



Innovation génétique dans le domaine du matériel végétal forestier

Catherine Bastien, Luc Pâques, Vincent Segura, Jean-Charles Bastien, Jean-Paul Charpentier
INRA, UR-AGPF Orléans

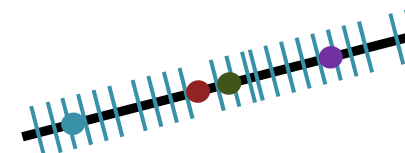
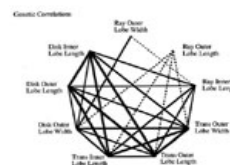
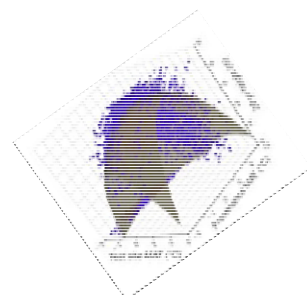


Plan

- Les variétés forestières améliorées diffusées aujourd'hui : gains génétiques réalisés



- Les approches cognitives et des outils qui évoluent pour de nouvelles innovations génétiques



Les variétés forestières améliorées

Définition



Matériels de reproduction des catégories **qualifiée** et **testée** obtenus par multiplication sexuée ou végétative de matériels de base choisis pour **leur origine génétique** et **leurs performances** pour un certain nombre de **critères de sélection**

Liste des variétés améliorées au registre national (2014)

- Près de **400 ha** de vergers à graines en production

	Catégorie qualifiée	Catégorie testée
Vergers à graines	Pin maritime (13) Douglas (6) Mélèze d'Europe (1) Pin sylvestre (2) Epicéa commun (3) Merisier (2) Pin laricio de Corse (1) Pin laricio de Calabre (1) Frêne (1) Cormier (1)	Douglas (2) Pin laricio de Corse (1)
Parents de familles	Pin maritime (2) Mélèze hybride (1) Noyer hybride (11)	Mélèze hybride (1)
Clones		Merisier (12) Peuplier (44) Eucalyptus (2)
Mélange clonal	Peuplier noir (4)	

Les variétés forestières améliorées

Utilisation en reboisement en 2013-2014



Rang 2013-2014	Espèces les plus vendues* (hors matériels destinés aux TCR)	Ventes en France 2013-2014
1	Pinus pinaster	44 870 944
2	Pseudotsuga menziesii	7 170 251
3	Quercus petraea	3 626 095
4	Picea abies	2 403 265
5	Abies nordmanniana	1 608 080
6	Pinus nigra corsicana	1 171 803
7	Pinus taeda	918 029
8	Picea sitchensis	898 149
9	Larix decidua	828 576
10	Pinus sylvestris	799 622
11	Fagus sylvatica	791 978
12	Robinia pseudoacacia	752 009
13	Carpinus betulus	614 828
14	Peupliers-cultivars (plançons, cf ANN. B)	596 411
15	Quercus robur	445 042
16	Quercus rubra	438 591
17	Cedrus atlantica	400 225
18	Larix eurolepis	391 634
19	Abies alba	253 393
20	Castanea sativa	238 885

Extrait des 20 premières essences

Le résultat d'efforts de création variétale initiés dans les années 1970

Un **approvisionnement** du marché pour un grand nombre d'espèces résineuses majeures en reboisement + peupliers

Des **pénuries récurrentes** pour les espèces les plus demandées (pin maritime, douglas, mélèze hybride)

Les variétés forestières améliorées

Critères de sélection utilisés



Evaluation dans les zones de reboisement les plus importantes en 1970-2000
selon les scénarios sylvicoles préconisés
Sélection individuelle multicaractère

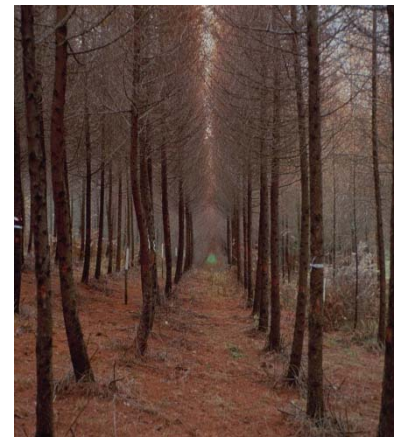
Adaptation
(climat, station, ravageurs)



Production en
volume



Forme des
tiges



Branchaison



(Qbois)



Stratégie du « best guess »: *contre-sélection* de défauts, *amélioration* de l'homogénéité du matériau, maintien du niveau de densité du bois

