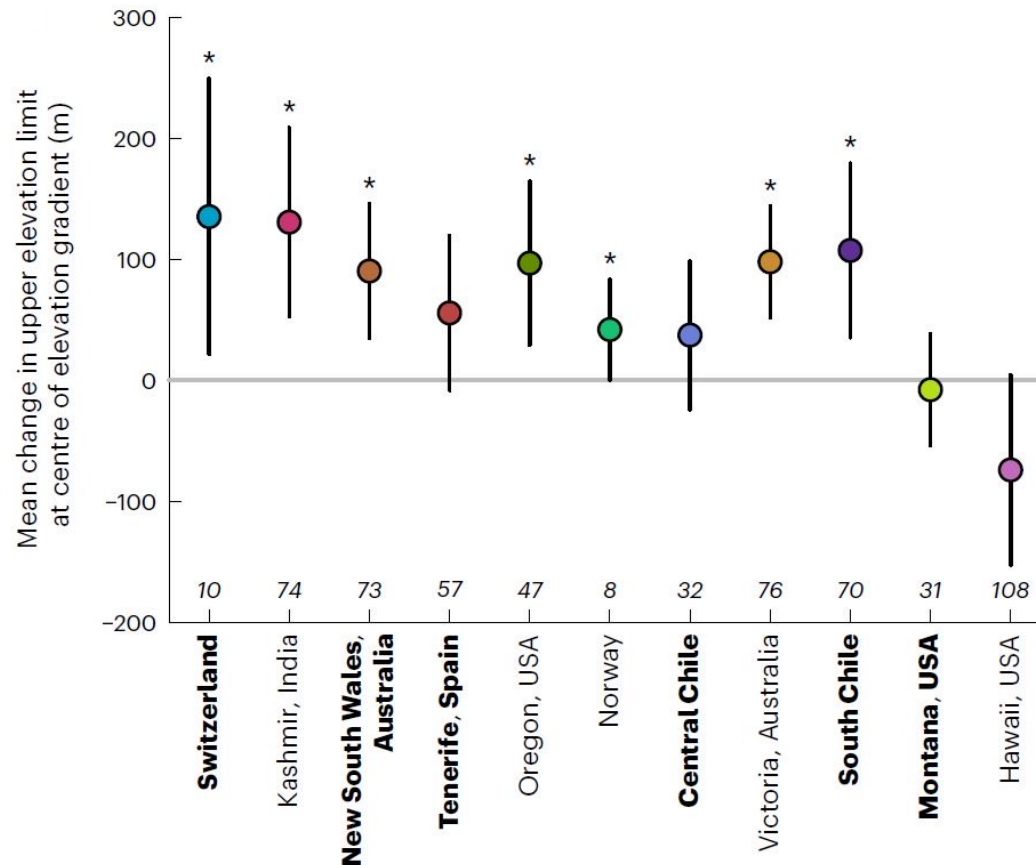
Sarah ORTH, Romain BERTRAND, Gaël GRENOUILLET, Marine DALMASSO & Lise COMTE



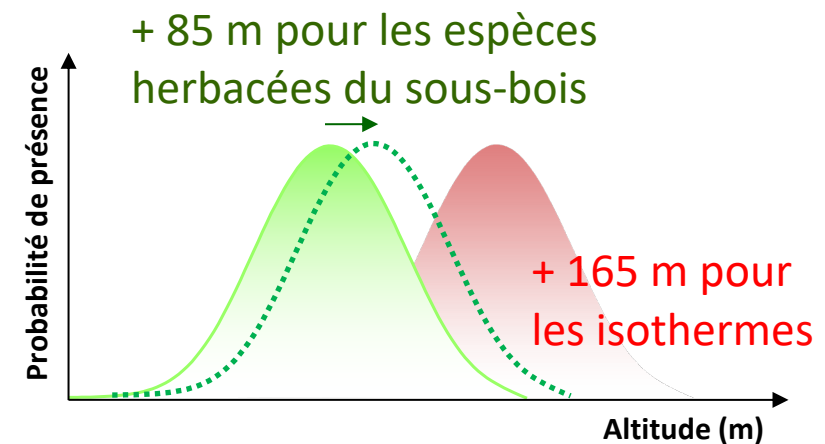
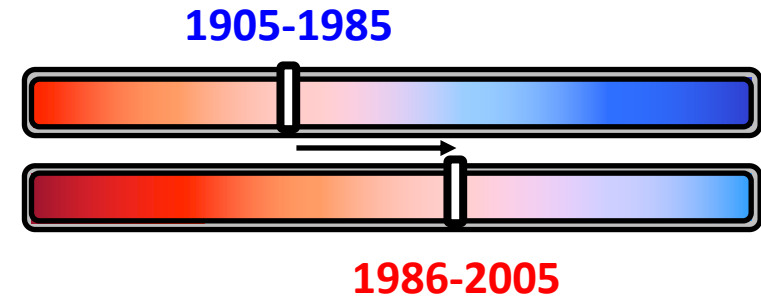
- La fragmentation des habitats en milieu terrestre, approchée par le « *Human Footprint Index* » (HFI), entrave la migration des espèces vers les pôles au point de renverser la direction des déplacements en réponse au réchauffement climatique (Lenoir et al. 2020)



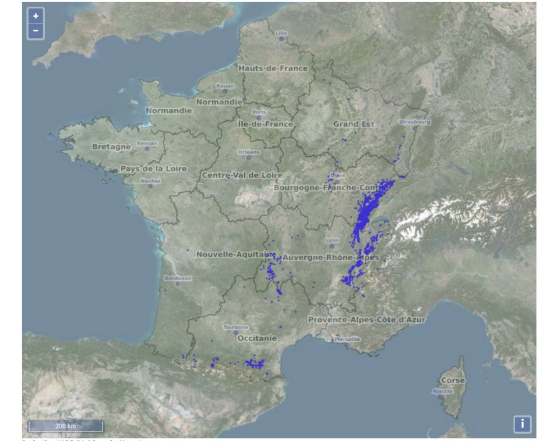
- En contexte de montagne, certaines infrastructures (les routes) favorisent la migration des espèces exotiques qui colonisent plus rapidement les hautes altitudes, le long des bords de routes, en réponse au réchauffement global (Iseli et al. 2023)



