

**Producto: Estímulo de la multifuncionalidad forestal:
Compatibilización de la resinación con la producción de
madera (*Pinus Pinaster ssp*).**

**Actividad: Caracterización de la madera resinada de pino resinero ssp.
Atlántica para su promoción comercial.**

Entregables:

- Hoja divulgativa sobre la producción de madera resinada. Anexo 'atlantica'.
- Dossier técnico de caracterización de madera resinada para uso no estructural.
- Memoria de los trabajos de caracterización y verificación de la calidad de la madera resinada. Anexo 'atlantica'.



www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Production de bois gemmé pour un usage non-structurel



CONTEXTE

Afin de promouvoir l'usage industriel du bois gemmé, une étude des propriétés physico-mécaniques des bois de pins maritimes gemmés a été menée. Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet européen SustForest Plus.

OBJECTIFS

En collaboration avec le FCBA, Le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) de Nouvelle-Aquitaine a réalisé des expériences de gemmage sur 3 ans avant l'abattage des arbres, afin de mesurer la productivité en terme de récolte de gomme, mais aussi l'impact du gemmage sur les propriétés des bois de *Pinus pinaster*.

Ce document présente le travail réalisé et les résultats obtenus sur les propriétés physico-mécaniques des bois gemmés, en réponse aux objectifs suivants:

- Comparer les propriétés physico-mécaniques des bois de *Pinus pinaster* gemmé et non-gemmé.
- Permettre aux propriétaires forestiers et aux industriels de la filière bois d'avoir une vision claire et réaliste sur les effets du gemmage sur la qualité de leur produit bois final.
- Permettre au bois issu de pins gemmés de se faire une place sur le marché du bois de résineux en France.

METHODOLOGIE



- **12 arbres** sélectionnés sur une station uniforme (**lande mésophile**) à **Captieux**, dans le département des Landes
- **6 arbres gemmés** (durant trois saisons) et **6 arbres non-gemmés** (témoin)
- Classe d'âge de **40-50 ans**, et **30-40 cm** de classe de diamètre.
- 256 planches de bois au total (129 de bois gemmé, 127 de bois non-gemmé), de dimensions **2500x110x55mm**.

Les billes et surbilles ont été séparées, puis marquées avec un code couleur pour déterminer la proximité à la moelle. Les bois ont été sciés afin d'obtenir des planches. La masse volumique et le module d'élasticité des planches ont été mesurés. Les planches ont ensuite été séchées afin d'obtenir une teneur en humidité finale moyenne de 12,3%.

Les tests réalisés sont les suivants:

- **Essais de dureté**: test de dureté Brinell (selon la norme **NF EN 1534**)
- **Essais de flexion**: test de flexion 4 points (selon les normes **NF EN 408+A1** et **EN 13183-1**)
- **Essais sur les finitions extérieures**: PosiTest, avant et après dégradation rapide par QUV (selon la norme **NF EN 927-6**)

Les résultats ont fait l'objet d'une analyse statistique afin de déterminer la significativité des différences obtenues.

RESULTATS

• Résultats des caractéristiques intrinsèques aux planches

Variable	Unité	Pin gemmé	Pin non-gemmé
Masse volumique moyenne	kg/m ³	568	570
Teneur en humidité (séchage)	%	11,3	13,2

• Résultats des tets sur les propriétés mécaniques des bois

Variable	Unité	Pin gemmé	Pin non-gemmé
Dureté Brinell	MPa	27,3	24,2
Module d'élasticité moyen ramené à 12%	MPa	10 869	11 058
Contrainte de rupture moyenne en flexion	MPa	44,0	50,4
PosiTest (avant vieillissement)	MPa	5,8	5,8
PosiTest (après 3 semaines de cycle QUV)	MPa	3,9	3,1



1. Test de dureté Brinell

2. PosiTest (tenue des finitions)

3. Test de flexion 4 points

CONCLUSIONS

- Le gemmage n'influe pas sur le module d'élasticité (c'est-à-dire sur le rapport entre la contrainte et la déformation d'un matériau sous chargement), mais donne aux bois gemmés une contrainte moyenne de rupture en flexion inférieure à celle des bois non-gemmés (14,1% plus faible).
- Le gemmage augmente significativement la masse volumique dans la zone périphérique de la tige, en se rapprochant de l'écorce, de la blessure de gemmage. Ceci pourrait être dû à un phénomène de résinification du bois à la suite de cette dernière.
- Les bois gemmés sont significativement plus durs que les bois non-gemmés.
- La mesure de la cohésion d'une finition au moyen d'un test d'arrachement est similaire pour des finitions non vieilles sur des bois gemmés et non gemmés. Néanmoins, la tenue des finitions est meilleure pour les pins gemmés après un cycle de vieillissement accéléré de 3 semaines d'exposition QUV.

REMERCIEMENTS

- Emmanuel de Montbron, propriétaire forestier
- Jean-Denis Lanvin de l'Institut Technique FCBA
- Scierie Labadie

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Dossier technique de caractérisation du bois gemmé pour usage non-structurel. Annexe ‘atlantica’

Annexe française 1.32.2

CRPF Nouvelle-Aquitaine

07/2021

Sommaire :

1. Contexte et enjeux de l'étude.....	4
2. Préparation de l'échantillonnage.....	5
3. Séchage des bois.....	10
3.1 Matériel et méthodes.....	10
3.1.1 Séchoir pilote Air Chaud Climatisé (ACC).....	10
3.1.2 Eprouvettes.....	10
3.1.3 Mesures sur les bois avant et après séchage.....	10
3.1.4 Tables de séchage et acquisition des données de cycles.....	10
3.2 Résultats et discussion.....	11
3.2.1 Cycles de séchage.....	11
3.2.2 Humidités initiales et finales des sciages.....	12
3.2.3 Consommations spécifiques.....	14
3.3 Impact du séchage.....	15
4. Essais de flexion.....	15
4.1 Conditionnement thermo hygrométrique des éprouvettes d'essai.....	16
4.2 Méthodes.....	16
4.3 Analyse des résultats physico-mécaniques.....	18
4.4 Discussion et classement des bois.....	23
5. Essais de dureté.....	25
5.1 Dispositif expérimental.....	25
5.2 Test de dureté.....	25
5.3 Résultats du test.....	27
6. Finition extérieure.....	32
6.1 Préparation des éprouvettes de tenue des finitions.....	33
6.2 Méthodes.....	34
6.2.1 Préparation des éprouvettes pour le revêtement d'essai.....	34
6.2.2 Positest.....	35

6.3	Vieillissement au QUV.....	36
6.4	Résultats des tests de tenue des finitions.....	36
6.4.1	Tests initiaux.....	36
6.4.2	Tests Positest après cycle QUV.....	37
6.4.3	Test de tenue d'une finition.....	38
7.	Conclusion et perspectives.....	38
	Remerciements.....	39
	Références.....	39

1. Contexte et enjeux de l'étude

Le gemmage des pins est une opération qui consiste à « blesser » le pin pour en récolter la gemme (ou la résine). Les techniques de la récolte de la gemme ont bien entendu évolué au cours du temps (au crot, système Hugues, ...) en fonction des évolutions techniques et de la destination des produits dérivés. La valorisation des extractibles des résineux comme le pin maritime a connu son apogée dans le massif landais après la deuxième guerre mondiale avec une population de gemmeurs qui a pu atteindre plus de 18.000 emplois en 1970. Il est à noter l'extinction du gemmage au début des années 1990 au sein des Landes de Gascogne. La production de « résine » est actuellement assurée en récupérant l'essence de papeterie ou le tall-oil.

A ce jour, la production de la gemme directement sur les arbres est en train de reconquérir à nouveau des parts de marchés. La récolte se fait maintenant en vase clos (récipient hermétique) qui permet d'obtenir une gemme sans impureté et polluants (produits soufrés) ayant de plus grande qualité pour les débouchés de la chimie verte (procédé Holiste).

Cette gemme est destinée à des usages sanitaires ou alimentaires après transformation chimique. Le prix d'achat de la gemme (droit à la récupération de la gemme) permet, dans certain cas, de payer au propriétaire forestier les opérations d'abattage des arbres avant transformation. Idéalement, la production de la gemme doit se faire au plus tôt 5 ou 3 ans avant l'abattage des arbres.



Figure 1: vue de la parcelle des pins gemmés et pins non gemmés lors de la dernière récolte de gemme (30 septembre 2020)

Le projet européen SustForestPlus a permis d'identifier les atouts et limites de la chaîne de valeur de la résine en France. L'un des leviers principaux de la relance du gemmage en France est l'implication des propriétaires forestiers, et l'assurance que la récolte de la résine pourrait leur apporter plus d'avantages que d'inconvénients. Le présent mémoire rend donc compte des tests et mesures qui ont été effectués sur des pins gemmés et non gemmés, afin d'établir une comparaison des propriétés physico-mécaniques des bois. Le but est de savoir si le gemmage influence la qualité du produit bois final, dans un souci de mise sur le marché par le propriétaire de ses bois.

Outre la récolte de la gemme, l'étude menée par FCBA sous la supervision du CNPF-CRPF va permettre de constater s'il y a (ou pas) une différence significative des propriétés physico-mécaniques des bois.

2. Préparation de l'échantillonnage

Au sein d'une même placette (lande mésophile) près de Captieux (Landes), 6 arbres gemmés (30-40 cm & 40-50 ans) et 6 arbres non gemmés (30-40 cm & 40-50 ans) ont été sélectionnés par le CNPF-CRPF en vue d'un abattage et tronçonnage (bille de pied - Sur bille) avant l'étape de caractérisation des bois.

Les arbres (55 ans à la graine) ont été numérotés par le CNPF-CRPF en 2018. Fin 2019, le CNPF-CRPF a sélectionné les arbres gemmés en fonction de leur production de résine des deux premières années de récolte (2018 & 2019) qui seront ensuite abattus pour la suite de l'étude. La sélection des bois non gemmés s'est fait sur la base de diamètre équivalent.

Tableau 1 : typologies des arbres retenus pour l'étude (parcelle Captieux, Landes)

Production en résine par arbre	Arbres gemmés		Arbres non gemmés	
	N° arbre	Diamètre DbH (cm)	N° arbre	Diamètre DbH (cm)
Forte	15	53	35	54
	2	55	8	64
Moyenne	7	44	11	45
	10	44	20	43
Faible	6	39	2	39
	8	37	5	36
Total	6		6	

L'abattage des arbres s'est déroulé le 20 novembre 2020 par mécanisation. Une mesure des diamètres longueurs des billons a été faite et un marquage sur les billons a été aussitôt apposé sur les sections selon les préconisations de la figure suivante.

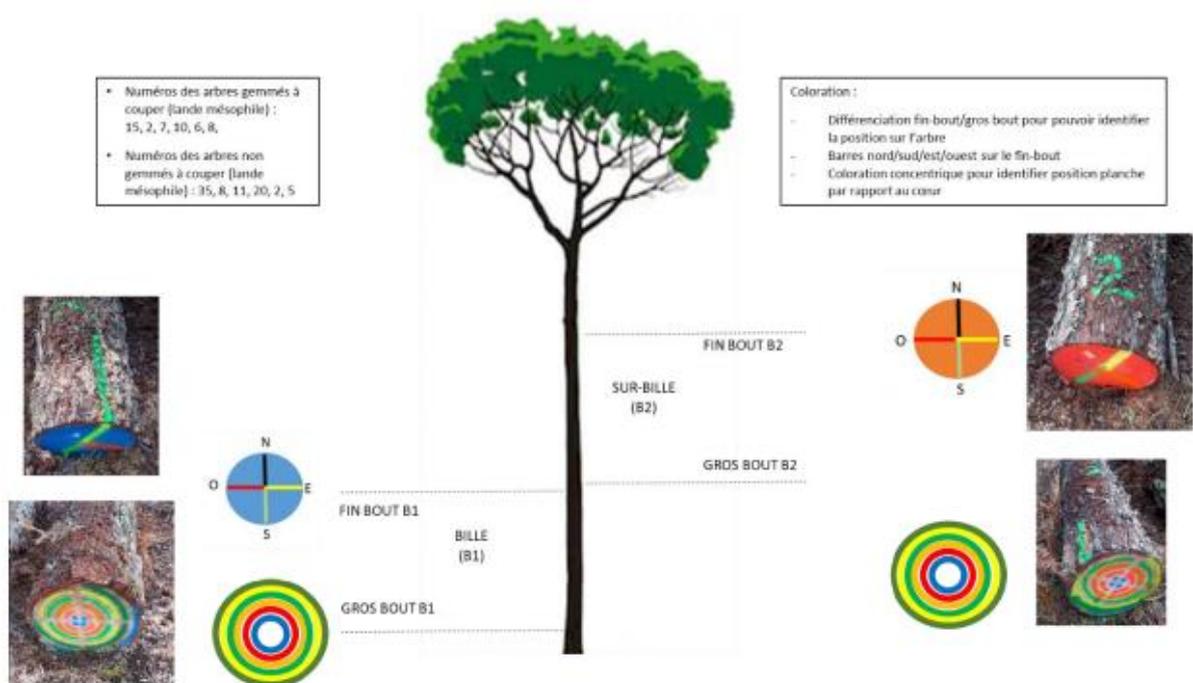


Figure 2: schématisation des codes couleurs appliqués sur les billons de la parcelle des pins gemmés et pins non gemmés le 20 novembre 2020 – détail de l’arbre N°2

La couleur unie sur l’extrémité (fin bout) des billons permet ainsi de différencier les billons lors du sciage. Les différents cercles de couleur peints à l’extrémité du billon au plus près du pied de l’arbre ont été relevés lors des essais de flexion pour évaluer la distance de la planche sciée par rapport à la moelle de l’arbre suivant le codage du tableau suivant :

Tableau 2 : Correspondance entre le code couleur et la distance des planches par rapport à la moelle de l’arbre

Code couleur	Distance par rapport à la moelle (en mm)
Bleu	30
Rouge/Rose	70
Orange	110
Vert clair	150
Jaune	190
Bleu	230
Vert foncé	270
Pas de peinture	Au-delà de 310

Le sciage des billons a été opéré au sein de la scierie LABADIE le 27 novembre 2020. Une plaquette forestière a été apposée sur chaque avivé pour suivre la traçabilité (arbre – billon - sciage).



Figure 3: identification des 256 sciages en sortie de sciage des billons de la parcelle pin gemmé - non gemmé (27 novembre 2020).

256 avivés ont été ainsi préparés pour l’étude de caractérisation. La mesure des singularités et du potentiel mécanique par CNF doivent être faits pour préparer 2 lots de planches pin maritime non gemmées et gemmées équivalents en terme de propriétés physico-mécaniques.

Pour cela, l’appareil portable MTG développé par Brookhuis (NL) a été utilisé pour évaluer chaque planche en terme de masse volumique et module d’élasticité. Cette méthode non destructive nous

permet d'une part de vérifier si l'estimation du module d'élasticité lors de l'essai de flexion est correct et d'autre part de pouvoir classer les bois sans forcément les casser.

Le système MTG (Mobile Timber Grader1) est une machine de classement portable utilisant les techniques de vibration pour mesurer le module élasticité E_{dyn} de manière à prédire la contrainte à la rupture par régression.



$$E_{dyn} = 4 * \rho * L^2 * fréquence_N^2$$



Figure 4: mesure du module élasticité dynamique par MTG

MTG peut être utilisé avec ou sans balance pour la prédiction. MTG est décliné comme suit :

- MTG 920 (pas de balance)
- MTG 960 (avec balance)

Avec cette machine, il nous sera donc possible de classer les bois par la résistance.

Il s'avère que certains avivés sont échauffés2 voire pourris (le bois est spongieux). Ces derniers ne peuvent donc pas être utilisés dans le cadre de l'étude.