Les variétés forestières améliorées

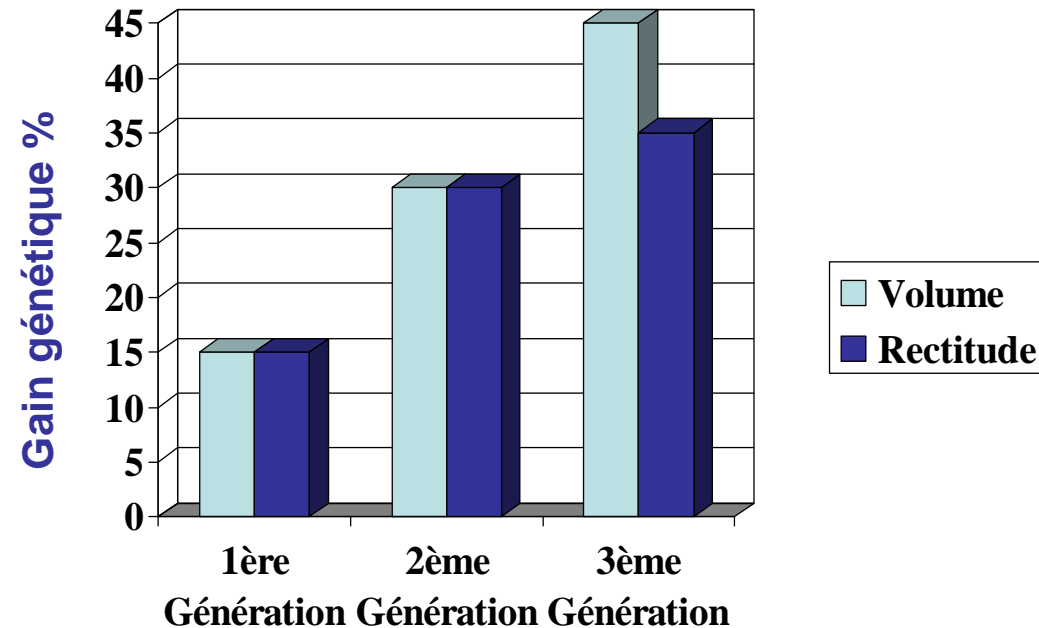
Gains génétiques réalisés



Pin maritime



Vergers de 1ère génération



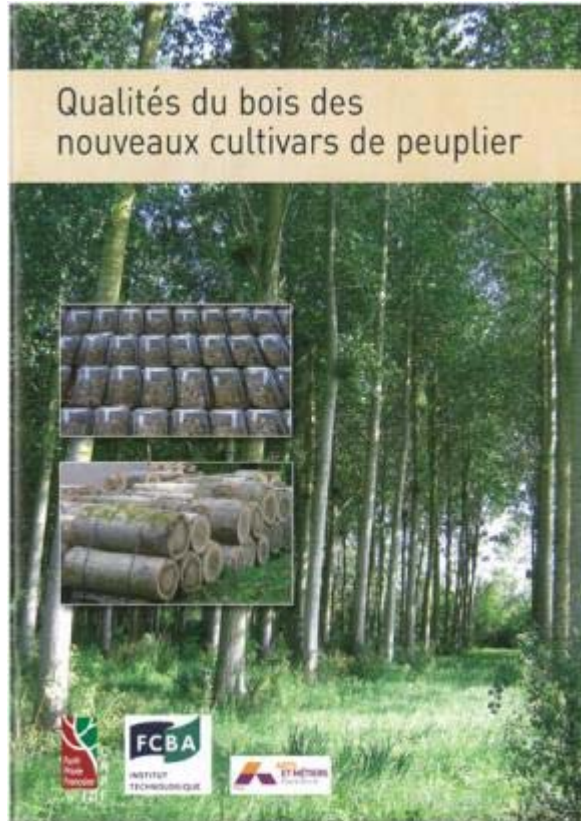
- Un gain génétique soutenu grâce à une **sélection récurrente** sur 3 générations (3 x 15-20 ans)
- Un gain de productivité de +15% sur le volume -> rotations + courtes, proportion de bois juvénile + élevée
- Un gain sur la forme des tiges très significatif