- En France, les espèces forestières herbacées de la sous-trame boisée ont migré de 85 m vers les hautes altitudes entre 1905-1985 et 1986-2005 (Lenoir et al. 2008)



- Mettre à jour les vitesses de migration en altitude des espèces végétales forestières en France à l'aide des données les plus récentes issues de l'Inventaire Géographique National (IGN) : ***Observe-t-on une accélération de la migration altitudinale sur les dernières décennies ?***
- Estimer les vitesses de migration séparément par grand massif pour tenir compte des spécificités de chaque massif : ***Les massifs de faibles altitudes (Vosges et Jura) présentent-ils des vitesses de migration moindre que dans les Alpes ?***
- Expliquer les vitesses de migration des espèces végétales forestières en fonction de traits d'histoire de vie et variables explicatives décrivant le degré de fragmentation spatial de l'habitat forestier : ***La densité du réseau routier en montagne est-elle une entrave ou un catalyseur de la migration des espèces végétales forestières ?***

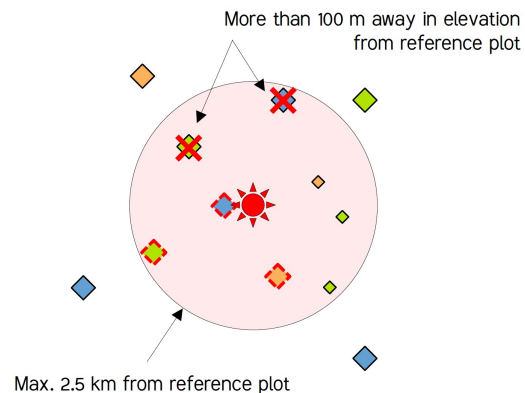
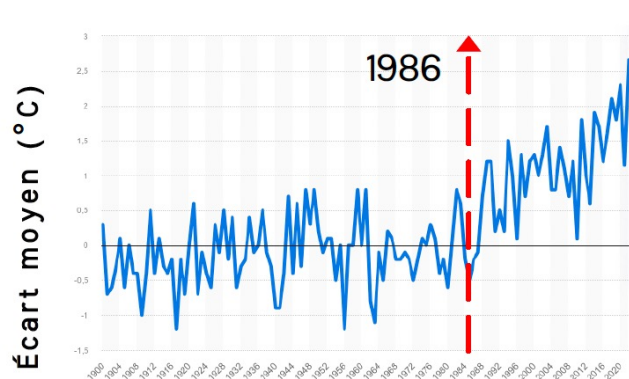
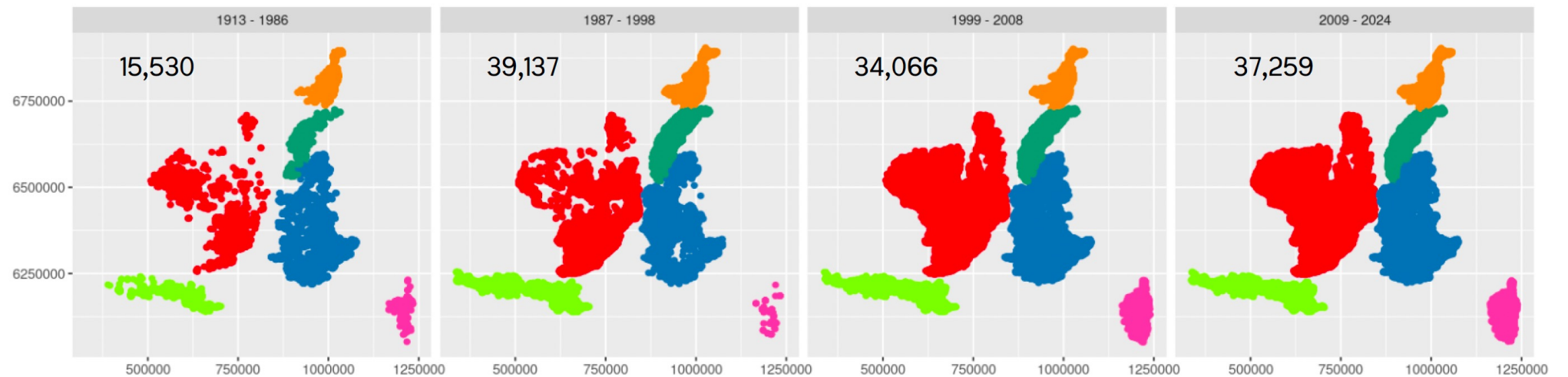







Éléments de la requête :
• Années 2005 - 2024
• Taxon de référence :
• Cardamine heptaphylla

