



Microdensitométrie chez le pin maritime : de l'estimation de la densité du bois à la construction de normes de réaction

Laurent Bouffier, Frédéric Lagane, Victor Papin, Annie Raffin

7 juin 2022 – Journée In Sylva - "Les multiples propriétés du bois et leurs mesures"

Le GIS Groupe Pin Maritime du Futur



Avec le soutien de :



- Créé en 1995, associe les acteurs de la recherche, du développement et de la gestion des forêts publiques et privées
- Propose des variétés améliorées et diffuse des recommandations d'itinéraires sylvicoles
 - Comité exécutif (acteurs R&D): définit et exécute le programme d'activité (3 volets : Risques, Sylviculture, Amélioration génétique)
 - Conseil d'Orientation (financeurs et filière forêt-bois): rôle consultatif et d'orientation

Amélioration génétique du pin maritime

➤ Initié dans les années 60:

- Population de base de ~600 arbres plus
- Sélection récurrente

➤ Critères de sélection:

- Volume
- Rectitude basale
- Qualité du bois
- Adaptation stress biotiques et abiotiques

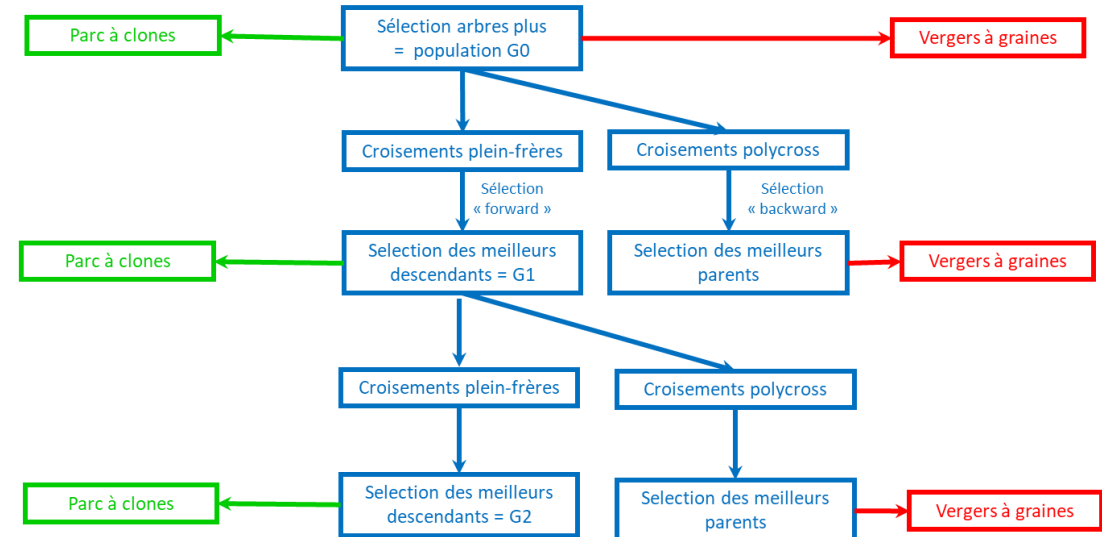
➤ Gains génétiques:

- Variétés généralistes (VF3 ~30% en volume et rectitude)
- Variétés aujourd'hui régulièrement renouvelées (1 nouveau verger à graines VF4 de 30 ha tous les 3 ans)
- Multiplication sous licence par des consortiums de marchands grainiers et de pépiniéristes

Population de conservation

Population d'amélioration

Population de multiplication



Pourquoi s'intéresser à la densité du bois dans le cadre du programme d'amélioration?

- Caractère intégratif prédictif de nombreuses propriétés de qualité: propriétés mécaniques, rendement en pâte à papier, rendement énergétique...
- La sélection pour la croissance pourrait contre-sélectionner la densité du bois
- Raccourcissement des rotations entraine une augmentation de la proportion de bois juvénile

Objectifs des études menées

- La sélection pour la croissance a-t-elle impactée la densité du bois?
- Peut-on intégrer la densité du bois comme critère de sélection?

