

# La régénération forestière menacée par le changement climatique et l'abrutissement dans les Alpes :

## Estimation des flux de semis à partir de données de densités et de croissances.

Benoit Courbaud

Mithila Unkulé

Philippe Balandier

Franck Jabot

Thèse de

Mithila Unkule

Soutenue le 21/03/2022

FOREM 2024, Nancy, 2-4 Avril 2024

**INRAE**

**LESSEM**

**UGA**  
Université  
Grenoble Alpes

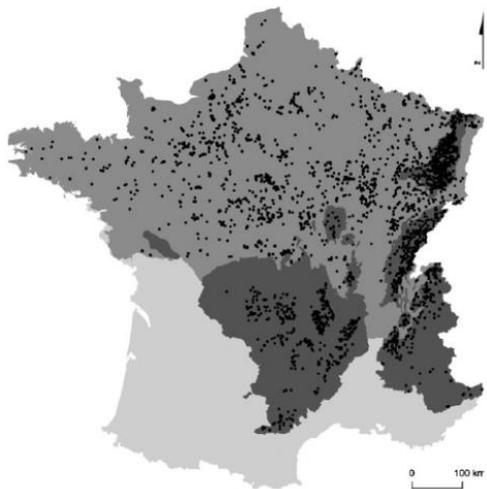
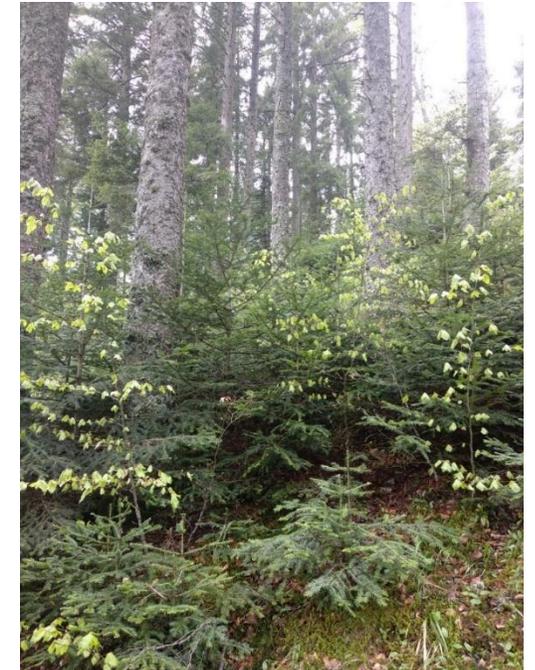
# Hêtraie-Sapinière-Pessière de montagne

Une tradition de gestion en irrégulier

Défi sylvicole:

flux continu de régénération

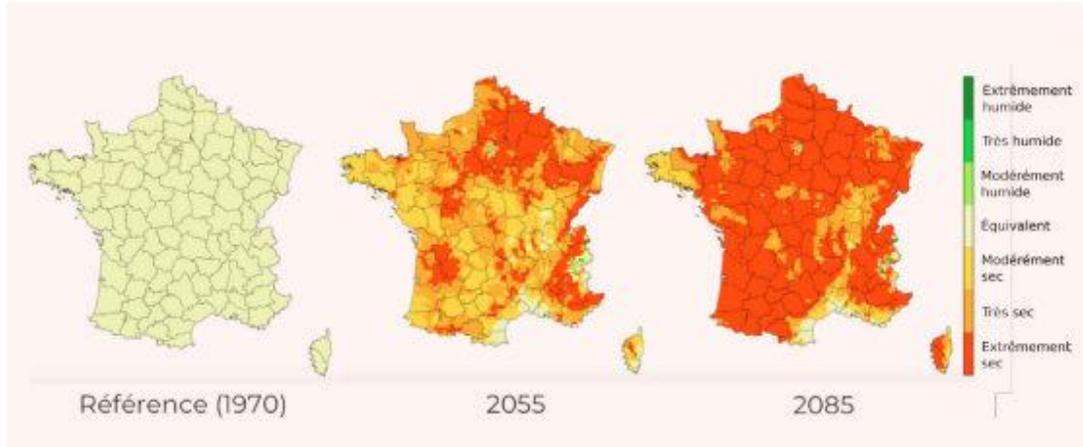
équilibré par rapport à la mortalité et la récolte



■ Spruce-fir-beech mixed forests

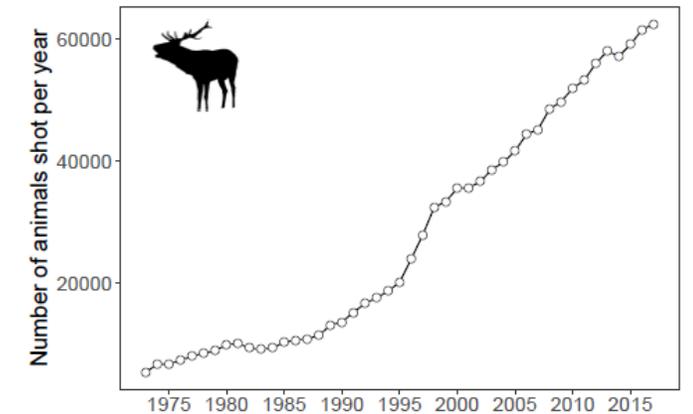
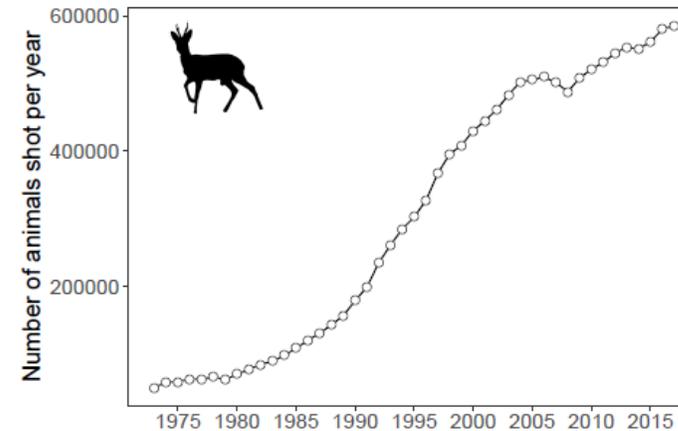
Démographie des semis mal quantifiée  
Difficile de passer des semis au flux de recrutement

# Des stress importants sur la régénération



<https://resiliencealimentaire.org/>

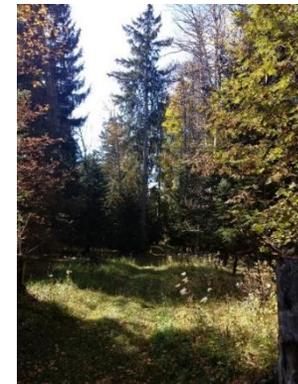
Prédiction d'une  
Augmentation des sécheresses estivales  
Par rapport à 1970



Augmentation des populations d'ongulés  
Depuis 1975 en France  
(Barrère, 2021)

# Objectifs

- Quantifier les processus démographiques de régénération
- Identifier les facteurs environnementaux clés
- Estimer les taux de recrutement à 7,5 cm
- Evaluer l'impact potentiel du changement climatique et de l'abrutissement



# Défi méthodologique

Difficultés du suivi de terrain : Densités très hétérogènes  
Difficulté des suivis pluriannuels  
Nécessité de larges gradients climatiques

Suivi de semis individuels : Identification des individus difficile  
Temps de travail élevé

Suivi de classes de taille: Difficulté de séparer flux entre classes et mortalité

Données limitées dans les inventaires nationaux

- France: uniquement couvert de ligneux  
(Evolutions prévues)
- Autres pays Européens: densités de semis, parfois à plusieurs dates