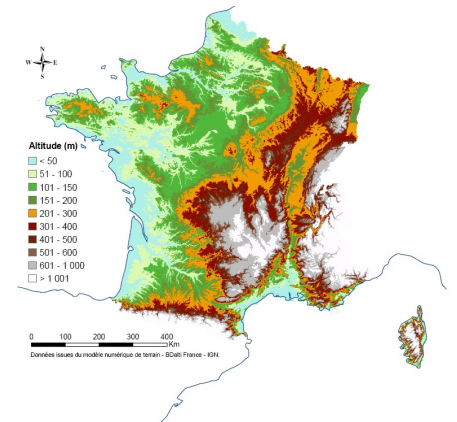


IGN
INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

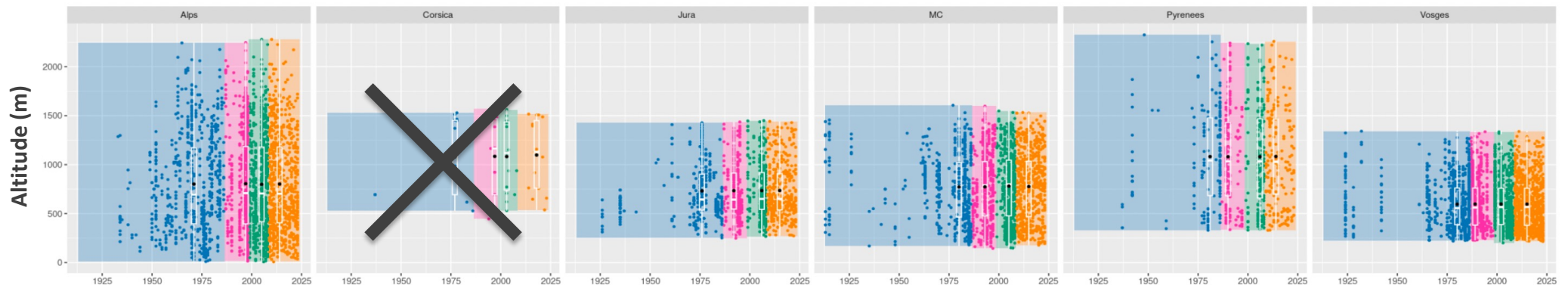
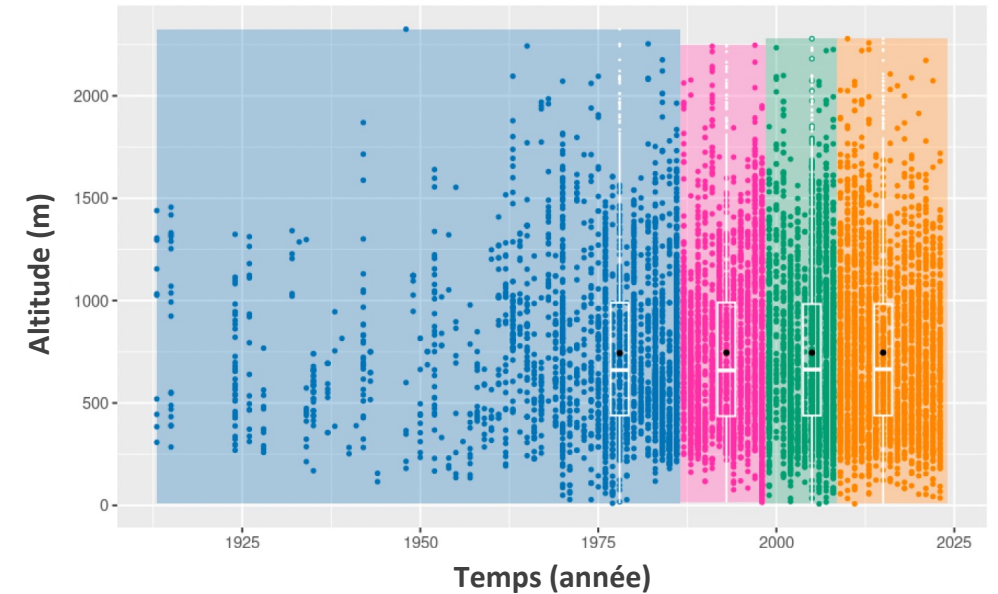
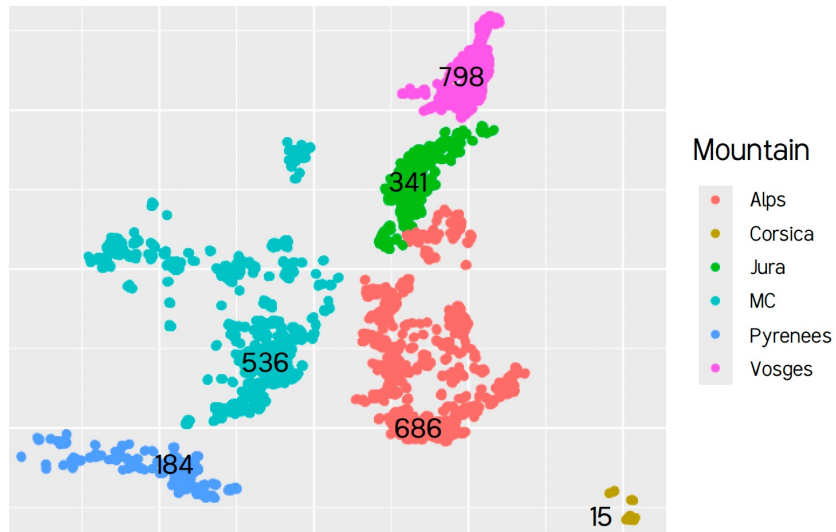
- Création de quadruplets de relevés floristiques appariés spatialement dans un rayon de 2500 m par rapport à un relevé issu de la période de référence (1913-1986) et avec un différentiel altitudinal inférieur à 100 m par rapport au relevé de référence



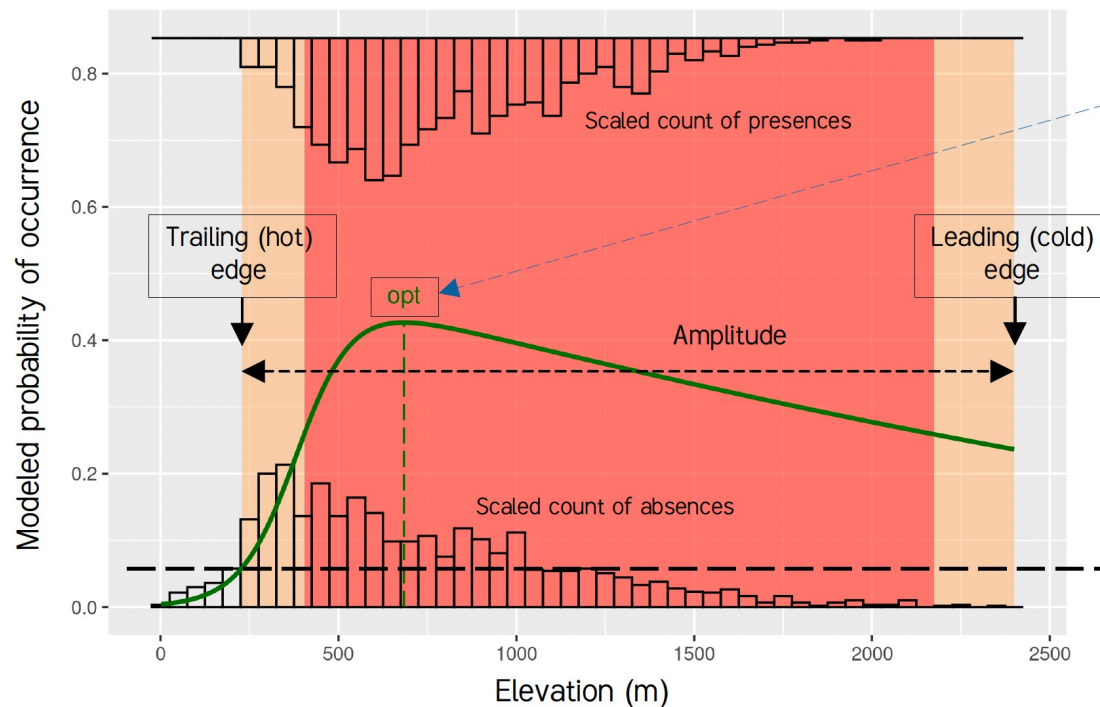
-  Reference plot: a plot from the reference period (1913 - 1986)
-  Plot from period 1987 - 1998
-  Plot from period 1999 - 2008
-  Plot from period 2009 - 2024
-  Plot from another period, paired to the reference plot because closest among its period in terms of elevation