Tableau 3 : nombre de planches présentant (ou pas) des échauffures

Lot des avives provenant d'arbres	Pas de trace d'échauffure	Echauffure peu présente	Beaucoup échauffé	Total
Gemmés	128	1		129
Non gemmés	107	5	15	127
Total général	235	6	15	256

Autant que cela puisse paraître surprenant, l'échauffure des avivés a été principalement vue dans les sciages provenant d'arbres non gemmés. Nous avons donc supprimé durant la phase de sélection des avivés présentant ces anomalies :

- Cinq planches (moyennent échauffées) au sein du lot non gemmé (Edyn moyen = 10 700MPa ; CoV=25%)
- Quinze planches (fortement échauffées) au sein du lot non gemmé (Edyn moyen = 8 034MPa ; CoV=32%)

Bien que présentant de légères échauffures, la planche (provenant de la surbille de l’arbre 10 gemmé) est gardée, son module Edyn est évalué à 9 300 MPa).

Comme détaillé précédemment, la mesure des fréquences propres de vibration permet l’estimation du module d’élasticité en fonction de la masse volumique. A l’issue de la sélection initiale, les propriétés selon les pins gemmés – non gemmés et la position du billon sont les suivantes :

Tableau 4 : Statistiques descriptives du EdynMTG mesuré sur les 236 planches frais de sciage

Lot	BILLON	N	EdynMTG				MV (kg/m ³)	
			Moyenne	CoV (%)	Min	Max	Moyenne	CoV (%)
Bois gemmé	Bille pied	67	11 113	24,6	3 954	16 227	861	16
	Surbille	60	10 951	22,6	5 045	15 035	843	19
	Lot	127	11 036	23,6	3 954	16 227	852	17
Bois non gemmé	Bille pied	55	10 638	21,6	5 524	15 600	889	13
	Surbille	54	10 717	20,2	5 641	14 743	896	17
	Lot	109	10 676	20,8	5 524	15 600	892	15

Les distributions en loi normale des modules d’élasticité mesurés au moyen du MTG sont décrites dans le graphe suivant. Il n’y a pas de différence significative à 95% pour les deux lots.

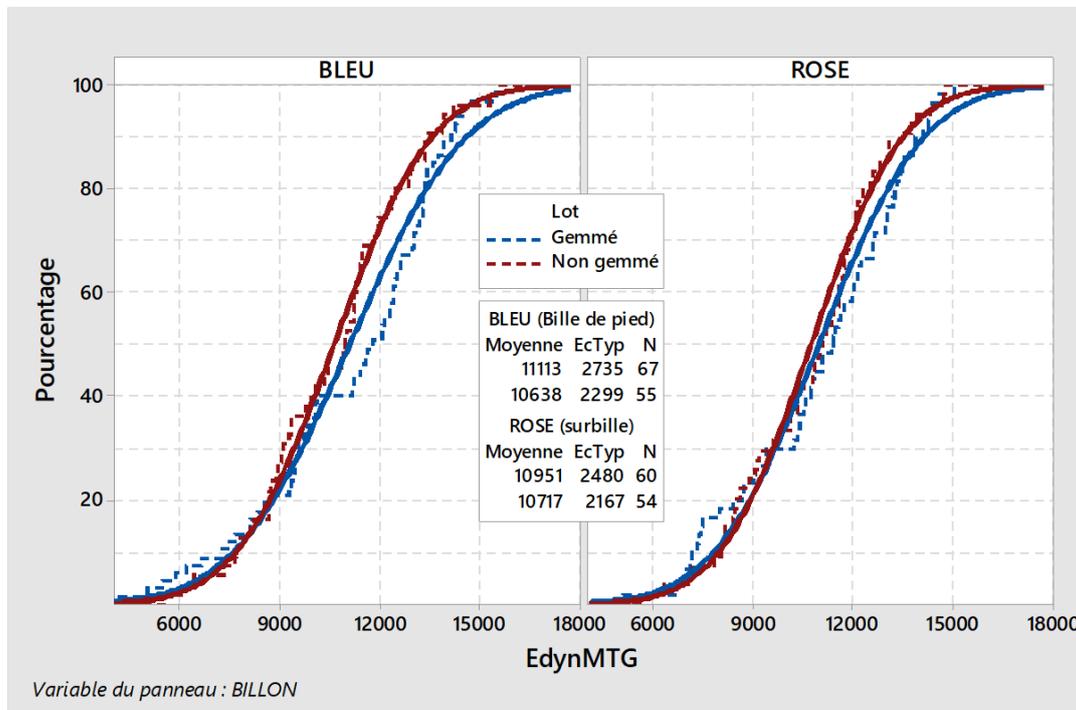


Figure 5 : distributions en loi normale des modules d’élasticité mesurés au moyen du MTG (236 planches) par lot

La configuration du séchoir nous impose de mettre 7 planches (largeur 110 mm) sur 13 rangées (52 mm d'épaisseur + 30 mm de tasseau) par campagne de séchage, soit à sélectionner au maximum :

- 91 planches pour le lot gemmé sur les 127 planches
- 91 planches pour le lot non gemmé sur les 109 planches.

Le module d'élasticité sera donc notre variable d'ajustement pour assurer la sélection des bois à sécher. Il faut toutefois attirer l'attention autour des mesures du Edyn qui utilise la masse volumique, valeur elle-même dépendante du taux d'humidité des bois. Bien que les arbres aient été abattus et sciés dans une période très courte, le taux d'humidité est pour autant très variable. Par défaut, il a été fixé à 50% pour les mesures CND.

Il faut donc que les distributions soient suffisamment « identiques » sachant que le nombre de planches initiales n'est pas le même entre les lots gemmés et non gemmés. C'est pourquoi, nous avons privilégié une « même valeur » moyenne par lot (gemmé et non gemmé ; position du billon). Dans un premier temps, nous avons lissé les valeurs extrêmes (minimales et maximales) puis nous avons éliminé une planche par intervalle de manière à garder une distribution centrée autour de la valeur moyenne avec un même écart type.

Tableau 5 : Statistiques descriptives du EdynMTG mesuré sur les 182 planches sélectionnées pour le séchage

Lot	BILLON	N	EdynMTG (MPa)				MV (kg/m ³)	
			Moyenne	CoV (%)	Min	Max	Moyenne	CoV (%)
Bois gemmé	Bille pied	47	10 945	19,8	6 196	13 913	868	14
	Surbille	44	10 834	20,0	6 695	13 845	842	19
	Lot	91	10 891	19,8	6 196	13 913	855	17
Bois non gemmé	Bille pied	47	10 564	18,3	6 436	13 960	891	12
	Surbille	44	10 591	18,2	6 280	13 951	897	17
	Lot	91	10 577	18,2	6 280	13 960	893	14

Les distributions en loi normales des modules d'élasticité mesurés au moyen du MTG sont décrites dans le graphe suivant.

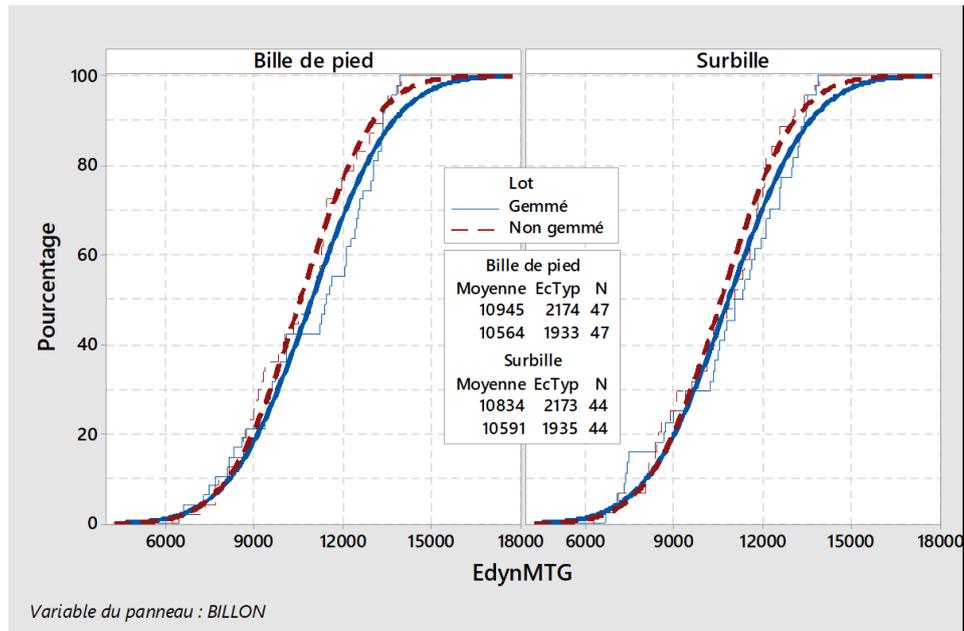


Figure 6 : distributions en loi normale des modules d'élasticité mesurés au moyen du MTG (2*91 planches) par lots

3. Séchage des bois

3.1 Matériel et méthodes

3.1.1 Séchoir pilote Air Chaud Climatisé (ACC)

Les essais de séchage ont été réalisés sur le séchoir Cathild pilote Air Chaud Climatisé (ACC) disponible à FCBA. Ce séchoir permet la régulation de la température et de la teneur en humidité relative de l'air en fonction de la teneur en humidité du bois mesurée par le biais de sondes résistives. Les bois ont été lattés par des baguettes de 30 mm profilées pour favoriser la circulation de l'air sur les faces des avivés.

3.1.2 Eprouvettes

Les éprouvettes ayant été utilisées pour les essais de séchage sont des avivés provenant de pin maritime gemmé, ou non-gemmé. Les dimensions cibles, bois vert, selon la longueur, la largeur et l'épaisseur sont de 2500 x 110 x 55mm. Les deux lots, de pin gemmé et de pin non-gemmé, sont composés de 91 sciages.

3.1.3 Mesures sur les bois avant et après séchage

Avant et après séchage, chaque sciage est pesé sur une balance précise à 10g. Les dimensions sont mesurées au pied à coulisse au dixième de millimètre. Ces mesures permettent de déterminer la masse volumique avant et après séchage, ainsi que la masse totale d'eau évaporée par cycle. Après séchage, la teneur en humidité est mesurée par un humidimètre à pointes, et la teneur en humidité initiale est recalculée par rapport à la teneur en humidité finale et les masses initiales et finales des sciages.

3.1.4 Tables de séchage et acquisition des données de cycles

La table de séchage employée pour les deux cycles (gemmé et non-gemmé) est donnée dans la Figure 7. Il s'agit d'une table de séchage « classique » pour du pin maritime, dont le séchage peut être considéré comme facile, et permet l'emploi de température supérieure à 60°C. Lorsque la teneur en humidité mesurée sur les sciages atteint les 12%, c'est-à-dire l'humidité cible, le cycle de séchage est arrêté.

PROG <input type="checkbox"/>		V %	↔ h	↗ °/h	D (h)	HR	T °	HE
S 1	Préchauffage 1	50	02	20			060	15,0
S 2	Préchauffage 2	50	05		05		065	14,0
S 3	Séchage 1	50	07		00	> 50	067	13,0
		50			00	50 - 40	070	12,5
		50			00	40 - 35	070	12,0
		50			00	35 - 30	070	12,0
S 4	Séchage 2	50	07		00	30 - 27	072	08,0
		50			00	27 - 24	072	07,0
		50			00	24 - 21	075	06,0
		50			00	21 - 18	075	05,0
		50			00	18 - 15	075	04,0
		50			00	15 - 12	080	04,0
		50			00	12 - 09	080	04,0
		50			00	09 - 06	080	04,0
S 5	Equilibrage	00	03		10		070	
S 6	Refroidissement	00	02	05			050	

Figure 7 : table de séchage employée pour les essais, il s'agit d'une table de séchage classique pour du pin maritime [cathild].

Tout au long du séchage, la température réelle, l'humidité d'équilibre réelle, la teneur en humidité des bois (sondes résistives), la vitesse de ventilation, ainsi que les valeurs consignes associées sont enregistrées. Le pas d'acquisition est de 15 minutes.

Deux cycles identiques sont réalisés :

- 1er cycle : lot composé exclusivement de Pin Maritime non-gemmé
- 2ème cycle : lot composé exclusivement de Pin Maritime gemmé

3.2 Résultats et discussion

3.2.1 Cycles de séchage

Les courbes de température et d'humidité d'équilibre consignes et réelles enregistrées au cours des deux cycles sont présentées dans les Figure 8 (pin non-gemmé) et Figure 9 (pin gemmé).

Les deux cycles de séchage ont connu une durée quasi identique d'environ 5 jours. Cette durée est attendue pour des sciages de cette épaisseur en Pin Maritime, et est donc cohérente avec un séchage industriel classique.

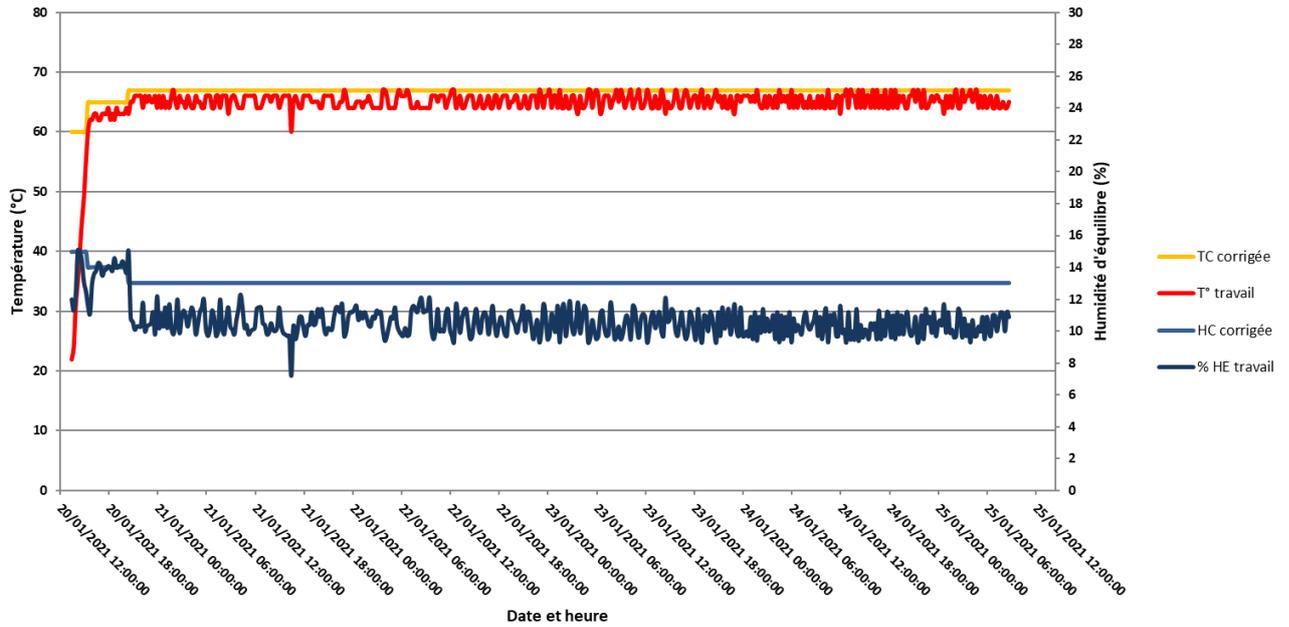


Figure 8 : cycle de séchage correspondant au lot 1 "pin non-gemmé"