Les variétés forestières améliorées

Gains génétiques réalisés



Peuplier - 2013



Effet **Cultivar** >> Effet **Site**

Masse volumique

Infradensité

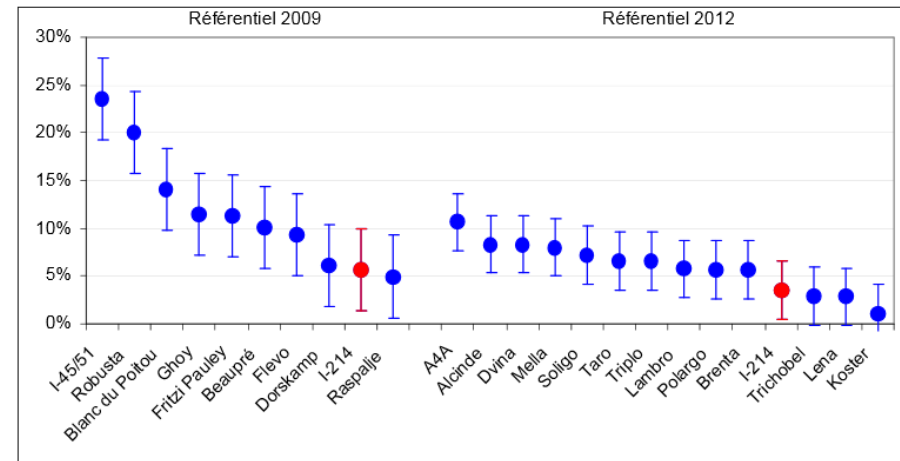
%écorce

Rendement en pâte

Forme des fibres

Clarté du bois

% Bois de tension



Source: A. Berthelot, FCBA

Les attentes en matière de variétés forestières améliorées

des attentes diversifiées et qui évoluent vite ...



Une **sélection de plus en plus multi-critères** pour une productivité durable dans un contexte de changement climatique et de maintien de compétitivité

Hier

- Adaptation « moyenne »
- Volume
- (Forme)
- (Densité du bois)



Aujourd'hui

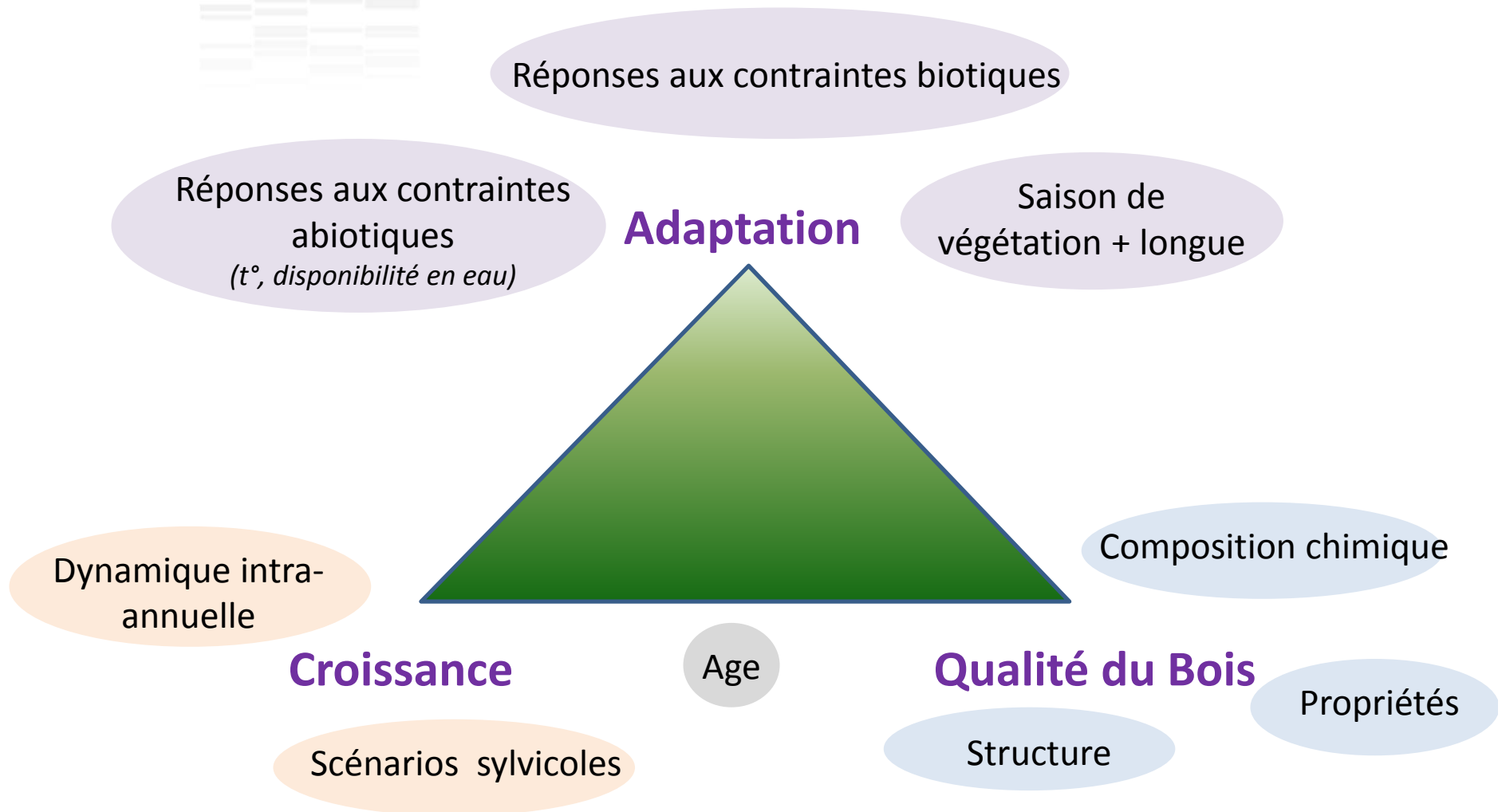
- Adaptation aux contraintes:
 - Températures
 - Sècheresse
 - Vent
 - Biotiques