- Au total, la procédure d'appariement spatial, a posteriori, a permis d'obtenir 10240 quadruplets de relevés floristiques, dont une majorité dans les Alpes (686 quadruplets)



- Modélisation de la distribution altitudinale de chaque espèce végétale au sein de chaque massif et pour chaque période séparément à l'aide des modèles de type HOF (Huisman-Olff-Fresco) basés sur les données de présences-absences
- Exemple du calcul des positions de la distribution altitudinale (marge chaude, optimum, marge froide) du sapin pectiné (*Abies alba*) pour la période 1913-1986



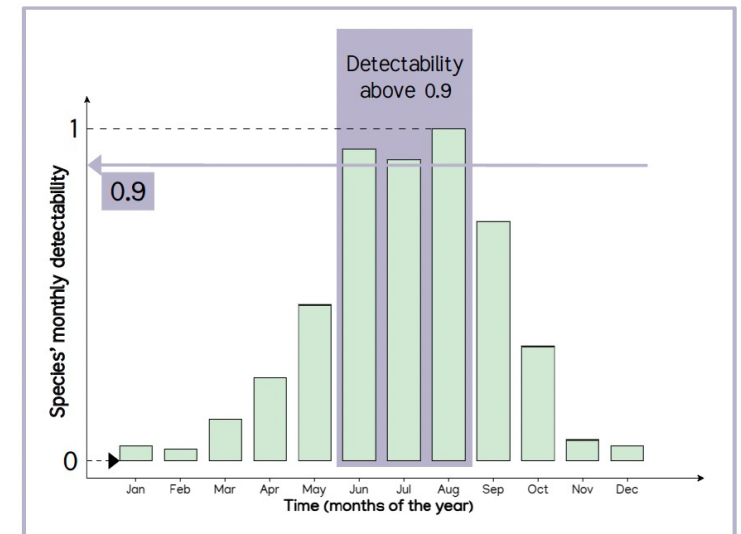
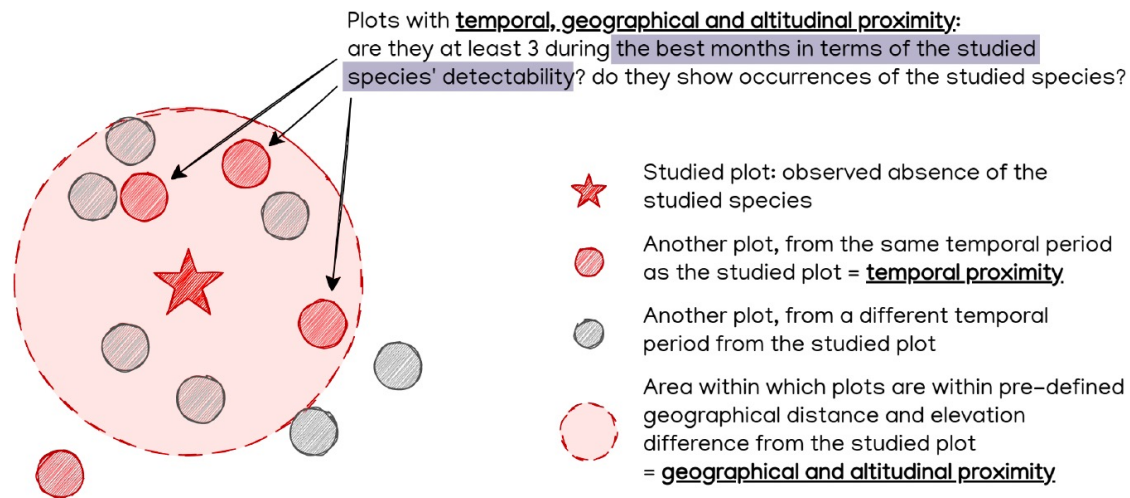
If at a sampling extremum, then probably badly estimated: we remove the species from the analyses



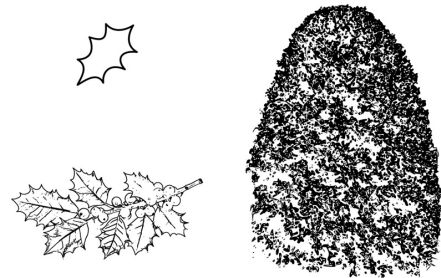
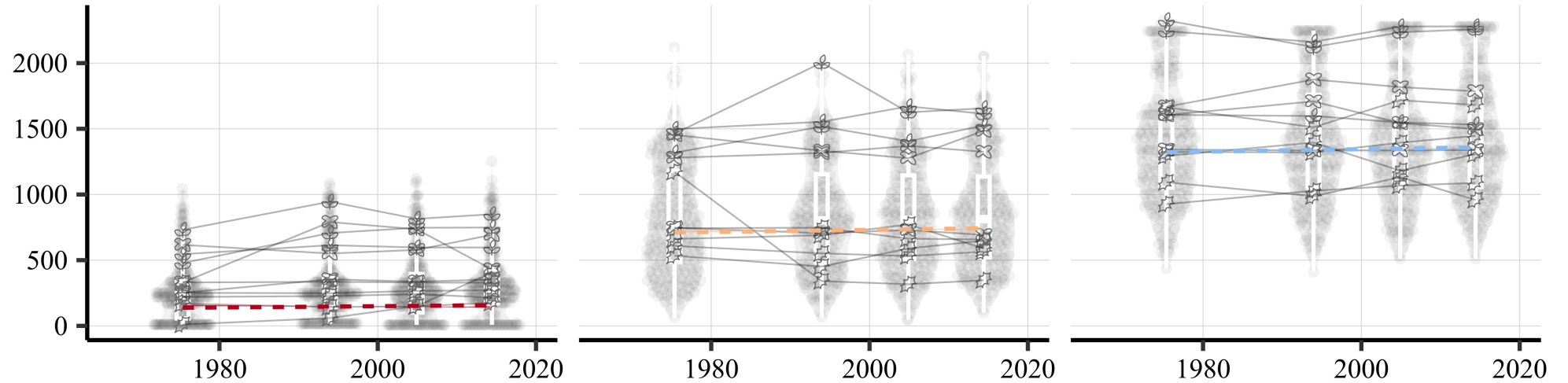
$Probability\ max * exp(-2)$:
Above = Outer Niche (Heegaard, 2002)
→ species elevation range