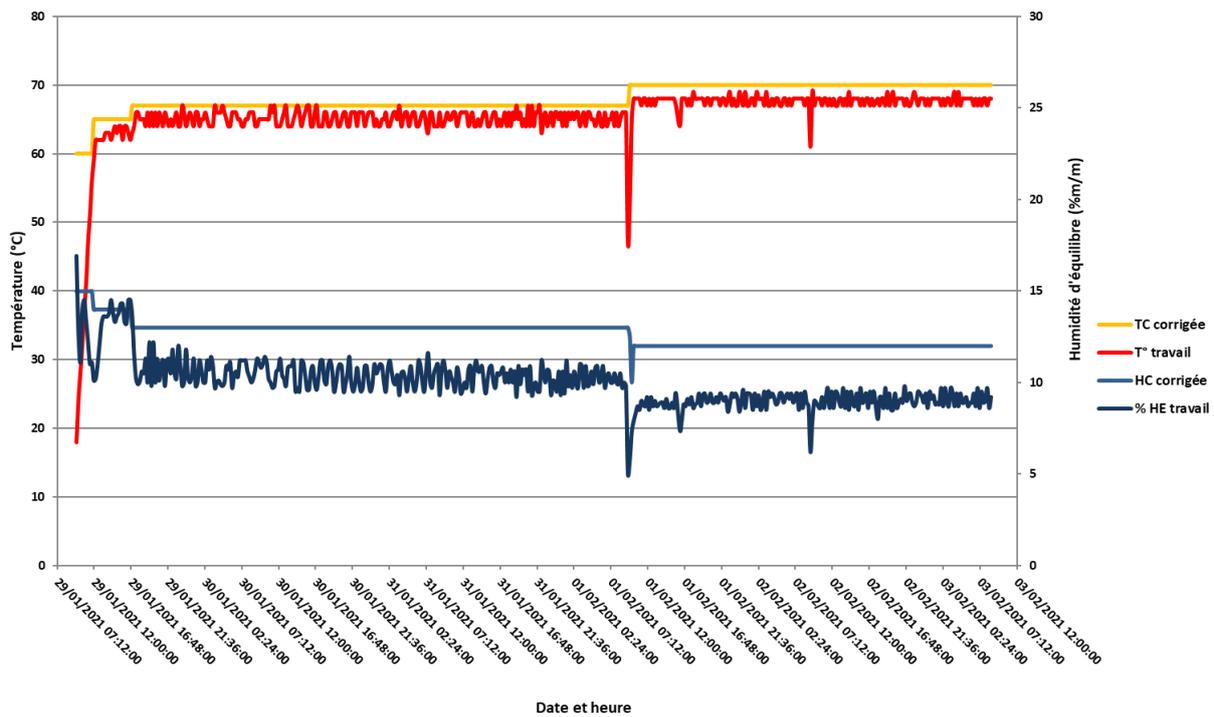


Figure 9 : cycle de séchage correspondant au lot 2 "pin gemmé"

3.2.2 Humidités initiales et finales des sciages

Nous pouvons noter des teneurs en humidité initiales plus importantes pour le pin non-gemmé par rapport au pin gemmé (Figure 10), et une variabilité également plus importante pour le pin non-gemmé.

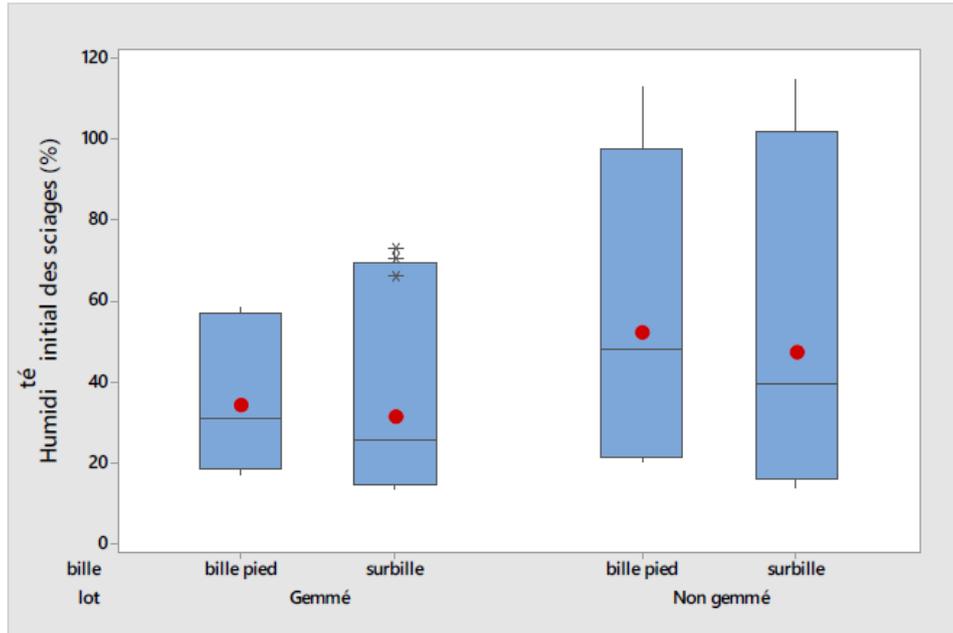


Figure 10 : répartition des teneurs en humidité des sciages, avant séchage, entre les deux lots "gemmé" et "nongemmé"

Ces résultats se retrouvent au niveau des teneurs en humidité finales (Figure 11).

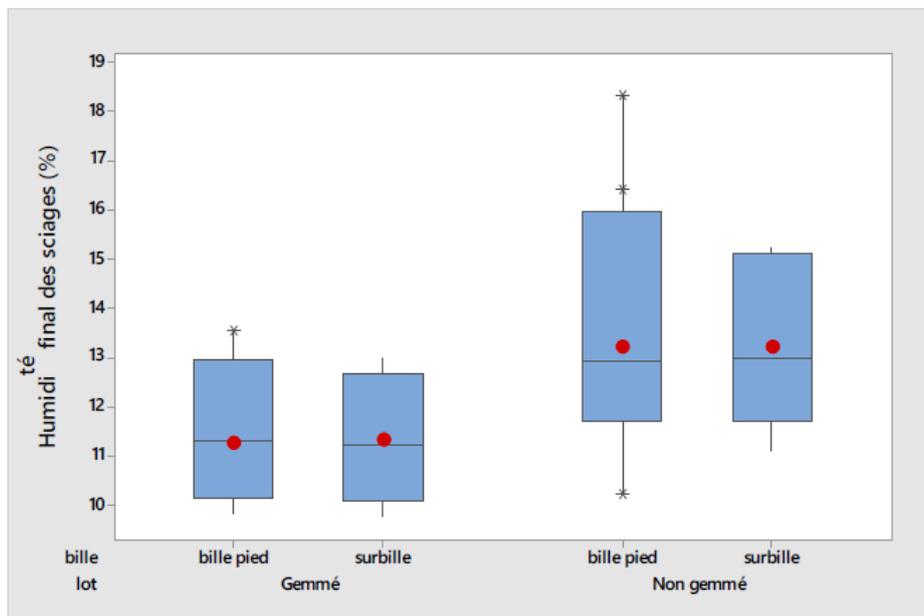


Figure 11 : répartition des teneurs en humidité des sciages, après séchage, entre les deux lots "gemmé" et "non gemmé"

La moyenne des teneurs en humidité finales pour le pin gemmé est de 11,3% (écart-type 0,78%) et de 13,2% (écart-type, 1,30%) pour le pin non gemmé. Dans les deux cas, la valeur moyenne des sciages correspond à la tolérance prévue par la norme NF EN 14298, qui pour une cible à 12% permet des teneurs en humidité moyenne comprises, sur un lot, entre 10,5% et 13,5%.

De plus, selon cette norme, 93,5% des sciages doivent présenter une teneur en humidité individuelle comprise entre 0,7 fois la teneur en humidité cible et 1,3 fois la teneur en humidité cible. Pour le lot de pin gemmé, 100% des pièces sont comprises dans cette tolérance et pour le lot non-gemmé, 97,8% des pièces sont comprises dans cet intervalle (2 sciages sur 91).

Du point de vue de la teneur en humidité finale, les deux lots sont parfaitement en adéquation avec les valeurs cibles que l'on peut attendre. Nous n'observons pas de changement lié au gemmage par rapport à des bois non gemmés.

La comparaison des teneurs en humidité initiales et finales, pour chacun des deux lots (Figure 10 et Figure 11), nous permet de mettre en perspective la teneur en humidité initiale et la teneur en humidité finale pour chacun des deux lots. Malgré une dispersion importante des teneurs en humidité initiales, les teneurs en humidité finales mesurées sont bien groupées dans les deux cas, et si une légère différence persiste en fin de séchage entre les deux lots, celle-ci peut être expliquée par la teneur en humidité initiale supérieure dans le cas du pin non gemmé.

Aucune difficulté n'est ici constatée pour le séchage de pin gemmé. Notamment, nous n'avons pas constaté de poches d'eau sur des sciages après séchage, ce qui est mis en avant par l'homogénéité des teneurs en eau des bois après séchage.

3.2.3 Consommations spécifiques

Les consommations énergétiques enregistrées au cours des cycles de séchage du pin gemmé et non-gemmé sont données dans le Tableau 6.

Il est ici impossible de transposer les consommations énergétiques à un séchoir industriel. En effet, le séchoir pilote utilisé possède un volume utile réduit par rapport au volume total de l'enceinte par rapport à un séchoir industriel permettant généralement le séchage simultané de plusieurs dizaines de mètres cubes de bois. Ainsi, à puissance de ventilation égale, le séchoir pilote comportera un volume de bois restreint, ce qui tend à augmenter la consommation énergétique spécifique. En outre, l'organe de chauffe du séchoir est composé de résistances électriques qui sont particulièrement consommatrices d'énergie par rapport à des batteries de chauffe classiques (type échangeur eau/air alimenté par une chaudière). Nous pourrions, en revanche, réaliser une comparaison entre les deux cycles, réalisés dans des conditions similaires.

Nous observons une consommation brute supérieure pour le lot de pin non-gemmé par rapport au lot de pin gemmé, mais cette différence ne s'explique pas uniquement par un séchage plus énergivore pour le pin non-gemmé. En effet, la teneur en humidité étant supérieure pour ce lot, la quantité d'eau à évaporer l'est également.

Rapporté à la quantité totale d'eau évaporée, c'est-à-dire en exprimant les consommations sous forme de consommations spécifiques, les différences entre les deux lots sont beaucoup plus faibles de ce point de vue. En effet, la consommation spécifique totale est inférieure de 6% environ pour le pin gemmé par rapport au pin non-gemmé. Par rapport à la variabilité naturelle et aux teneurs en humidité initiales variables pour les deux lots, les différences de consommations spécifiques n'apparaissent donc pas comme significatives. Ainsi, s'il n'est pas possible d'affirmer que le séchage du pin maritime

gemmé est plus économe d'un point de vue énergétique que celui du pin non gemmé, le gemmage n'apparaît pas comme une opération engendrant des difficultés de séchage sur les bois.

Tableau 6 : consommations énergétiques liées au séchage des 2 lots de sciage pin maritime gemmé et non gemmé

	Cycle Pin non-gemmé	Cycle Pin gemmé
Consommation ventilation (kWh)	315	183
Consommation thermique (kWh)	1661	993
Consommation totale (kWh)	1976	1176
Masse de la charge totale avant séchage (g)	955	870
Masse de la charge totale après séchage (g)	730	728
Masse d'eau évaporée (kg)	224	142
Consommation spécifique ventilation (kWh/kg eau évaporée)	1.40	1.28
Consommation spécifique thermique (kWh/kg eau évaporée)	7.39	6.99
Consommation spécifique totale (kWh/kg eau évaporée)	8.79	8.27

3.3 Impact du séchage

Les essais de séchage conduits sur deux lots de sciages de pin maritime (l'un provenant d'arbres ayant subi un gemmage et l'autre provenant d'arbres n'ayant pas subi cette opération) n'ont pas permis de mettre en avant une différence notable par rapport au séchage.

Les durées de cycles, et les consommations énergétiques mesurées sont très similaires pour les deux cycles. Le séchage de pin gemmé peut donc être conduit sans attendre de différence avec des pins maritimes « classiques ». Aucun surcoût (qu'il soit positif ou négatif) en termes de séchage n'est à attendre pour le séchage de pin gemmé par rapport à un pin non-gemmé.

De plus, la répartition des teneurs en humidités finales est restée très homogène dans les deux cas, et en accord avec les exigences de la norme NF EN 14298 pour un séchage standard. Le séchage de pin gemmé ne nous apparaît pas à même d'induire de pathologies de type poches d'eau pouvant limiter l'homogénéité du séchage. En conséquence, le pin gemmé nous apparaît aussi apte à des utilisations en bois collés que le pin non gemmé, ces utilisations nécessitant des teneurs en humidité homogènes pour l'application d'adhésifs.

Il est à noter que les taux d'humidité initiale des bois (lot gemmé) sont plus bas que ceux mesurés sur les sciages du lot non gemmé.

4. Essais de flexion

Dans le but de comparer les deux lots de sciage de pin maritime gemmés et non gemmés, FCBA a déterminé la qualité « mécanique » des sciages par un essai de flexion 4 points.

4.1 Conditionnement thermo hygrométrique des éprouvettes d'essai

Les éprouvettes préalablement séchées au FCBA (taux d'humidité cible < 18%) ont été stockées dans le laboratoire de Mécanique avant essai sans conditionnement en chambre climatique (20°C – 65% HR).

4.2 Méthodes

Les essais de flexion ont été réalisés selon les normes suivantes :

- NF EN 408+A1 (Septembre 2012) – Bois structure et bois lamellé-collé : Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques.
- EN 13183-1:(Juin 2002) - Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 1 : détermination par la méthode par dessiccation.

Les essais sont réalisés sur une machine d'essais verticale pilotée et asservie informatiquement, d'une capacité nominale de 50 kN par vérin. Cette machine est de classe 1, c'est à dire que la force est mesurée avec une précision de 1 % sur la mesure.



Bati d'essai de flexion 4 points



Rupture planche N°2285 (rupture bois)

Figure 12 : dispositif expérimental pour tester en flexion les planches bois construction

Les éprouvettes d'essais sont placées sur les deux appuis extérieurs de manière à centrer le défaut majeur (nodosité ; pente de fil, ...). Les efforts de flexion sont transmis aux éprouvettes en deux points de chargement par le biais de deux appuis supérieurs (cf. Figure 13).