➔ Phénotypage (microdensitométrie) de dispositifs génétiques (plusieurs milliers d'individus)

Mesure de la densité du bois par rayons X (microdensitométrie)



Plateforme Phénoboïs – Pierroton
Frédéric Lagane



Prélèvement à la tarière électrique

Carottes 5 mm diamètre



Découpe de planchette /
scie double lame



Dérésinage / pentane



Mise à 12% d'humidité en chambre climatique
pour standardiser la dimension du bois

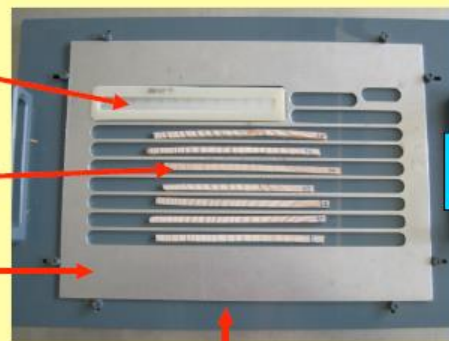
IRRADIATION AUX RAYONS X

Cale étalon

Planchettes

(2,2 à 2,5 mm épaisseur)

Cadre métallique



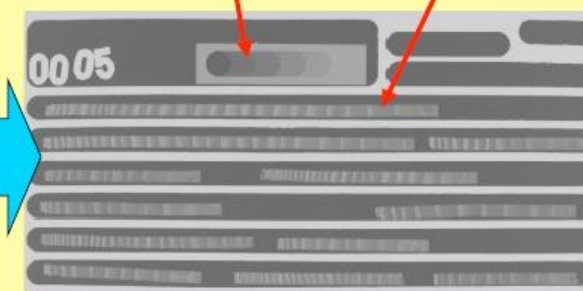
Film photo Noir & Blanc
sous le cadre et les
échantillons de bois



Générateur fermé lors de
l'émission de rayons X

Cale étalon

Planchette



Film négatif après développement : les
zones claires étaient protégées par le
métal du cadre ou par du bois de forte
densité.

Profil de densité du bois

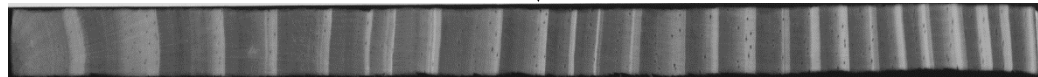
Prélèvement à 1,30m



cœur

écorce

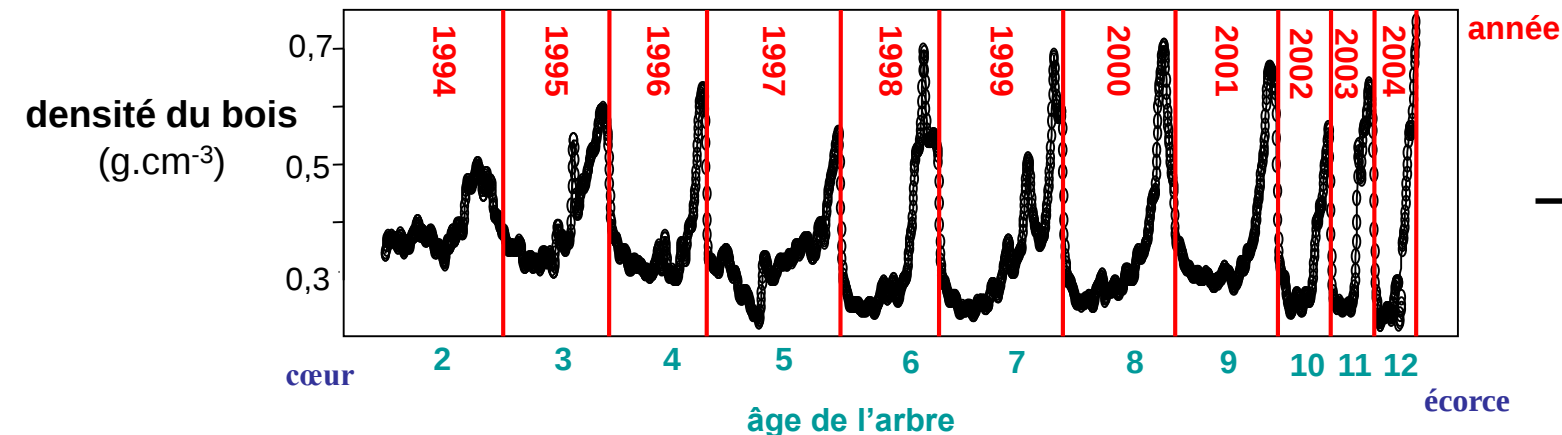
Radiographie



cœur

écorce

Analyse du profil de densité



Profil microdensitométrique

- ✓ Densité en fonction de l'âge
- ✓ Densité en fonction de l'année
- ✓ Nombreux paramètres intracernes (largeur, densité moyenne, min, max, bois initial, bois final...)