- PB : Les relevés floristiques de l'IGN sont réalisés toute l'année, même pendant les mois d'hiver, ce qui affecte la véracité des données d'absences issues des relevés réalisés en hiver (cf. fausses absences), hors saison de végétation, pour les espèces herbacées
- Pour pallier à cela, nous avons créé un système de pondération des absences de l'espèce cible au sein d'un relevé, suivant la date de l'inventaire mais également suivant que des relevés voisins, et issus de la même période, indiquent une absence (ou pas) de l'espèce cible pendant des mois de haute détectabilité de celle-ci, suivant sa phénologie



- Une espèce est suffisamment présente dans les 5 massifs : le houx (*Ilex aquifolium*)



Common holly (*Ilex aquifolium*)

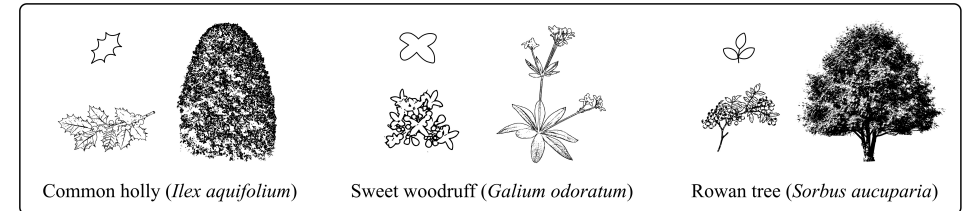
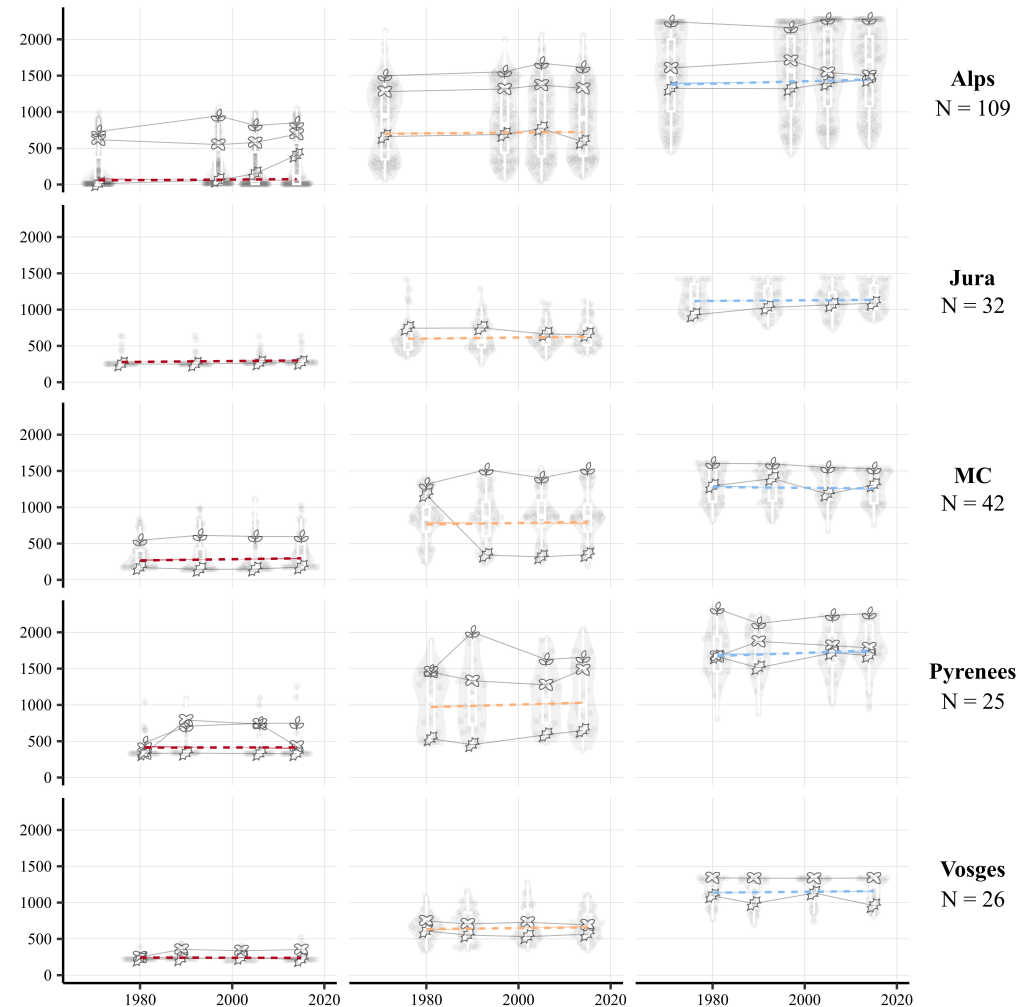


Sweet woodruff (*Galium odoratum*)