# Approche proposée

## Modélisation inverse des processus démographiques:

- Simulation de la dynamique d'une population de semis combinant fécondité / croissance / survie / abrutissement
- Estimation conjointe des processus
- Hypothèse d'équilibre entre régénération et peuplement adulte

## Utilisation du modèle :

- Estimer les flux de recrutement actuels
- Prédire l'effet du climat futur



# Echantillonnage de terrain

11 massifs

152 placettes

2414 semis

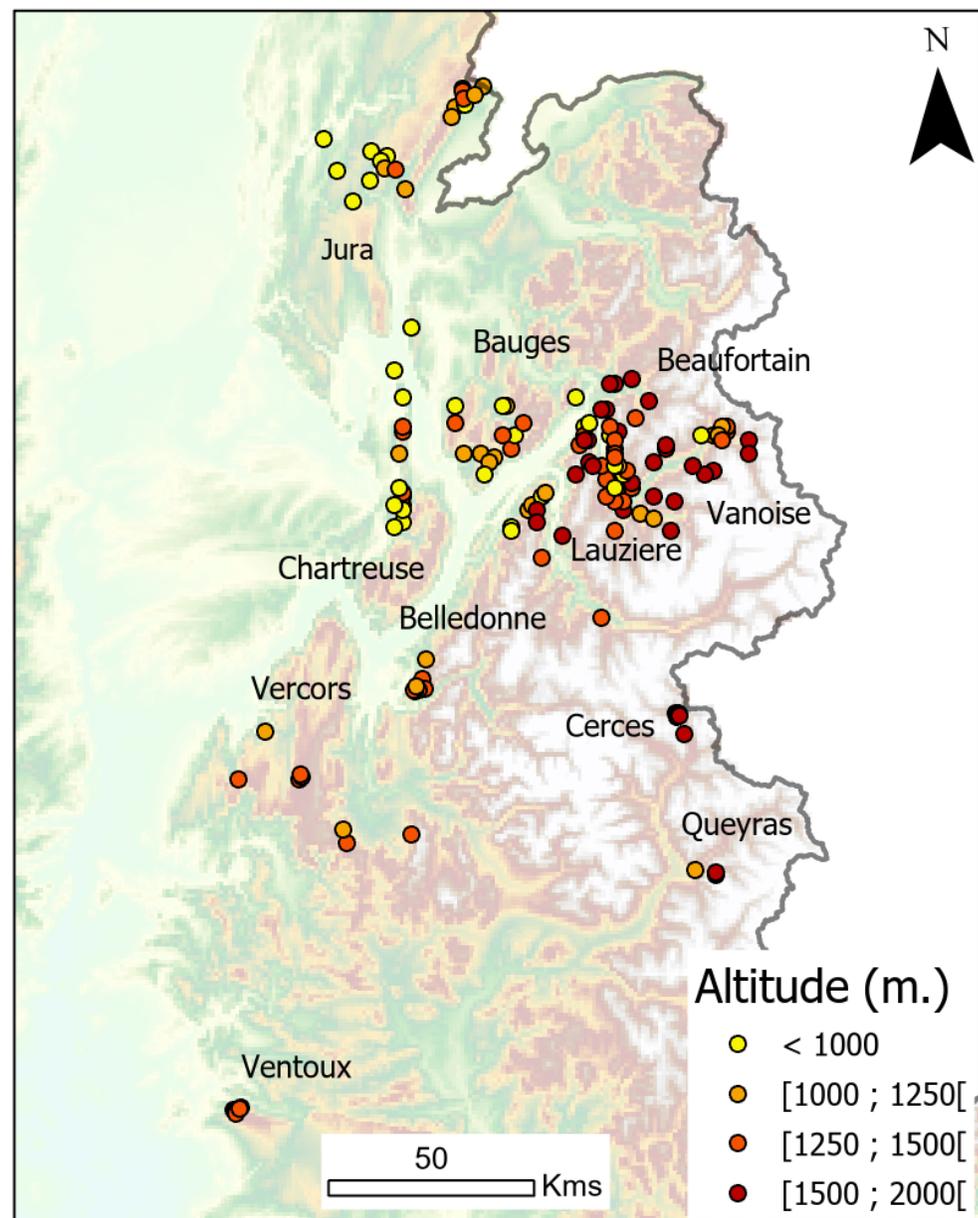
Altitudes de 400 à 1800 m

60 jours de terrain à 2 à 3 personnes

Rééchantillonnage de placettes adultes existantes

Stratification sur

- surface terrière des 3 espèces
- altitude



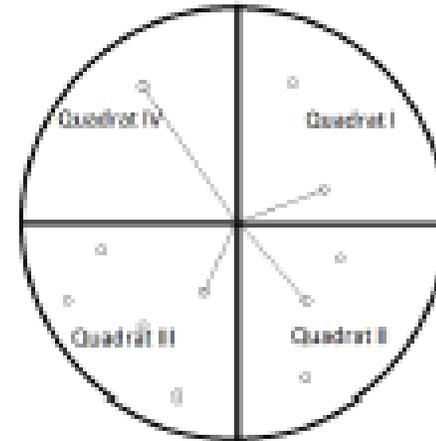
# Echantillonnage de terrain

Répartition des semis en 4 classes de hauteur

Méthode du point-quadrat

Placettes circulaires de 15m divisées en 4 quadrats

Mesure du semis le plus proche du centre pour chaque espèce et chaque classe



# Echantillonnage de terrain

Densité  
Regeneration



Peuplement

- Surface terrière par espèce
- Ouverture de la canopée (densiomètre)