Principaux résultats dans le cadre du programme d'amélioration

- ✓ **Faible diminution de la densité du bois de 2,0% à 4,5% dans les variétés améliorées**
- ✓ **Intégration possible de la densité du bois comme critère de sélection:**
 - **Héritabilité élevée**
 - **Variabilité génétique moyenne**
 - **Corrélation juvénile – adulte élevée**
 - **Faible corrélation génétique avec la croissance**

Tree Genetics & Genomes (2009) 5:11–25
DOI 10.1007/s11295-008-0165-x

ORIGINAL PAPER

What are the consequences of growth selection on wood density in the French maritime pine breeding programme?

Laurent Bouffier • Annie Raffin • Philippe Rozenberg •
Céline Meredieu • Antoine Kremer

Ann. For. Sci. 65 (2008) 106
© INRA, EDP Sciences, 2007
DOI: 10.1051/forest:2007078

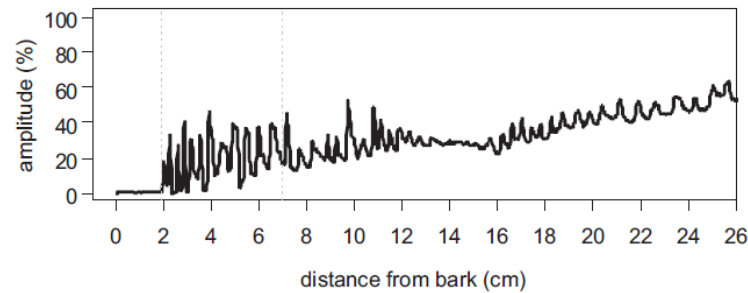
Available online at:
www.afs-journal.org

Original article

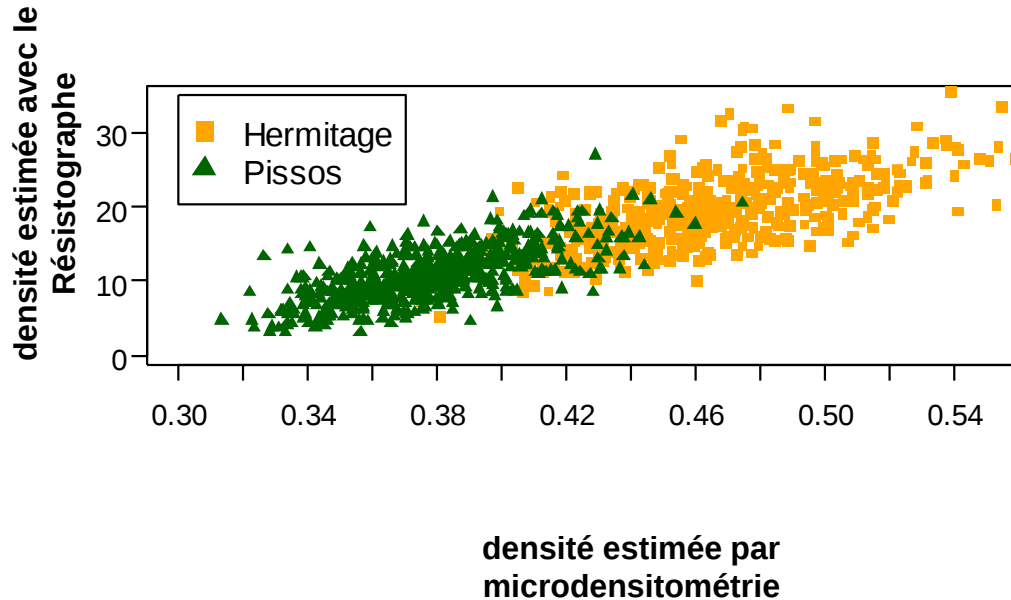
Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)?