} rusticité
résilience
- Dynamique de croissance
- Efficience (Eau/nutriments)
- Forme des tiges
- Qualités pour différents usages du bois

Prise en compte explicite de la diversité génétique au sein des variétés

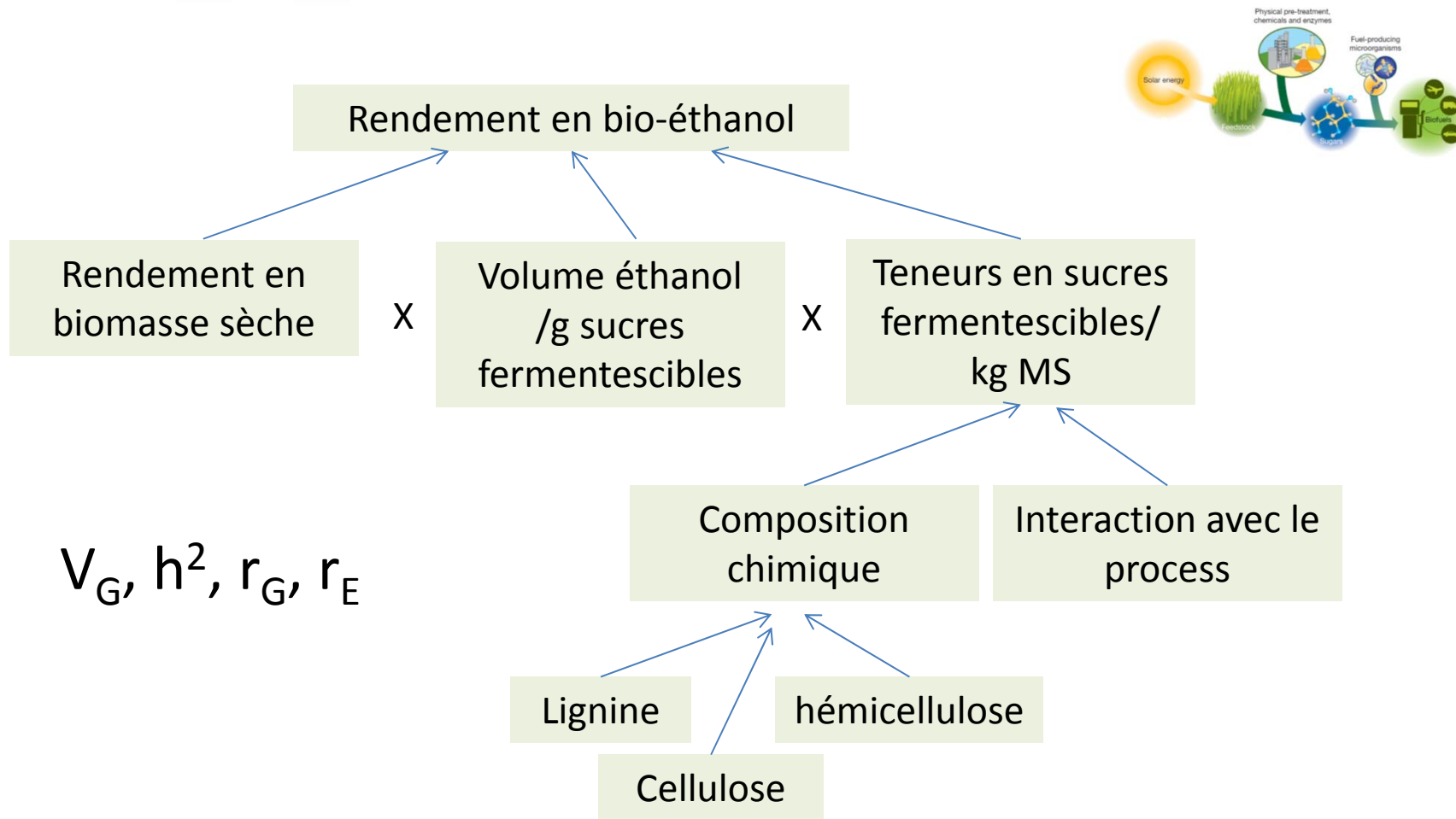
Les approches choisies par les améliorateurs

approfondir les connaissances ...