Accroissement  
en hauteur



Sol

- Capacité de rétention en eau
- Contenu en eau
- Déficit hydrique
- Rapport C/N

Abrouissement



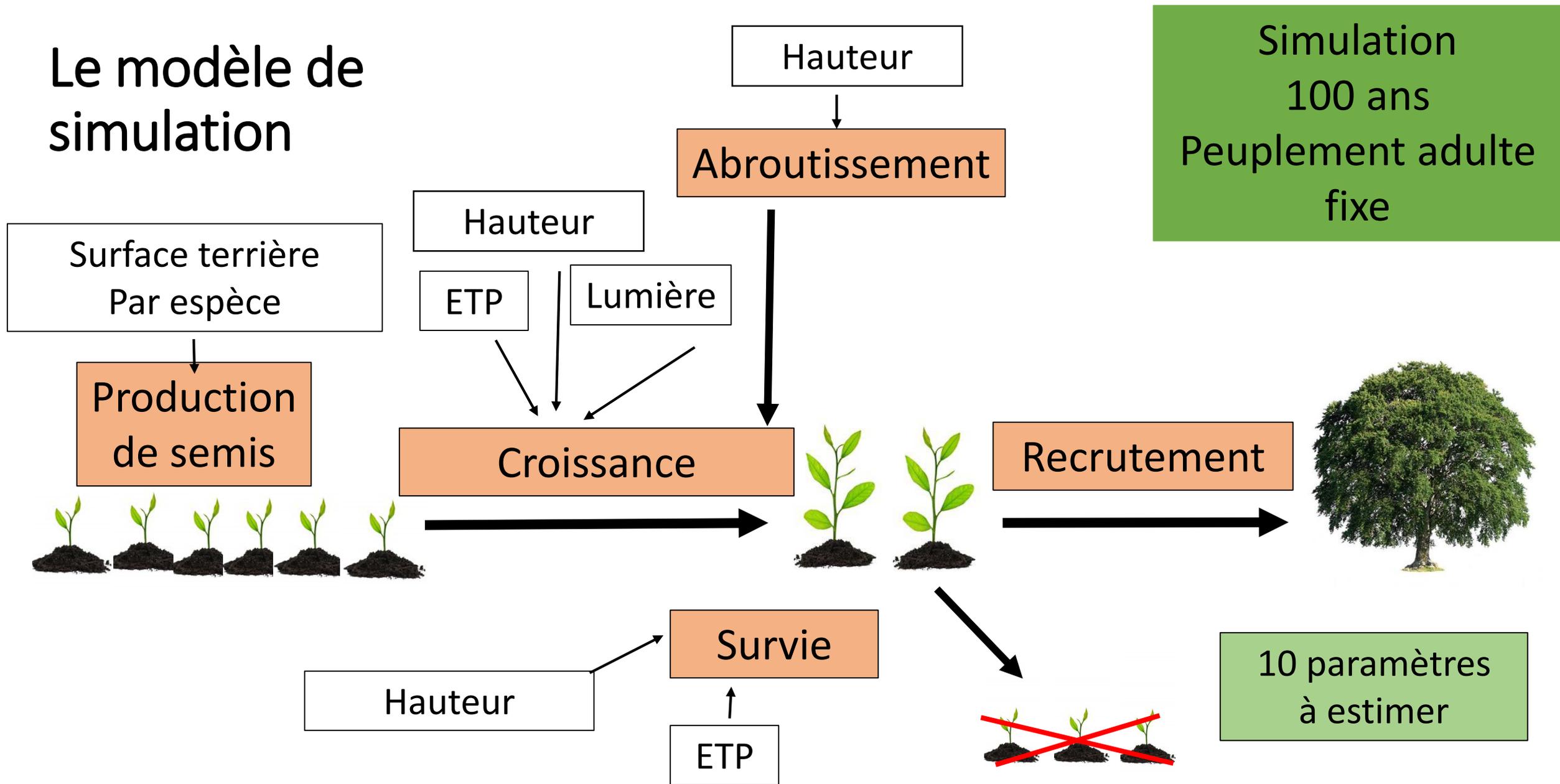
Climat

*Modèle Digitalis  
(grille 50 m)*

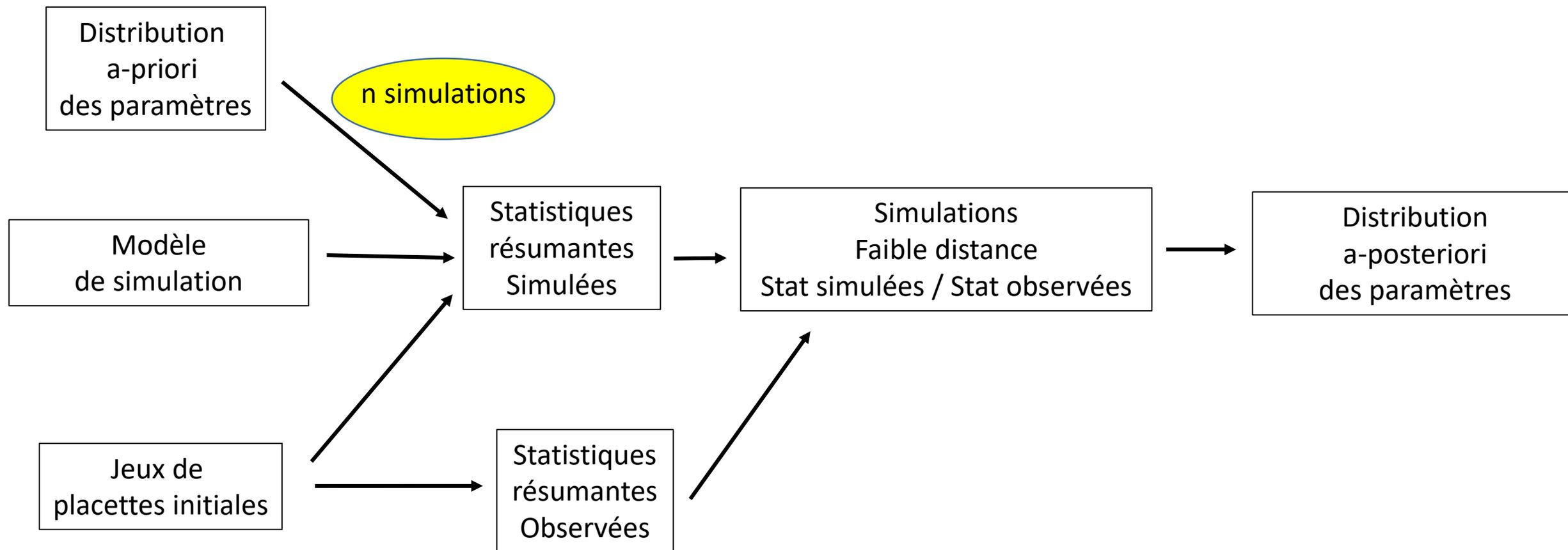
- Données mensuelles:
- Temperature
  - Precipitation
  - Evapotranspiration potentielle
  - Bilan hydrique climatique

(Piedallu et. al. 2015)

# Le modèle de simulation



# Principe du Calcul Bayésien Approché (ABC)



# 20 statistiques résumantes

Moyennes des placettes  
De chaque catégorie

Densité

Classes  
d'ETP

< mean(PET)

> mean(PET)

Accroissement

Classes de  
lumière

< mean(CO)

> mean(CO)

