

Créer de nouvelles variétés : une réponse possible ? Le cas du pin maritime.

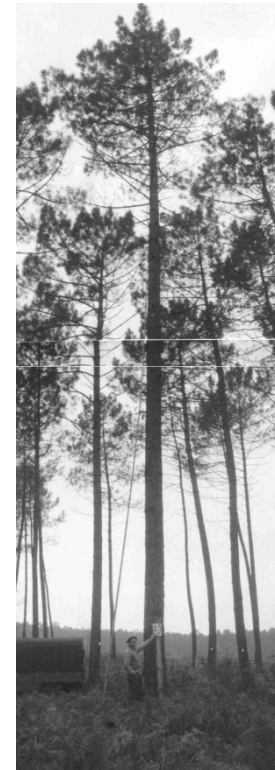
Annie Raffin, INRA,
UMR Biogeco

La génétique, un élément clé pour l'adaptation des forêts au changement
climatique, Atelier du 12 mai 2011



Le programme d'amélioration du pin maritime

- Programme de sélection récurrente classique : préserve la variabilité génétique et accumule le gain génétique à chaque génération :
- basé sur une large population d'amélioration (1960 : sélection des arbres plus),
- sélectionnée dans la ressource naturelle locale (choix de la provenance landaise sur des critères adaptatifs : résistance au froid, et sur la vigueur)



- Principe : cycles de croisements contrôlés entre parents (recombinaison des gènes / des caractères) et sélection des meilleurs descendants (accumulation des allèles favorables pour les caractères sélectionnés).



Parc à clones, INRA

3 générations de population
d'amélioration,
4500 individus sélectionnés,
5000 familles testées sur
500 ha tests

2 critères de sélection principaux : volume
et rectitude

150 ha de vergers en production



Verger VF1 de Sore



Verger VF2 de Mimizan

Les variétés de pin maritime

VF1 : (250 ha) St Sardos, Cabanac, Sore,
Lavercantière

VF2 : (200 ha) Mimizan, St Augustin, Hourtin,
Moulis, Beychac, Le Porge, Vaquey

VF3 : (180 ha) production 2011

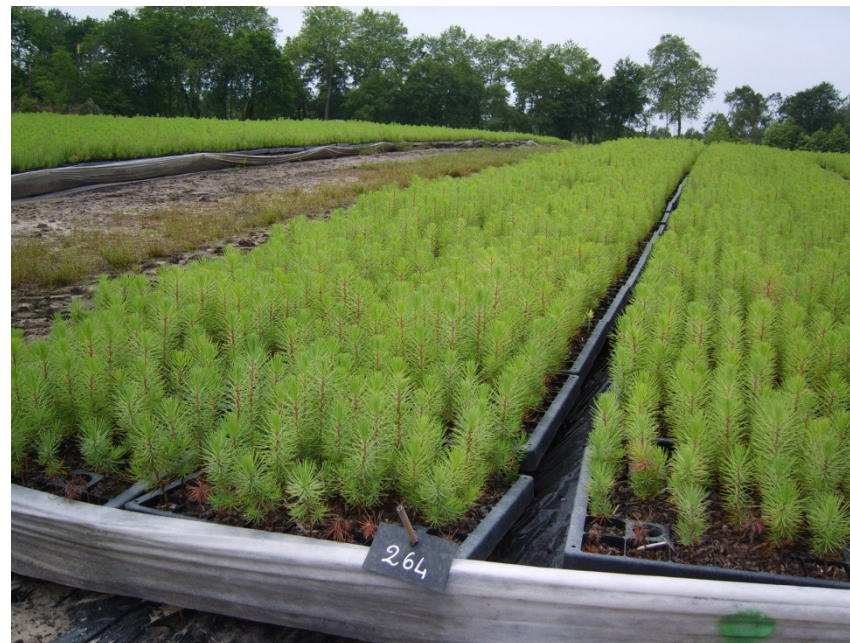
LC1

LC2

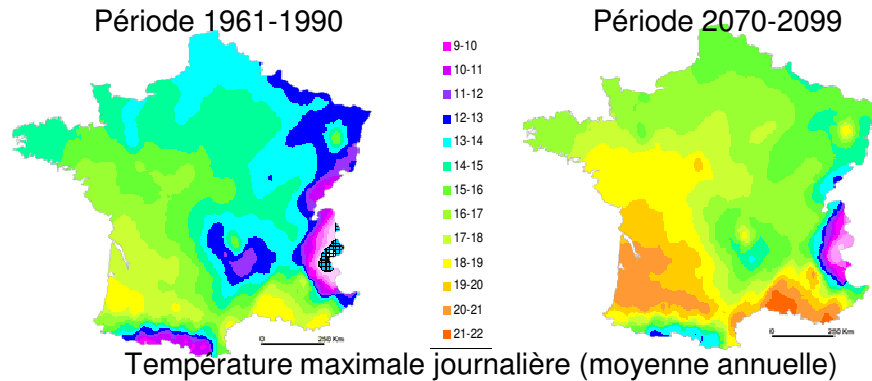


Les variétés sont diffusées :
(avant tempête 2009)

- 70 % des surfaces étaient reboisées par plantation, dont 100% en VF2
- 28 M plants vendus / an (2008), soit près de 50 % des plants forestiers commercialisés en France
- Environ 20 à 25 % du massif landais = variétés améliorées



Le changement climatique



- Un climat plus chaud
- Un contraste pluviométrique saisonnier accentué

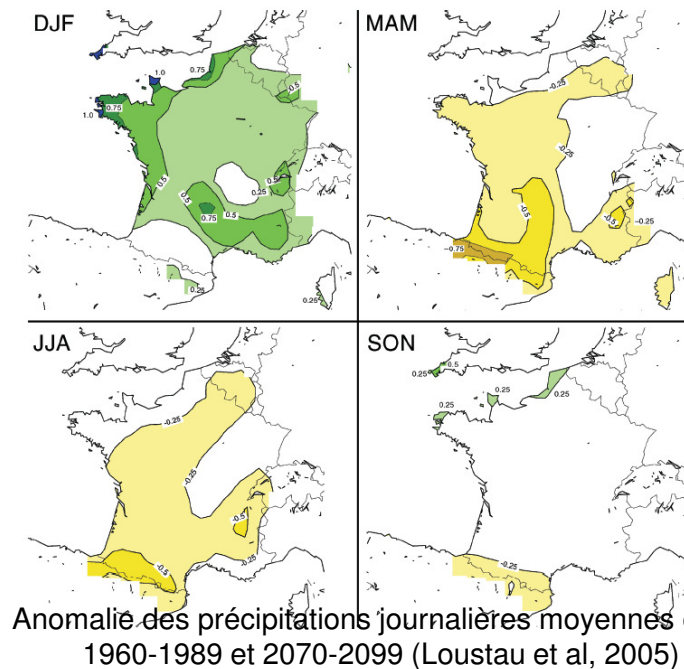
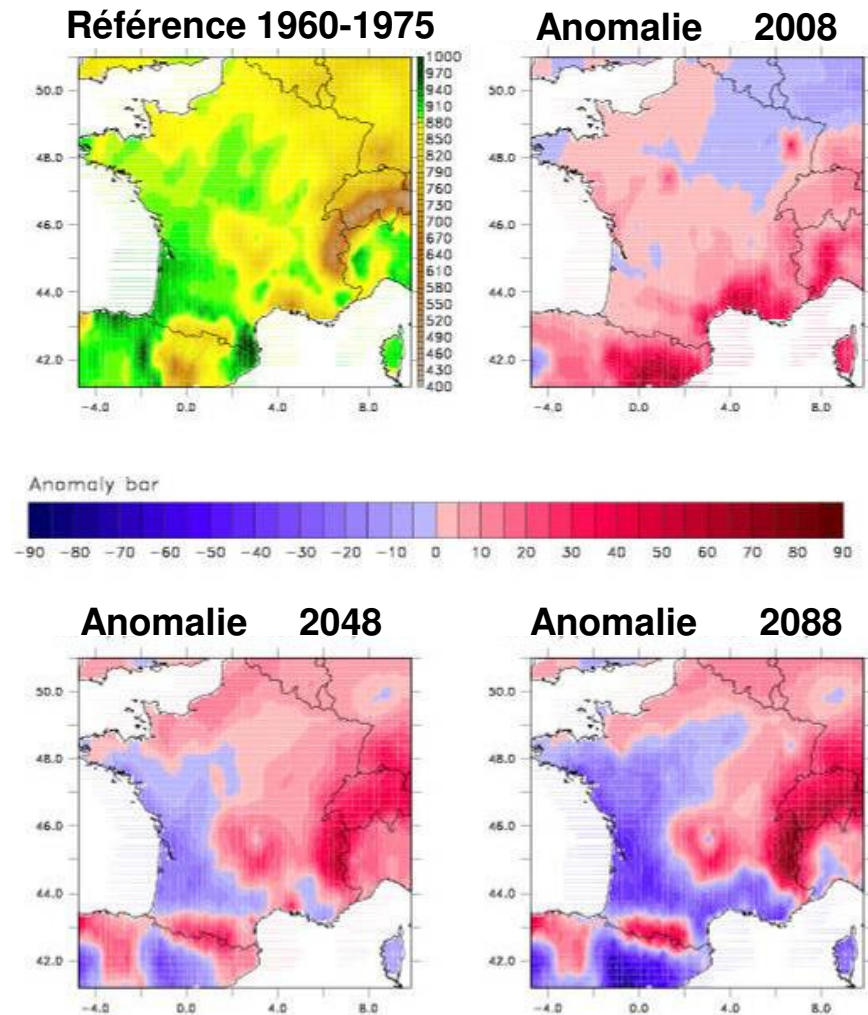


Figure 3. Anomaly in mean daily precipitation (mm day^{-1}) in winter (DJF = December, January, February), spring (MAM = March, April, May) summer (JJA = June, July, August) and autumn (SON = September, October, November) over France between (1960–1989) and (2070–2099).

