

# IMPACT DE SCENARIOS SYLVICOLES SUR LES PROPRIETES PHYSICO-MECANQUES DU BOIS DE PIN MARITIME

Il y a plus de 10 ans maintenant, dans le sud-ouest de la France, la tempête Klaus du 24 janvier 2009 avait causé des dommages considérables à la forêt. 42,5 millions de m<sup>3</sup> de bois sur pied avait été mis à terre, encore plus que lors de la précédente tempête en décembre 1999. Même si la communauté scientifique manque de recul, de nombreux éléments vont dans le sens d'une augmentation de la fréquence des tempêtes et de leur intensité dans les années à l'avenir.

Différentes stratégies d'adaptation de la gestion des forêts sont recommandées en fonction du poids économique du secteur forestier. Certaines mesures préconisent une plus grande diversité et l'utilisation de scénarios sylvicoles à couverture continue, en particulier dans les zones sensibles. D'autres en complément proposent une sylviculture plus intensive pour produire du bois en moins de temps et ainsi réduire les risques (remplacement des peuplements à risque, éclaircie précoce et intensive ainsi que la diminution des durées de rotation). L'analyse économique au niveau du massif des Landes de Gascogne montre l'importance de la mise en œuvre de tels scénarios dynamiques et d'un raccourcissement des cycles de production (Lesgourgues, 2009).

L'influence des pratiques de gestion forestière sur les propriétés physico-mécaniques des bois est très bien documentée. Cependant, les données technologiques sur l'influence de ces pratiques sur les propriétés du pin maritime de certains nouveaux scénarios sylvicoles (avec une croissance rapide et une longueur de rotation réduite) manquaient. Aussi, pour compléter ces connaissances, une étude portant sur la caractérisation puis la modélisation des propriétés physico-mécaniques des bois des nouveaux scénarios sylvicoles appliqués au pin maritime a été menée. Des modèles décrivant les variations des principales propriétés du bois en fonction de critères dendrométriques ont été développés (surface du bois de cœur, angle du fil du bois scié, nature des nœuds et la résistance mécanique). Les modèles ont été appliqués à différents scénarios sylvicoles définis dans le contexte du reboisement du massif aquitain. Ces modèles développés peuvent être un outil simple et puissant pour guider les professionnels lors de la récolte de cette ressource.

## Construction d'une base de données technologiques

Une importante base de données technologiques sur le pin maritime conduit en ligniculture a été constituée puis utilisée.

### Peuplements

Deux catégories de peuplements ont servi à la collecte des données de cette étude :

- ✓ 14 peuplements conduits en ligniculture (travail du sol, fertilisation et semis en ligne), dont 6 élagués, appartenant au réseau d'essai de FCBA. Ces peuplements ont été exploités et analysés spécifiquement pour cette étude.
- ✓ 20 peuplements issus de régénération naturelle, non élagués, exploités dans le cadre de projets antérieurs de l'ex-CTBA et de l'ex-AFOCEL (devenus FCBA). Les données récoltées à l'époque ont été regroupées et analysées. Elles constituent un témoin de la sylviculture passée.

168 arbres ont été échantillonnés dans les peuplements conduits en ligniculture. L'objectif étant de prédire les propriétés technologiques des sciages de pin maritime, en fonction des pratiques sylvicoles, les peuplements qui ont été retenus dans l'échantillon pour l'étude sont très contrastés en termes de vitesse de croissance. La figure 1 donne l'accroissement en circonférence en fonction du volume unitaire pour chaque arbre échantillonné. On peut noter la large gamme d'accroissement

compris entre 1 et 4 cm/an pour des volumes unitaires compris entre 0,4 et 3 m<sup>3</sup>. Les arbres échantillonnés en régénération naturelle ont une gamme de valeurs similaires, hormis pour quelques arbres de l'étude ex CTBA. La plupart des arbres échantillonnés en lignicultures pour des volumes unitaires identiques ont des accroissements en circonférence supérieur à ceux issus de régénération naturelle.