Abrouissement

Classes de  
hauteur

H1: 10-50 cm

H2: 51-150 cm

H3: 151-300 cm

H4: 300cm- 7.5 cm DBH

# ABC en pratique

Estimation des trois espèces séparément

Package R EasyABC

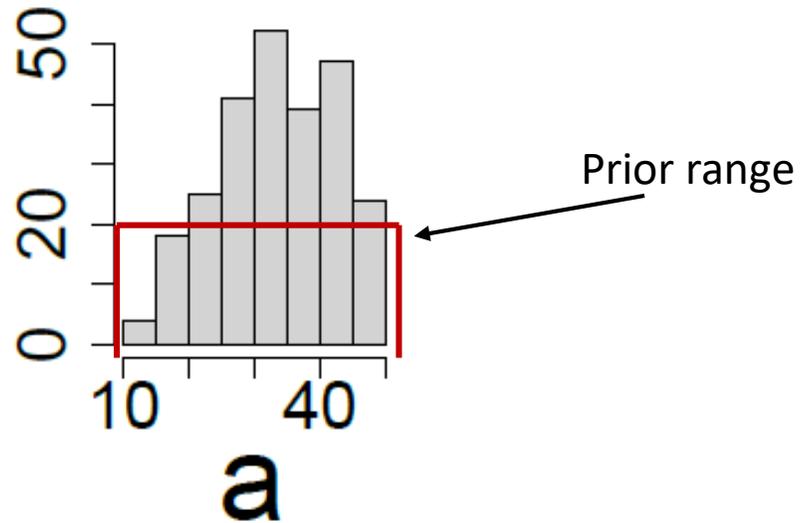
ABC séquentielle

20,000-30,000 simulations

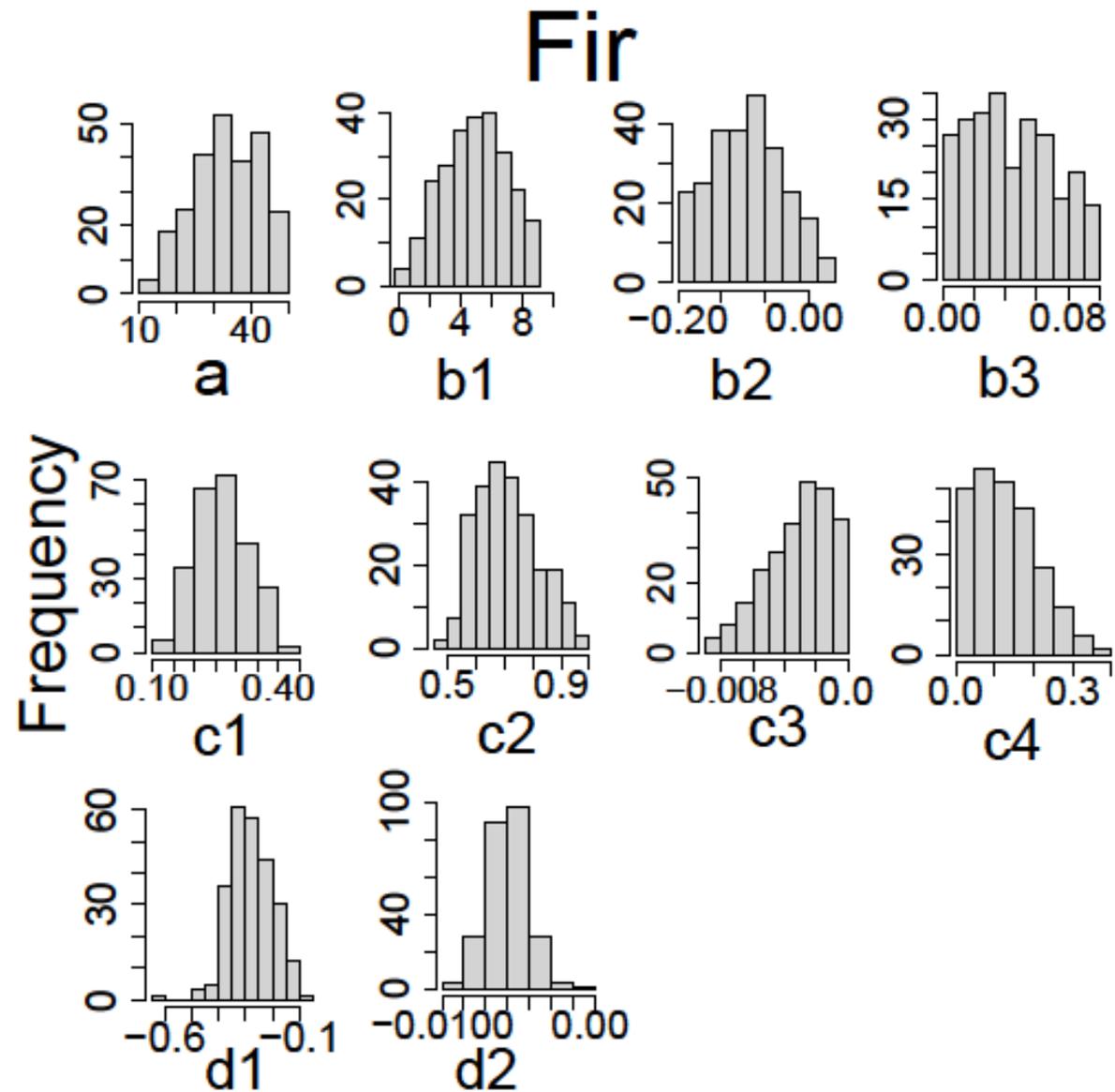
Nécessité de passage sur station de travail



# Distribution à posteriori des paramètres



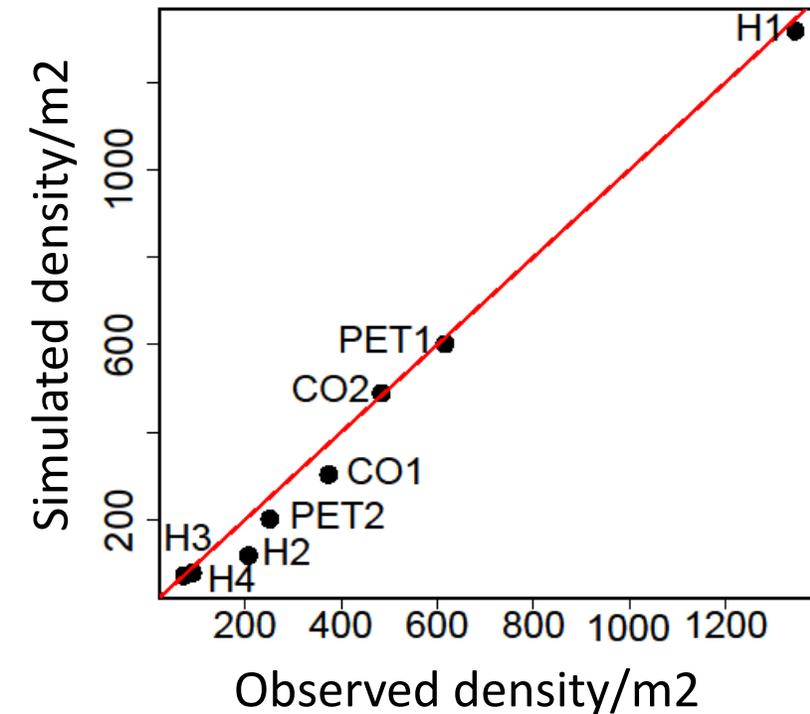
Parameter for fecundity equation



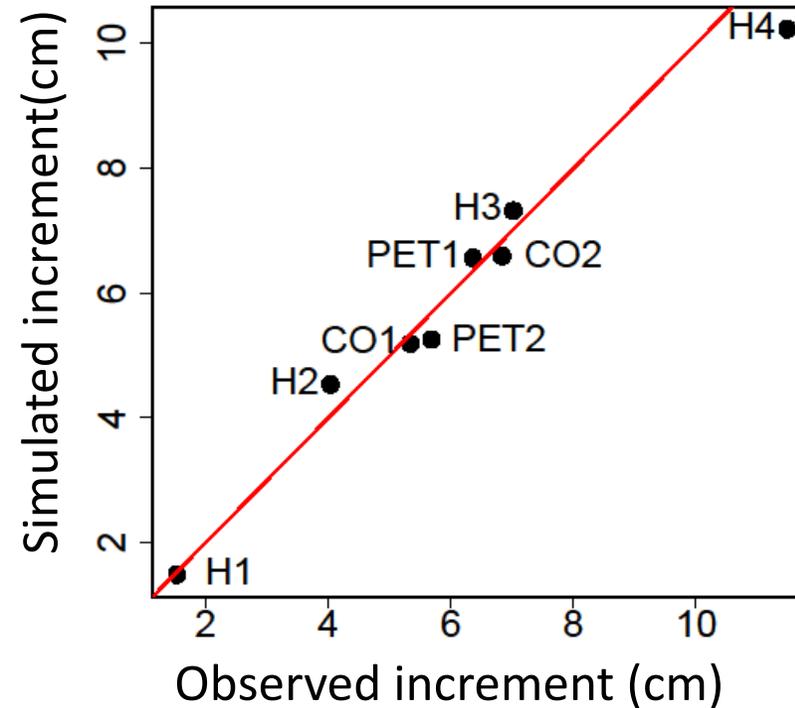
# Statistiques résumantes simulées vs observées

Exemple du Sapin:

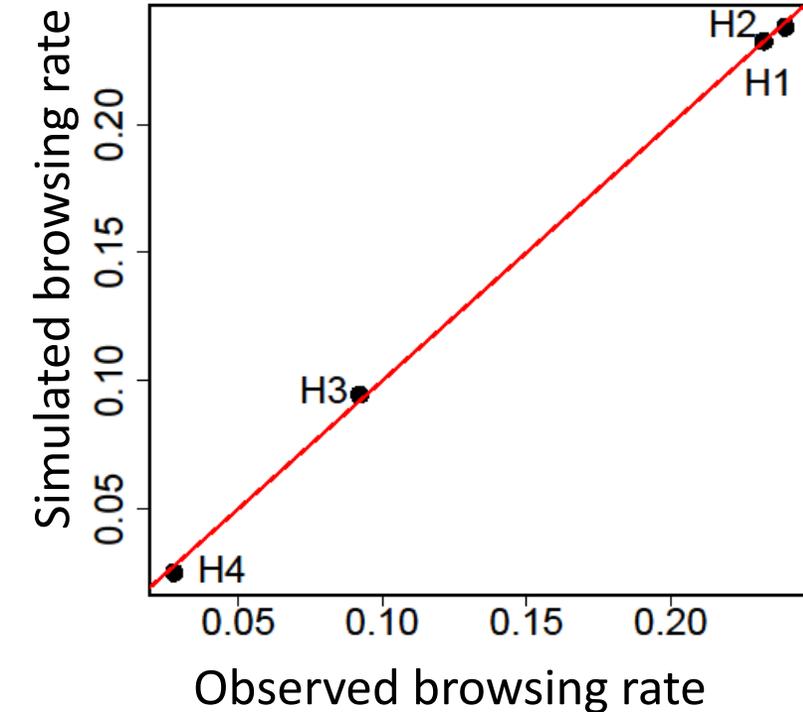
## Regeneration densities



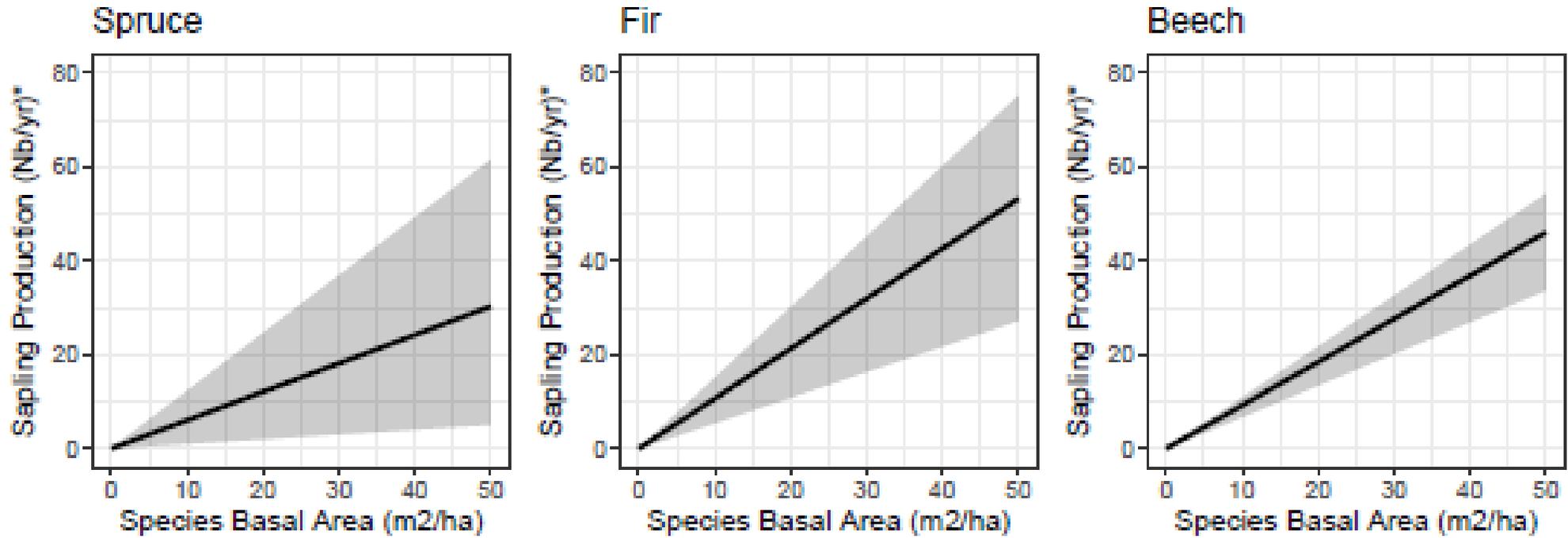
## Height increments



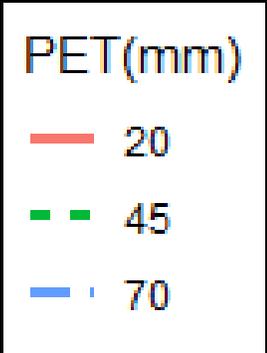
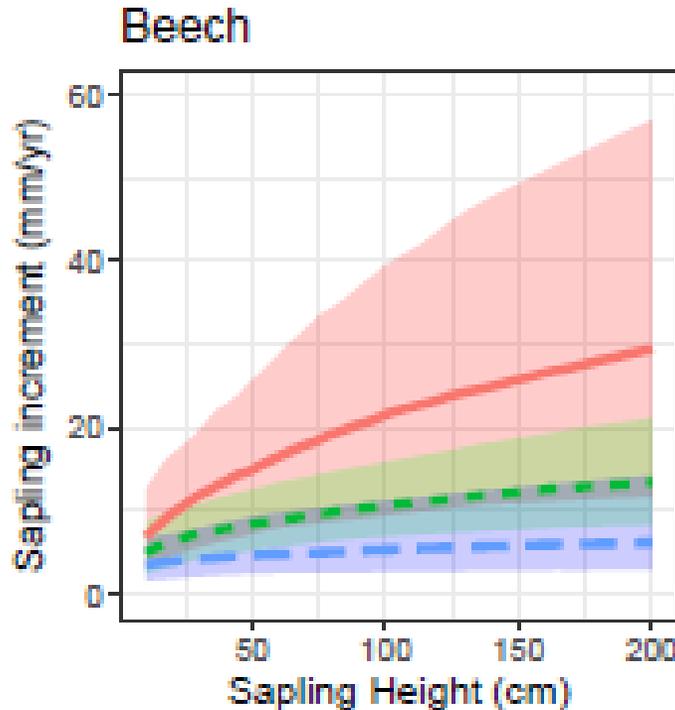
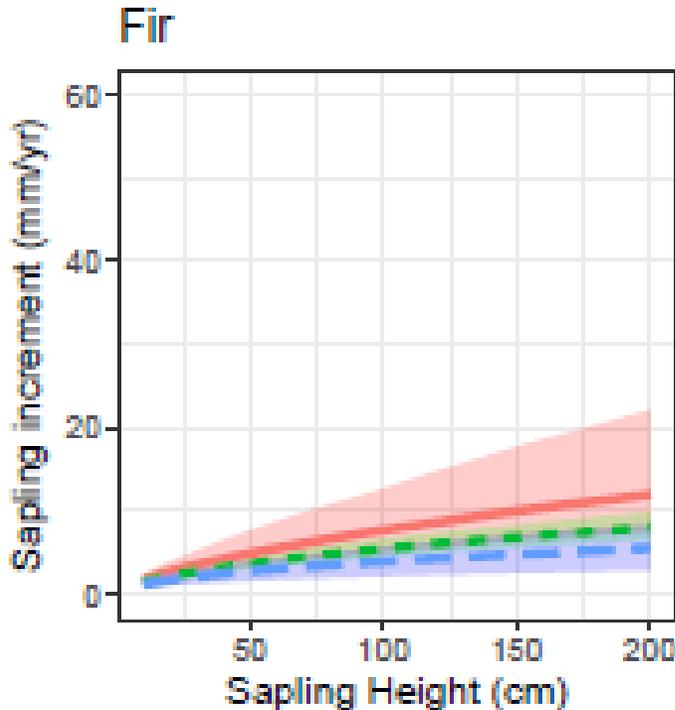
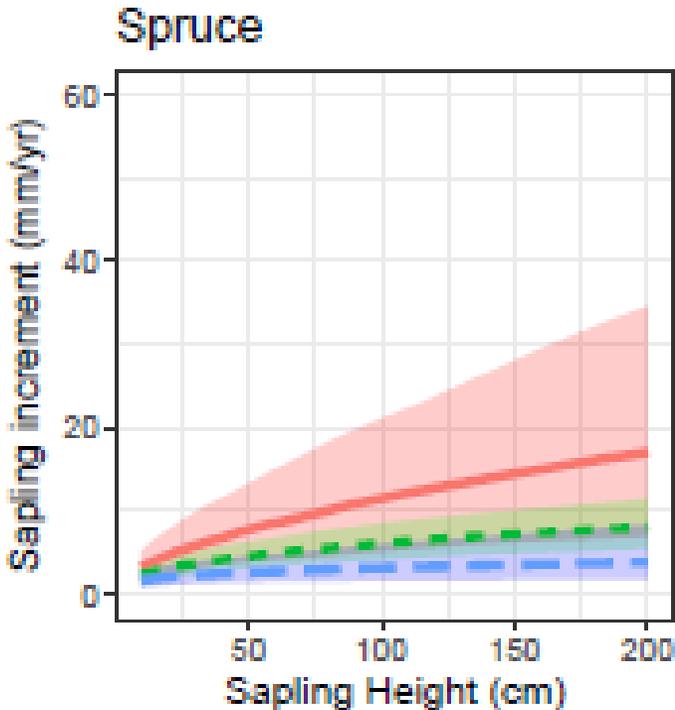
## Browsing rates