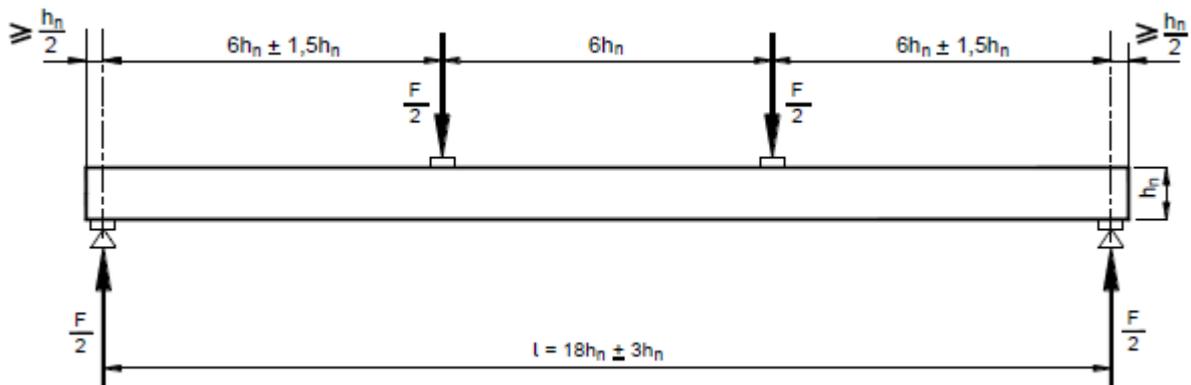


Figure 13 : Schéma de principe de l'essai de flexion selon EN 408

Les résultats d'essais sont présentés comme suit :

- Fmax : force maximale, en N
- L : longueur de l'éprouvette, en mm
- b : largeur de la section transversale de l'éprouvette, en mm
- he : hauteur de la section transversale de l'éprouvette, en mm
- hn : hauteur nominale de la section transversale des éprouvettes, en mm
- a : distance entre un point de chargement et l'appui le plus proche en mm (a = 6 hn)
- W : module d'inertie ou de résistance de la section transversale, en mm³
- l1 : longueur de base pour la détermination du module d'élasticité, en millimètres
- F2-F1 est un accroissement de force en newtons sur la ligne de régression avec un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux ;
- w2-w1 est l'accroissement de flèche en millimètres
- I : moment quadratique d'une surface, en millimètres à la puissance quatre
- H : humidité, en %

La résistance à la flexion est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$MOR = \frac{a F_{max}}{2 W}$$

avec $a = 6 h_n$

$$W = \frac{b h_e^2}{6}$$

Le module d'élasticité local est calculé à l'aide de la formule suivante, en newtons par millimètre carré ou MPa :

$$E_{ml} = \frac{a l_1^2 (F_2 - F_1)}{16 l (w_2 - w_1)}$$

La flèche mesurée au centre de la rive de compression de l'éprouvette entre 0 et 40% de la force maximale (Fmax) nous permet d'obtenir un module global d'élasticité (MOEg) en flexion quatre points.

$$E_{m,g} = \frac{l^3 (F_2 - F_1)}{b h^3 (w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4l} \right) - \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right]$$

La rupture des éprouvettes est classée selon les causes ci-dessous :

Tableau 7 : Causes de rupture rencontrées sur les planches testées

Sigle utilisé	Cause de la rupture
PDF	Pente de fil
U	Bois
Z	Présence d'un nœud simple

Après essai, il est découpé un morceau de planche proche de la zone de rupture. Ce morceau est immédiatement pesé puis placé en étuve à une température comprise entre 101 et 105°C, jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives effectuées à six heures d'intervalle soit inférieure à 0,1%.

Le calcul de l'humidité (H%) est effectuée selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{m1 - m0}{m0}$$

- m1 : est la masse de l'échantillon avant séchage
- m0 : est la masse de l'échantillon anhydre

Les modules d'élasticité sont ajustés à un taux d'humidité de 12% par une correction de 1% pour chaque variation de 1% de teneur en humidité (norme EN 384).

$$MOE_{12\%} = MOE * (1 + ((H\% - 12) * \frac{1}{100}))$$

Les masses volumiques sont ajustées à un taux d'humidité de 12% par une correction de 0,5% pour chaque variation de 1% de teneur en humidité (norme EN 384).

$$MV_{12\%} = MV_u * (1 - ((H\% - 12) * \frac{0,5}{100}))$$

La contrainte à la rupture est ramenée à une section référentielle de 50*150 mm² pour les comparaisons de performances mécaniques entre essences en divisant par le coefficient kh (§ 5.3.5.3 EN 384 ; l'exposant retenu est égal à 0.2).

$$MOR_{150} = MOR_H * \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{(H)^{0.2}}{150} \\ 1.3 \end{array} \right.$$

4.3 Analyse des résultats physico-mécaniques

Afin d'appréhender cette notion de résistance et de pouvoir utiliser les résultats pour pouvoir séparer les sciages en classes de différentes qualités, nous nous proposons d'analyser dans un premier temps les résultats de contrainte à la rupture, de module d'élasticité et de masse volumique obtenus durant les essais de flexion 4 points effectués sur les 2*91 planches.

Tableau 8 : Caractéristiques moyennes du pin maritime gemmé et non gemmé par lot et par typologie d'arbres (le coefficient de variation exprimé en % est indiqué entre parenthèse).

Type arbre	Nombre planches	MOR 150 mm (MPa)	Eml 12% (MPa)	MV12 (kg/m ³)	Edyn MTG (MPa)
Pin gemmé	91	44,0 (33%)	10 869 (22%)	568 (8%)	10 891 (20%)
gros	49	43,8 (35%)	10 329 (22%)	559 (6%)	10 529 (20%)
moyen	27	45,8 (32%)	11 210 (24%)	570 (8%)	11 062 (21%)
petit	15	41,2 (32%)	12 018 (17%)	595 (9%)	11 767 (15%)
Pin non gemmé	91	51,2 (30%)	11 080 (23%)	569 (8%)	10 577 (18%)
gros	52	43,8 (28%)	11 267 (23%)	566 (8%)	10 598 (18%)
moyen	17	45,8 (28%)	9 677 (23%)	535 (6%)	9 605 (19%)
petit	22	41,2 (34%)	11 720 (19%)	600 (7%)	11 278 (17%)
Total général	182	47,6 (33%)	10 974 (23%)	568 (8%)	10 734 (19%)

Avant d’aller plus loin dans les analyses, la dispersion des valeurs de flexion est schématisée à partir des graphes en « boîte à moustache ».

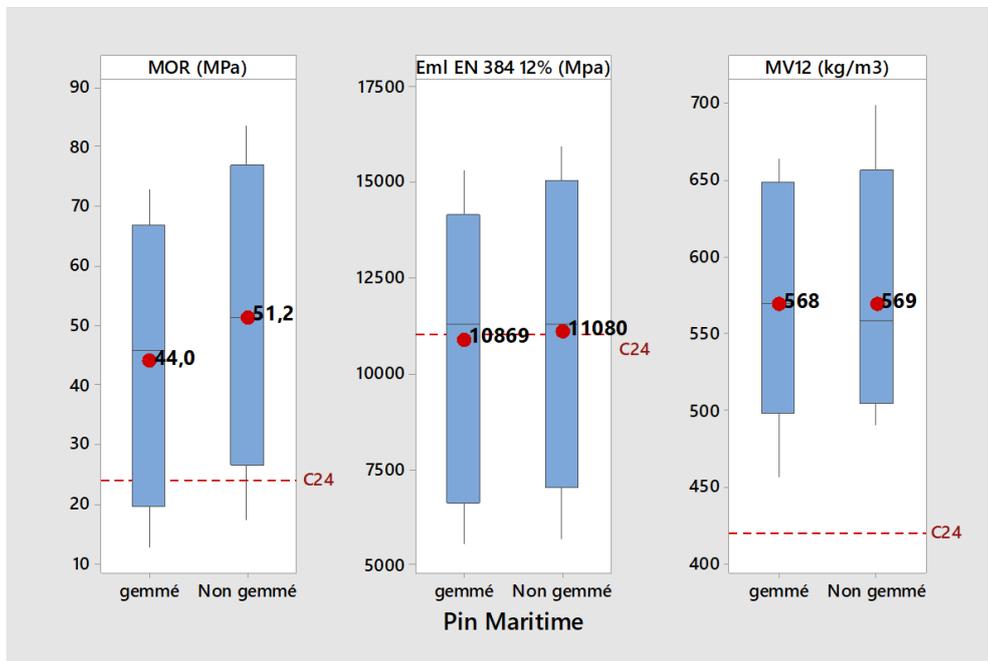


Figure 14 : propriétés mécaniques en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé Le rectangle illustre les distributions à 95%.

Très peu de différences sont constatées entre les grandeurs sauf l’écart de la contrainte à la rupture (à la fois en moyenne et en valeur caractéristique – fractile à 5%). Nous nous proposons d’aller dans les données pour essayer de comprendre cette différence notable.

Dans un premier temps, la masse volumique calculée par arrondi de 25 kg montre les distributions de la contrainte à la rupture en flexion (Figure 15).

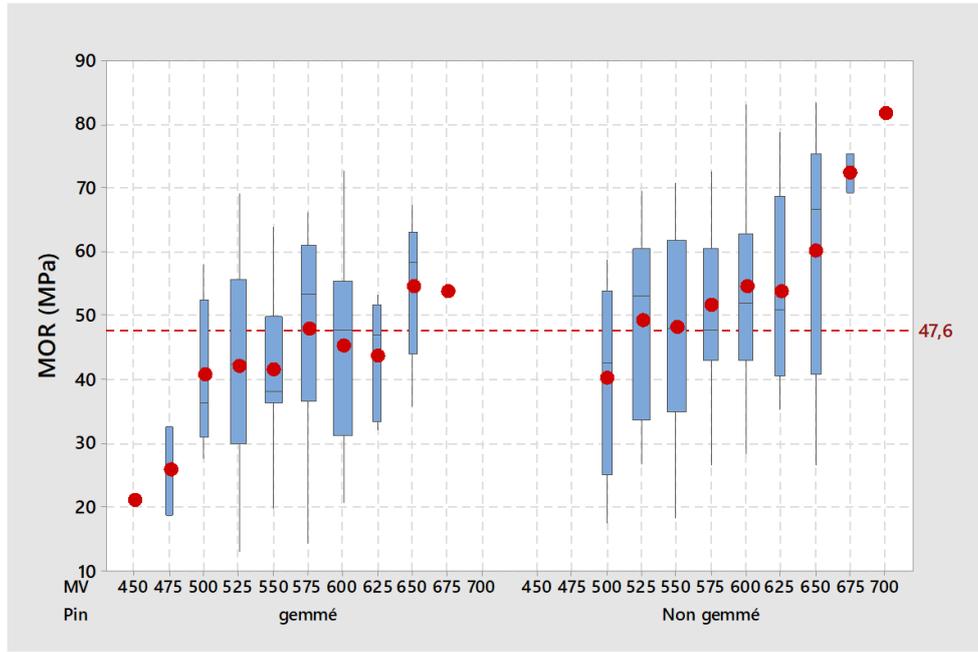


Figure 15 : Contrainte en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé par masse volumique. Le rectangle illustre les distributions à 50%.

Pour continuer les analyses, les planches suivantes ont été éliminées, les valeurs extrêmes de masse volumique sont trop spécifiques .

- Masse volumique supérieure à 650 kg/m³ (soit 3 planches pin maritime Non Gemmé et une planche pin maritime Gemmé)
- Masse volumique inférieure à 500 kg/m³ (soit 3 planches pin maritime Gemmé)

La dispersion des valeurs de flexion est schématisée à partir des graphes en « boite à moustache » suivants.

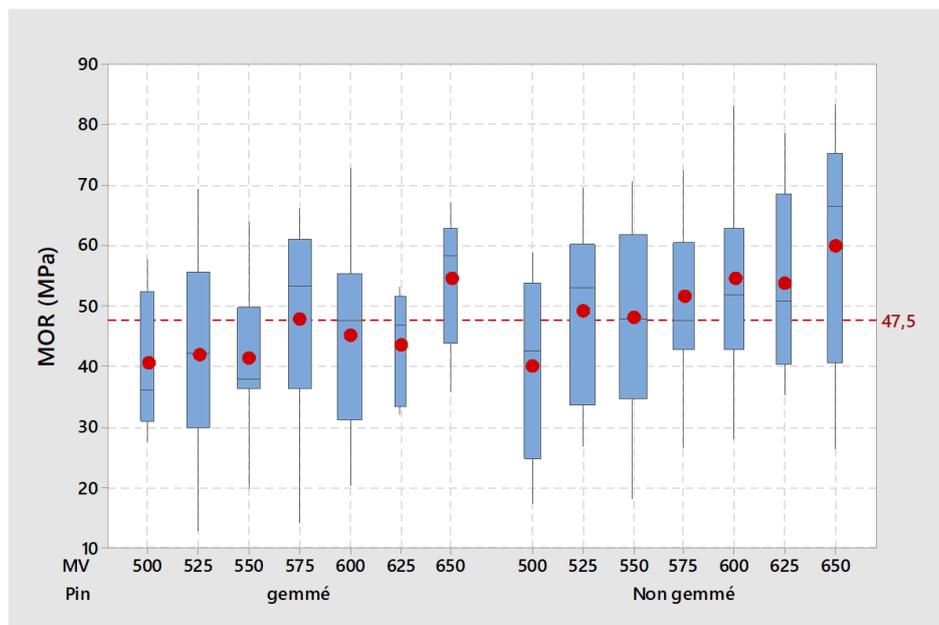


Figure 16 : contrainte en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé entre 500 et 650 kg/m3. Le rectangle illustre les distributions à 50%.

La dispersion des valeurs de flexion après élimination de certaines planches est schématisée à partir du graphe en « boîte à moustache » suivant.

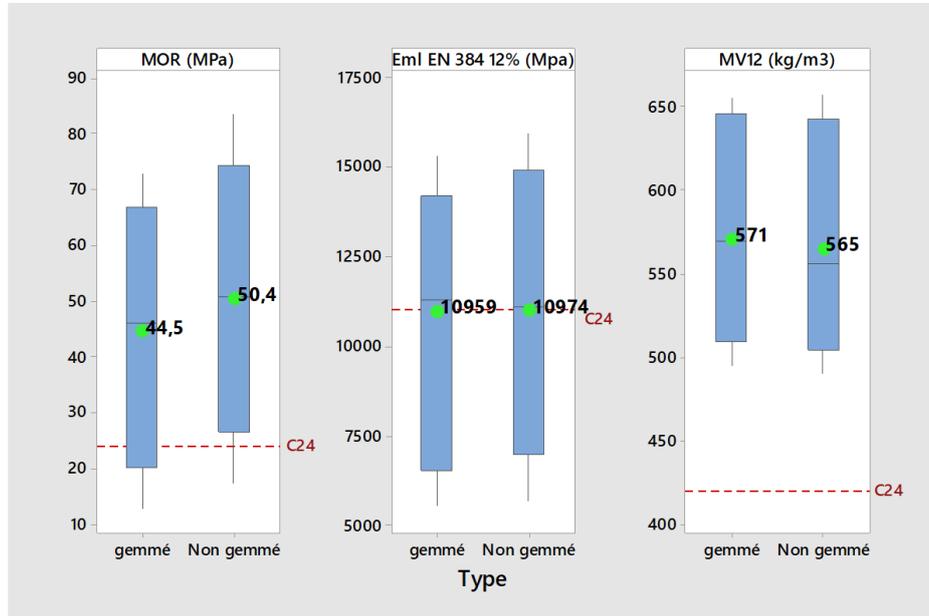


Figure 17 : propriétés mécaniques en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé entre 500 et 650 kg/m3. Le rectangle illustre les distributions à 95%.

Les valeurs de contrainte se resserrent mais la masse volumique moyenne du pin gemmé augmente. Toutefois, les valeurs de contrainte restent toujours significativement différentes.

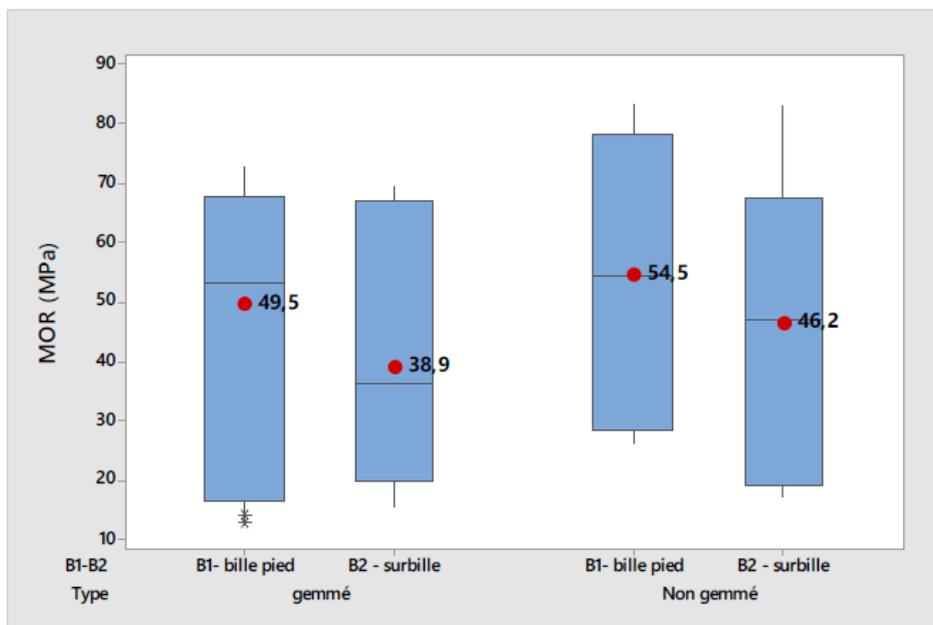


Figure 18 : propriétés mécaniques en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé entre 500 et 650 kg/m3. Le rectangle illustre les distributions à 95%.