Impact sur la production forestière

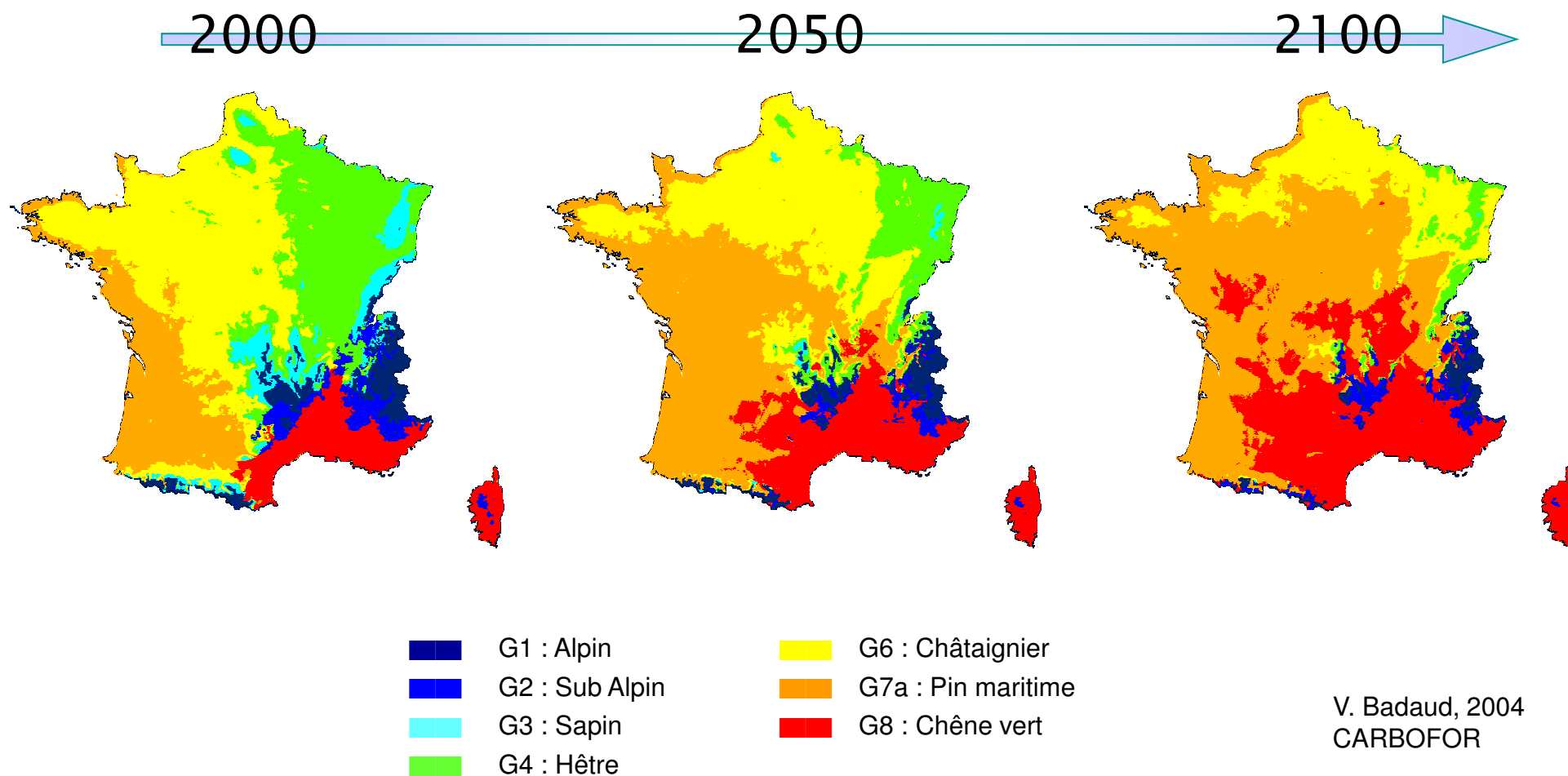


Productivité Primaire Nette (NPP) des conifères tempérés ($\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-2}$)

- Oppositions Nord/Sud et Est/Ouest
- Variations à petite échelle
- Inversion ~ 2040

(Loustau et al, 2005)

Modèles statistiques de distribution des aires potentielles de groupe d'espèces

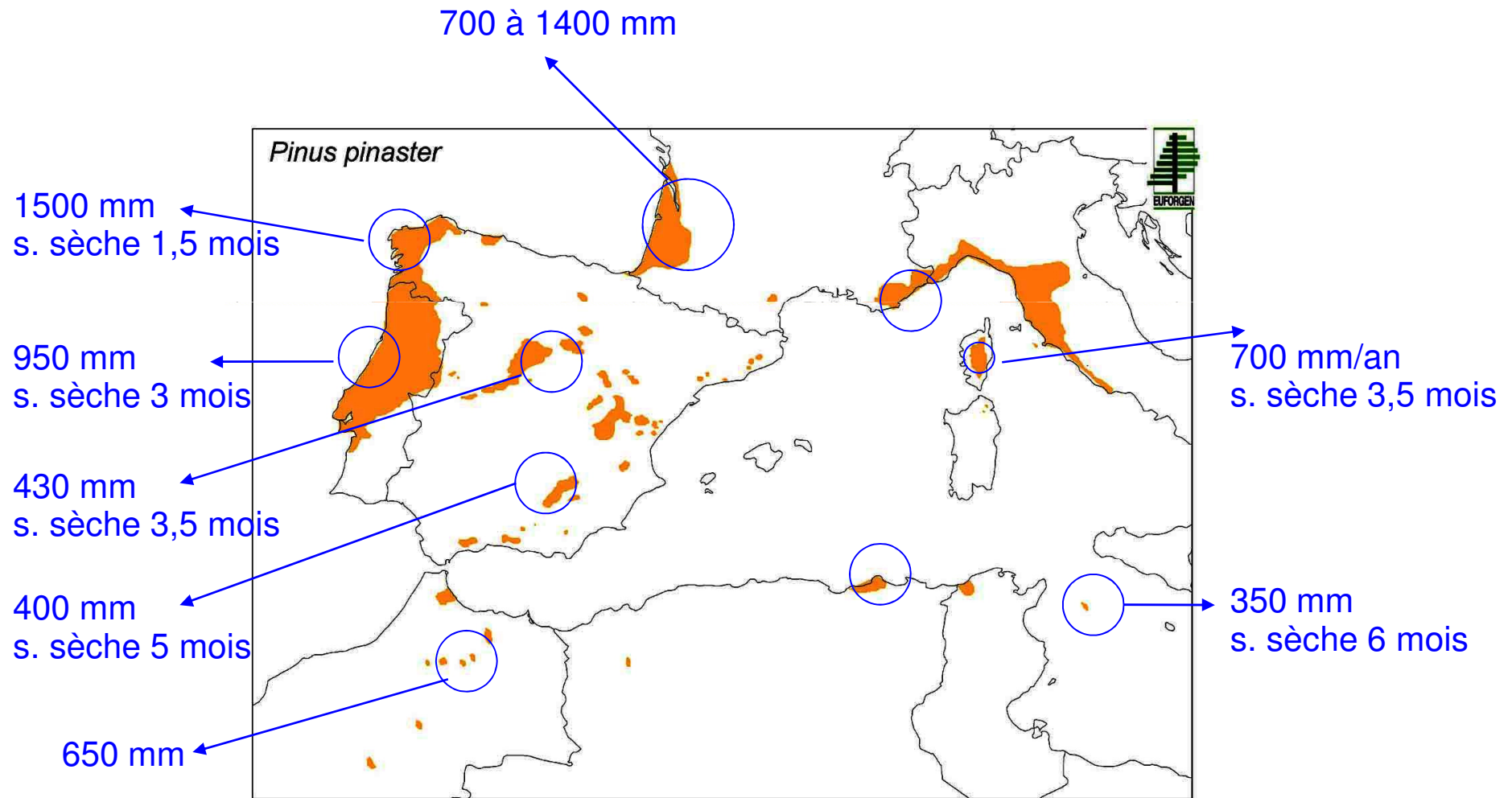


Variétés de pin maritime et changement climatique

- 1- Un contexte biologique favorable : la diversité génétique
- 2- L'adaptabilité des variétés actuelles
- 3- Des stratégies de sélection pour les variétés de demain, dans un climat en évolution

1- Un contexte biologique
favorable : la diversité
génétique

Une forte diversité génétique intra spécifique : Aire de répartition du pin maritime et diversité des stations



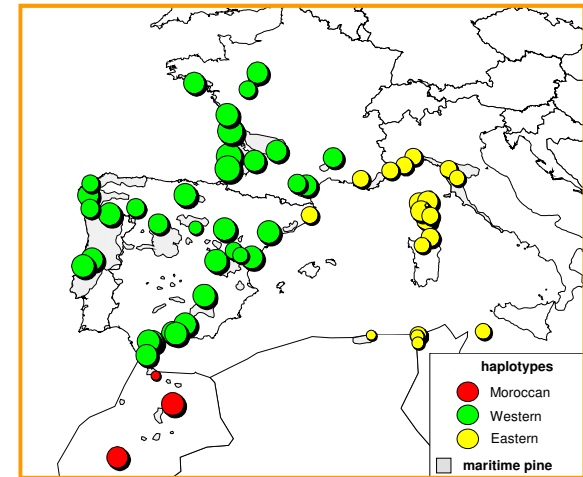
La diversité dans les populations naturelles est étudiée

- Marqueurs neutres



Bucci et al, 2007 (msat chloro)

Fig. 3 Geographical map of the principal component analysis (PCA) results carried out on 16 spatially interpolated haplotype frequencies over a lattice of 430 grid points. Grid points scores (eigenvectors) on the first three principal component (PC) axes (overall variance accounted for: 74.29%) were transformed to a range 0 (no colour) to 255 (full colour), and combined in a single layer using an RGB method (red = PC1, green = PC2, blue = PC3). The relative intensity of the three main colours indicates approximately the position of a given grid point along a main gradient of haplotype frequency variation, as well as their distance from the PC extremes.