Approfondir les connaissances

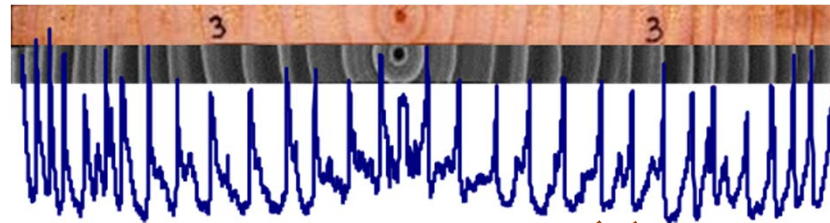
- **Décomposer** les caractères complexes
sources de variation et déterminisme génétique, flexibilité en sélection



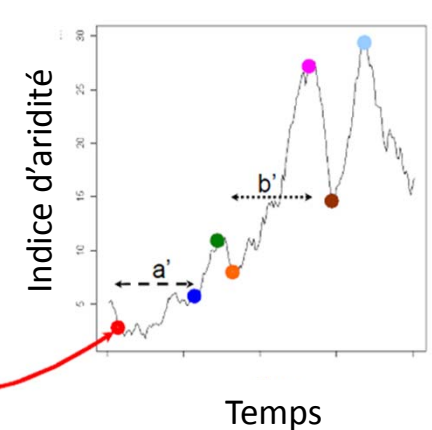
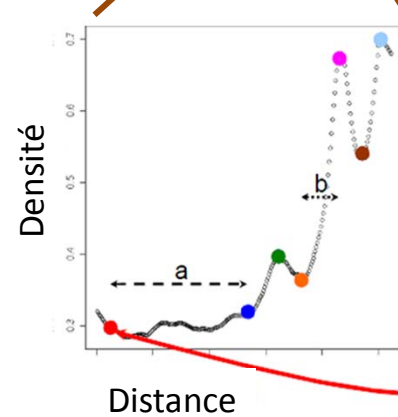
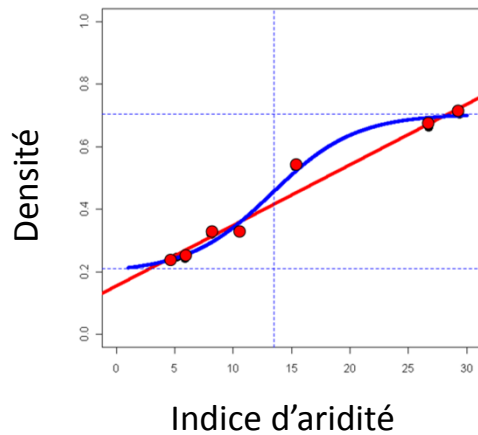
Approfondir les connaissances



- Privilégier une décomposition **dynamique** et **fonctionnelle**
dynamique de formation du cerne, âge, contraintes biotiques et abiotiques (GxE)



Exemple Pin maritime
source: L. Bouffier 2012

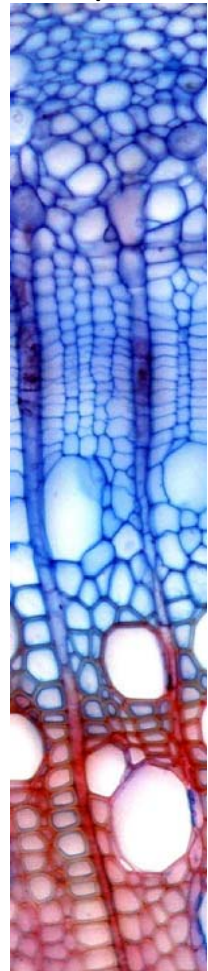


Variabilité génétique des paramètres
de normes de réaction

Approfondir les connaissances

- Privilégier une décomposition **dynamique** et **fonctionnelle**
dynamique de formation du cerne, âge, contraintes biotiques et abiotiques (GxE)

CT tige de Peuplier - Coloration
Safranine/Bleu Astra



Phloème

Zone
cambiale

Xylème

Divisions cellulaires

Elongation cellulaire

Différenciation
(vaisseaux, fibres,
rayons)

Formation des parois
secondaires lignifiées

Mort cellulaire

Croissance en diamètre
Quantité de bois

Plan ligneux

Composition chimique
Angle des microfibrilles
Cristallinité cellulose
Épaisseur des parois

Densité

Propriétés mécaniques
(MOE/retrait)