Une autre approche consiste à analyser les grandeurs d'influence de la contrainte en flexion évalué par la variation de réponse quand le facteur passe d'un niveau « BAS » à un niveau « HAUT ». Un effet peut être positif (la réponse augmente) ou négatif (la réponse diminue). Ce diagramme affiche les moyennes des données. Si l'utilisation des moyennes de données peut donner une idée générale des effets les plus évidents, il y a un impact non négligeable des pièces de coeur qui est visible sur les graphes suivants.

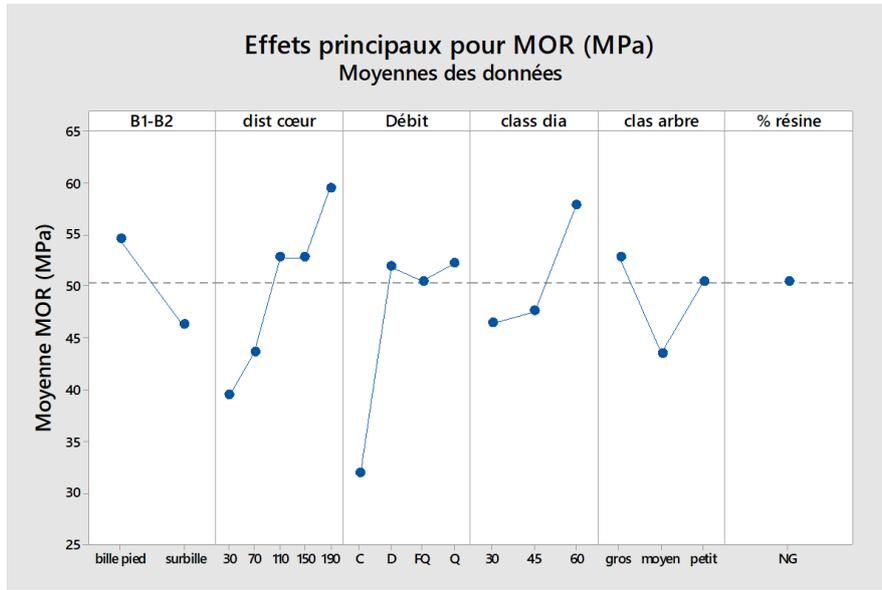


Figure 19 : visualisation des grandeurs d'influence sur la contrainte à la rupture en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime non gemmé entre 500 et 650 kg/m3.

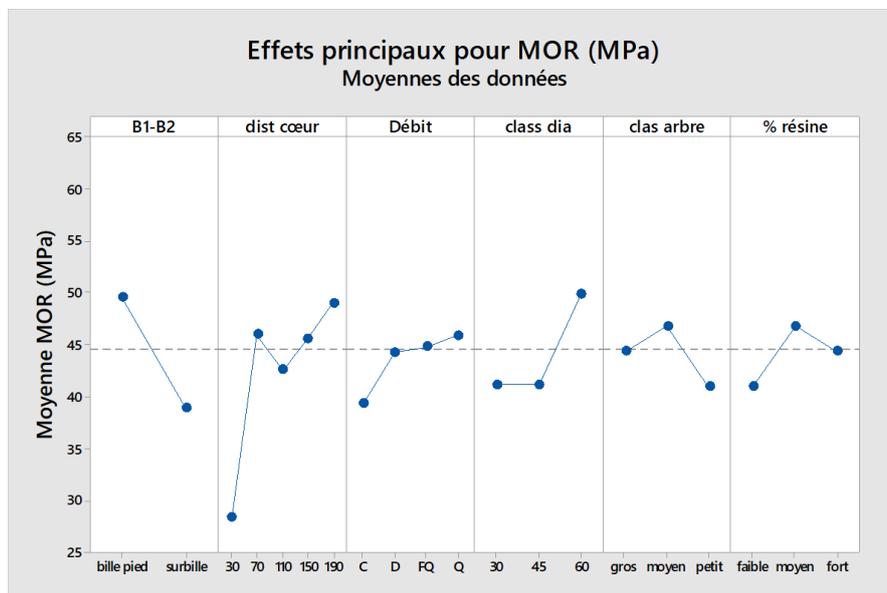


Figure 20 : visualisation des grandeurs d'influence sur la contrainte à la rupture en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé entre 500 et 650 kg/m3.

On pourrait enlever les planches de coeur, soit 3 planches pin gemmé (bille de pied) et 3 planches pin non gemmé.

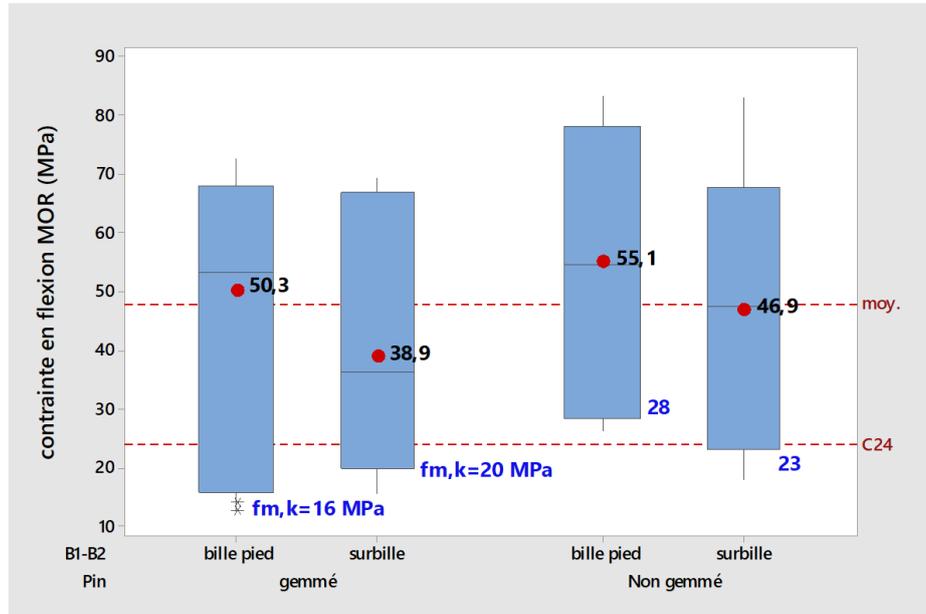


Figure 21 : propriétés mécaniques en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé entre 500 et 650 kg/m³. Les planches ayant la ligne de moelle sont exclues. Le rectangle illustre les distributions à 95% ; fm,k représente le MOR au fractile d'exclusion de 5%.

Statistiquement, la contrainte à la rupture moyenne est bien différente pour les surbilles entre la configuration du bois gemmé et non gemmé. La décroissance de l'arbre n'explique pas tout.

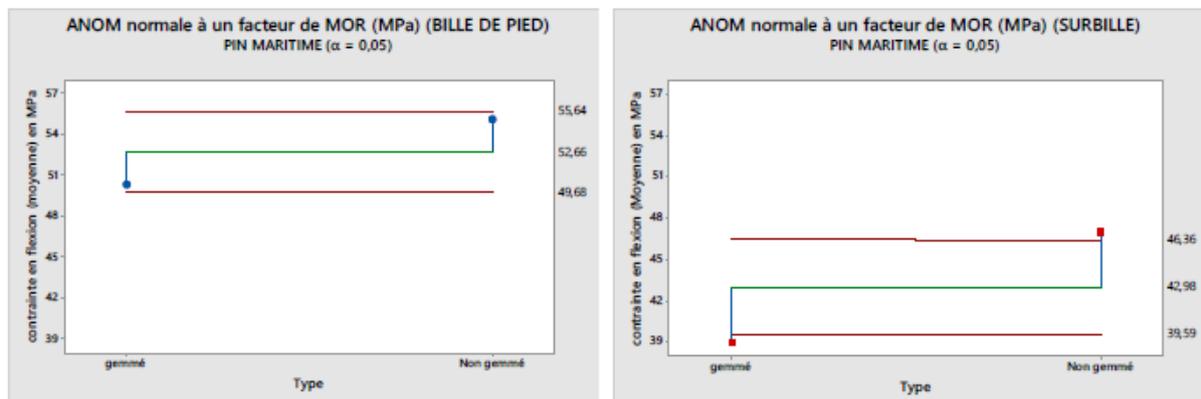


Figure 22 : visualisation de l'analyse des valeurs moyennes de la contrainte à la rupture en flexion des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé entre 500 et 650 kg/m³. Les planches ayant la ligne de moelle présente sont exclues.

4.4 Discussion et classement des bois

Il existe bien une différence significative au niveau de la contrainte à la rupture entre les sciages. Cependant, nous avons voulu voir si cela aurait une conséquence sur les bois classés en vue d'un usage structurel (lot de 169 planches).

Tableau 9 : Classement par méthode visuelle selon la NF B 52001 des 169 planches retenues

Caractéristique des bois	ST II	ST III	ST IV	REJET	Total général
Pin Gemmé	17%	9%	4%	20%	49,7%
Bille de pied	11%	2%	3%	9%	25,4%
Surbille	7%	7%	1%	10%	24,3%
Pin Non Gemmé	26%	8%	3%	13%	50,3%
Bille de pied	17%	4%	1%	5%	25,4%
Surbille	9%	5%	2%	8%	24,9%
Total général	43%	17%	7%	33%	100%

Tableau 10 Classement machine des bois via Edyn en classes C30 & C18 (169 planches)

Caractéristique des bois	C30	C18
Pin Gemmé	47,3%	2,4%
Bille de pied	23,1%	2,4%
Surbille	24,3%	
Pin Non Gemmé	50,3%	
Bille de pied	25,4%	
Surbille	24,8%	
Total général	97,6%	2,4%

Tableau 11 : Classement machine des bois via Edyn en classe C24 (169 planches)

Caractéristique des bois	C24
Pin Gemmé	49,7%
Bille de pied	25,4%
Surbille	24,3%
Pin Non Gemmé	50,3%
Bille de pied	25,4%
Surbille	24,9%
Total général	100%

Tableau 12 : Classement optimal des bois en classes C30 & C18 (sur la base du lot de 169 planches)

Classe de résistance	Pin gemmé	Pin non gemmé	Total général
C30	36,7%	38,5%	75,1%
C18	11,2%	11,8%	23,1%
Rejet	1,8%	0,0%	1,8%
Total général	49,7%	50,3%	100%

Tableau 13 : Classement optimal des bois en classe C24 (sur la base du lot de 169 planches)

Classe de résistance	Pin gemmé	Pin non gemmé	Total général
C24	48,5%	49,7%	98,2%
Rejet	1,2%	0,6%	1,8%
Total général	49,7%	50,3%	100%

Il n'y a pas d'impact du gemmage sur le classement des bois, hormis le classement par méthode visuelle car les critères visuels d'exclusion sont liés à l'impact du gemmage.

5. Essais de dureté

Parmi les deux lots de planches (bois gemmés et non gemmés) utilisés pour les essais de flexion 4 points, 42 éprouvettes d'une longueur d'environ 40 cm ont été sélectionnées pour effectuer 5 tests de dureté Brinell par éprouvette. Les planches de dosses ont été surtout privilégiées pour le test.

Les éprouvettes ont été conditionnées à 20°C et 65% HR afin de pouvoir effectuer les essais dans les mêmes conditions d'humidité du bois (environ 12%). L'information de masse volumique à 12% d'humidité provient des mesures réalisées sur chaque planche ayant servie aux essais de flexion puis aux essais de dureté.

5.1 Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés avec une machine d'essai pilotée et asservie informatiquement, équipée d'un dispositif de poinçonnement de dureté Brinell, et d'un papier carbone pour marquer le poinçonnement. L'analyse des dimensions du poinçonnement a été réalisée sur la base d'une photographie de l'éprouvette testée prise avec un smartphone et d'un traitement avec le logiciel Fidji. L'échelle des photos a été étalonnée à partir d'un étalon de précision 0,1 mm. Chaque photo a fait l'objet d'un contrôle manuel avec un réglet de précision 0,5 mm.



Photographies 1 et 2 : Dispositif d'essais et exemple d'empreinte sur éprouvette

5.2 Test de dureté

Les essais sont réalisés selon la norme NF EN 1534 de Décembre 2020 (Planchers en bois et parquets - Détermination de la résistance au poinçonnement - Méthode d'essai - Planchers en bois - Détermination de la résistance au poinçonnement (Brinell) - Méthode d'essai) sur une machine d'essais hydraulique verticale et asservie informatiquement. Un dispositif de poinçonnement est

monté sur la cellule de force. L'éprouvette est placée sous le dispositif. Une feuille de papier carbone est positionnée entre le poinçon et l'éprouvette.



Photographie 3 : Epreuve en cours d'essais

Une faible pré charge est appliquée afin d'amener le poinçon de diamètre 10 mm au contact de l'éprouvette. Puis, en (15 ± 3) s, une force d'une valeur nominale de 1kN est appliquée et maintenue durant (25 ± 5) s.

Une distance supérieure ou égale à 20 mm doit séparer le centre d'une empreinte des rives de l'éprouvette, d'un élément ou de tout noeud. Dans ces limites, les empreintes ont été réalisées aléatoirement.

Les résultats d'essais sont présentés comme suit :

- Type : Pin gemmé ou non gemmé
- Provenance billons : Localisation de l'éprouvette par rapport à la hauteur de prélèvement dans l'arbre (bille de pied ou surbille)
- d1 (mm) : diamètre 1 de l'empreinte résiduelle en mm
- d2 (mm) : diamètre 2 de l'empreinte résiduelle en mm
- d (moy) : Moyenne de d1 et d2
- F (N) : charge maximale appliquée en newtons
- HB (MPa) dureté Brinell en MPa
- D : Diamètre de la bille (10 mm)

La dureté Brinell HB est calculée avec un chiffre significatif conformément à la formule suivante:

$$HB = \frac{2F}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d(moy)^2})}$$

L'éprouvette a été laissée au repos durant 3 min après essai. Comme sur la photographie 4, une photo de l'empreinte a été prise à l'aide d'un smartphone posé sur une cale. L'échelle de la photographie est déterminée sur la première empreinte avec une cale étalon au 1/10 de mm. Puis un réglet posé à la surface de chaque éprouvette est photographié pour contrôler l'échelle de la photographie.



Photographie 4 : Eprouvette en cours d'essais



Photographie 5 : Analyse de l'empreinte sous le logiciel Fiji et calcul des diamètres

Le traitement des photographies est fait à l'aide du logiciel Fiji. Ce traitement consiste à créer une ellipse sur l'empreinte et de mesurer le diamètre de Feret (3) (photographie 5). A la fin de la mesure, chaque image est enregistrée avec son ellipse ainsi que le tableau de résultats des diamètres déterminés.

5.3 Résultats du test

Le tableau suivant présente les résultats des essais de dureté par type d'éprouvettes testées :

Tableau 14 : mesure de la dureté Brinell des sciages

Type	Nombre test	HB (MPa) moyenne	CV%
gemmé	100	28,9	28
Non gemmé	110	23,8	30
Total	210	26.2	30

Le guide des essences de bois (Edition EYROLLES) indique une valeur moyenne à 20 MPa mais les sources bibliographiques de ce seuil ne sont pas citées ainsi que la dispersion des valeurs.