Burban et Petit, 2003
(mito DNA par RFLP)



- Comportement en tests de provenances multi-sites

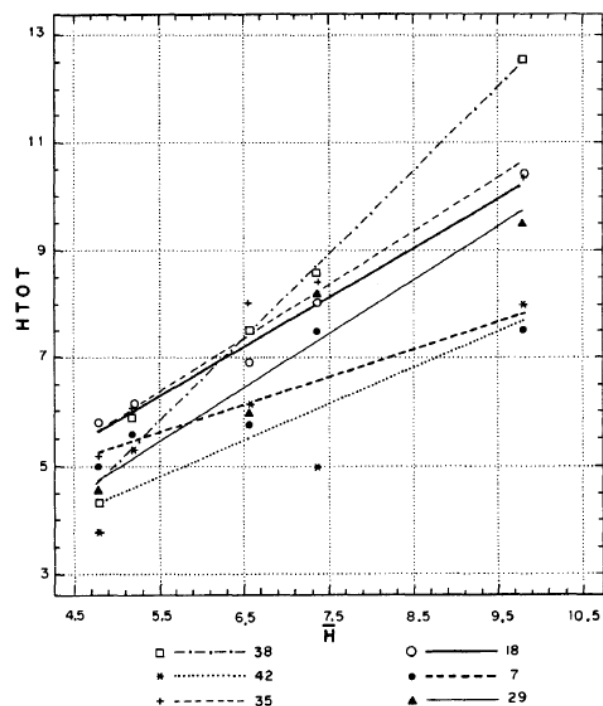


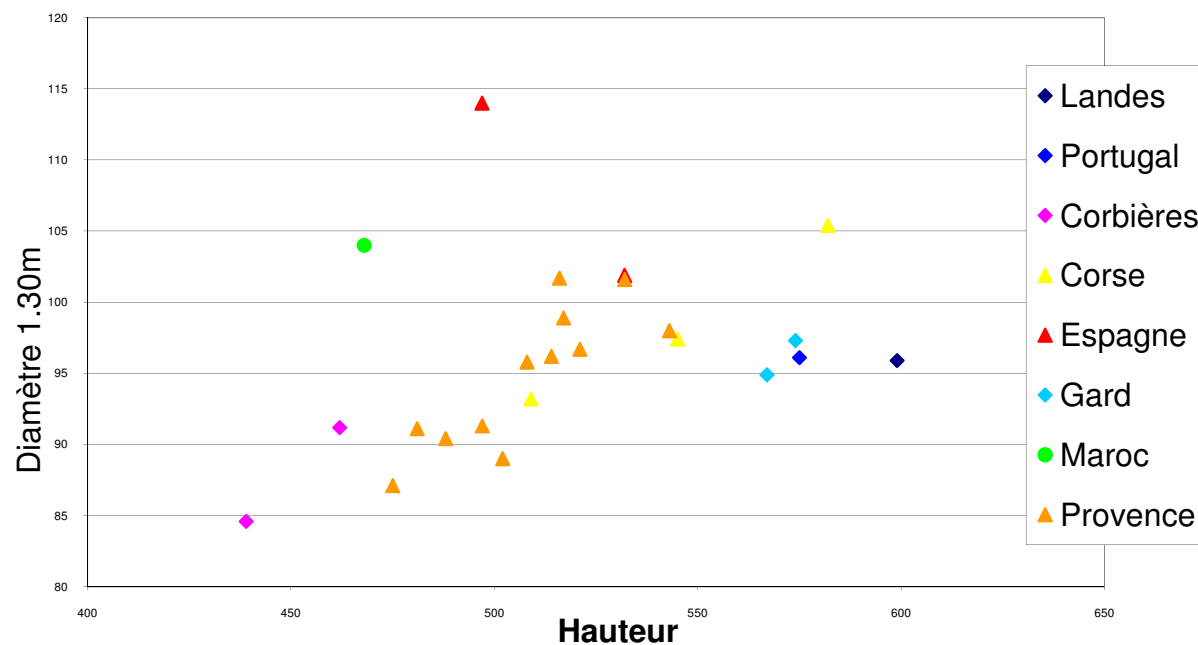
Figure 3. - Plot of provenance height means (HTOT) against site means (H) and estimated regression lines for 6 provenances.

(Alia et al, 1995 : 5 sites, centre Espagne)

(d'après Harfouche, 1995, test dans le Var)

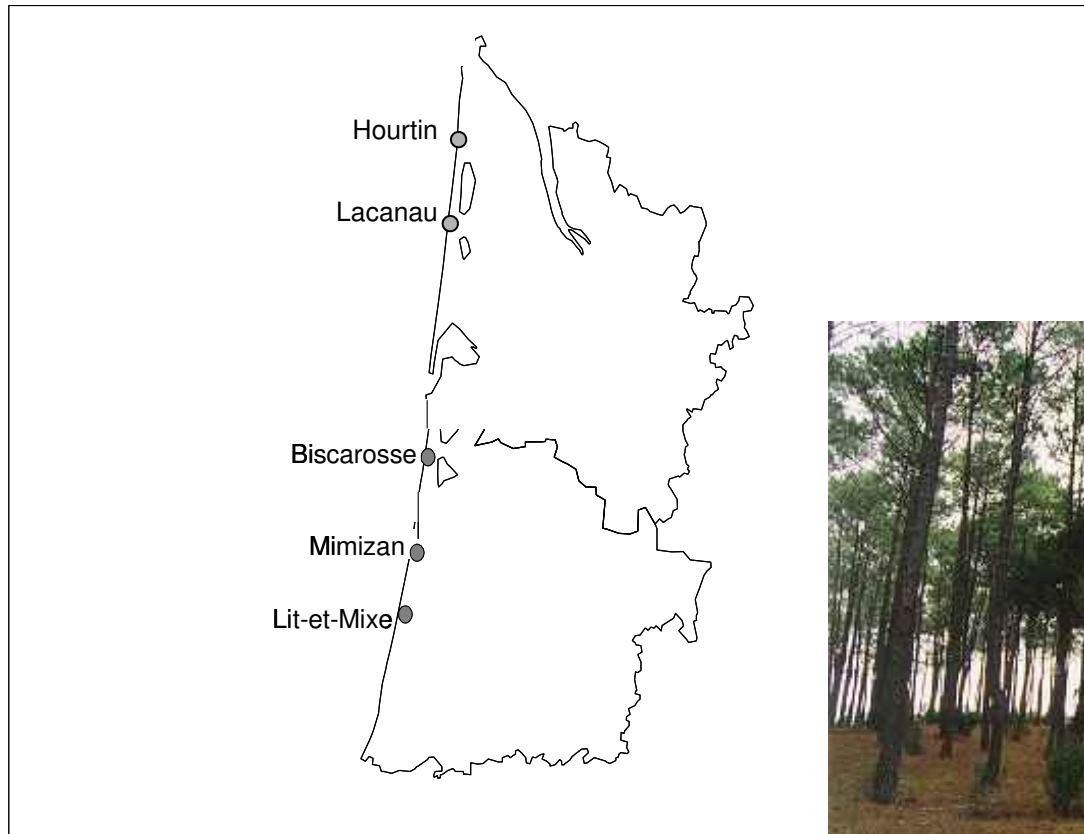
Leiria
Landes
Tamjout

La provenance landaise testée dans différents milieux (atlantique, méditerranéen, centre Espagne, ...centre France) : bonne survie et bonne croissance



La diversité dans les populations naturelles est conservée

Réseau de conservation des RG Pin maritime : 5 Unités de Conservation pour le Massif Landais



- L'espèce pin maritime a des ressources ... des réserves de diversité sont disponibles
- La provenance landaise (base des variétés) montre une bonne plasticité, et un bon comportement sur une diversité de milieux



Une domestication récente, encore peu marquée.

Pas de barrière génétique entre ressources naturelles et populations améliorées.



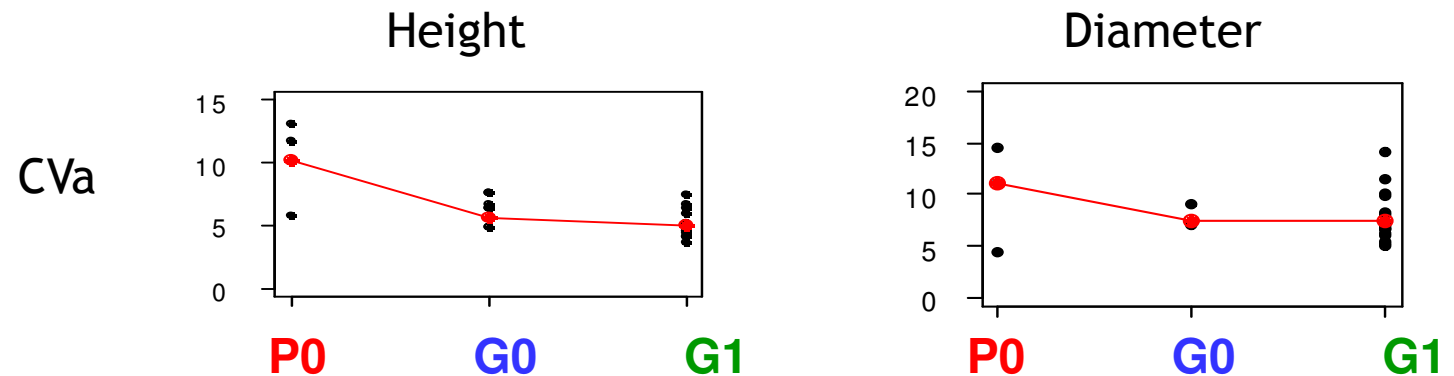
2- L'adaptabilité des variétés actuelles

- La diversité favorise l'adaptabilité
- Le programme de sélection est géré de façon à maintenir la diversité génétique :
 - Dans la population d'amélioration
 - Dans et entre les variétés

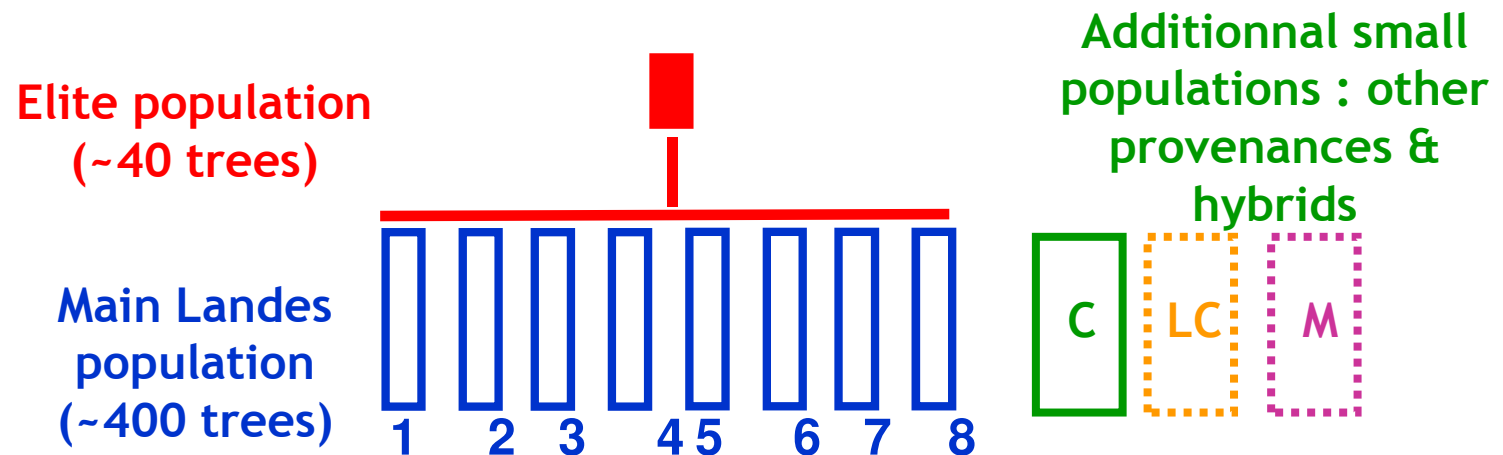
La diversité dans la population d'amélioration

est importante : En théorie 200 fondateurs suffisent pour 30 générations (Kang, 1979). Pin maritime : 250, 3 générations

est étudiée



est maintenue et augmentée



La diversité dans les variétés

Est gérée pour intégrer des risques connus :

sélection sur l'adaptation générale,
tests multisites des géniteurs,
évaluation au 1/3 ou 1/4 de l'âge de la rotation