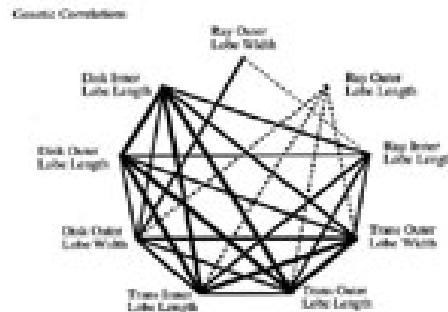
Interactions disciplinaires

(Plomion et al. 2001, Déjardin et al. 2010)

Approfondir les connaissances

- Mesurer les relations entre caractères pour trouver les meilleurs compromis

Des approches souvent ciblées sur une **seule propriété**-> peu de connaissances sur les relations entre caractères

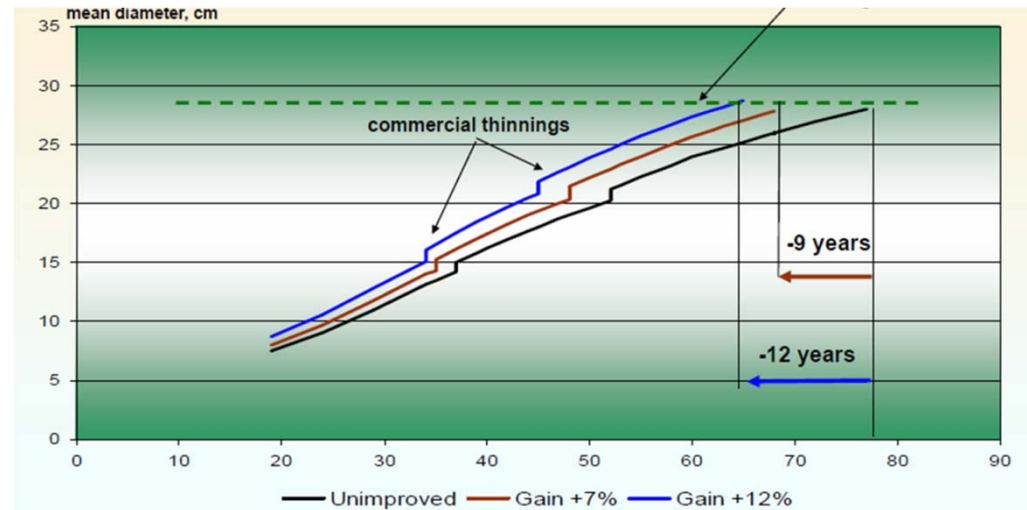
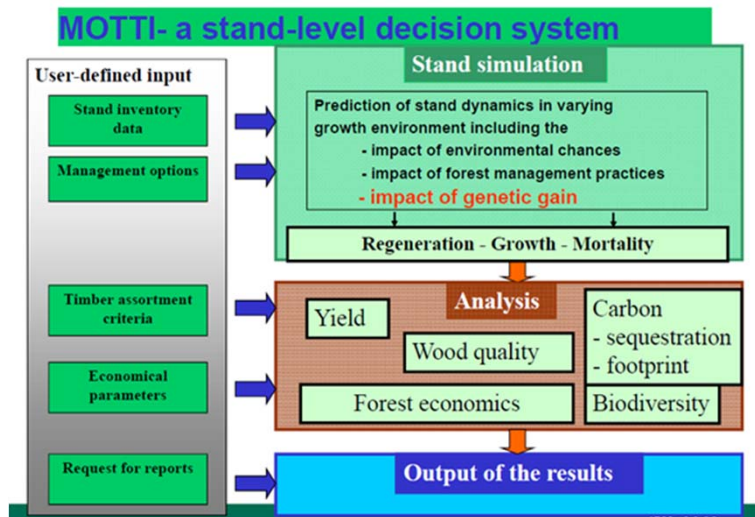


- Analyse de **covariations** à amplifier sur des panels de diversité génétique bien choisis
- Analyse approfondie des causes des **antagonismes** identifiés (génétiques et moléculaires?, physiologiques?) -> optimisation des poids en sélection multicaractère, diversification des innovations variétales

Approfondir les connaissances

- Utiliser la **modélisation** pour simuler les impacts de choix de sélection

*Impact des gains génétiques sur la croissance:
cas du pin sylvestre en Finlande*



Source: LUKE – Hynynen - 2012

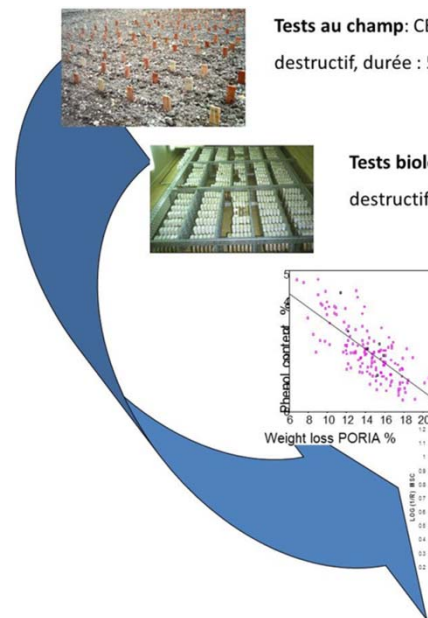
Des études à développer sur les aspects qualités ...