Laurent BOUFFIER¹, Céline CHARLOT², Annie RAFFIN^{1*}, Philippe ROZENBERG³, Antoine KREMER¹

Utilisation du résistographe pour l'évaluation de la densité du bois en routine



Mesure en routine =
valeur moyenne du résistographe sur les
5 premiers centimètres



➔ On dispose d'un critère simple pour évaluer et sélectionner la densité du bois chez le pin maritime

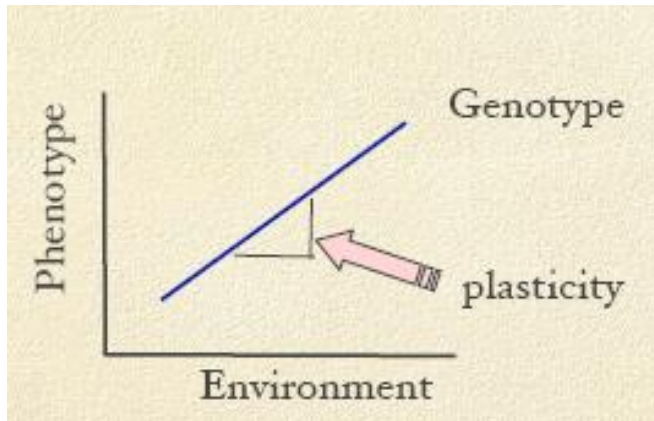
➔ Actuellement:

- Évaluation de la densité du bois en routine pour une sous partie de la population d'amélioration
- L'objectif de sélection est de conserver le niveau de densité actuelle

Vers la construction de Normes de Réaction (NoR)

Objectif = meilleure prise en compte de l'environnement dans les critères de sélection

Aujourd'hui: Critère de sélection très intégrateur comme la croissance à 12 ans (Σ climats)



Norme de réaction

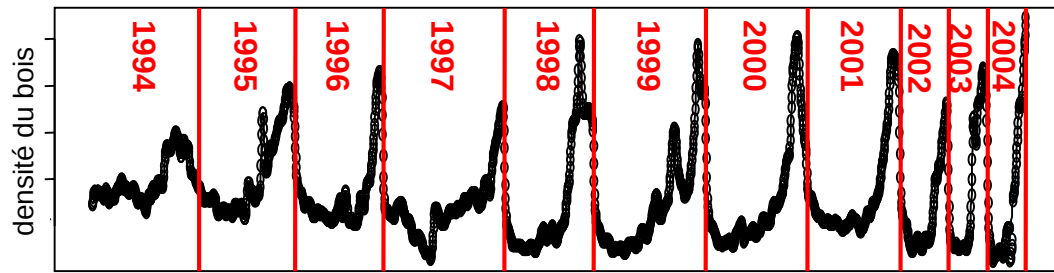
Plasticité phénotypique

- capacité d'un génotype à exprimer différents phénotypes dans des environnements différents
- modélisée par une norme de réaction
- nécessite des données multisites ou des données longitudinales

➔ Thèse Victor Papin, INRAE Pierroton (projet B4EST)

Construction d'une NoR avec des données longitudinales

Le bois = un regard rétrospectif de la réponse des arbres aux conditions environnementales
(le cambium réagit aux variations environnementales en ajustant l'anatomie du bois en cours de formation)



Données longitudinales densité et croissance

- Données longitudinales: mesures répétées sur un même individu
- Limitations: autocorrélation et ontogénie

Construction
NoR

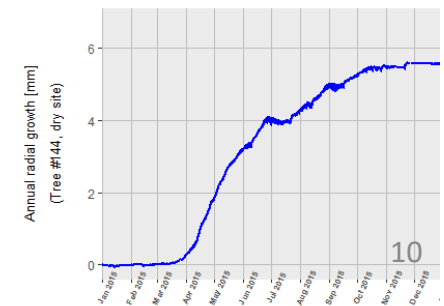
Variabilité phénotypique inter-annuelle → association « simple » avec données climatiques annuelles

Variabilité phénotypique intra-annuelle → association plus complexe avec les données climatiques car la croissance radiale n'est pas linéaire