Mais la garantie totale n'existe pas (risques inconnus) :

la diversité est liée au nombre de géniteurs non apparentés dans la variété : selon des études théoriques 20 à 40 géniteurs sont un bon compromis (Pin maritime : 30 à 40, variétés synthétiques et non clonales)

Une zone d'amélioration
climatique, mais plusieurs types
stationnels

Les tests de descendance du
programme de sélection sont
installés sur des sites
représentatifs des stations du
massif landais : lande humide,
mésophile, sèche

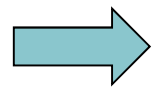
Les variétés sont polyvalentes



La diversité, c'est aussi ENTRE les variétés

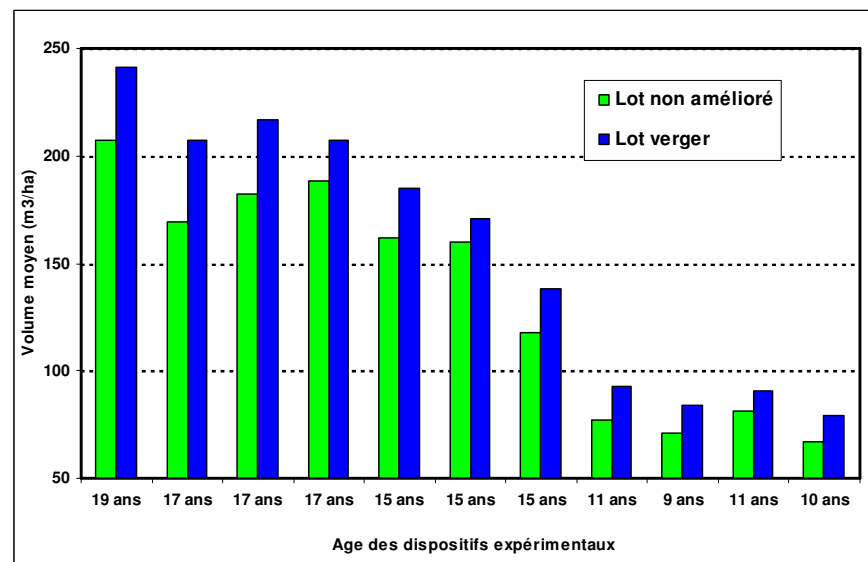
Diversification des variétés pour des usages différents:
VF2, LC2, (Biomasse)

Renouvellement rapide dans le temps et dans l'espace :
VF3, VF4, LC3



Une mosaïque de variétés à l'échelle du massif

- Les variétés sont également testées sur une gamme de sites et de scénarios sylvicoles : le gain génétique s'exprime toujours
- Le gain génétique en croissance se traduit par des rotations plus courtes : le risque d'exposition aux aléas diminue



Les vergers sont installés avec une large base génétique : ils peuvent être ré-orientés au cours de leur utilisation :

- Éclaircie génétique (selon résultats des tests des parents)
- Croisements contrôlés entre les parents choisis



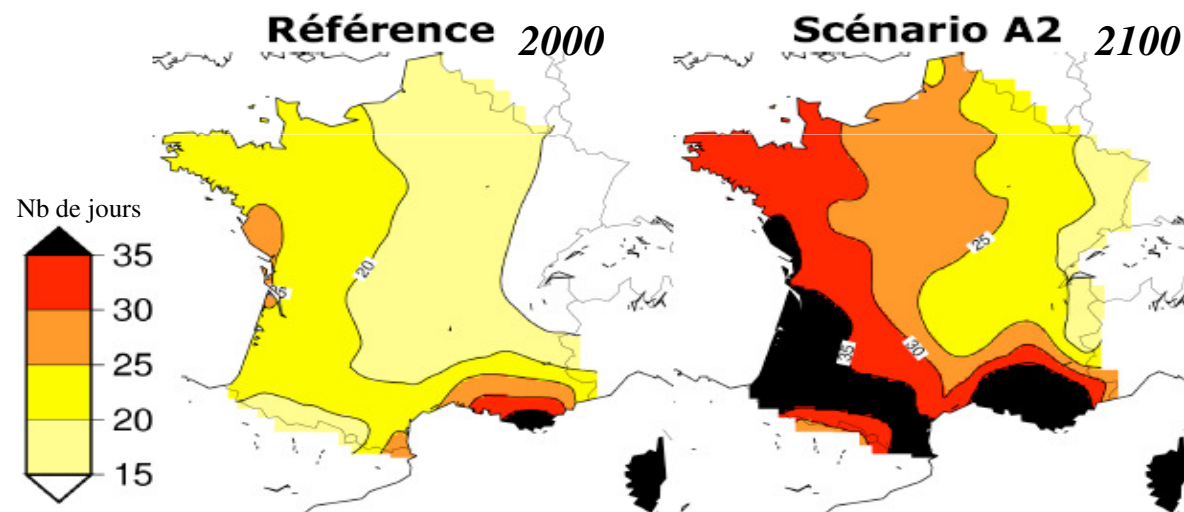
- La diversité est également maintenue dans la population d'amélioration, et dans les variétés
- Les variétés actuelles sont polyvalentes et stables
- Les vergers à graines peuvent être partiellement ré-orientés si besoin (éclaircies génétiques)

3- Des stratégies de sélection
pour les variétés de demain,
dans un climat en évolution

Le changement climatique en Aquitaine : un été plus sec



Durée maximum sans pluie en été



Maximum number of days without rain in summer

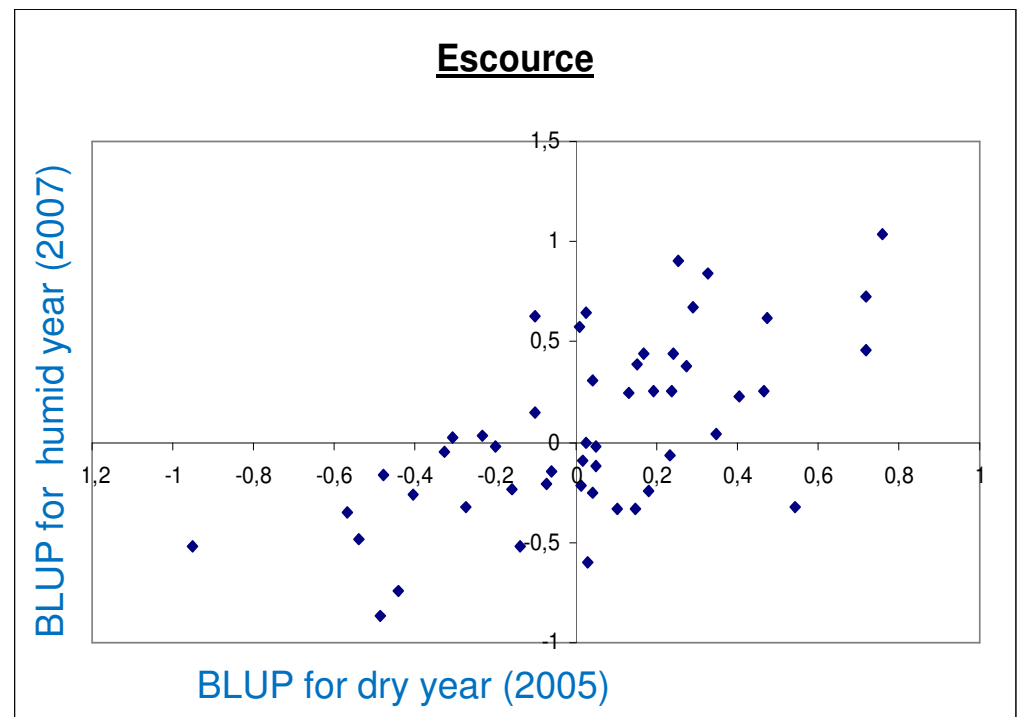
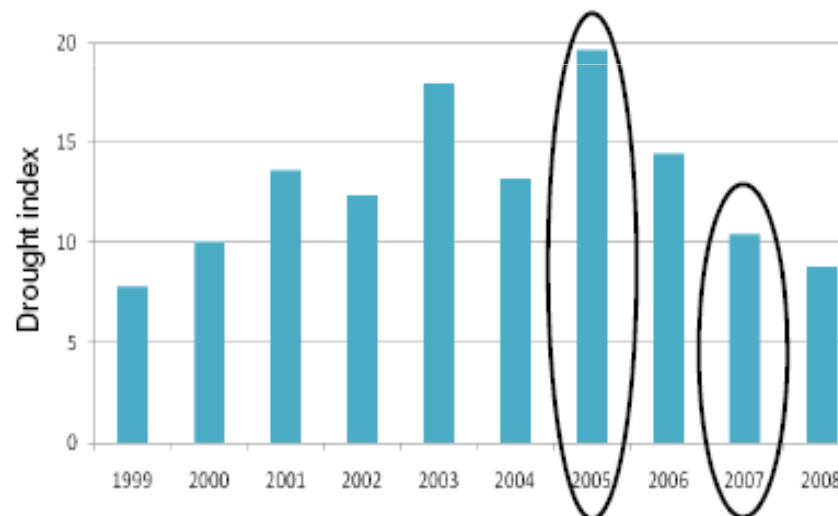
Ré-analyser : Ré-utilisation des tests actuels

Une rapide ré-orientation de la sélection est possible en analysant différemment les données déjà mesurées : en privilégiant les performances sur les sites secs (ou les années sèches)



Annual growth for specific years

- Wood density profiles can be used to estimate annual growth for contrasted climatic years (ex: 2005 = dry vs. 2007= humid)
- Possibility to select genotypes on BLUP for growth in dry and/or humid conditions



Anticiper :

- Extension des réseaux d'évaluation vers des zones plus sèches (déplacer les zones de sélection ?)

Avec les mêmes conditions de pédologiques ?

Avec les mêmes conditions hivernales ?