Les premières analyses montrent que les bois gemmés présenteraient une plus grande dureté avec une différence significative des valeurs moyennes comme le montre la figure suivante.

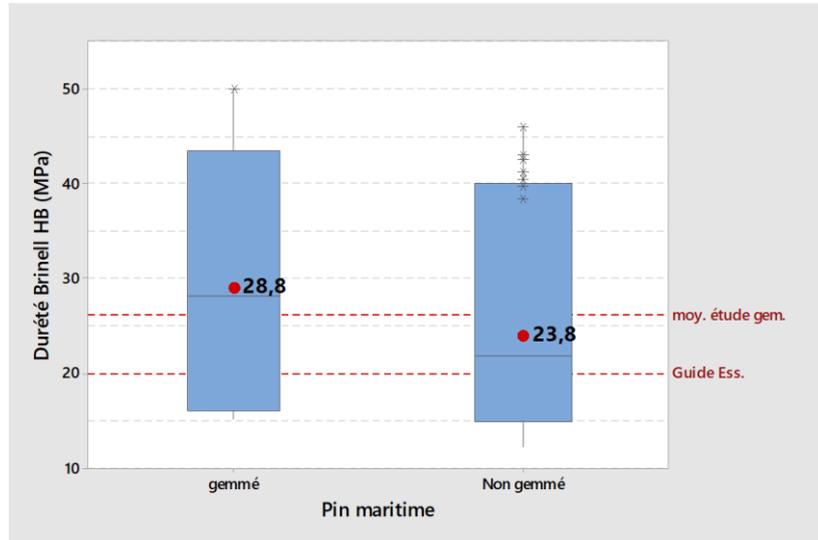


Figure 23: distribution des valeurs de dureté (l'étendue de la boîte est de 95% de la distribution) selon le type de gemmage du pin

Toutefois, nous avons cerné notre population en tenant compte de :

- la position du sciage par rapport au pied de l'arbre (bille de pied et surbille) et
- la masse volumique de la planche testée en flexion.

L'action du gemmage est significative pour les résultats de dureté, le gemmage s'effectuant sur la bille de pied essentiellement d'une part. D'autre part, la résine de protection secrétée par l'arbre face à une blessure doit jouer le rôle d'une « imprégnation » au sein des canaux et augmente de fait la masse volumique des bois gemmés.

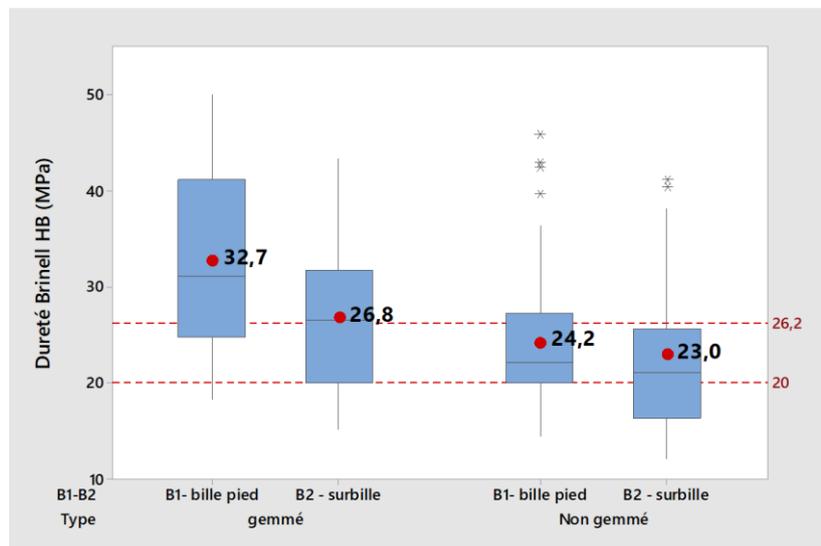


Figure 24: distribution des valeurs de dureté (l'étendue de la boîte est de 95% de la distribution) selon le type de pin et impact de la position de la planche par rapport au pied de l'arbre.

La masse volumique est souvent corrélée avec la dureté. Pour faciliter les analyses, chaque valeur de masse volumique est arrondie par pas de 25 kg/m³.

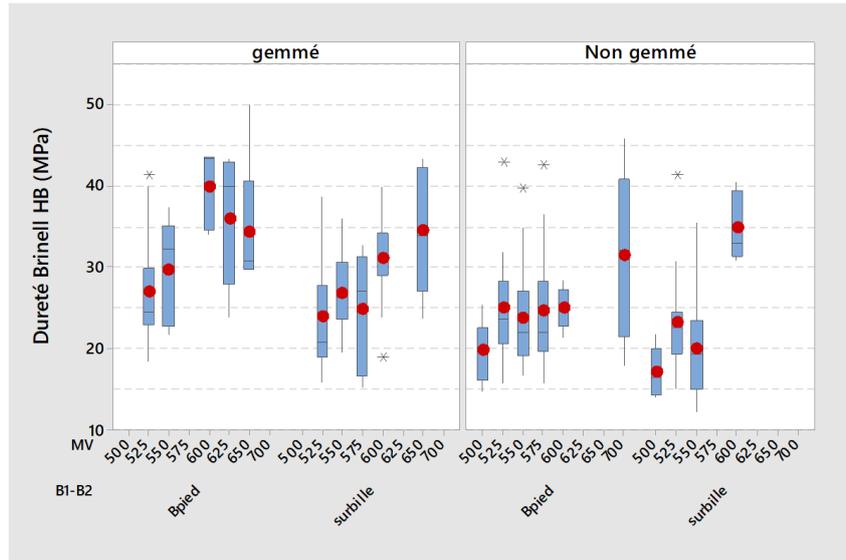


Figure 25: distribution des valeurs de dureté (l'étendue de la boîte est de 95% de la distribution) selon le type de pin et impact de la position de la planche par rapport au pied de l'arbre par tranche de la masse volumique.

Tableau 15 : masse volumique (kg/m3) des planches ayant été mesuré en dureté Brinell

Type	N	MV12 moyenne	CV%	Minimum	Q1	Q3	Maximum
gemmé	100	572	7	516	534	607	656
Non gemmé	110	549	8	505	522	558	699

La différence logique de masse volumique des sciages gemmés et non gemmés nous demande une analyse un peu différente car il y a certainement interaction entre les grandeurs d'influence.

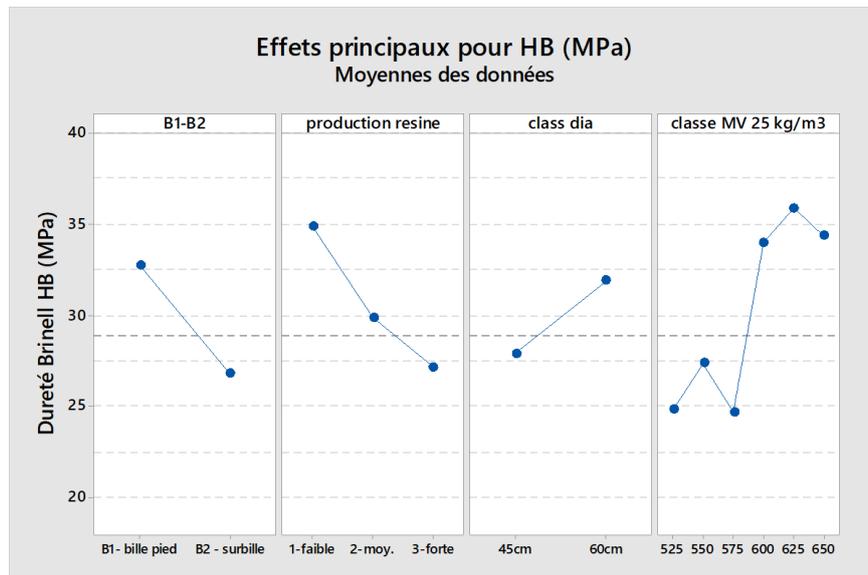


Figure 26 : visualisation des grandeurs d'influence de la dureté des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé.

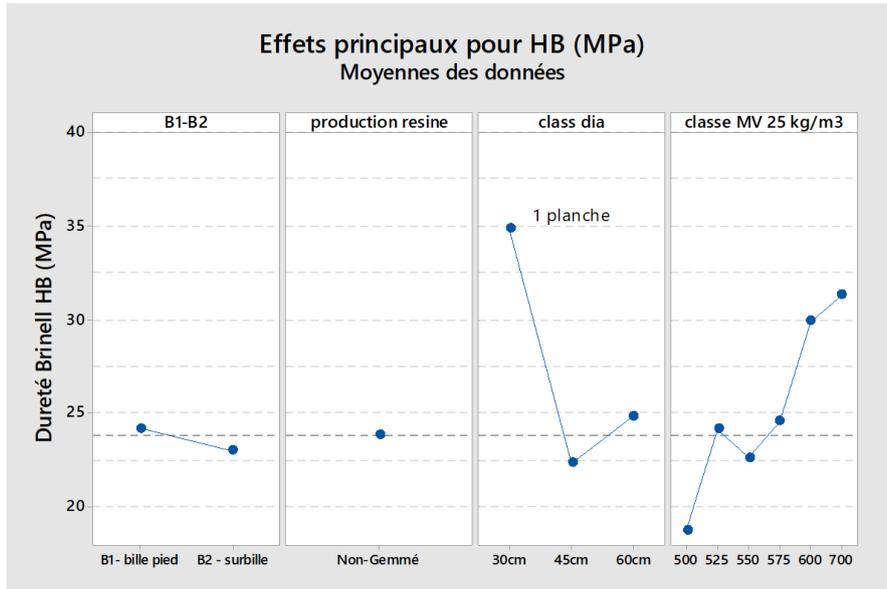


Figure 27 : visualisation des grandeurs d'influence de la dureté des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime non gemmé.

Pour comparer les résultats de dureté, le graphique suivant illustre les interactions des grandeurs d'influence, les deux lots n'étant pas comparables en tant que telles. A isochrome de masse volumique, nous constatons que le gemmage augmente pour partie la dureté Brinell.

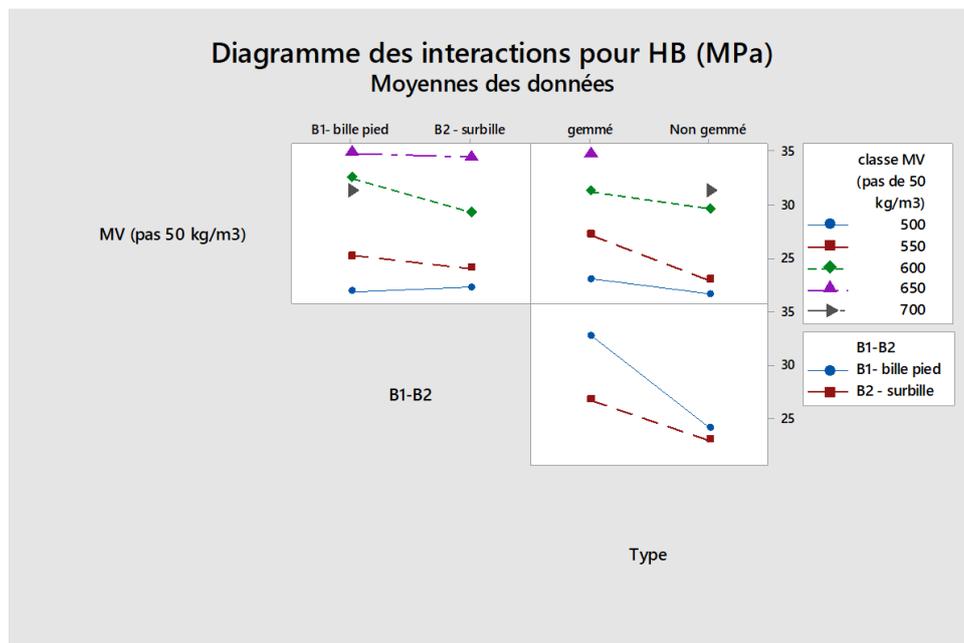


Figure 28 : Interaction des grandeurs d'influence de la dureté des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé.

La ventilation des valeurs expérimentales individuelles est présentée ci-après.

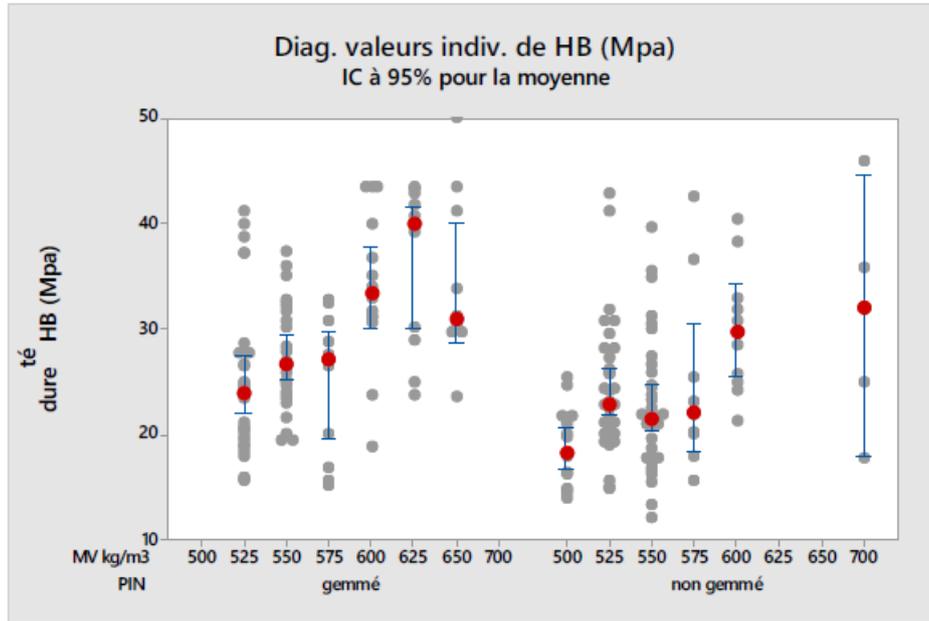


Figure 29 : diagramme des valeurs expérimentales de la dureté des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé avec l'intervalle de tolérance de la valeur moyenne.

C'est pourquoi, nous avons tracé l'évolution des valeurs moyennes par tranche de masse volumique et il y a bien un effet du gemmage sur la dureté.

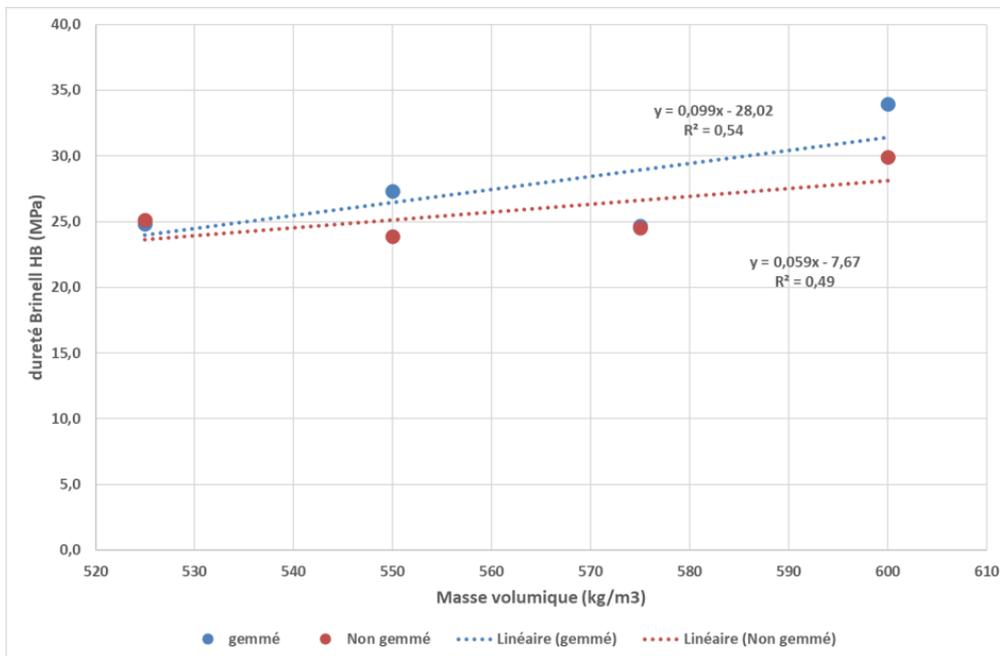


Figure 30 : régression des valeurs moyennes de dureté des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé.