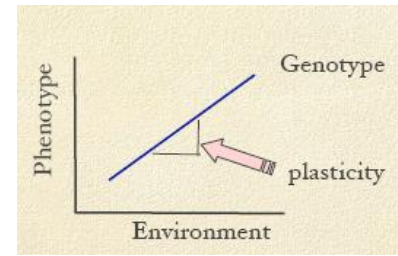
Dendromètre
électronique



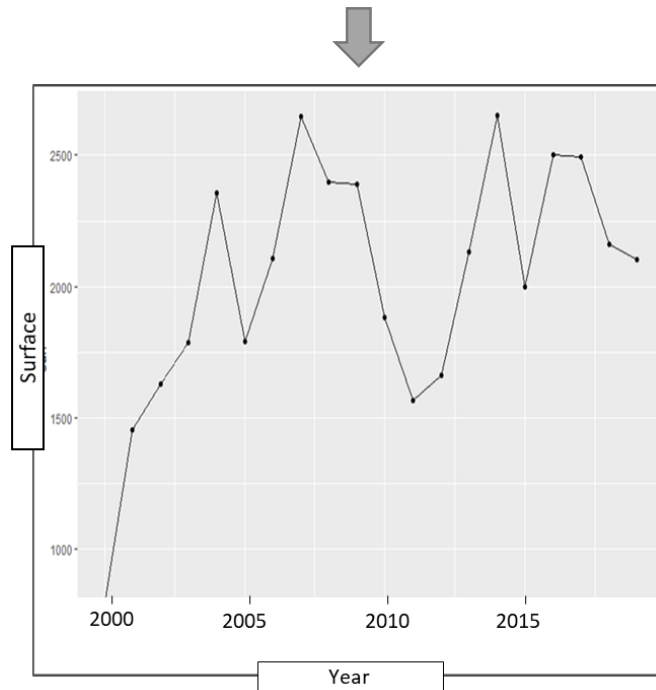
Croissance
radiale
annuelle



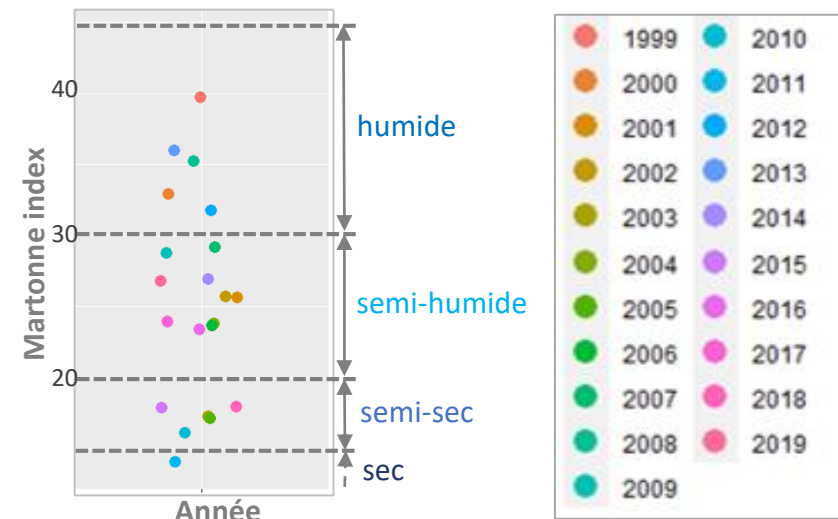
NoR à partir de la croissance radiale annuelle



Phénotypes annuels
Profils de microdensitométrie
(données longitudinales de croissance)