Se doter des meilleurs outils

$$\begin{array}{c}
 \text{Gain génétique} \\
 \text{/unité temps}
 \end{array}
 = \frac{\begin{array}{c} \text{Précision de} \\ \text{prédiction} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Intensité de} \\ \text{sélection} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Variabilité} \\ \text{génétique} \end{array}}{\text{Longueur cycle}}$$

- Trouver les meilleurs proxys des différents usages à évaluer de façon non destructive :

DURABILITE

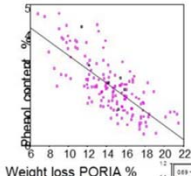
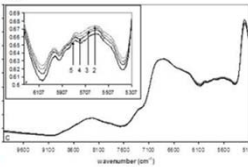


Tests au champ: CEN/TR 14723..
destructif, durée : 5 ans, évaluation délicate

Tests biologiques au labo : EN 335..
destructif, durée 6 semaines, coût élevé

Analyse chimique :
non destructif, facilement répétable,
coût élevé

SPIR : non destructif, rapide

BOIS DE REACTION

EXTRACTIBLES

COULEUR

LONGUEUR DES FIBRES

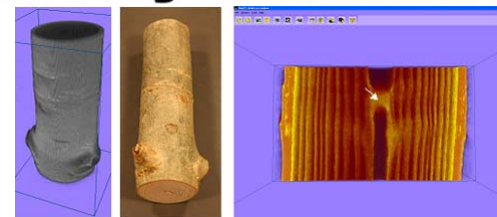
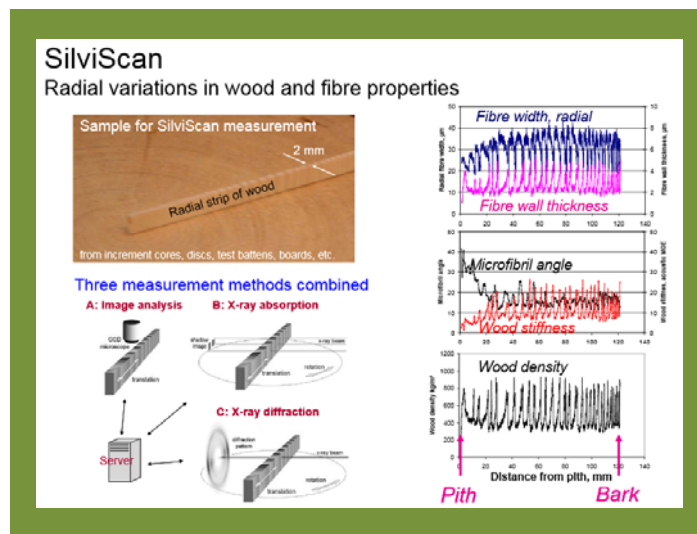
RDT COMBUSTION



Se doter des meilleurs outils

$$\begin{array}{c}
 \text{Gain génétique} \\
 \text{/unité temps}
 \end{array}
 = \frac{\text{Précision de prédition} \times \text{Intensité de sélection} \times \text{Variabilité génétique}}{\text{Longueur cycle}}$$

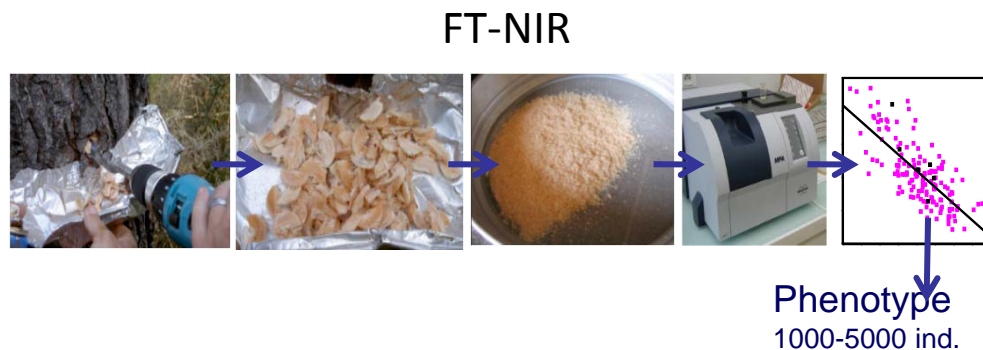
- Poursuivre le développement de plateformes de phénotypage multi-critères et de protocoles de référence