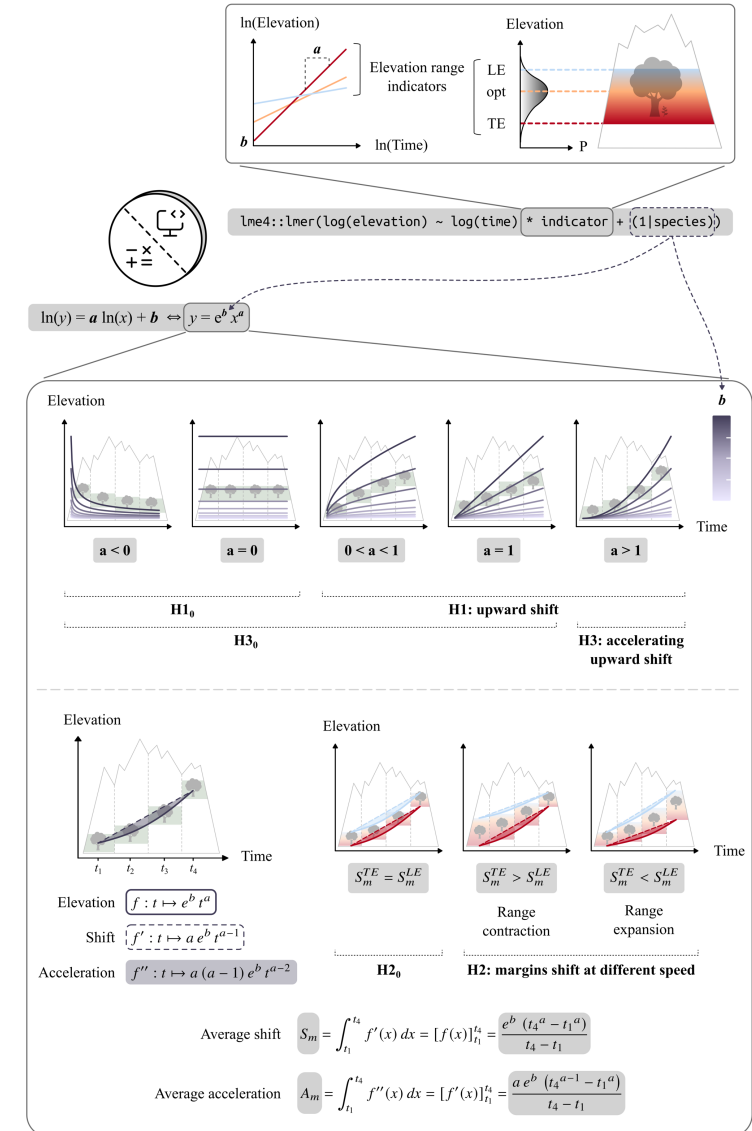


Rowan tree (*Sorbus aucuparia*)

- Une espèce est suffisamment présente dans les 5 massifs : le houx (*Ilex aquifolium*)

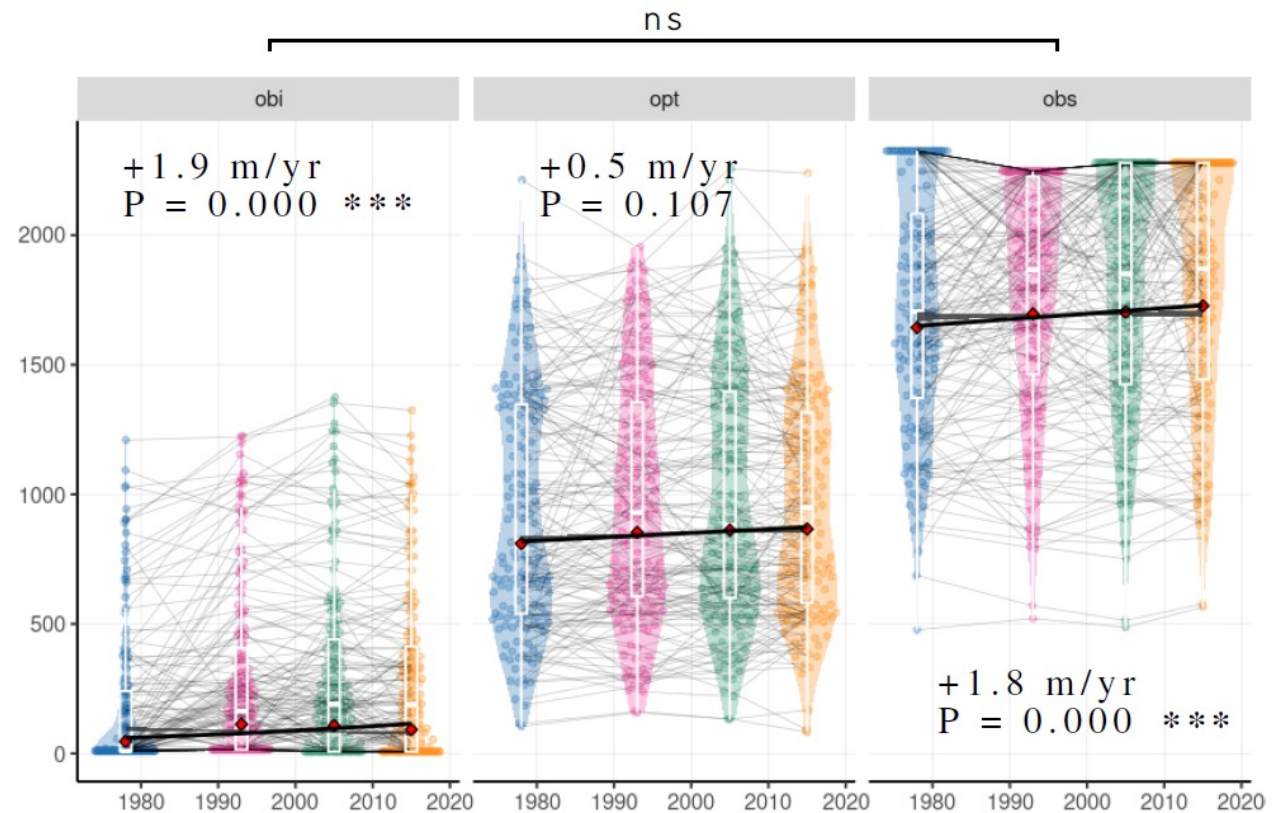


- Analyses statistiques de la variation dans les 3 positions altitudinales estimées pour chacune des 146 espèces, par massif (de 1 à 5) et pour chacune des 4 périodes dont les années médianes sont : 1978, 1993, 2005 et 2015
- Modèle linéaire mixte (**LMM**) de la position altitudinale (**elevation**) en fonction du temps (**time**) en échelle **log-log** pour : (1) éviter de prédire des valeurs de positions altitudinales négatives au cours du temps et (2) estimer une accélération de l'évolution de chaque position au cours du temps
- Interaction entre le temps et l'indice (**indicator**) de position (**TE/OPT/LE**) : **expansion** ou **contraction** ?