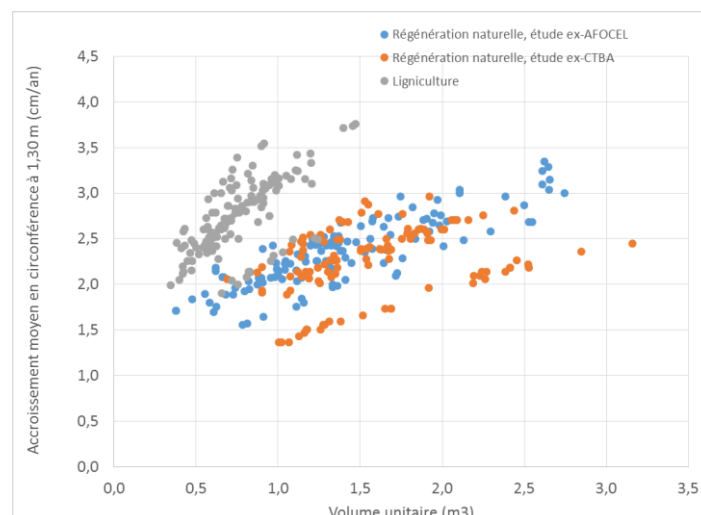


Figure 1 : Arbres échantillonnés - accroissement en circonférence en fonction du volume unitaire

Sur tous les arbres, la circonférence à 1,30 m, la hauteur totale, la hauteur du premier verticille vert (couronne de branches avec plus de ¼ des branches vivantes), la hauteur du premier verticille mort (couronne de branches avec plus de ¼ des branches mortes) et l'écart à la verticalité à 1,50 m ont été relevés.

### Billons et sciages

Plus de 600 billons ont été façonnés (depuis la base de l'arbre jusqu'à la hauteur de découpe), puis sciés pour obtenir plus de 1700 avivés. 650 disques ont aussi été prélevés sur les arbres échantillonnés. L'ensemble des caractéristiques dendrométriques des arbres a été mesuré et sur les échantillons usinés les principales propriétés du bois ont été mesurées :

- Surface de duramen (partie interne du tronc, résulte de la transformation de l'aubier avec disparition des substances de réserves et présence de tanins ou de résine, bois généralement moins sensible aux attaques biologiques) mesurée sur rondelles.
- Présence de poches de résine mesurée sur rondelles à différents niveaux sur l'arbre.
- Nature des nœuds. Deux types sont distingués : nœuds adhérents (ou verts) et nœuds non adhérents (ou noirs). Ces nœuds peu adhérents au bois se détachent des planches lors du séchage ou du rabotage. Ils sont les plus pénalisants dans le classement des sciages.
- Angle du fil (orientation hélicoïdale des trachéides autour de la moelle de l'arbre) mesuré cerne à cerne sur des barreaux prélevés dans les rondelles. C'est un indicateur du gauchissement des sciages au séchage.
- Module d'élasticité (MOE) et contrainte à la rupture (MOR) mesurés sur avivés, indicateurs de la résistance mécanique du bois.

Cette caractérisation poussée du bois des parcelles de ligniculture de pin maritime n'avait jamais été réalisée, les arbres analysés provenant des toutes premières parcelles conduites intensivement et installées dans les années 1970.

### Construction des modèles

A partir de ce capital, des modèles pour estimer les variations des caractéristiques étudiées ont été développés. Ces modèles de la famille des modèles mixtes, sont constitués d'une partie « fixe » commune à l'ensemble des arbres et d'une partie aléatoire qui quantifie les écarts propres à la parcelle et aux arbres (appelés effet « parcelle » et effet « arbre »). Les modèles obtenus expliquent une part plus ou moins importante de la variabilité, mais ils permettent d'identifier les principaux facteurs d'influence des différentes propriétés étudiées.

### Modélisation des propriétés

Le Tableau 1 ci-dessous regroupe pour l'ensemble des modèles développés (pour des caractéristiques dendrométriques) avec les variables ayant un impact significatifs. La provenance des données utilisées pour la construction des modèles est indiquée par une lettre : R/L pour régénération naturelle et ligniculture et R pour régénération naturelle uniquement.

L'âge cambial et la hauteur relative ont naturellement une influence importante sur les paramètres mesurés. Cela est lié à la présence ou l'absence de bois juvénile (premiers cernes de bois formés par l'assise cambiale, près de la moelle) bois qui présente des caractéristiques singulières par rapport aux cernes plus âgés (Polge 1964).