Se doter des meilleurs outils

$$\text{Gain génétique} / \text{unité temps} = \frac{\text{Précision de prédiction} \times \text{Intensité de sélection} \times \text{Variabilité génétique}}{\text{Longueur cycle}}$$

➤ Accéder au **haut-débit** avec les méthodes indirectes




Calibrations intraspécifiques :

- *Teneur lignine*
- *Teneur cellulose*
- *Teneur hémicellulose*
- *Teneur extractibles*
- *% bois de tension*

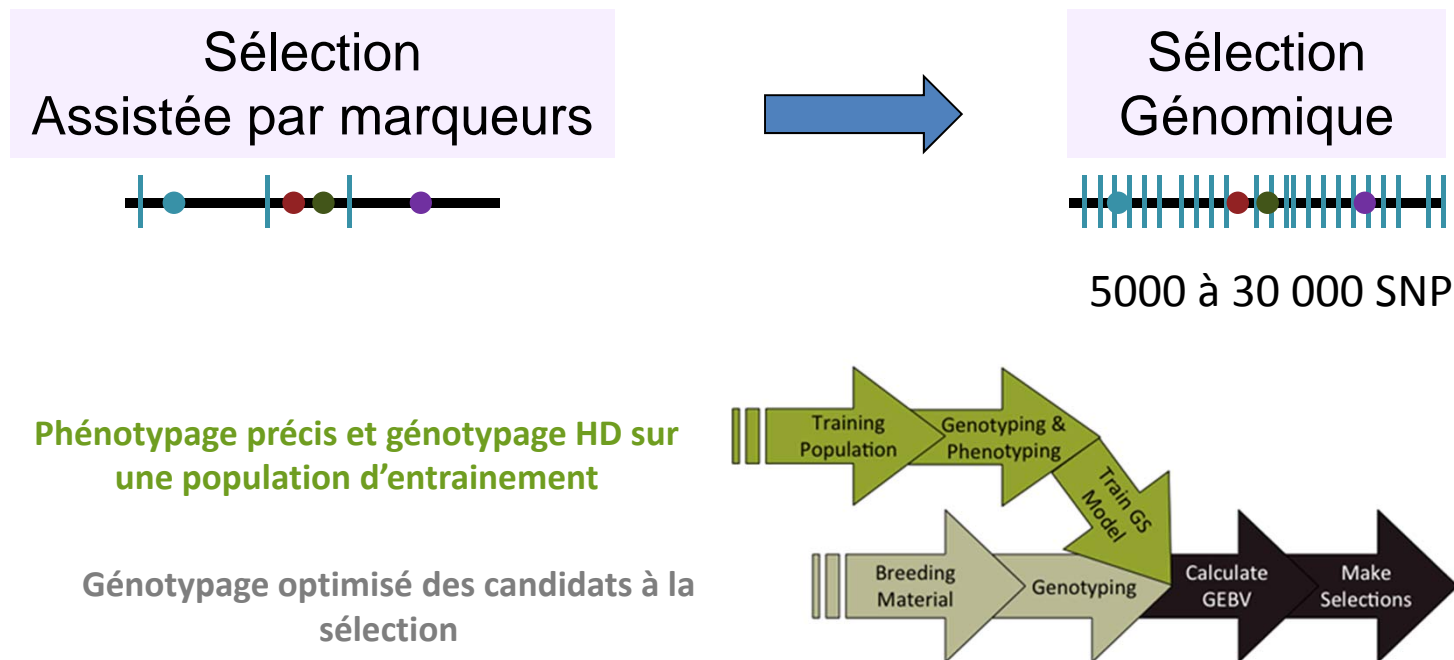
➤ Gagner du temps grâce à la sélection génomique

Se doter des meilleurs outils



$$\text{Gain génétique / unité temps} = \frac{\text{Précision de prédiction} \times \text{Intensité de sélection} \times \text{Variabilité génétique}}{\text{Longueur cycle}}$$

- Gagner du temps grâce à la **sélection génomique**



Conclusion - Perspectives



L'innovation variétale pour de nouvelles sylvicultures et de nouveaux usages du bois n'est pas limitée par la variabilité génétique intraspécifique, il faut :

- trouver les déterminants des différentes propriétés d'intérêt
- Identifier des proxies mesurables de façon non destructibles et à haut-débit
- s'attacher à mieux comprendre la covariation Quantité - Qualités
- s'attacher à quantifier et expliquer les interactions GxE pour ces propriétés
- s'attacher à comprendre les effets ontogéniques
- Conduire des études socio-économiques pour une évolution réussie de l'innovation
- Préparer la filière graines et plants à des demandes de diversification

Merci de votre attention