- En moyenne, sur l'ensemble des 5 massifs de l'étude, les 146 espèces retenues ont migré vers les sommets à une vitesse de **+2 m/an** aux deux marges (chaude & froide), sans expansion ou contraction notable
- Pas de modification visible de la position de l'optimum altitudinal

• $\text{lmer}(\log(\text{elev_value}) \sim \log(\text{med_year}) * \text{indic} + (1|\text{species}))$



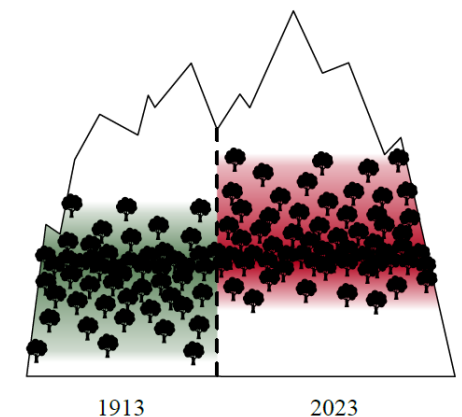
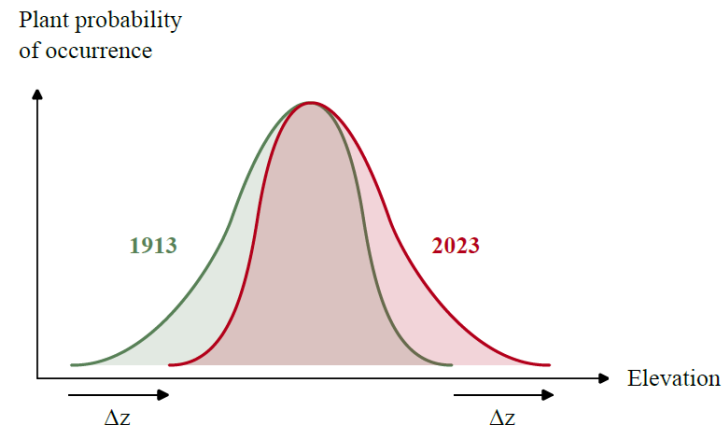
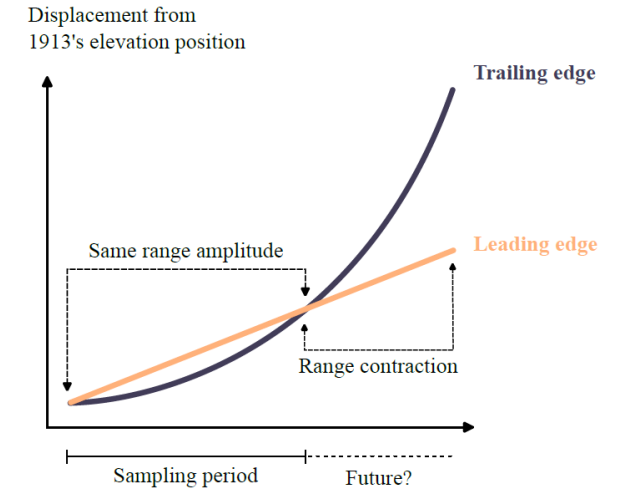
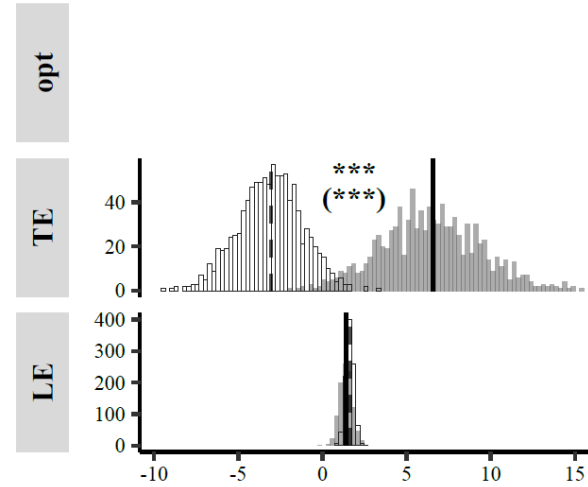
Marginal R
(fixed effects)

Conditional R
(fixed and random effects)