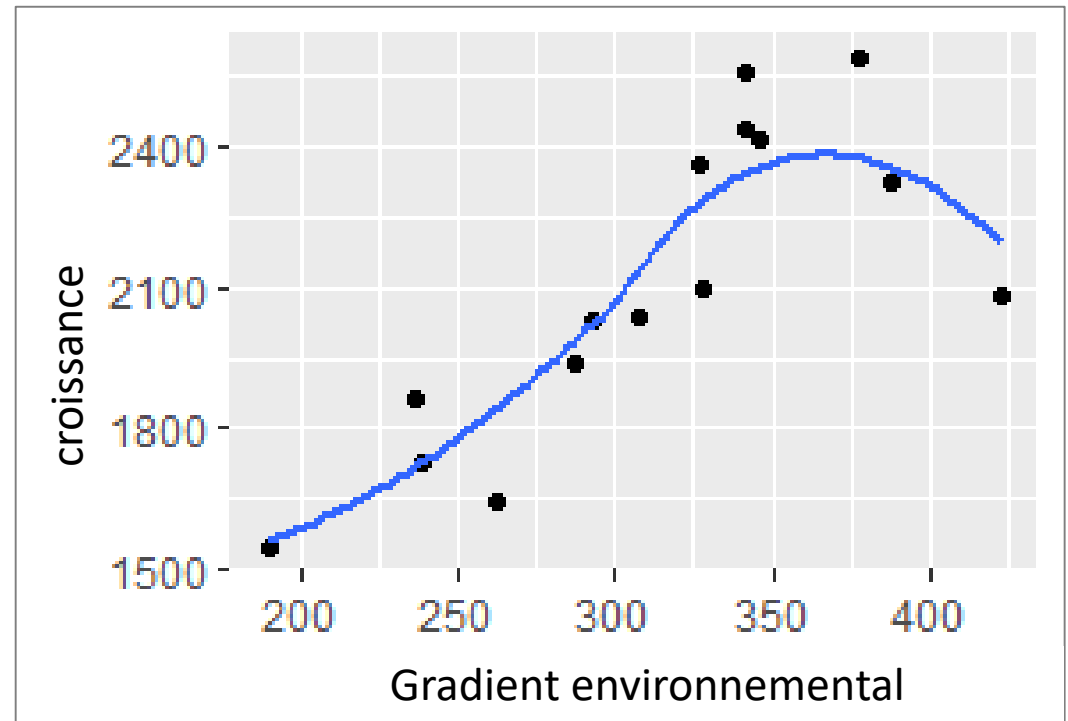
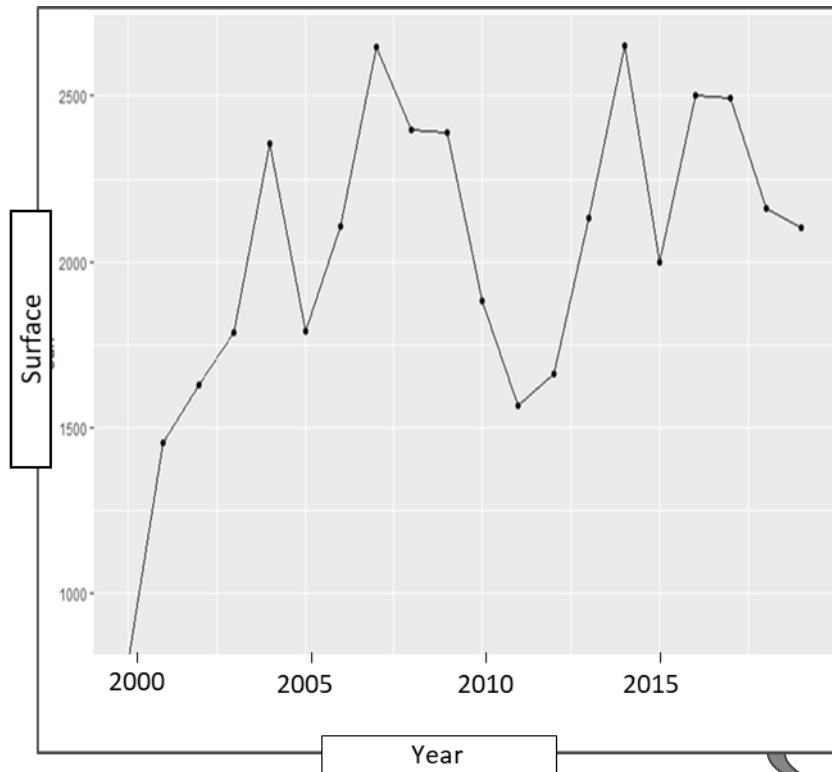


Indice climatique annuel
(indice de sécheresse de De Martonne)