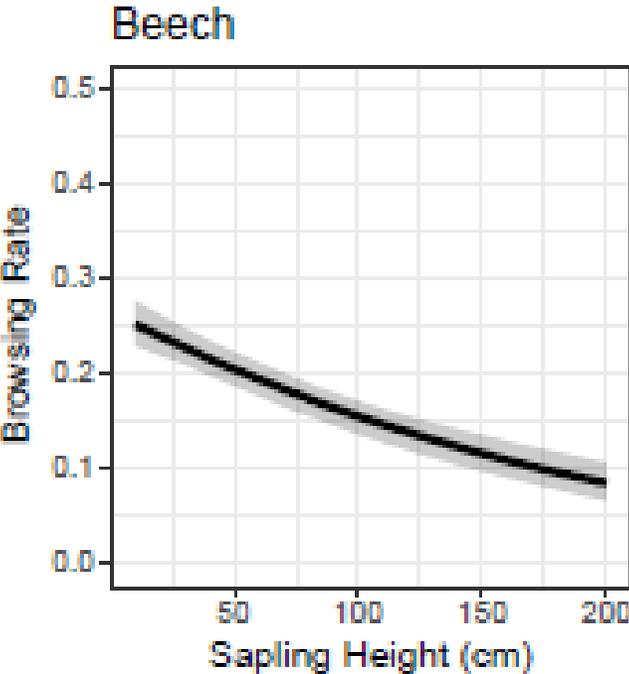
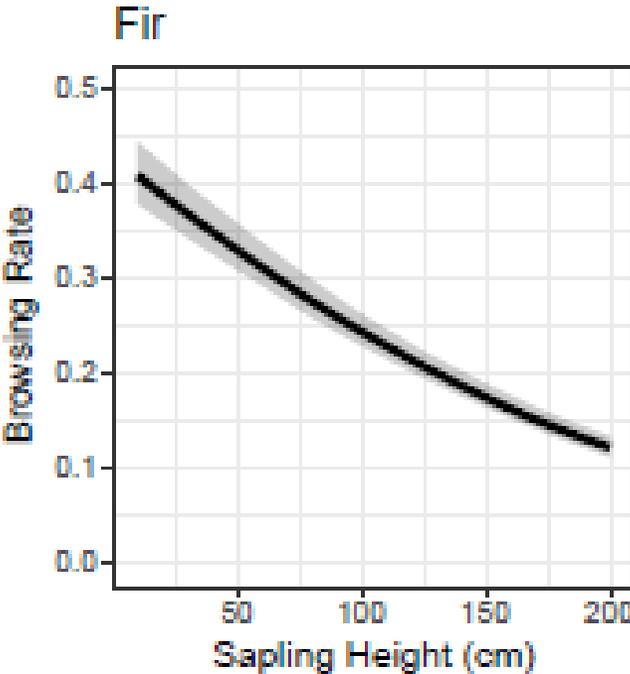
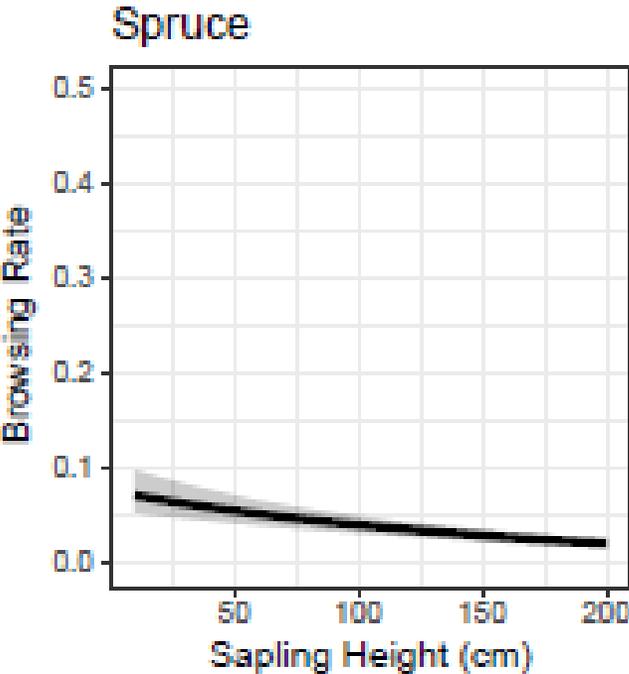
# Fécondité