Ce tableau 1 donne une indication des variables sur lesquelles il serait possible de jouer pour influencer les caractéristiques (modèles développées) que l'on voudrait modifier.

Tableau 1 : Bilan des modèles développés, variables utilisées et influence

(↑influence positive de la variable, ↓ influence négative de la variable)

Modèles	Variables utilisées						
	Âge	Accroissement radial moyen	Âge cambial	Hauteur dans l'arbre	Largeur de cerne	Hauteur couronne branches vertes	Hauteur couronnes branches mortes
Nombre de poches de résines (R)	↑			↑			
Surface de Duramen (R/L)	↑			↓			
Surface de bois avec nœuds verts (R/L)				↑		↑	
Surface de bois sans nœud (R/L)				↓			↑
Angle du fil (R/L)			↓	↑			
MOE (R/L)			↑	↓	↓		
MOR (R/L)		↓	↑	↓			

## Duramen

Le taux de duramen intra-arbre a un profil de variation avec la hauteur assez particulier avec une augmentation jusqu'à une hauteur de 2 à 3 m puis une diminution rapide (cf. Figure 2). Pour une hauteur donnée la surface de duramen augmente classiquement avec l'âge de l'arbre, la formation de duramen est liée à l'âge cambial. Par contre, aucune des autres variables dendrométriques étudiées telles que la hauteur de la première branche verte, n'ont d'effet significatif sur le taux de duramen contrairement à ce qui est constaté dans d'autres études sur le pin maritime. La formation de duramen pouvant servir à réguler la conduction, de fortes corrélations ont été mises en évidence entre la surface d'aubier et la surface foliaire (Berthier et al. 2001).

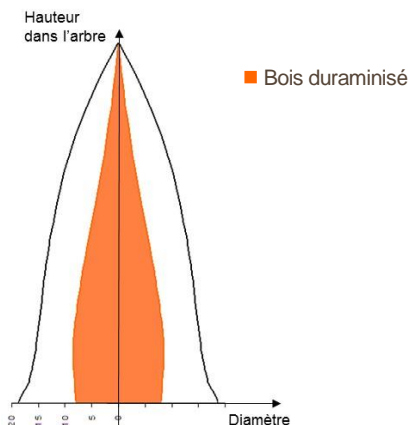


Figure 2 : Duramen, illustration du profil de variation intra-arbre

## Poches de résine

Le nombre total de poches de résine observées sur les arbres échantillonnés a été analysé. Les arbres ont été classés en 4 classes de qualité :

- ✓ Qualité 1 = pas de poches de résine
- ✓ Qualité 2 = présence de poches de résine sur moins de 30% des niveaux
- ✓ Qualité 3 = présence de poches de résine sur 30 à 60% des niveaux
- ✓ Qualité 4 = présence de poches de résine sur plus de 60% des niveaux.

Il existe de fortes différences entre les arbres échantillonnés, mais cela est difficilement explicable par les variables mesurées. Les meilleures sont la circonférence de l'arbre combinée avec un effet hauteur important (cf. Figure 3).