=> Maintien d'une zone de sélection sur les sites les plus secs de l'Aquitaine

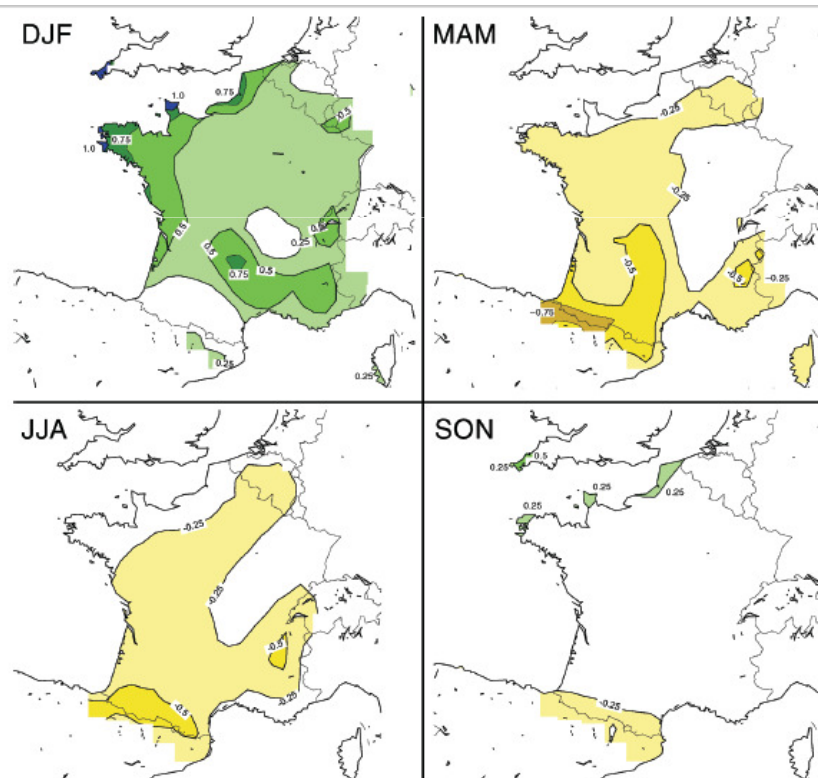


Figure 3. Anomaly in mean daily precipitation (mm day^{-1}) in winter (DJF = December, January, February), spring (MAM = March, April, May) summer (JJA = June, July, August) and autumn (SON = September, October, November) over France between (1960–1989) and (2070–2099).

Loustau *et al.*, 2005

Accélérer :

- Il peut s'écouler 40 ans entre la mi-période de test des géniteurs, et la mi-période d'utilisation des variétés

VF3 :
peuplements
auront plus de
20 ans en 2040

20 ans : test et
sélection des
géniteurs : valeur
individuelle + en
descendance

10 ans :
installation
et mise en
production
du verger

10 ans :
production
du verger

40 ans : vie de la parcelle
de production



VF4 :
à définir en
2015 :
peuplements
entre 5 et 15
ans en 2040

Test

Test

Verger

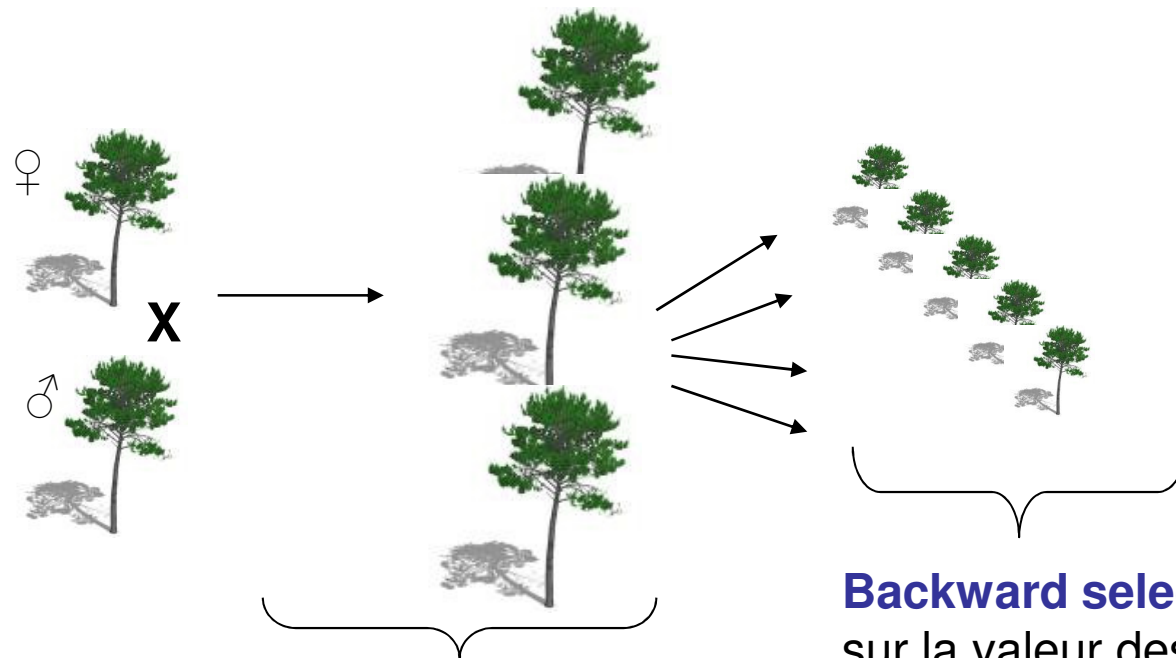
Parcelle de production

Parcelle de production

↑
Définition de la
formule variétale



- Raccourcir les cycles de sélection pour suivre l'évolution climatique
 - en optimisant la gestion de la population d'amélioration
 - en anticipant la sélection avant les tests sur descendance, grâce à la précision accrue de la sélection individuelle (3 générations)

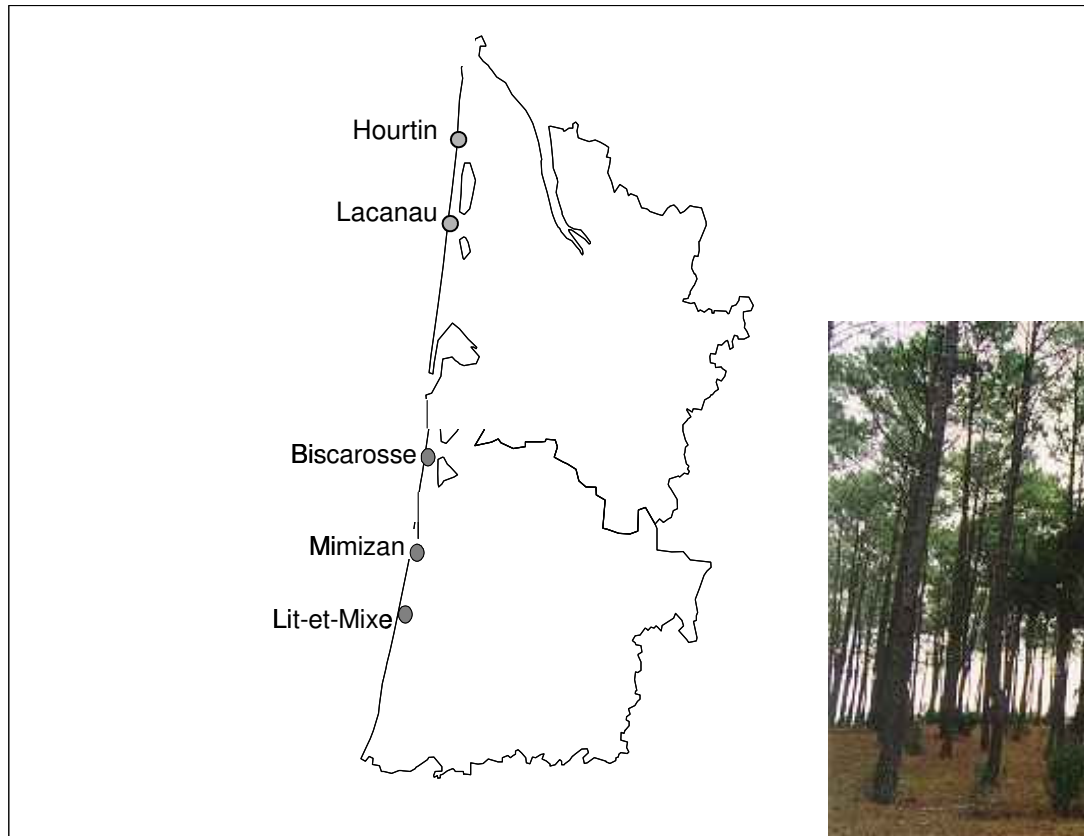


Forward selection : sur la valeur de l'individu et de sa famille (frères)

Backward selection : sur la valeur des descendants

Elargir la diversité

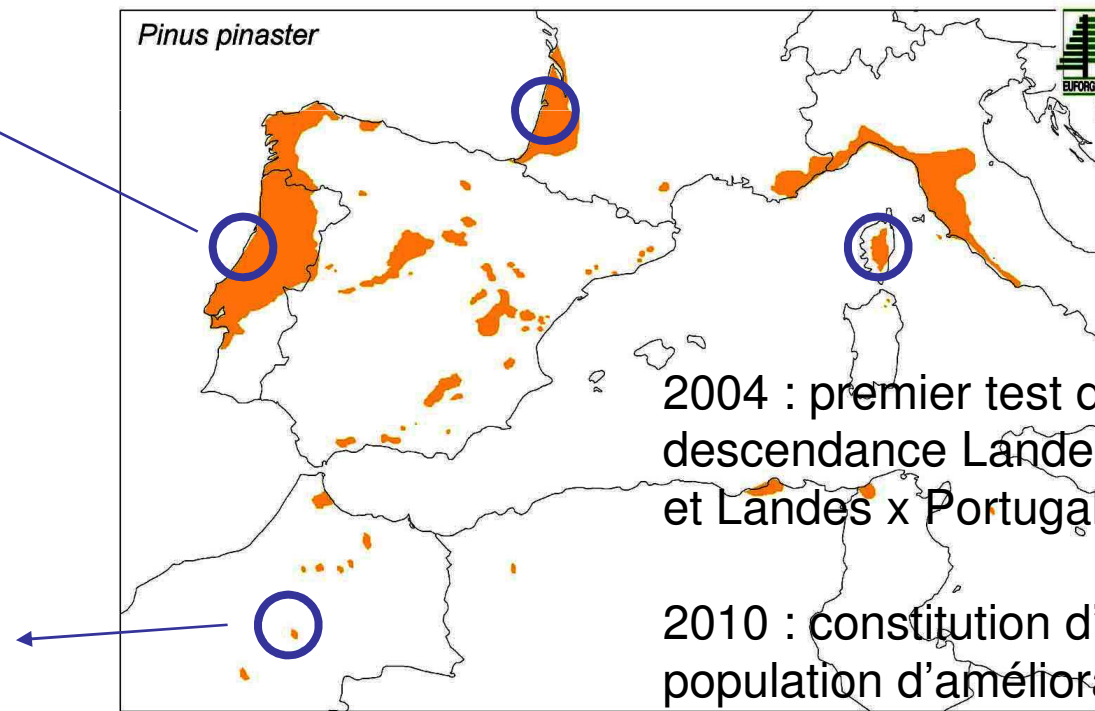
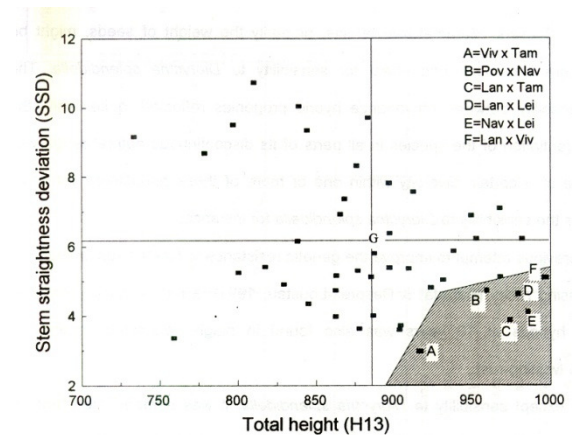
- Nouvelles infusions dans la population d'amélioration : sélection dans les ressources naturelles en Dune