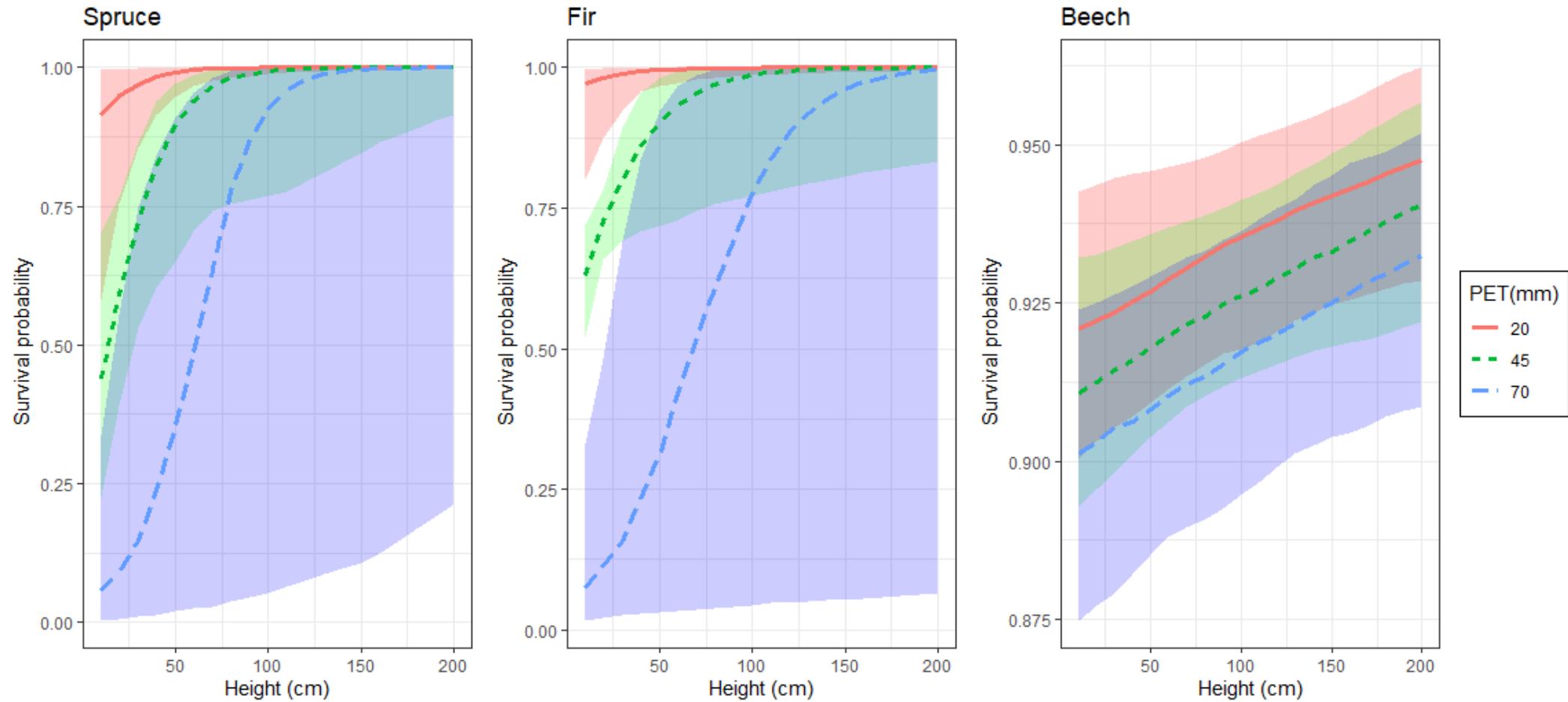
# Croissance



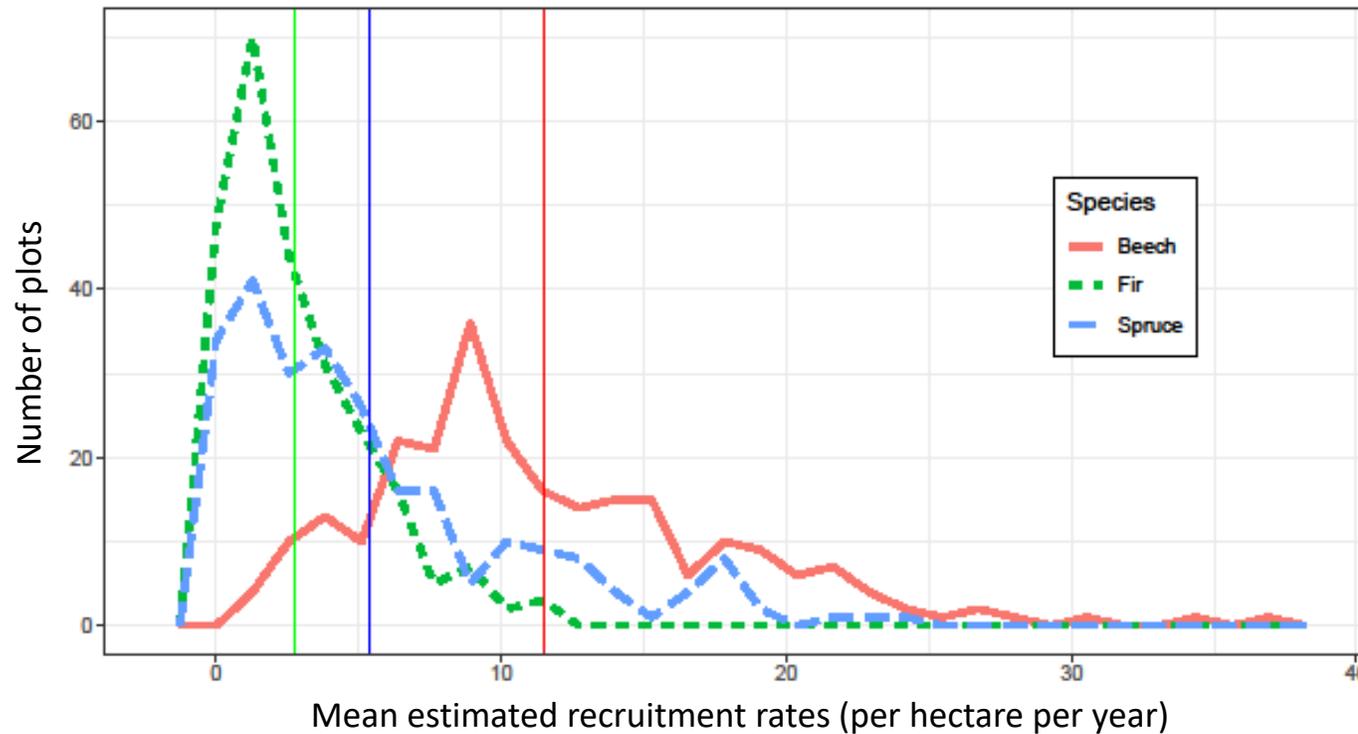
# Abroussement



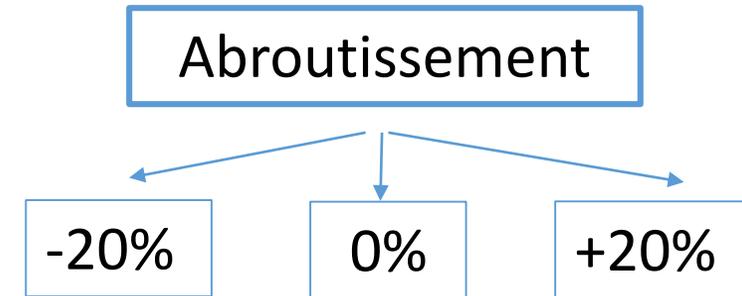
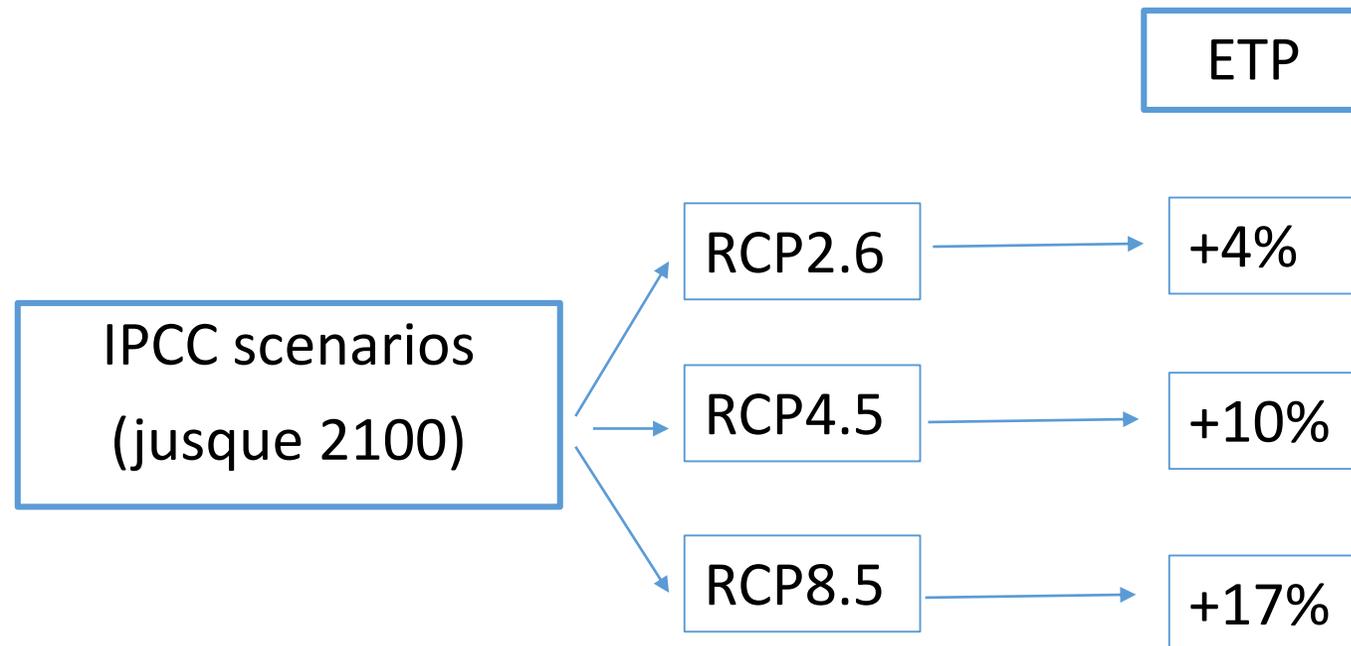
# Survie