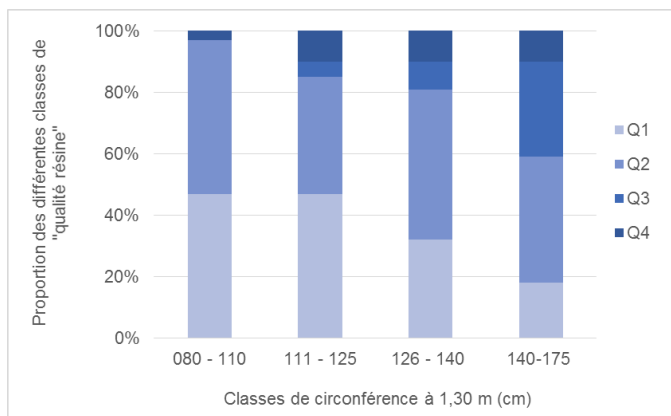


Figure 3 : Présence de poches de résine en fonction de la circonférence à 1,30 m

## Nodosité

L'étude de la nature des nœuds a montré une forte différence entre les parcelles conduites en ligniculture et celles conduites en régénération naturelle. En cas d'absence d'élagage artificiel, l'élagage naturel est trop lent sur les parcelles de ligniculture pour aboutir à la formation d'un volume important de bois sans nœud. Les branches plus vigoureuses, restent vertes plus longtemps et ne se détachent pas du tronc. Ainsi, les bois issus de ces peuplements conduits en ligniculture ont plus de nœuds verts et moins de nœuds noirs que les peuplements de régénération naturelle. Une relation a été établie entre la hauteur des branches vertes, et la proportion de nœuds vert dans un arbre, plus les premières branches vertes sont hautes, plus le volume de nœuds verts est faible et plus celui de nœuds noirs est élevé.

Dans le cas des parcelles issues de régénération naturelle, une relation a aussi été établie entre le volume de bois sans nœuds et la hauteur de première branche morte.

Ces relations sont compréhensibles, car les hauteurs des premières branches mortes et vertes sont de bons indicateurs de la dynamique de l'élagage naturel. Le même critère a été identifié pour le pin sylvestre comme étant aussi un estimateur potentiel de la qualité visuelle des sciages issus des billes de pied (Macdonald et al. 2009). Ces relations sont importantes car elles peuvent aider les propriétaires et les acheteurs de bois sur pied à mieux estimer la qualité de leurs parcelles.

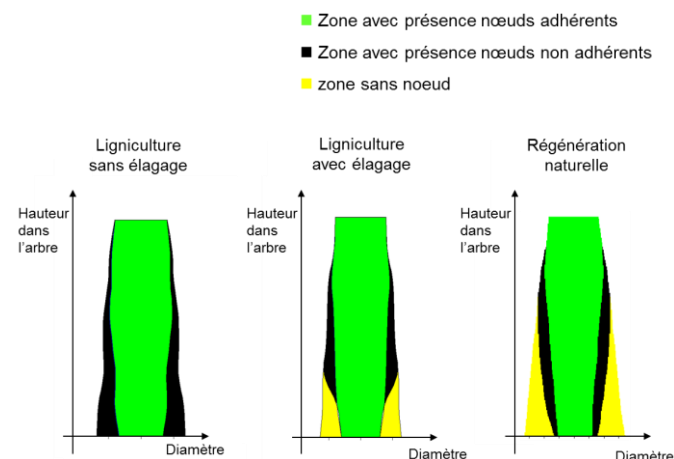


Figure 4 : Profil de variation de la nature des nœuds pour les parcelles de ligniculture et de régénération naturelle

## Propriétés mécaniques

Une forte variation radiale des propriétés mécaniques a été mise en évidence par la modélisation du MOE et du MOR. L'effet significatif de la vitesse de croissance trouvé (accroissement radial moyen ou largeur de cerne), avec une diminution des propriétés quand la vitesse de croissance augmente, est un élément nouveau pour le pin maritime, les propriétés mécaniques des pins étant réputées stables avec l'augmentation de la vitesse de croissance. La Figure 5, nous donne l'évolution moyenne du module d'élasticité en fonction de la hauteur de prélèvement et de la distance à la moelle pour les parcelles analysées de ligniculture (à gauche) et de régénération naturelle (à droite).

