



**HAL**  
open science

## Adaptation des variétés de pin maritime aux évolutions du climat

Annie Raffin, Laurent Bouffier, Patrick Pastuszka, Emmanuelle Eveno

► **To cite this version:**

Annie Raffin, Laurent Bouffier, Patrick Pastuszka, Emmanuelle Eveno. Adaptation des variétés de pin maritime aux évolutions du climat. 9. Colloque Sciences et Industrie du Bois, Nov 2008, Bordeaux, France. hal-03341395

**HAL Id: hal-03341395**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03341395>**

Submitted on 10 Sep 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Adaptation des variétés de pin maritime aux évolutions du climat

**Annie Raffin<sup>\*,\*\*</sup> – Laurent Bouffier<sup>\*,\*\*\*</sup> – Patrick Pastuszka<sup>\*\*\*\*,\*\*</sup> -  
Emmanuelle Eveno<sup>\*</sup>**

*\* INRA, UMR Biogeco  
69, route d'Arcachon, F-33612 Cestas cedex*

*\*\*GIS Groupe Pin Maritime du futur  
69, route d'Arcachon, F-33612 Cestas cedex*

*\*\*\*FCBA  
Domaine de Sivaillan, F-33480 Moulis en Médoc*

*\*\*\*\*INRA, UE de l'Hermitage  
69, route d'Arcachon, F-33612 Cestas cedex*

---

*RÉSUMÉ. Les avancées de la recherche concernant la durabilité du système de culture du pin maritime dans le massif des Landes de Gascogne, et plus particulièrement l'adaptation de l'espèce au stress hydrique, dans le contexte des changements climatiques annoncés, sont présentées ici. Différentes stratégies de sélection de variétés améliorées intégrant les composantes de l'adaptation sont envisagées, notamment en exploitant la variabilité importante de l'espèce. D'autre part, des recherches sont menées en amont du programme d'amélioration, sur les caractères physiologiques de l'adaptation à la sécheresse chez le pin maritime (cavitation, efficacité d'utilisation en eau) et sur les gènes potentiellement impliqués dans cette adaptation, ouvrant des perspectives encourageantes pour la sélection de cette espèce.*

*ABSTRACT. Research progress concerning sustainability of the maritime pine silviculture system in the Landes de Gascogne forests, especially addressing drought stress resistance in the context of climate change, are presented here. Different selection strategies for improved varieties involving adaptation traits are considered, for instance by exploiting the large variability of the species. Researches are carried on physiological traits of drought adaptation in maritime pine (cavitation, water use efficiency) and on genes likely to be involved in this adaptation, bringing encouraging prospects for the selection of this species.*

*MOTS-CLÉS : sélection, pin maritime, Pinus pinaster, changement climatique, résistance à la sécheresse, cavitation, efficacité d'utilisation en eau, sélection assistée par marqueurs.*

*KEYWORDS: tree breeding, maritime pine, Pinus pinaster, climate change, drought resistance, cavitation, water use efficiency, marker assisted selection.*

---

## 1. Introduction

Le pin maritime représente en Aquitaine environ 1 million d'hectares et assure une récolte annuelle de 8 Mm<sup>3</sup> dont 60 % en bois d'œuvre et 40% en bois de trituration. La compétitivité de cette ressource est soutenue par le programme d'amélioration génétique du pin maritime, mené par le GIS Groupe Pin Maritime du Futur. Ce programme repose sur une méthode classique de sélection récurrente, permettant de conserver la variabilité génétique dans la population d'amélioration au fur et à mesure des cycles de croisements et de sélection successifs, et de produire un gain génétique croissant dans les variétés améliorées (produites en vergers à graines) régulièrement renouvelées. Aujourd'hui, 70 % des surfaces reboisées annuellement, le sont par plantation à l'aide de plants améliorés (vergers de seconde génération), dont le gain génétique attendu est de +30% sur le volume et la rectitude du tronc (Groupe PMF, 2002). Les orientations actuelles du programme d'amélioration visent à optimiser la gestion des ressources génétiques et la diffusion du gain, à diversifier les sorties variétales, ainsi qu'à intégrer de nouveaux critères dans la sélection (résistance au cortège parasitaire, qualité du bois). Dans le contexte des changements climatiques annoncés, le Groupe PMF collabore également à des études sur l'adaptation du pin maritime à la sécheresse.