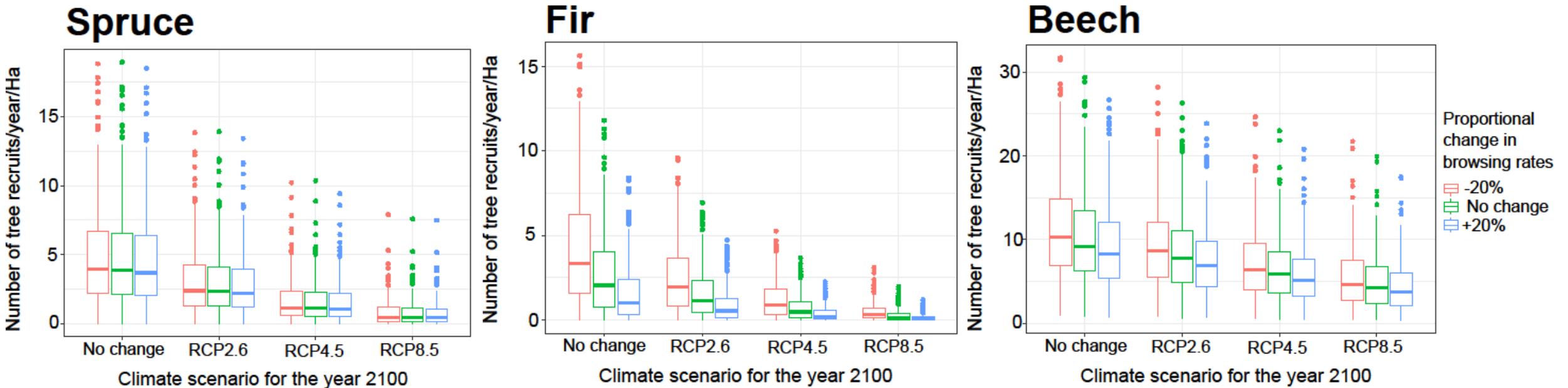
# Prédiction des taux de recrutement des 152 placettes



# Projections: Scénarios de climat et d'abrutissement

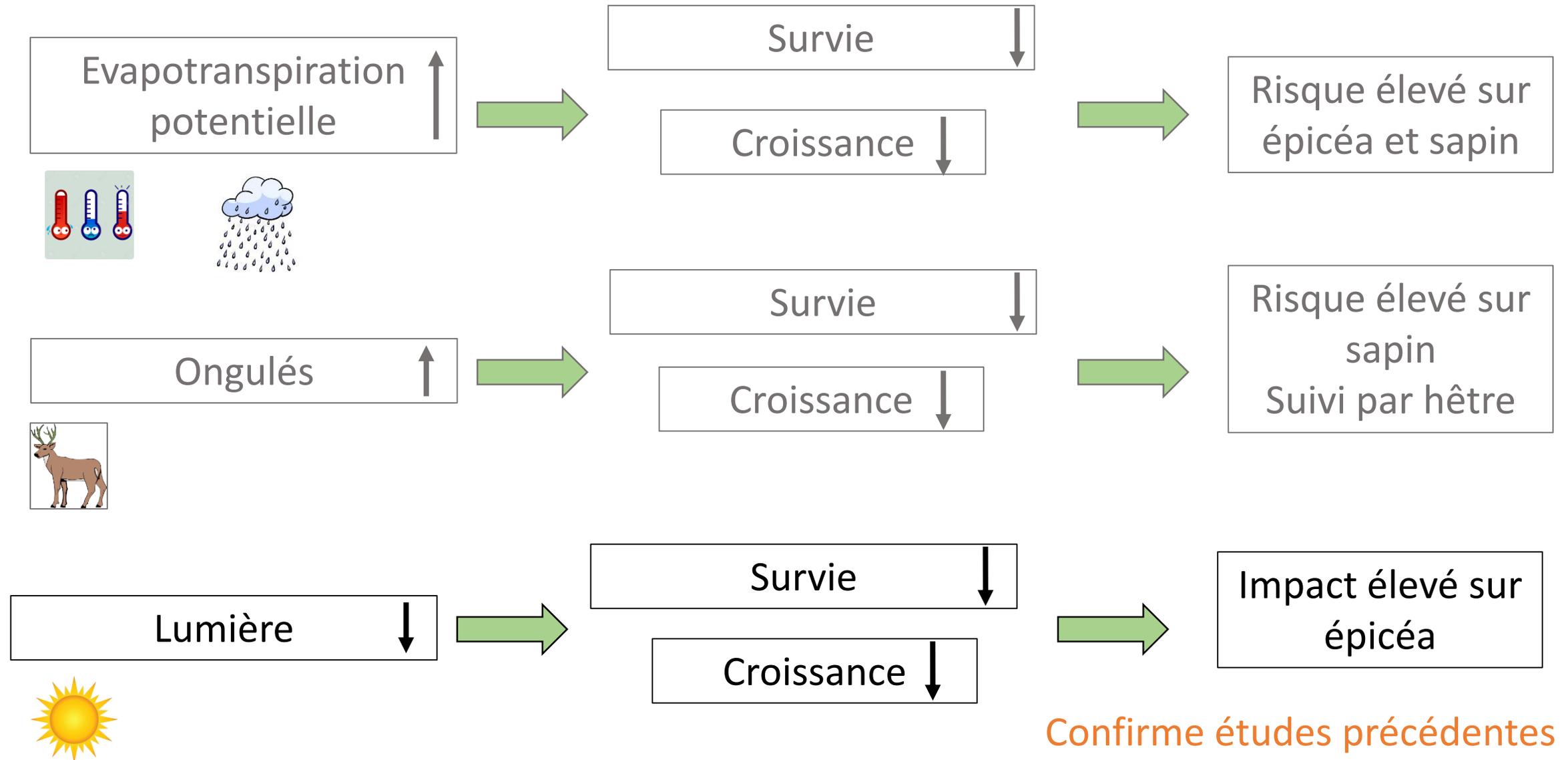


# Taux de recrutement prédits: Conditions actuelles vs. futures



Prédiction d'une forte baisse du recrutement de sapin et épicéa

# Impact relatif sur les 3 espèces



Confirme études précédentes

(Lof 2007, Ligot 2020)

# Forte incertitude

Nombre de placettes limité

Limites de la méthode du point-quadrat

Forte variabilité entre placettes

Limites de l'hypothèse d'équilibre  
Régénération / peuplement adulte

# Implications sylvicoles

Diminution du recrutement surtout des résineux

- Perte de production?
- Dominance du hêtre?
- Colonisation par d'autres essences?
- Perte de la structure irrégulière?



Pistes d'adaptation

- Protection des semis de l'abroussement ?
- Chasse ?
- Baisse des surfaces terrières ?
- Augmentation des diamètres d'exploitabilité ?
- Petites trouées ?
- Plantations de complément ?
- Enrichissement d'autres provenances/essences ?
- Gestion adaptative?



# Implications sur les suivis de régénération

Des densités de semis par classes de hauteur  
Ne sont pas suffisantes pour estimer des flux

Même avec des observations répétées,  
distinguer mortalité vs. changement de classe  
Nécessite des accroissements

Objectif de recrutement depend de l'objectif de récolte

Besoin de

- suivi de croissance en hauteur
- Plusieurs classes de hauteur
- Mesures de variables environnementales
- Echantillonnage stratifié
- Enclos/exclos





Thèse de  
Mithila Unkule  
Soutenue le 21/03/2022



Appui Terrain  
Eric Mermin

## Financements



Appui informatique  
Maxime Jaunatre