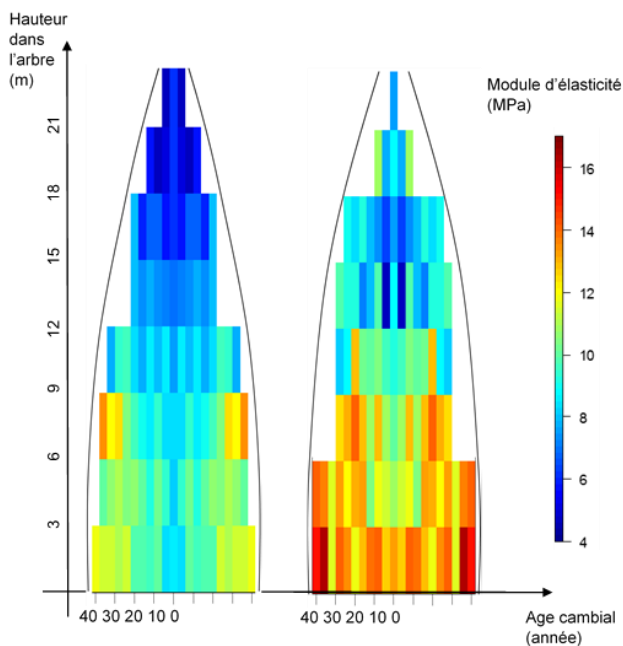


Figure 5: Pin maritime, module d'élasticité : profils de variation intra-arbre (représentation d'un demi-arbre, ligniculture à gauche et régénération naturelle à droite)

## Simulation de l'impact de scénarios sylvicoles sur les propriétés mécaniques du bois

Les modèles développés ont été appliqués pour tester différents scénarios sylvicoles et hypothèses de reboisement. Cela permet de confirmer la forte influence des pratiques sylvicoles sur les propriétés du matériau bois. Trois scénarios sylvicoles ont été retenus.

- ✓ Scénario « haute qualité » : coupe rase à 52 ans, à un volume unitaire de 1,5 m<sup>3</sup>, une modalité élaguée et une non-élaguée, objectif de production bois d'œuvre de qualité.
- ✓ Scénario « standard » : coupe rase à 44 ans, à un volume unitaire de 1,2 m<sup>3</sup>, objectif de production bois d'œuvre.
- ✓ Scénario « courte révolution » : coupe rase à 34 ans, à un volume unitaire de 0,7 m<sup>3</sup>, objectif de production petits billons sciages.

Tableau 2 : Propriétés moyennes des sciages obtenus par simulation pour les 4 scénarios à la coupe rase (moyenne arbre ensemble des billons)

Scénarios sylvicoles	Taux de sciages classés C30	Taux de sciages classés C24	Taux de sciages avec duramen	Taux de sciages avec angle du fil <-8°	Taux de sciage sans nœuds	Taux de sciages avec nœud noirs	Taux de sciages avec nœuds verts
Scénario Haute Qualité non-élagué	10%	25%	25 %	3%	0%	60%	40%
Scénario Haute Qualité élagué	10%	25%	25%	3%	18%	44%	38%
Scénario standard	0%	11%	19%	3%	0%	50%	50%
Scénario courte rotation	0%	0%	15%	13%	0%	47%	53%

Pour chaque scénario, les valeurs moyennes des paramètres technologiques suivant sont calculées via les modèles (cf. Tableau 2) :

- Classement mécanique des sciages, suivant la norme NF EN 338 (Bois de structure – Classe de résistance) en retenant deux classes mécaniques (C24, en général pour des emplois en charpentes industrielles et lamellées- collées et C30, en général pour des pièces de forte résistance mécanique.
- ✓ Taux de sciage avec un angle du fil inférieur à -8° (sciages considérés comme non utilisables).
- ✓ Taux de sciage avec du duramen.
- ✓ Taux de sciage sans nœud, avec nœuds verts ou nœuds noirs.

Le classement mécanique obtenu est dit « optimal ». En effet, les modèles ont été établis à partir de valeurs mécaniques obtenues par des essais destructifs réels sur les échantillons. Les valeurs théoriques annoncées ci-dessous doivent donc être considérées comme le potentiel maximal du bois.

Les scénarios à croissance rapide produisent donc des bois avec des propriétés mécaniques plus faibles que celles des bois de scénarios à croissance plus lente. La vitesse de croissance influe sur la proportion de bois juvénile et sur la densité du bois. Ces bois auront un angle du fil plus élevés et donc se déformeront plus au séchage. Par contre du fait de la vigueur plus importante des arbres, le volume de sciage avec des nœuds verts est plus élevé, ce qui est un point positif, ces nœuds ayant un meilleur comportement au rabotage.