En effet, les modèles météorologiques s'appuyant sur différents scénarios d'augmentation de la concentration des gaz à effets de serre, montrent une évolution du climat pour le Sud-Ouest de la France durant les prochaines décades, avec une élévation de la température de l'air et une augmentation des contrastes saisonniers pour les précipitations : sécheresse accrue en été et précipitations plus abondantes en hiver (Loustau *et al.*, 2005). Dans ce contexte, il est important de connaître les capacités adaptatives des variétés actuelles, et de préparer les variétés futures aux changements climatiques.

La stratégie de sélection du pin maritime a été orientée depuis le début du programme dans les années 60, vers la création de variétés adaptées aux différentes conditions pédoclimatiques du massif des Landes de Gascogne. Les tests de comparaison des variétés aux témoins non améliorés, ont montré la supériorité des variétés en termes de production et de rectitude du fût quels que soient les types de sols (landes humides à sèches) et les conditions de sylviculture, avec une augmentation du gain selon la fertilité de la station (Groupe PMF, 2002). Ces observations sont rassurantes : elles sont le résultat d'une stratégie d'amélioration orientée vers la sélection de génotypes « polyvalents ». A court terme, une réorientation rapide du programme peut être envisagée, en ré-exploitant la variabilité et les données déjà acquises, vers une sélection ciblée pour une adaptation particulière aux milieux les plus secs (2). Cette stratégie s'accompagne également de recherches visant à identifier des caractères phénotypiques liés à l'adaptation à la sécheresse (3). Enfin les nombreuses études de génétique moléculaire menées sur le pin maritime devraient aboutir à la mise en évidence de gènes responsables des variations phénotypiques observées pour ces caractères (4).

## **2. De la sélection des variétés polyvalentes à la sélection de variétés adaptées à la sécheresse**

Face aux changements climatiques annoncés à une échelle de temps très rapide, et malgré leur handicap d'espèces à longues générations et ne se déplaçant pas, les arbres forestiers bénéficient d'un contexte biologique favorable grâce à leur forte diversité génétique : entre espèces, entre populations, entre individus. Cette diversité rend possible la sélection.

Dans le cas du pin maritime, le programme de sélection s'est basé sur la population locale (autochtone) landaise, en échantillonnant une large variabilité dans la population d'amélioration de départ. Cette variabilité, y compris sur les caractères sélectionnés, a été ensuite largement préservée dans les deux générations de sélection qui ont suivi (Bouffier *et al.*, 2008). Une stratégie de subdivision en lignées a été adoptée pour faciliter la gestion de cette variabilité. Les géniteurs des variétés sont testés sur les différentes conditions pédoclimatiques de landes, puis sélectionnés sur leur performance et leur stabilité (variétés polyvalentes). La ré-évaluation de ce réseau multi-sites de tests en fonction des évolutions climatiques, permettra éventuellement de ré-orienter rapidement la sélection pour la population d'amélioration, et pourra s'appliquer directement à la production des variétés par l'éclaircie en verger des génotypes les moins adaptés.

En parallèle à cette ré-exploitation des dispositifs déjà existants, de nouvelles stratégies peuvent être mises en place. Ainsi on envisagera l'extension du réseau de test vers les zones les plus sèches, voire le déplacement de la zone de sélection en dehors de la zone de production (anticipation des conditions climatiques). D'autre part, de même que les rotations en peuplement de production pourront être raccourcies, les cycles de sélection pourront s'accélérer pour une adaptation plus rapide. De nouveaux critères pourront être ajoutés à la sélection (cf 3), en intégrant également la notion de plasticité des génotypes (capacité d'un individu à réagir différemment à des environnements différents).

Enfin, une nouvelle diversité pourra être exploitée. Une sélection de nouveaux géniteurs intra population landaise pourra être menée dans les unités de conservation du réseau des ressources génétiques naturelles du pin maritime : 5 unités d'environ 200 ha sont conservées en Aquitaine. Ces ressources situées en zone dunaire seront susceptibles de subir une forte sélection naturelle. L'exploitation de la diversité inter populations est une autre possibilité : l'aire naturelle du pin maritime s'étend sur une gamme de milieux contrastés notamment pour les conditions hydriques. La ré-évaluation des tests de provenances à la lumière des nouveaux critères adaptatifs sera une source importante d'informations (cf 4). D'ores et déjà, le Groupe PMF a entamé un programme de testage de croisements inter-provenances (Landes x Portugal, Landes x Maroc).