- Ou exploiter la diversité inter-provenances



Tests de combinaisons hybrides:
Landes x Maroc
Landes x Portugal



2004 : premier test de descendance Landes x Maroc et Landes x Portugal, 2 sites

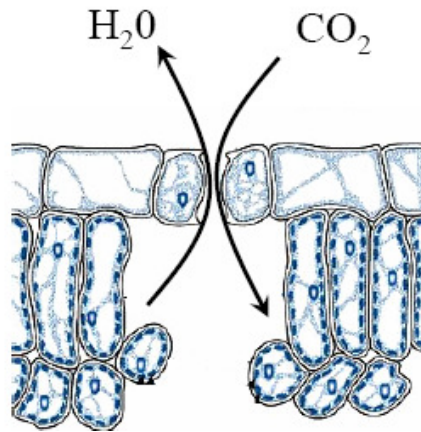
2010 : constitution d'une population d'amélioration Maroc (140 sélections)

Rechercher de nouveaux critères de sélection : pour l'adaptation au stress hydrique

- Efficience d'utilisation de l'eau
- Tolérance à la cavitation
- Dendro-plasticité



Efficiency d'utilisation de l'eau *Water Use Efficiency (WUE)*



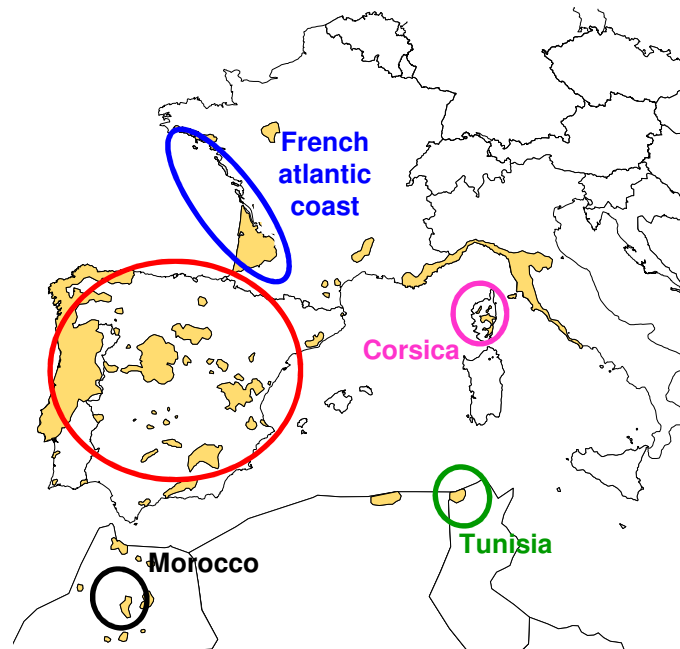
Stress hydrique et régulation stomatique :
compromis entre assimilation du CO₂ et
limitation des pertes en eau

WUE mesure la biomasse produite par quantité d'eau consommée
: la capacité à maintenir la productivité en conditions de stress
hydrique

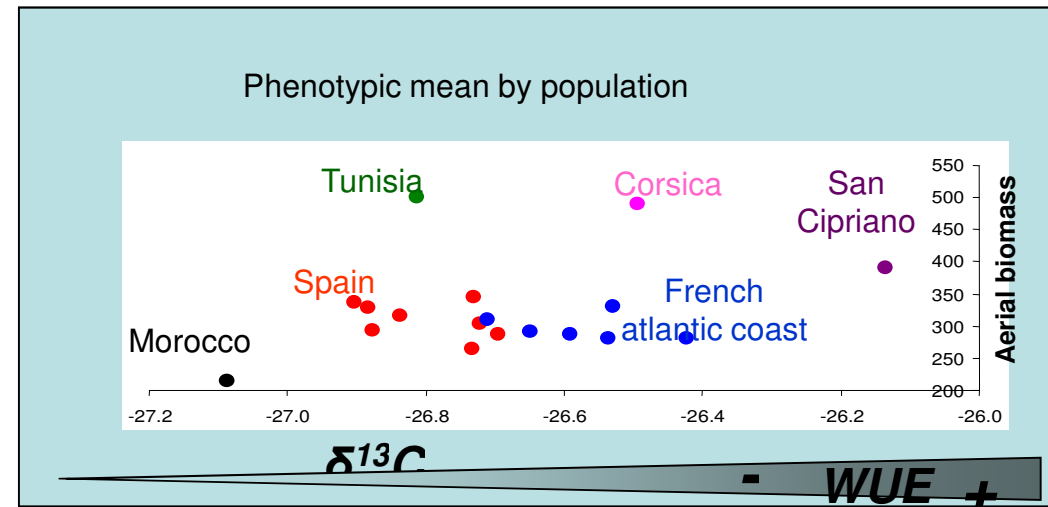
$$WUE = \frac{\text{Leaf photosynthetic rate}}{\text{Transpiration rate}}$$

Estimation par le taux de discrimination isotopique du carbone ($\delta^{13}\text{C}$)

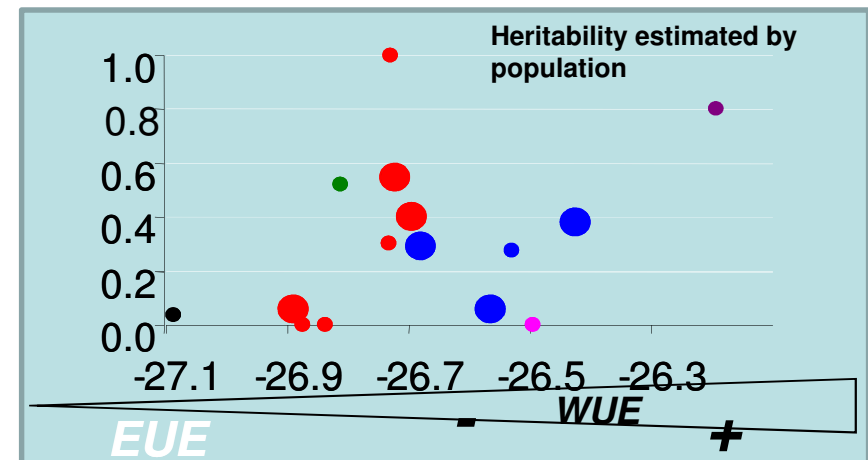
WUE : variabilité entre provenances



- ✓ Etude de 10 provenances / descendance en Aquitaine : Forte variabilité entre populations
- ✓ N'est lié directement aux caractéristiques climatiques dans les zones d'origine des populations
- ✓ Différentes stratégies de résistance au stress hydrique sont développées par les provenances
- ✓ Entre provenances espagnoles : il existe une relation entre WUE et précipitations dans la zone d'origine
- ✓ D'autres études sont en cours ...



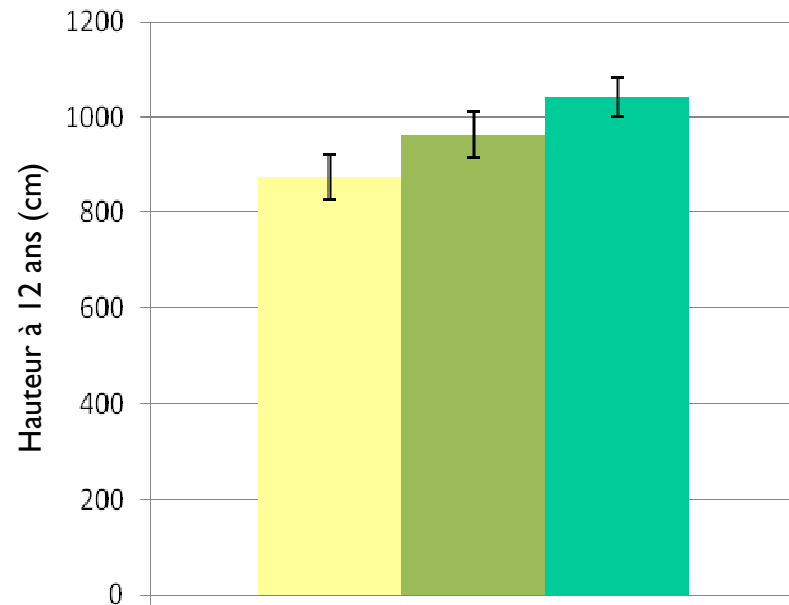
E. Eveno, PhD, 2008



J.B. Lamy, PhD

WUE : étude de 50 familles (pop amélio landaise) x 3 sites : projet européen Novel tree Breeding (en cours)