Le scénario haute-qualité produit des sciages avec une meilleure résistance mécanique, un taux de duramen plus élevé, un angle du fil plus faible mais des nœuds noirs en plus forte proportion que les scénarios à croissance plus rapide. L'élagage peut-être une option pour ce scénario en permettant d'obtenir un taux de sciage sans nœud d'environ 75% pour le billon de souche (en 2,40 m) et de près de 20% en moyenne pour l'arbre entier. L'opération d'élagage permet d'éviter la formation de nœuds noirs très pénalisants pour la qualité des sciages (ces nœuds non adhérents se détachent des sciages lors des opérations de rabotage).

## Conclusion

Les modèles développés puis appliqués à différents scénarios sylvicoles et hypothèses de reboisement ont permis de confirmer la forte influence des pratiques sylvicoles sur les propriétés mécaniques du matériau bois. La base de références qualitatives créée est un outil d'analyse précieux du potentiel technologique du pin maritime cultivé suivant les principes de la ligniculture.

Même si ces travaux donnent une indication sur les facteurs influant la propriété mécaniques, l'utilisation de ces modèles par la profession reste par contre à développer. L'optimisation du billonnage des arbres par les machines d'abatage, en se basant sur ces modèles, pourrait également être à terme envisageable.

De même la possibilité de mieux qualifier la matière première pour mieux la valoriser au plan industriel dès l'achat des bois ou avant sa transformation reste à exploiter. Les nouvelles technologies d'estimation de la ressource, technologies basées sur l'utilisation de laser (aéroporté ou terrestre), nous offrent la possibilité d'obtenir des données dendrométriques très précises sur la ressource (hauteur des arbres, circonférences voire certaines hauteurs de branches). L'application des modèles développés à ces données dendrométriques permettra d'estimer en plus du volume, le potentiel qualitatif de la ressource.

## Bibliographie

Agreste, 2014. *Évaluation du volet « mobilisation des bois chablis » du plan de solidarité nationale consécutif à la tempête Klaus.* Centre d'études prospectives, Analyse n°70, 4 p.

Berthier, S., Kokutse, A., Stokes, A., Fourcaud, T., 2001. *Irregular Heartwood Formation in Maritime Pine (Pinus pinaster Ait): Consequences for Biomechanical and Hydraulic Tree Functioning.* Annals of Botany 87, pp. 19-25.

ECOFOR, 2009. *Rapport du groupe de travail "Itinéraires sylvicoles". Rapport de synthèse, Bordeaux, 19 p.*

Keskitalo, E. C. H. (2011). *How can forest management adapt to climate change? Possibilities in different forestry systems.* Forests, 2(1), 415-430.

Lesgourgues, Y., & Drouineau, S. (2009). *Élaboration de nouveaux itinéraires techniques de régénération de la forêt landaise en réponse aux scénarios possibles.* Innovations Agronomiques, 6, 101-102.

Macdonald, E., Moore, J., Connolly, T., Gardiner, B., 2009. *Developing methods for assessing Scots pine timber quality.* Research Note, Forest Research, 8 p.

Moreau, J., (2010), *Impact de pratiques sylvicoles intensives sur les propriétés du bois de pin maritime (PhD Thesis, Bordeaux 1).*

Polge, H., 1964. *Le bois juvénile des conifères.* Revue Forestière Française XVI, pp. 473-505.

Projet réalisée en partenariat avec



Avec le soutien financier de



## Contacts

Jérôme Moreau\* ● [jerome.moreau@esb-campus.fr](mailto:jerome.moreau@esb-campus.fr)  
Alain Bailly\*\* ● [alain.bailly@fcba.fr](mailto:alain.bailly@fcba.fr)  
Alain Bouvet\*\* ● [alain.bouvet@fcba.fr](mailto:alain.bouvet@fcba.fr)  
Priscilla Cailly\*\* ● [priscilla.cailly@fcba.fr](mailto:priscilla.cailly@fcba.fr)  
Jean-Denis Lanvin\*\*\* ● [jean-denis.lanvin@fcba.fr](mailto:jean-denis.lanvin@fcba.fr)



\* Ecole Supérieure du Bois, Laboratoire Limbha  
Rue C. Pauc, 44306 Nantes



\*\* Pôle Biotechnologie et sylviculture avancée  
71 route d'Arcachon, Pierroton, 33610 Cestas

\*\*\* Pôle Bois Construction

Allée de Boutaut, 33000 Bordeaux