### **3. A la recherche de caractères adaptatifs à la sécheresse**

Les arbres ont développés différentes stratégies pour répondre au stress hydrique. On peut les classer en deux grandes catégories : les mécanismes d'évitement et les mécanismes de tolérance. Les premiers regroupent toutes les stratégies consistant à éviter les situations de stress hydrique en limitant, par exemple, les pertes en eau par la fermeture des stomates, ou en augmentant les entrées d'eau par un enracinement plus profond. Les mécanismes de tolérance correspondent aux stratégies permettant de supporter des situations de stress grâce à une morphologie ou à des processus physiologiques adaptés.

La résistance à la cavitation et l'efficacité d'utilisation en eau pourraient jouer un rôle important dans ces stratégies d'adaptation à la sécheresse et constituer des critères de sélection pertinents dans le cadre du programme d'amélioration.

#### **3.1. Résistance à la cavitation**

La cavitation correspond à une rupture de la colonne d'eau engendrée par l'apparition d'une bulle d'air dans le xylème. En période estivale, ce phénomène d'embolie est causé par un déficit hydrique du sol et / ou une demande évaporative importante.

La sensibilité d'un individu à la cavitation peut se mesurer en exposant des branches à des pressions négatives croissantes et en mesurant la diminution de conductivité engendrée dans les vaisseaux. On peut ainsi aisément différencier les espèces hydrophiles très sensibles à la cavitation des espèces xérophiles beaucoup plus résistantes (Cochard, 2006). La résistance à la cavitation pourrait donc constituer un caractère adaptatif de résistance à la sécheresse intéressant. Il traduirait probablement la capacité d'un arbre à survivre en cas de sécheresse extrême (Maherali *et al.*, 2004).

Peu d'études ont été menées au niveau intra-spécifique en raison de difficultés techniques pour caractériser rapidement la sensibilité à la cavitation. Aujourd'hui, l'utilisation du cavitron (Cochard, 2002) permet de mesurer plusieurs individus par jour. Il devient donc possible d'envisager des études avec un vaste échantillonnage de façon à estimer la variabilité génétique de ce caractère au niveau intraspécifique. Des différences significatives de résistance à la cavitation entre clones de peuplier et de saule ont été mises en évidence (Cochard *et al.*, 2007). Une étude est en cours chez le pin maritime pour estimer la variabilité inter- et intra-provenances (Douthé, 2007).

### **3.2. Efficience d'utilisation en eau**

L'efficience d'utilisation en eau (notée WUE pour Water Use Efficiency) se définit comme la quantité de biomasse produite divisée par la quantité d'eau consommée. Ce paramètre est potentiellement lié à la résistance à la sécheresse puisqu'il traduit la capacité à maintenir une bonne production de biomasse en conditions hydriques limitantes. WUE peut être estimée par une mesure de la composition isotopique du carbone  $\delta^{13}\text{C}$  (Farquhar *et al.*, 1989).

Dans le cadre du projet européen Treesnips, un dispositif regroupant 24 populations issues de toute l'aire de distribution du pin maritime (côte atlantique française, Espagne, Corse, Tunisie, Maroc) a été mis en place (Eveno, 2008). Les mesures de  $\delta^{13}\text{C}$  réalisées sur des plants de 3 ans révèlent une variabilité intra population élevée (forte héritabilité) dans la plupart des populations synonyme d'un fort potentiel adaptatif. De plus, la différenciation élevée entre populations traduit probablement une adaptation locale en relation avec les conditions climatiques du milieu. L'efficience d'utilisation en eau suggère des stratégies variées selon le milieu d'origine des populations (Eveno, 2008). Ainsi, la population marocaine, moins efficace, compenserait par un système racinaire plus développé. Par contre, la forte efficience d'utilisation en eau des populations San Cipriano (ouest de l'Espagne) et Pinia (Corse) s'expliquerait par une stratégie basée sur la réactivité d'ouverture / fermeture des stomates en réponse aux variations climatiques.