Tableau 16 : dureté Brinell des sciages sur l'intervalle de masse volumique [525 – 600 kg/m3]]

Type	N	HB (MPa) Moyenne	Coefficient de Variation	Minimum	Maximum
gemmé	80	27,3	27%	15,2	43,5
Non gemmé	90	24,2	28%	12,1	42,9

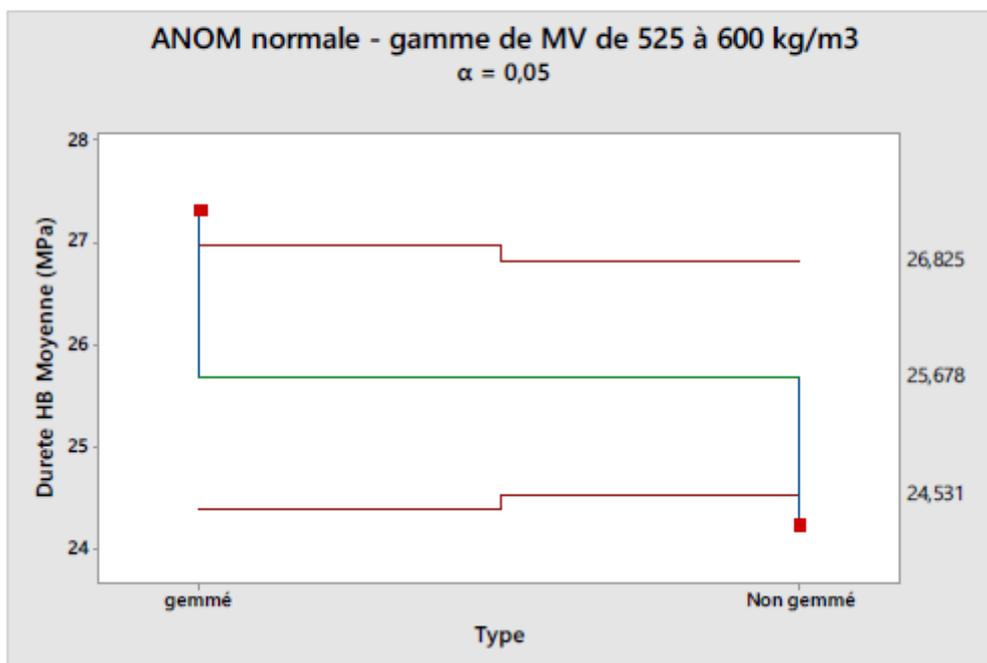


Figure 31 : visualisation des valeurs moyennes de la dureté des sciages issus de la campagne de qualification du pin maritime gemmé et non gemmé.

Les valeurs moyennes de dureté (tests sur bois gemmé et non gemmé) sont statistiquement différentes.

6. Finition extérieure

Les applications en menuiserie et ameublement constituent, sur le plan de la valeur ajoutée, une des destinations les plus attractives du pin maritime. Ainsi, les caractéristiques techniques du bois (moyennement dur et facile à travailler) et son aspect naturel caractéristique (veiné) offrent des avantages. Couplés à une conception adaptée et à une application correcte des finitions, ils permettent d'obtenir un large éventail de produits de première qualité.

Le potentiel esthétique du bois de pin offre des possibilités infinies, intervenant sur les tonalités de couleur et les nuances de brillances (de mat à brillant) des finitions. Il faut également considérer l'obtention de finitions spéciales par le biais de traitement par abrasion superficielle.

Le traitement de finition appliqué a une importance fondamentale, non seulement pour la valorisation esthétique du bois, mais aussi pour ses propres caractéristiques techniques (rigidité, stabilité dimensionnelle, résistance à l'action d'agents de dégradation, etc.).

Dans le cas du pin maritime, l'application de finitions peut être rendue difficile par la présence de composés de résine qui se concentrent particulièrement dans le duramen. La solution la plus simple

consiste à effectuer un séchage à une température supérieure à 65°C, pour libérer les composants organiques volatiles les plus préjudiciables. D'autres solutions consistent à intervenir sur la sélection du bois ou à appliquer des techniques de prétraitement lors de la finition.

D'autre part, il faut tenir compte qu'avec le temps, l'oxydation des composants chimiques du bois, et surtout, l'action des rayons ultraviolets, provoquent une altération de la tonalité du bois, obscurcissant l'aspect naturel du bois. Ce changement peut entraîner un changement de l'aspect du bois qui passe d'un ton clair à plus foncé. Pour cela, il peut être particulièrement utile d'appliquer des produits anti UV ou des pigments qui stabilisent le matériau face à l'effet de la lumière. Cet effet protecteur peut être réalisé en utilisant des voiles (oxydes métalliques et anilines).

La pénétration dans la direction axiale est de 1 à 2 millimètres dans le bois de printemps. Toutefois, dans les directions transversales, la pénétration atteint uniquement quelques dixièmes de millimètre dans le bois de printemps (dans le bois d'été, la pénétration est quasi inexistante). Cet effet cause l'accentuation de la texture du bois lors de l'application de voiles ou autres produits pigmentés.

Les exigences légales croissantes en matière de sécurité et de protection de l'environnement imposent l'utilisation de systèmes de finition qui réduisent les émissions de composants organiques volatiles et ne présentent pas de problèmes de toxicité. Ainsi, les techniques de finition sont soumises à un processus d'innovation constant dans le développement de nouveaux produits et procédés.

Les nouveaux produits en dispersion aqueuse permettent un nettoyage plus facile des systèmes d'application et la réutilisation de produit (après les filtrages nécessaires) pour réduire au minimum les émissions de composés liquides et gazeux.

6.1 Préparation des éprouvettes de tenue des finitions

La préparation des éprouvettes en vue d'une mesure de la performance d'une finition doit suivre le protocole de la norme EN 927-6 (2018) qui impose de prendre des planches (150*75*20 mm) orientées « faux quartier » pour assurer une répétabilité des essais d'adhérence d'une finition. Comme ces éprouvettes sont débitées à partir des sciages testés en flexion, la sélection n'a pas été aisée.

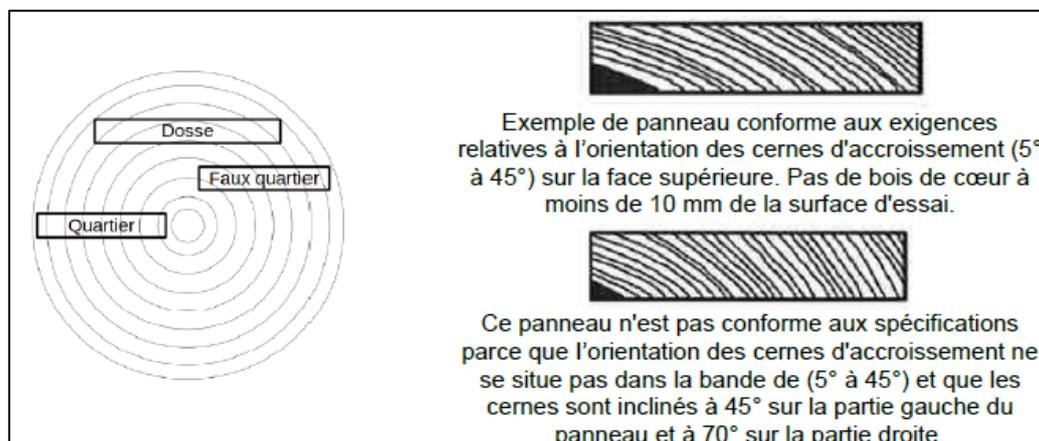


Figure 32 et 33 : Schéma de débit de planches dans une grume avec la représentation du type de sciage obtenu et débit des éprouvettes EN 927-6.

12 planches (7 planches provenant des bois gemmés et 5 issues des bois non gemmés) ont été sélectionnées. Chaque planche a permis d'avoir plusieurs échantillons à tester (soit 55 éprouvettes au total). Ces consignes ne nous ont donc pas permis d'avoir un lot de planches homogènes, il a donc fallu trier et sélectionner les éprouvettes au moyen de la masse volumique après débit. 10 éprouvettes ont donc été éliminées, la masse volumique est soit trop importante ou à défaut trop faible comme le montre la figure suivante.

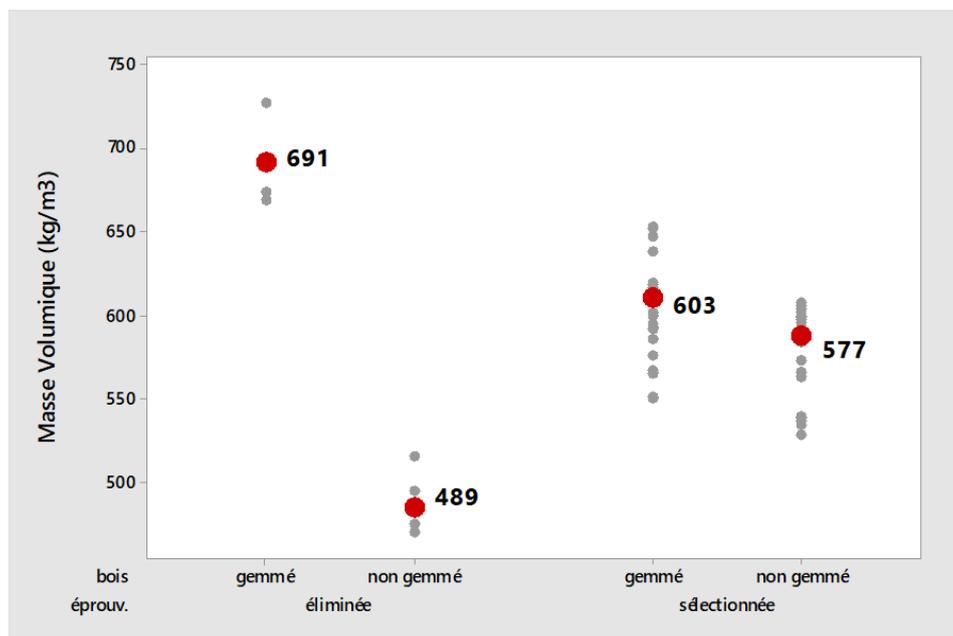


Figure 34 : visualisation des masses volumiques des éprouvettes pour vérifier la tenue de la finition du pin maritime gemmé et non gemmé.

Dans un deuxième temps, la sélection des éprouvettes doit tenir compte de la position des sciages dans les billes de pied et surbille. C'est pourquoi, nous avons privilégié la représentativité des tests issus du cycle QUV avec le minimum de variabilité du plan d'échantillonnage. Sur la base des 55 planches, de la distribution de la masse volumique, le tirage des éprouvettes EN 927-6 est présenté dans le tableau suivant

Tableau 17: détail de la masse volumique des planches sélectionnées pour les tests de vieillissement QUV

Sélection des éprouvettes TEST QUV	bille de pied		surbille	
	Nombre de test	MV (et CV%)	Nombre de test	MV et (CV%)
Pin gemmé	4	558 kg/m ³ (1.6%)	4	602 kg/m ³ (2.0 %)
Pin non gemmé	4	537 kg/m ³ (0.4 %)	4	605 kg/m ³ (0.4 %)

6.2 Méthodes

6.2.1 Préparation des éprouvettes pour le revêtement d'essai

Pour éliminer les films oléophiles, il faut poncer les panneaux à la main (granularité 150) immédiatement avant l'application du revêtement. L'arrondissement des arêtes n'est pas autorisé.

Le système de peinture est appliqué sur toutes les surfaces de chaque panneau, y compris le bois de bout selon la méthode spécifiée par le fabricant de manière à obtenir une épaisseur de « film humide » correspondant à la valeur moyenne (+/- 20%) du rendement superficiel recommandé par le fabricant,

La quantité de produit de peinture appliquée sur chaque panneau d'essai a été déterminée par pesée pour calculer ensuite une moyenne en g/m². Après l'application du revêtement, les éprouvettes ont été stabilisées pendant approximativement 7 jours dans un environnement contrôlé à (20 +/- 2)°C avec une humidité relative de (65 +/- 5)% avant les examens (initiaux et mise en QUV).

6.2.2 Positest

Le positest mesure la force nécessaire à l'arrachement d'une pastille de diamètre connu collée sur le revêtement (finition) à tester.



Figure 35 et 36: collage des plots pour test positest et ébavurage de la colle autour des plots pour test Positest

L'appareil utilise une pompe hydraulique manuelle qui permet d'appliquer une force constante et continue en un seul mouvement.

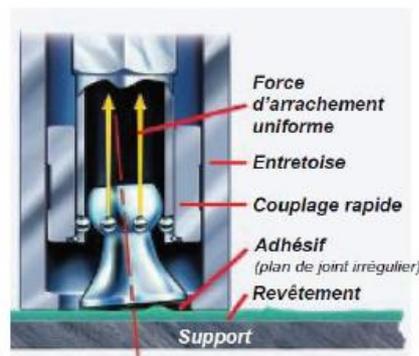


Figure 37 et 38: vue d'ensemble du matériel positest et détail de la force d'arrachement des plots lors d'un test Positest

Le testeur d'adhérence Positest compense tout désalignement. La tête sphérique et articulée du plot est engagée dans un anneau muni d'un petit roulement à billes assurant un alignement correct. Une codification des facies de rupture est nécessaire, elle a été établie comme suit :

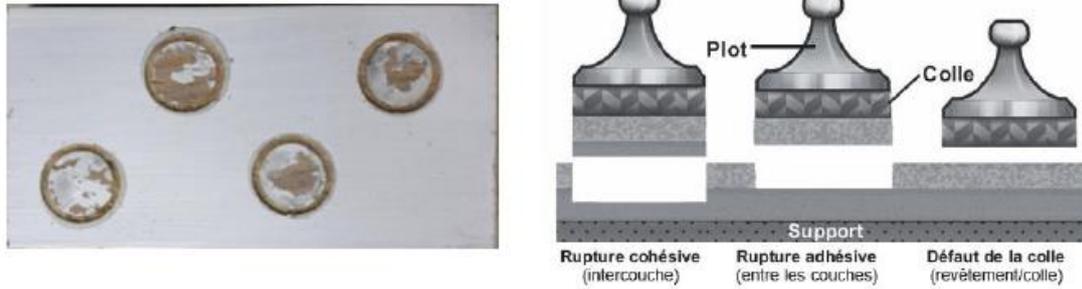


Figure 39 et 40: exemple des facies de rupture du film de finition lors du test positest, et codification des facies lors des tests positest (A adhésive ; C cohésive , D défaut de collage)

6.3 Vieillessement au QUV

Un lot de 16 éprouvettes a été placé dans des « QUV » et exposé au cycle de vieillissement de la norme NF EN 927-6 pendant 3 semaines. Le cycle d'exposition d'une semaine comporte une période de condensation, suivie d'un sous-cycle de pulvérisation d'eau et d'exposition au rayonnement UV-A 340 selon le tableau suivant.