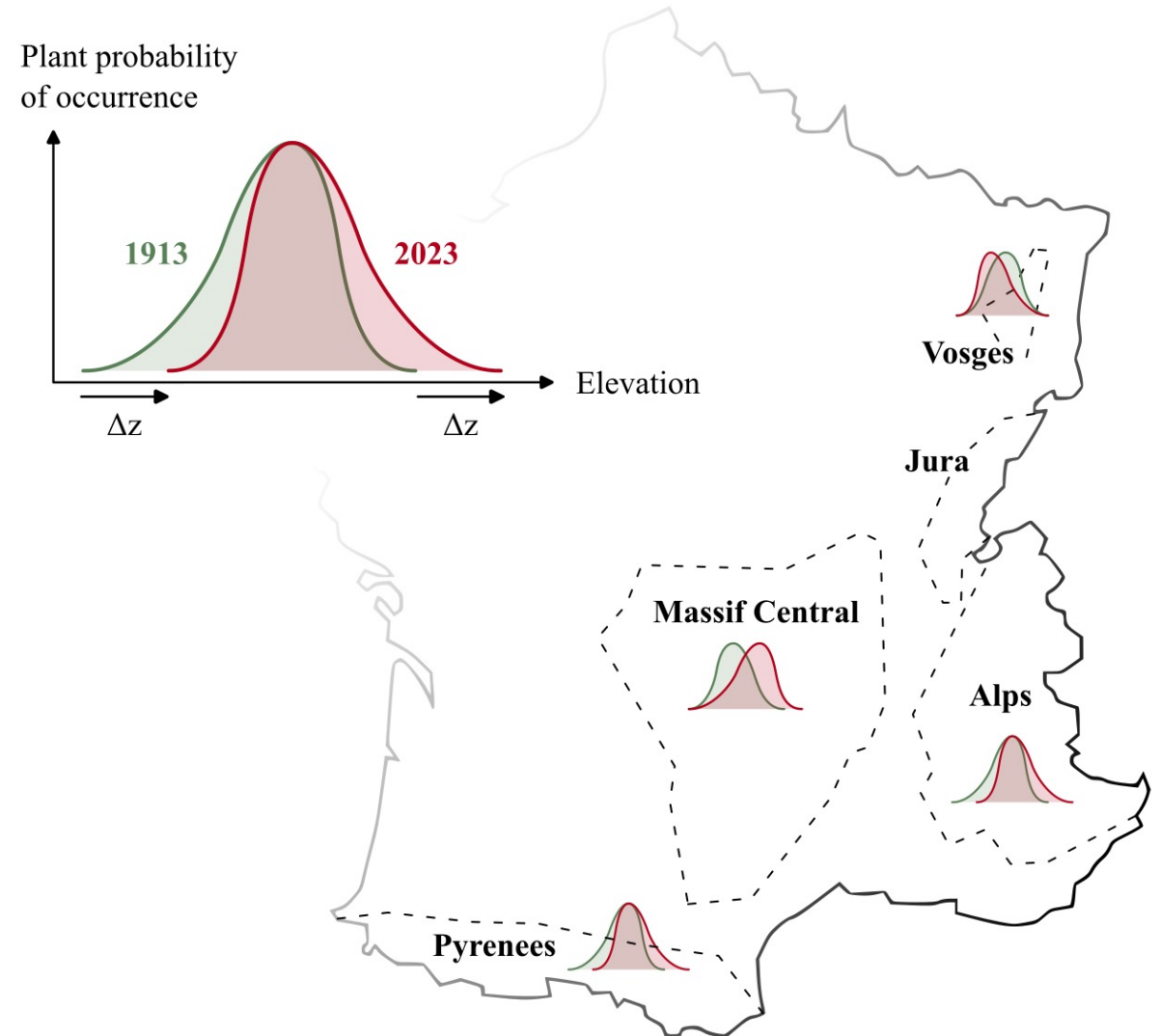
0.58

0.73

- Une accélération est notable ($a > 1$) mais uniquement à la marge chaude (*trailing edge*)
- Même si à l'heure actuelle les amplitudes altitudinales des espèces végétales sont stables, l'accélération à la marge chaude (TE) devrait conduire à des contractions d'aires de répartition



- Les Alpes et les Pyrénées reflètent les tendances générales sans l'accélération à la marge chaude pour les Pyrénées
- Accélération de la migration vers les sommets pour la position optimale dans le Massif Central
- Migration de l'optimum vers les basses altitudes dans les Vosges
- Pas de changement pour le massif du Jura



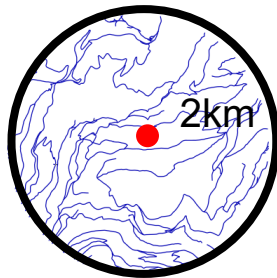
- Les résultats de FRAGSHIFTS permettent déjà de générer un indice de la vitesse de migration moyenne (***S_m***), ainsi qu'un indice d'accélération moyenne (***A_m***), par espèce, par position (marge chaude, optimum et marge froide) mais également par massif pour une espèce présente au sein de plusieurs massifs, permettant ainsi d'alimenter le programme de surveillance de la biodiversité terrestre

Average shift $S_m = \int_{t_1}^{t_4} f'(x) dx = [f(x)]_{t_1}^{t_4} = \frac{e^b (t_4^a - t_1^a)}{t_4 - t_1}$

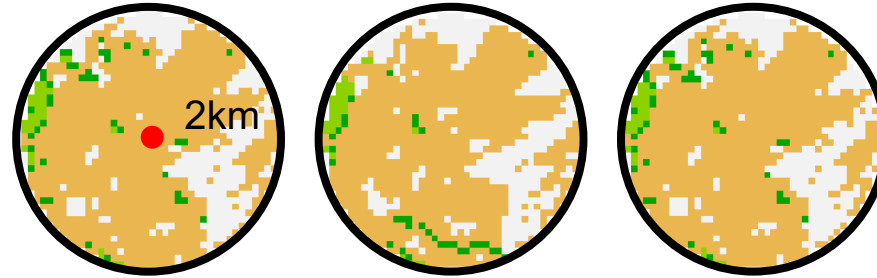
Average acceleration $A_m = \int_{t_1}^{t_4} f''(x) dx = [f'(x)]_{t_1}^{t_4} = \frac{a e^b (t_4^{a-1} - t_1^a)}{t_4 - t_1}$

- Afin de répondre au 2nd objectif de compréhension des facteurs qui catalysent ou entravent la vitesse de migration observée dans les différents massifs, notamment le degré de **fragmentation de l'habitat forestier** ainsi que la **densité du réseau de routes**, il est possible d'utiliser l'indice de la vitesse de migration moyenne (***Sm***), par espèce, par position et par massif, comme un trait fonctionnel à l'échelle de la communauté des relevés les plus récents (2025), à relier ensuite à des variables spatialisées

Road density
(GEOFABRIK)



Forest cover change
(COPERNICUS)



- Merci à Sarah ORTH, étudiante en thèse et co-encadrée par Romain BERTRAND, Gaël GRENOUILLET et moi-même, pour son énorme travail d'analyse et de synthèse des résultats (toutes les figures de la présentation ont été réalisées par Sarah ORTH)
- Merci à l'IGN et notamment à Marine DALMASSO pour la préparation et l'extraction des données utilisées dans le cadre de ce projet
- Merci à la FRB pour le soutien financier apporté au projet FRAGSHIFTS