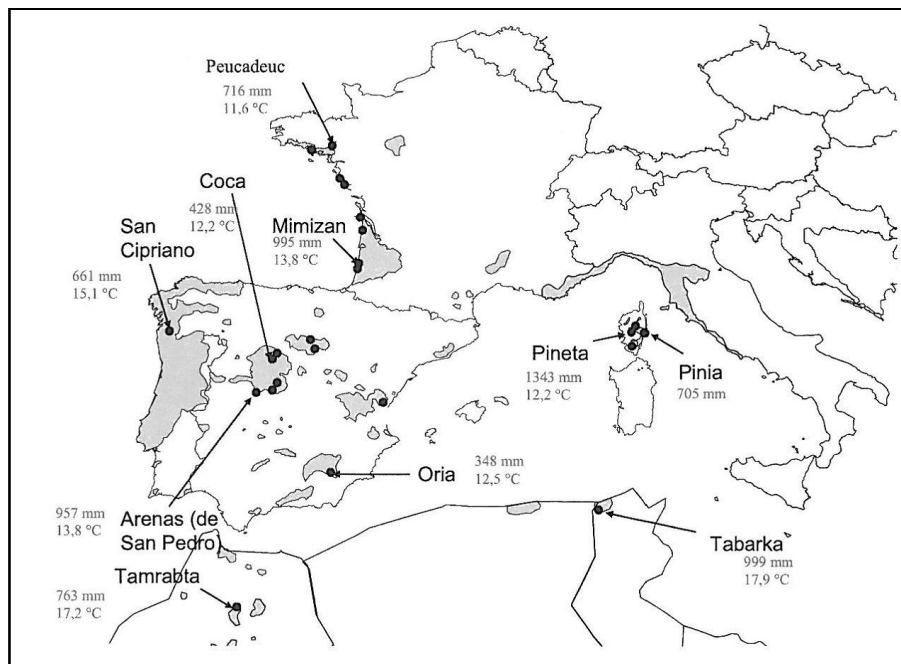
Ces résultats devront être confirmés sur des arbres plus âgés et par la mise en place de dispositifs multi-sites (en particulier en conditions sèches) mais ils constituent déjà des signes encourageants pour poursuivre les recherches sur ce caractère en particulier dans les populations révélant des mesures de  $\delta^{13}\text{C}$  élevées (San Cipriano et Pinia).

## **4. A la recherche des gènes impliqués dans l'adaptation des populations**

Des études de biologie moléculaire sont menées pour étudier les bases génétiques de l'adaptation à la sécheresse.

Eveno *et al.* (2008) ont analysé 13 gènes dans 10 populations de pin maritime issues de milieux aux conditions environnementales très contrastées (Figure 1). Les gènes retenus sont des gènes candidats c'est-à-dire que l'on suppose leur implication dans les mécanismes d'adaptation à la sécheresse grâce à des études préalables sur leurs fonctions (gènes associés à la formation de la paroi cellulaire, au métabolisme des carbohydrates, à la lignification...) ou sur leur expression (gènes dont le niveau d'expression varie lors d'un stress hydrique). L'étude du polymorphisme nucléotidique de ces gènes a révélé 339 SNPs (Single Nucleotide Polymorphism) ou insertion-deletion. La comparaison de la diversité estimée sur chacun de ces gènes avec celle attendue sur l'ensemble du génome (c'est-à-dire une diversité résultant uniquement des effets démographiques : migration et dérive) permet de mettre en

évidence l'effet de la sélection. En effet, on peut penser ici que les gènes présentant une forte différenciation entre populations ont été soumis à une sélection diversifiante permettant l'adaptation des populations aux conditions climatiques contrastées. Ainsi les deux gènes (PR-AGP4 et erd3) dont la différenciation entre les populations est supérieure à celle attendue en absence de sélection s'avèrent particulièrement intéressant pour mieux comprendre les bases génétiques de la variabilité phénotypique observée.