➔ ré-organisation de l'axe des X en fonction de l'indice climatique

NoR: phénotype en fonction d'un gradient environnemental

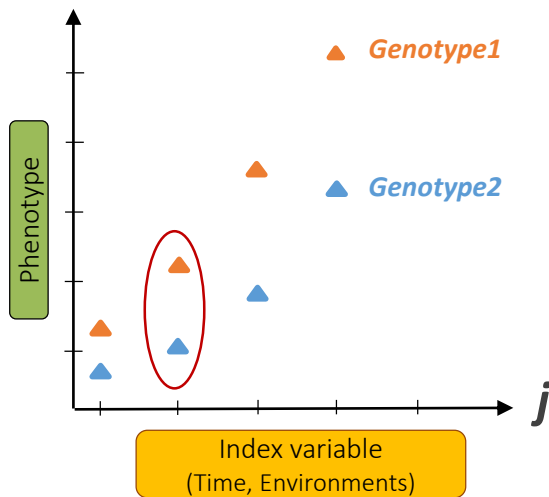


re-organization selon un
gradient environnemental

Estimation des valeurs génétiques par Régression Aléatoire

Univariate model

Each level of the index variable = 1 trait

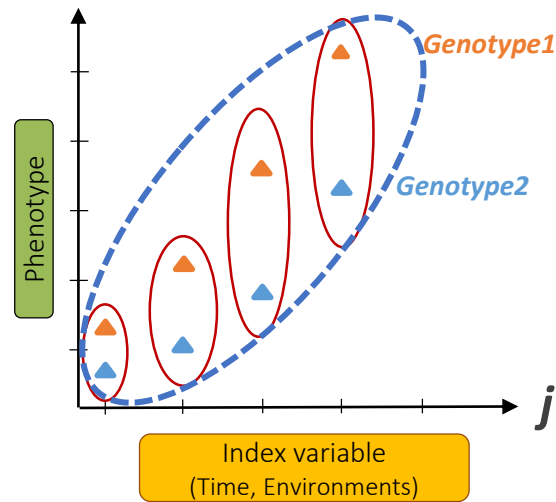


$$y_i = \mu + \beta_i + \alpha_i + \varepsilon_i$$

μ : mean
 β_i : fixed effect
 α_j : random effects

Multivariate model

Consideration of each level of the variable index as correlated traits

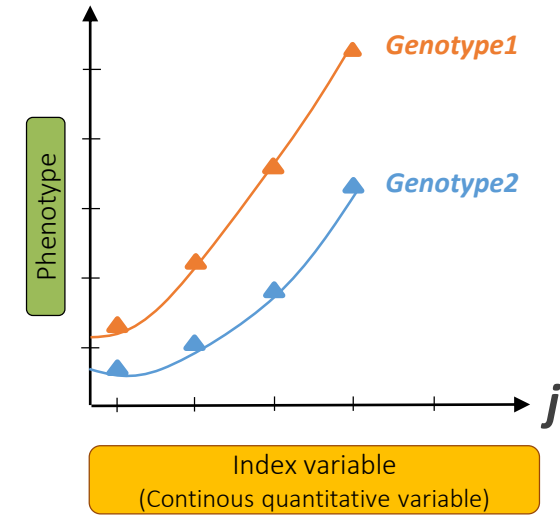


$$y_{ij} = \mu_j + \beta_{ij} + \alpha_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