Escource → Lande sèche
Lagnereau → Lande mésophile
Cestas → Lande humide

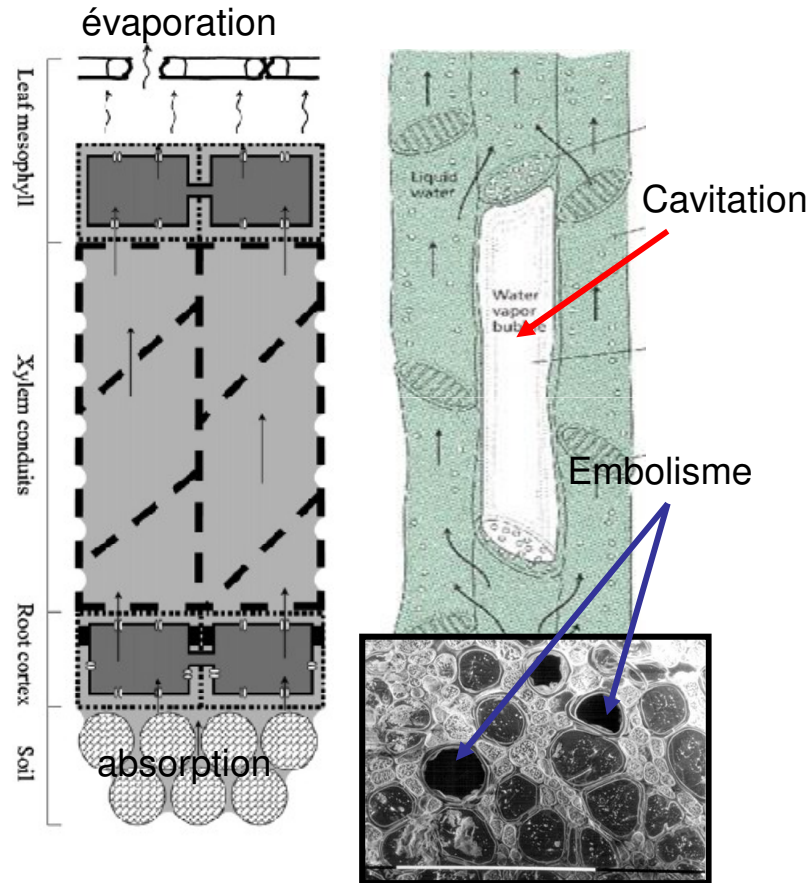


(50 fam * 12 arbres + 1
témoin par site)

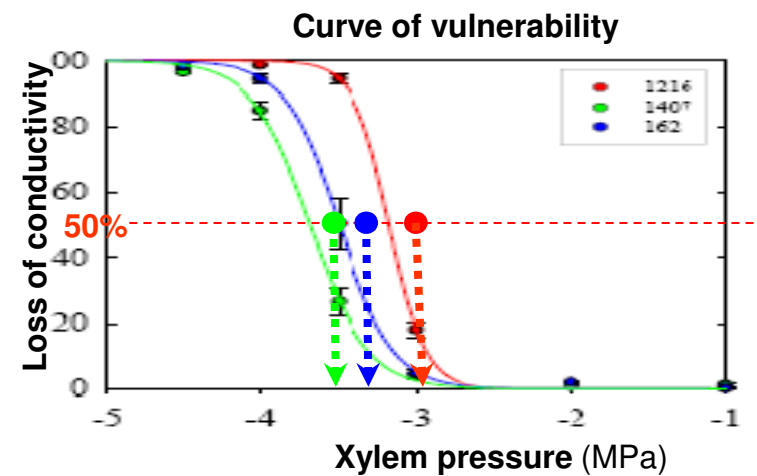
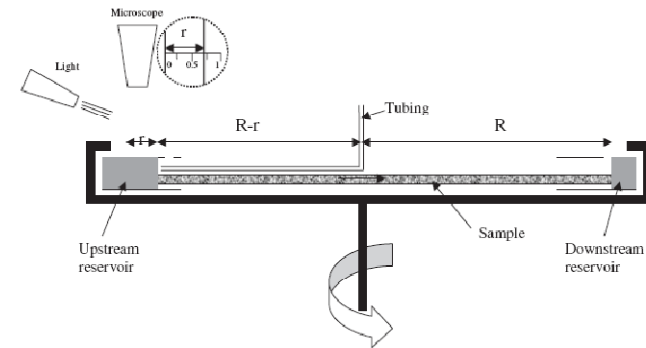
Carottage de 1800 arbres et
analyse WUE

Sensibilité à la cavitation

Transport de l'eau dans l'arbre



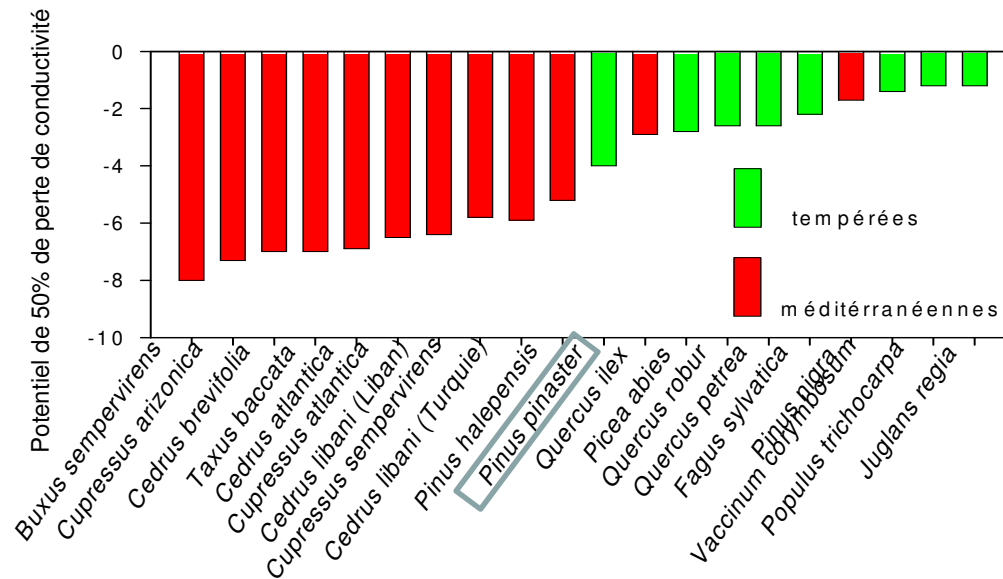
Mesure sur branche au laboratoire :
exposition à des pressions
négatives croissantes et perte de
conductivité du xylème



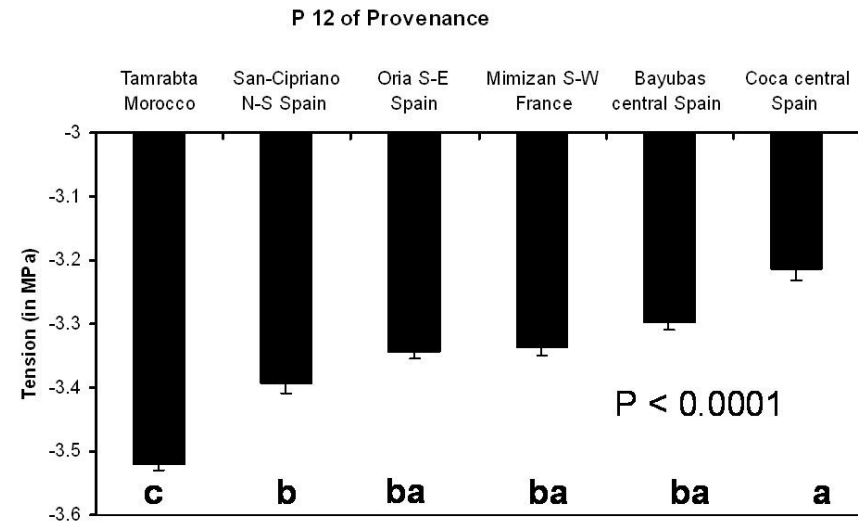
La sensibilité à la cavitation est liée à la mortalité
en conditions hydriques extrêmes

Sensibilité à la cavitation : des études en cours ...

- Variabilité entre espèces et adaptation aux milieux secs
- Variabilité entre provenances de pin maritime (en cours)



6 populations (France, Espagne, Maroc)
 8 familles * 5 arbres
 La différenciation est plus forte à faible niveau de stress hydrique
 (J.B. Lamy, PhD)



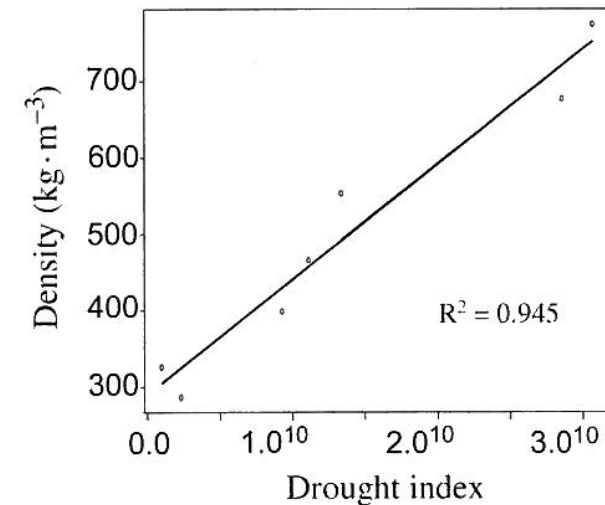
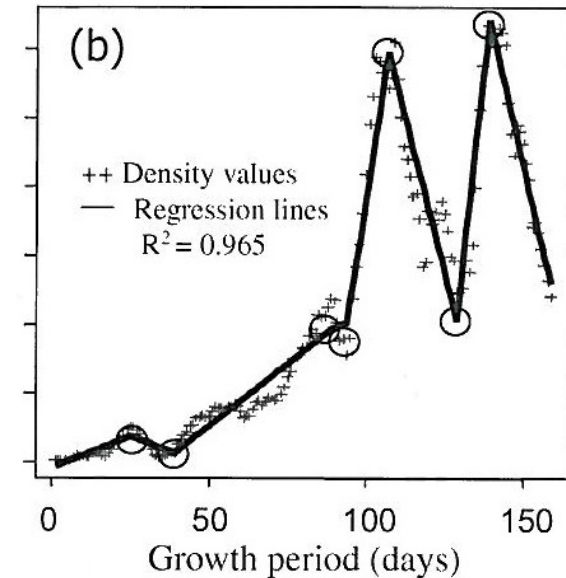
Dendro plasticité (intra cerne)

Abilité d'un génotype à changer de phénotype selon l'environnement.

Etudes de dendro-plasticité :
cernes de croissance annuels d'un arbre
au regard des conditions climatiques des
années considérées

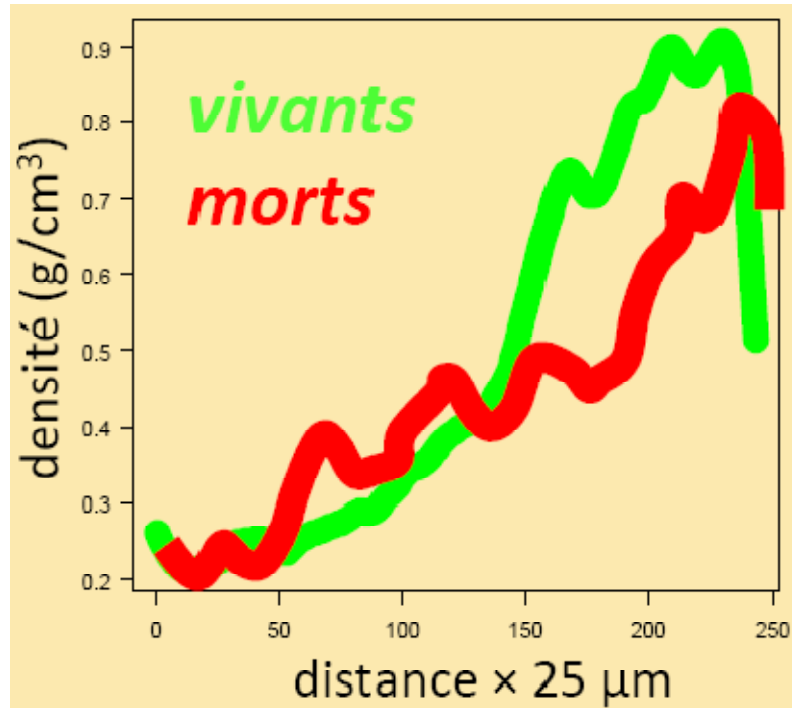
Capacité de l'arbre à réguler sa croissance
en conditions de stress hydrique

Plastic and adaptative response to weather events: a pilot study in a maritime pine tree ring. Sanchez-Vargas N., Sanchez L., Rozenberg P. (2007) Can. J. For. Res.