**Figure 1.** Aire naturelle du pin maritime et populations échantillonnées.

Des relations statistiques entre le polymorphisme identifié au sein de gènes candidats et la variation phénotypique dans des populations naturelles sont également recherchées. L'hypothèse sous-jacente est qu'une association statistique significative entre phénotype et génotype au locus est l'évidence d'une liaison physique entre le SNP et un gène impliqué dans la variation du caractère. Ces études d'associations devraient constituer un outil précieux pour une meilleure compréhension de l'adaptation génétique des arbres ainsi que le développement de méthodes de sélection assistée par marqueurs (Neale et Savolainen, 2004).

Eveno (2008) a ainsi détecté, au niveau intra-population, trois SNPs qui expliquent chacun entre 3 et 6% de la variance génétique entre familles. Ces résultats restent préliminaires et sont à confirmer sur des arbres adultes. Il semble toutefois, qu'en combinant l'information obtenue sur plusieurs SNPs, on puisse expliquer une

partie intéressante de la variation du caractère. Ce travail devrait permettre à terme d'associer l'information phénotypique et moléculaire pour augmenter l'efficacité de la sélection.

## 5. Conclusion

Comme de nombreuses espèces d'arbres forestiers, le pin maritime montre une grande diversité génétique inter et intra populations. Cette diversité offre un contexte favorable à la sélection pour l'adaptation à des conditions environnementales changeantes. Parallèlement aux méthodes classiques de l'amélioration génétique (croisements, tests, sélection), des études sont menées sur les caractères adaptatifs de la résistance à la sécheresse, et sur les gènes potentiellement impliqués dans ces fonctions. Ainsi, les outils de la biologie moléculaire offrent l'espoir d'un nouveau support via la sélection assistée par marqueurs, permettant une meilleure efficacité sur des caractères complexes tels que la résistance à la sécheresse, et une accélération des cycles de sélection, nécessaire lors de changements environnementaux rapides.

## 6. Bibliographie

- Bouffier L., Raffin A., Kremer A., « Evolution of genetic variability for selected traits in breeding populations of maritime pine », *Heredity*, vol. 101, n°2, 2008, p. 156-165.
- Cochard H., « A technique for measuring xylem hydraulic conductance under high negative pressures », *Plant, Cell and Environment*, n° 25, 2002, p. 815-819.
- Cochard H., « Cavitation in trees », *C. R. Physique*, n° 7, 2006.
- Cochard H., Casella E., Mencuccini M., « Xylem vulnerability to cavitation varies among poplar and willow clones and correlates with yield », *Tree Physiology*, n° 27, 2007, p. 1761-1767.
- Douthe C., « Diversité génétique de la vulnérabilité à la cavitation chez le pin maritime et variation interspécifique dans le taxon des conifères », Rapport de Master Systèmes écologiques, Université de Bordeaux I, 2007.
- Eveno E., « Contribution à l'étude de la résistance au stress hydrique chez le pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) : patrons de diversité nucléotidiques de gènes candidats et variabilité de caractères phénotypiques », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, 2008.
- Eveno E., Collada C., Guevara M.A., Léger V., Soto A., Diaz L., Léger P., Gonzalez-Martinez S.C., Cervera M.T., Plomion C., Garnier-Géré P.H., « Contrasting patterns of selection at *Pinus pinaster* Ait. drought stress candidate genes as revealed by genetic differentiation analyses », *Mol. Biol. Evol.*, n° 25, 2008, p. 417-437.
- Farquhar G.D., Ehleringer J.R., and Hubick K.T., « Carbon isotope discrimination and photosynthesis », *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, n° 40, 1989, p. 503-537.



Groupe P.M.F., *Le progrès génétique en forêt*, 2002.

Loustau D., Bosc A., Colin A., Davi H., François C., Dufrêne E., Déqué M., Cloppet E., Arrouays D. Le Bas C., Saby N., Pignard G., Hamza N., Granier A., Bréda N., Ciais P., Viovy P., Ogée J., Delage F., « Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub regional level », *Tree Physiology*, n°25, 2005, p. 813-823.

Maherali H., Pockman W.T., Jackson R.B., « Adaptative variation in the vulnerability of woody plants to xylem cavitation », *Ecology*, n° 85, 2004, p. 2184-2199.

Neale D.B., Savolainen O., « Association genetics of complex traits in conifers », *Trends in plant Science*, vol. 9, n°7, 2004, p. 325-330.