μ : mean
 β_i : fixed effect
 α_j : random effects

Random regression

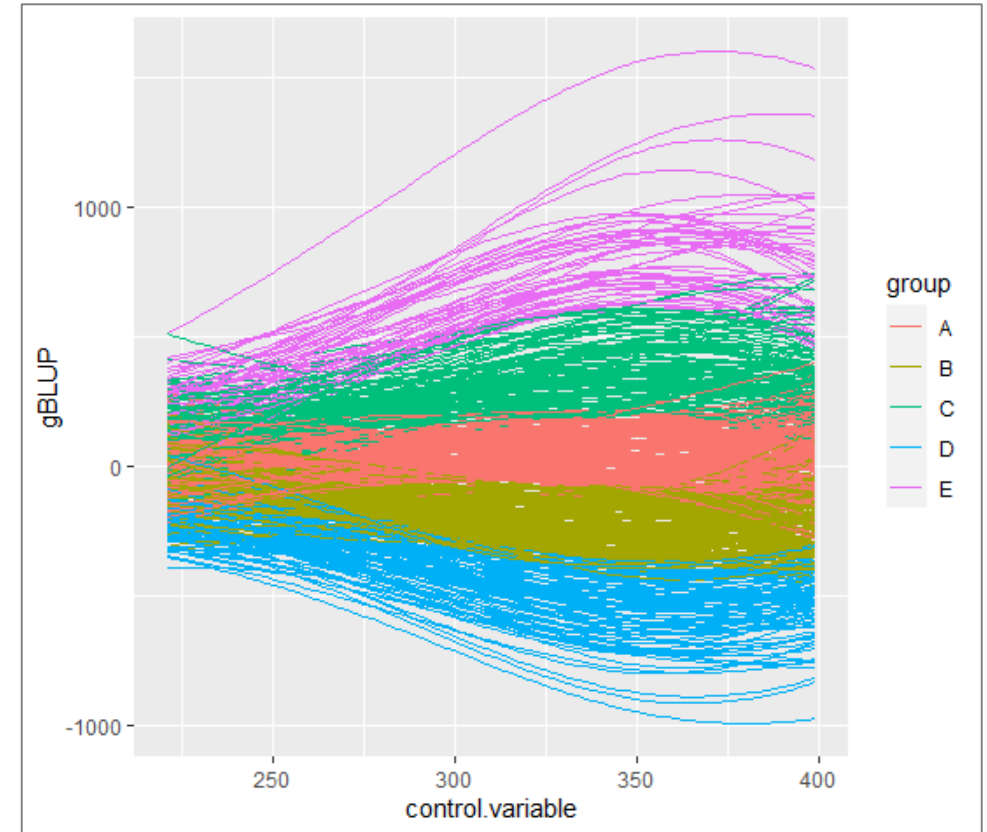
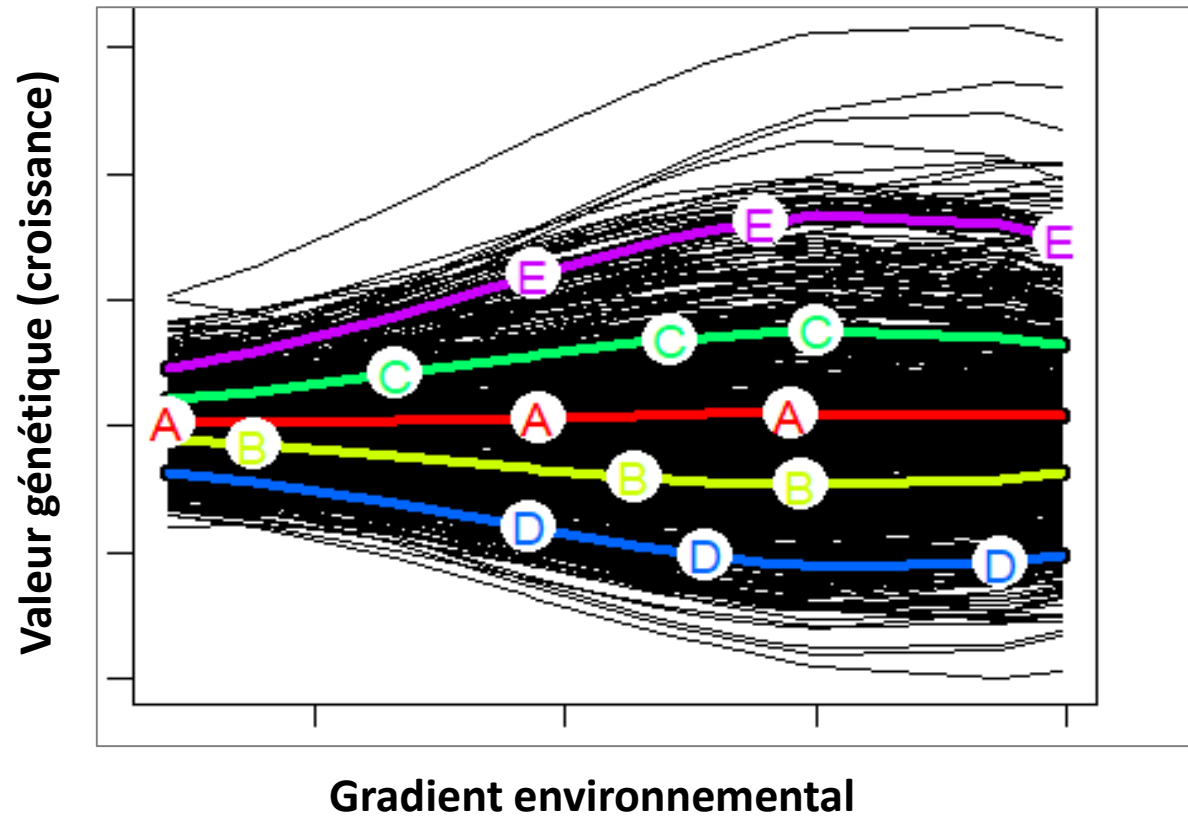
Adjustment of a trajectory according to a meaningful index



$$y_{ij} = M(t_j) + F_{ij} + A_i(t_j) + P_i(t_j) + \varepsilon_{ij}$$

$M(t_j)$: mean trajectory
 F_{ij} : fixed effects
 $A_i(t_j), P_i(t_j)$: random effects

Valeur génétique en fonction d'un gradient environnemental



➤ Quel critère choisir pour la sélection?

Microdensitométrie chez le pin maritime : de l'estimation de la densité du bois à la construction de normes de réaction

➤ **Densité du bois: un critère disponible pour le programme d'amélioration**

- Estimations des paramètres génétiques à partir des profils de microdensitométrie sur plusieurs milliers d'arbres
- Proxi (résistographe) pour une utilisation en routine
- Actuellement un critère secondaire pour la qualité du bois

➤ **Norme de réaction à partir des profils densitométriques**

- Grand intérêt dans le contexte du changement climatique
- Acquisition des données longue (utilisation du résistographe?)
- Travaux de recherche en cours pour valoriser la variabilité intra-annuelle