Norme de réaction

Dendro plasticité (intra cerne)

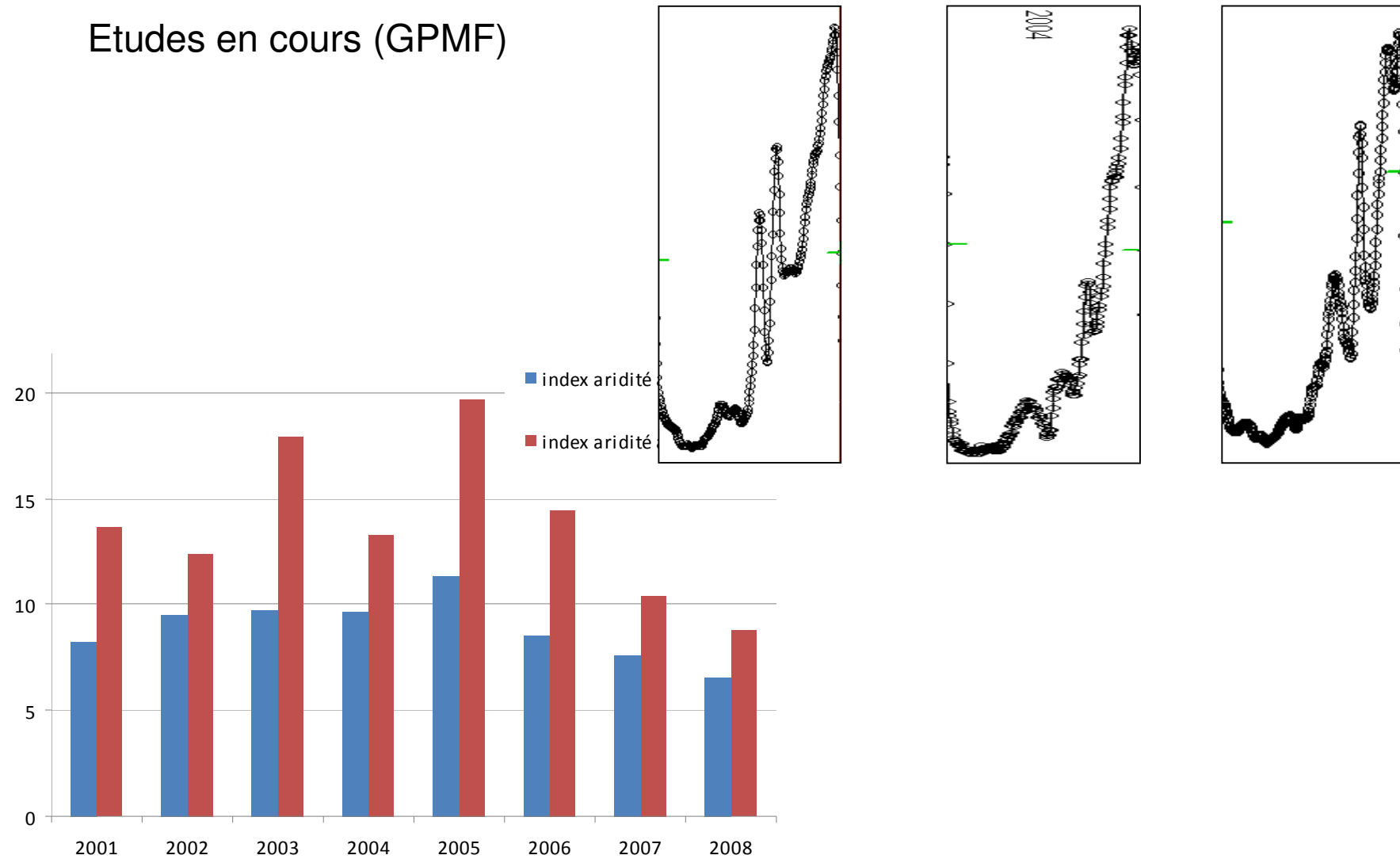


Étude de la réponse chez le Douglas à la canicule 2003 (Martinez-Meier, 2009):

les arbres survivants auraient fabriqué plus longtemps et plus rapidement du bois final dense

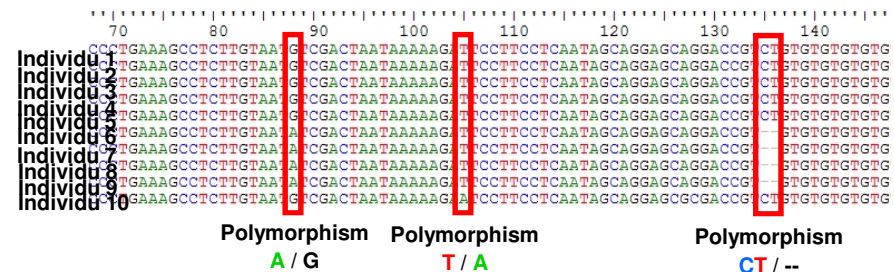
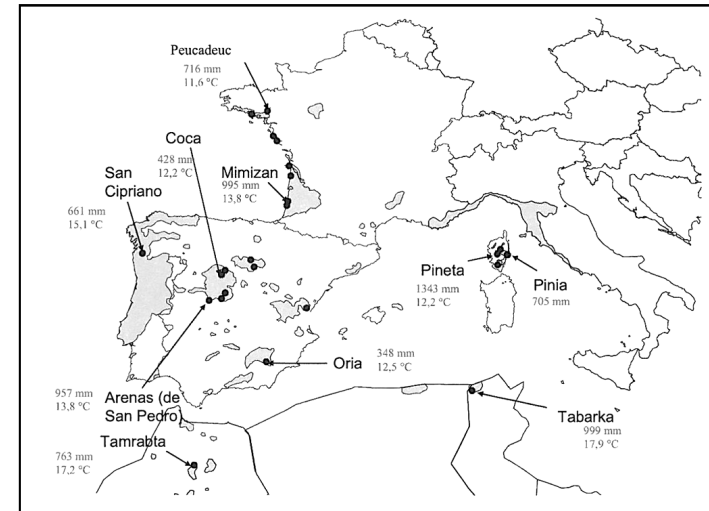
Dendro plasticité (intra cerne)

Etudes en cours (GPMF)



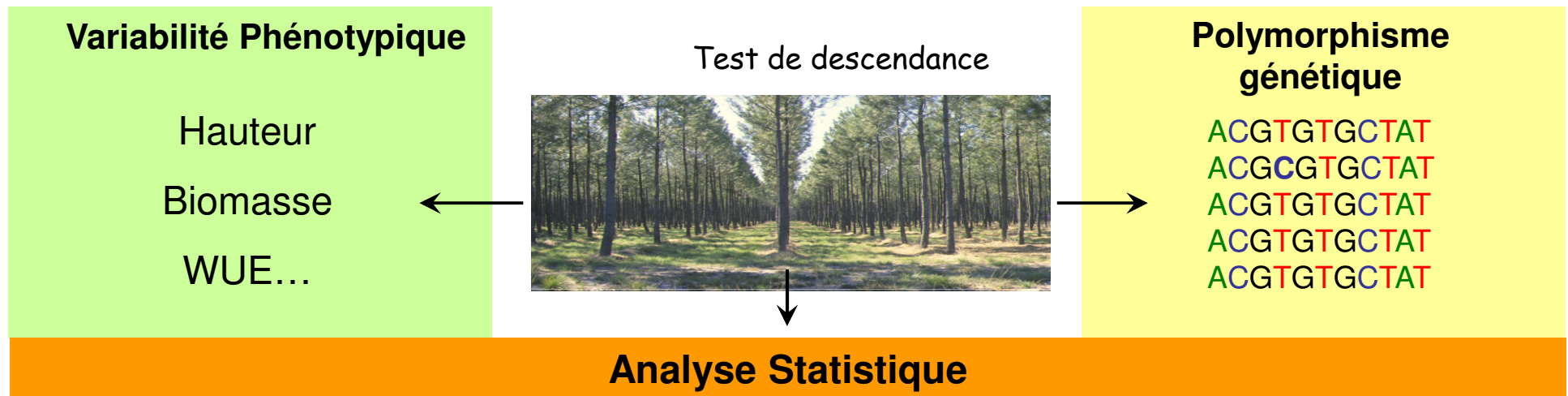
La sélection assistée par marqueur

- Tous ces nouveaux critères de sélections sont complexes et difficiles à mesurer
- La sélection assistée par marqueurs pourrait faciliter et rendre plus efficace la sélection phénotypique classique
- Un large programme de détection de Gènes Candidats exprimés dans des conditions hydriques contrastées
- Echantillonnage des populations naturelles ou génotypage des populations d'amélioration
- Validation des effets des GC par Etude d'Association



Etude d'Association

Mettre en évidence une association entre variabilité phénotypique et polymorphisme génétique



Résultats préliminaires : Trois SNPs expliquent entre 3 et 6% de la variabilité entre familles pour WUE (Eveno, PhD, 2007)

Conclusions

- Les variétés améliorées sont adaptées à une gamme de milieux actuels
- Une importante variabilité génétique est maintenue dans le programme de sélection
- Des adaptations des stratégies de sélection sont possibles
- De nouveaux critères de sélection pour l'adaptation à la sécheresse sont à l'étude
- Espoirs de la Sélection Assistée par Marqueurs pour améliorer l'efficacité de la sélection multi-caractère
- Autres incertitudes du changement climatique : rapidité et ampleur du CC? Effets des pathogènes?



En cours...

- Un volet Adaptation aux risques et aux aléas dans le programme R&D du GIS GPMF (sylviculture, génétique) : Fortius (2010-2014)
 - Adaptation au vent
 - Adaptation à la sécheresse
 - Adaptation aux risques sanitaires