Tableau 18 : Cycles QUV d'exposition (cas d'une semaine)

Étape	Fonction	Température	Durée	Condition
1	Condensation	45 +/- 3°C	24 h	
2	Étape de sous-cycle 3+4		144 h consistant en 48 cycles de 3 h constitués des étapes 3 et 4	
3	UV	60 +/- 3°C	2,5 h	point de réglage de l'éclairement énergétique 0,89W/(m² nm) à 340 nm
4	Pulvérisation		0,5 h	6l/min à 7l/min, sans UV

6.4 Résultats des tests de tenue des finitions

Seuls les résultats provenant des tests ayant un facies C ou A sont analysés.

6.4.1 Tests initiaux

Le graphe suivant montre les valeurs d'arrachement d'une finition non vieillie sur les éprouvettes en pin maritime gemmé et non gemmé.

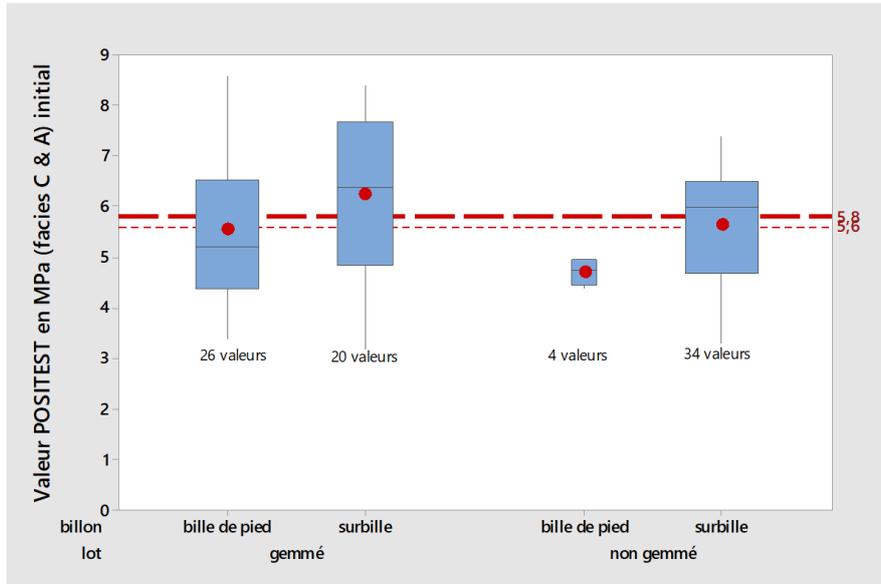


Figure 41 : Résultats des tests d'arrachement des finitions (le rectangle illustre 50% de la distribution) sans vieillissement

6.4.2 Tests Positest après cycle QUV

Le graphe suivant montre les valeurs d'arrachement d'une finition vieillie (3 semaines en QUV) sur les éprouvettes en pin maritime gemmé et non gemmé.

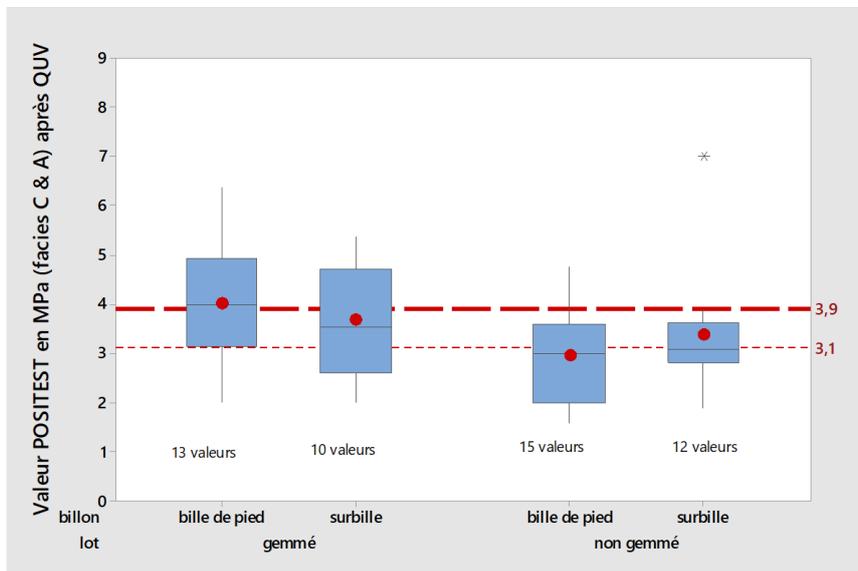


Figure 42 : Résultats des tests d'arrachement des finitions (le rectangle illustre 50% de la distribution) après un vieillissement de 3 semaine en cycle QUV (EN 927-6).

Les valeurs moyennes de la tenue d'une finition par positest sont statistiquement différentes (à 95%) entre le lot gemmé et non gemmé.

6.4.3 Test de tenue d'une finition

L'analyse des données a permis de voir une amélioration de la tenue d'une finition caractérisé par un test d'arrachement du film au moyen du positest après un cycle de vieillissement accéléré (3 semaines de QUV) des bois gemmés.

7. Conclusions et perspectives

Le gemmage est une opération externe permettant de récolter l'oléorésine sécrétée par les arbres en réponse à une blessure. Remis au goût du jour pour répondre à la demande de plus en plus importante de la chimie « verte », le gemmage fournit aux industries des biomolécules d'origine naturelle récupérées sur des essences principalement résineuses (Extra_For Avril 2021). L'exploitation de la résine est une activité alternative pour augmenter la rentabilité des forêts de pins, car elle constitue un revenu annuel au sylviculteur 3 à 5 ans avant la coupe des bois matures. La récolte de gemmes contribue aussi à la création d'emplois dans les zones rurales défavorisées et oblige à gérer les forêts en réduisant l'impact des incendies.

Toutefois, le soutirage de la résine peut induire (ou pas) des changements dans les propriétés physiques, chimiques et mécaniques du bois des arbres, conditionnant ainsi son aptitude technologique à certaines utilisations et, par conséquent, sa valeur commerciale.

Au niveau du pin maritime, nous avons voulu connaître l'impact du gemmage sur certaines propriétés mécaniques des sciages. Pour cela, une parcelle (50 ans) a permis de segmenter les arbres gemmés et non gemmés selon une typologie identique (trois classes de diamètre arbre ; prélèvement de 2 billons (bille de pied et surbille) par arbre).

La traçabilité Arbre – sciage – propriétés physico-mécaniques appliquée au fur et à mesure des opérations d'abattage, de 1er transformation et des tests de caractérisation nous a permis de sélectionner deux lots (pin gemmé et pin non gemmé) de sciages de qualité identique. Le retour d'expérience du séchage des deux lots ne montre pas une divergence « énergétique » entre les lots.

Bien que l'opération de gemmage s'effectue en superficie de l'arbre, force est de constater une modification « chimique » des sciages au sein de la bille de pied. Dans un premier temps, nous avons constaté que la contrainte en flexion (valeur moyenne et valeur caractéristique) des bois gemmés était inférieure à celle obtenue pour les bois non gemmés. Ce constat contredit la seule référence bibliographique existante dans ce domaine. Seul le classement des bois par méthode visuelle constate cette différence probablement due à la présence d'échauffure superficielle déclassant la planche.

Toutefois, la proportion de planches utilisables en construction (classement optimal et classement par machine) ne change pas. Il est à noter que l'impact positif de gemmage se manifeste surtout lorsque l'on simule les hautes classes de résistances ($\geq C30$) comme le montre le graphique suivant.

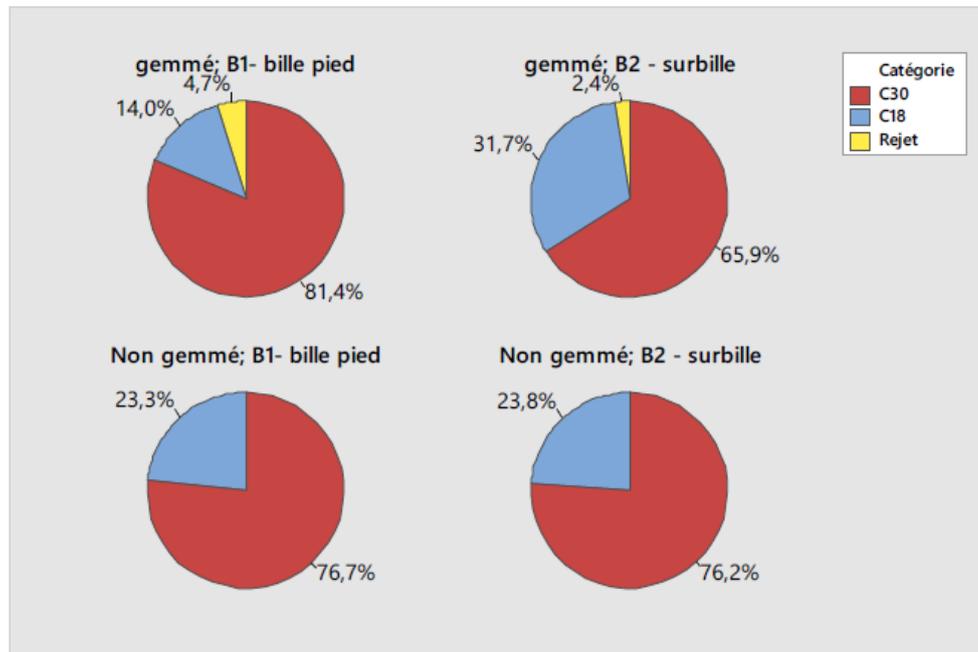


Figure 43: classement optimal du lot de 169 planches (pin maritime gemmé et non gemmé)

Dans un deuxième temps, il s'avère que le gemmage augmente la dureté parallèle aux fibres des bois et la tenue des finitions. La valorisation de bois sous forme de produits parquet et bardage se trouve ainsi renforcée.

Cependant, nous n'avons pas travaillé à travers cette étude sur la notion de durabilité fongique des pins gemmés (ou non gemmés). Certaines constructions réalisées exclusivement en pin maritime ont privilégié des pins gemmés à forte teneur en résine (Atlanwood), ce qui lui procure une résistance naturelle et une qualité esthétique unique (le bois n'a pas été traité).

Remerciements

Le CNPF remercie Jean-Denis Lanvin et son équipe du FCBA pour avoir conduit les analyses et avoir participé au rapport, la scierie Labadie pour ses services ainsi qu'Emmanuel de Montbron pour l'accès aux bois.

Références

Incredible (Innovation Network for Cork, Resin & Edibles) FACTSHEET N° 20255 « Influence of resin tapping on wood characteristics and properties »

NF B 52-001 (1946) Bois. Règles d'utilisation du bois dans les constructions.

guide des essences de bois (Edition EYROLLES)

ATLANWOOD « Applications industriels du pin maritime » (1997), livre rédigé dans le cadre du “Projet de Coopération Technique pour le Développement des Applications Industrielles du Pin Maritime” (Atlanwood-59), co-financé par le programme Interreg III-B “Espace Atlantique” (2000-2006) avec les Fonds FEDER de l’Union Européenne.

ExtraFor_Est (22 Avril 2021) – 8ème réunion publique.

EN 14298 2017 « Bois scié - Estimation de la qualité du séchage »

EN 338 2016 « Bois de structure - Classes de résistance »

Mémoire descriptif de la conduite des travaux nécessaires sur le terrain et en laboratoire pour l'activité 1.32

Annexe française 1.32.3

CRPF Nouvelle-Aquitaine

07/2021

Sommaire

1. Contexte.....	3
2. Objectifs et enjeux de l'étude.....	3
3. Sélection des arbres.....	3
4. Description des travaux.....	4
4.1. Abattage.....	4
4.2. Sciage.....	6
4.3. Triage.....	6
4.4. Séchage.....	7
4.4.1. Méthode.....	8
4.4.2. Acquisition de données et tables de séchage.....	8
4.4.3. Résultats du séchage.....	8
5. Essais réalisés.....	9
5.1. Test de dureté.....	9
5.2. Test de flexion.....	9
5.3. Test sur les finitions extérieures.....	11
5.3.1. Préparation des éprouvettes pour le revêtement d'essai.....	12
5.3.2. Positest.....	12
5.3.3. Test de dégradation rapide par QUV.....	13
6. Résultats obtenus.....	14
6.1. Test de dureté.....	14
6.2. Test de flexion.....	14
6.3. Test sur les finitions extérieures.....	15
7. Conclusions.....	15
8. Elaboration de la fiche de divulgation.....	16

1. Contexte

Dans le cadre de l'activité 1.32 « **Caractérisation du bois gemmé de *Pinus pinaster ssp. Atlantica* pour sa promotion commerciale** », le CRPF s'est tenté de répondre aux tâches suivantes :

- a) Sélection des parcelles expérimentales
- b) Gemmage sur les arbres étudiés pendant trois campagnes
- c) Coupe des arbres pour les besoins de l'étude
- d) Sciage et séchage des planches de bois
- e) Tests normalisés des échantillons : flexion, dureté, compression, revêtements
- f) Rédaction d'un dossier technique
- g) Rédaction d'une feuille de divulgation

2. Objectifs et enjeux de l'étude

Le gemmage des pins est une opération qui consiste à « blesser » le pin pour en récolter la gemme (ou la résine). Les techniques de la récolte de la gemme ont bien entendu évolué au cours du temps (au crot, système Hugues, ...) en fonction des évolutions techniques et de la destination des produits dérivés.

A ce jour, la production de la gemme directement sur les arbres est en train de reconquérir à nouveau des parts de marchés. La récolte se fait maintenant en vase clos et permet d'obtenir une gemme sans impureté et polluants ayant de plus grandes qualités pour les débouchés de la chimie verte (procédé Holiste).

Le projet européen SustForestPlus a permis d'identifier les atouts et limites de la chaîne de valeur de la résine en France. L'un des leviers principaux de la relance du gemmage en France est l'implication des propriétaires forestiers, et l'assurance que la récolte de la résine pourrait leur apporter plus d'avantages que d'inconvénients. Le présent mémoire rend donc compte des tests et mesures qui ont été effectués sur des pins gemmés et non gemmés, afin d'établir une comparaison des propriétés physico-mécaniques des bois. Le but est de savoir si le gemmage influence la qualité du produit bois final, dans un souci de mise sur le marché par le propriétaire de ses bois.

Outre la récolte de la gemme, l'étude menée par FCBA sous la supervision du CNPF-CRPF va permettre de constater s'il y a (ou pas) une différence significative des propriétés physico-mécaniques des bois.

3. Sélection des arbres

Le bois utilisé pour les travaux reportés provient de pins maritimes (*Pinus pinaster*) ayant poussé sur une station de lande mésophile près de Captieux (Landes). Un total de 6 arbres gemmés et de 6 arbres non-gemmés avec une classe de diamètre (30-40cm) et une classe d'âge (40-50 ans) similaires ont été sélectionnés par le CNPF. La sélection s'est faite pour les arbres gemmés en fonction de leur production de résine sur les deux premières années de récolte (2018 et 2019), et pour les arbres non-gemmés sur la base des diamètres équivalents.

	Arbres gemmés		Arbres non gemmés	
Production en résine par arbre	N° arbre	DBH (cm)	N° arbre équivalent	DBH (cm)
Forte	15	53	35	54
	2	55	8	64
Moyenne	7	44	11	45
	10	44	20	43
Faible	6	39	2	39
	8	37	5	36
Nombre total d'arbres	6	/	6	/

Tableau 1 : typologies des arbres retenus pour l'étude



Figure 1 : vue de la parcelle des pins gemmés et non-gemmés, lors de la dernière récolte de gemme (30/09/2020)

Ces 12 arbres ont ensuite été abattus, tronçonnés et leur bois a été caractérisé.

4. Description des travaux

4.1 Abattage

L'abattage des arbres s'est déroulé le 20 novembre 2020 par mécanisation. Une mesure des diamètres et longueurs des billons a été faite et un marquage sur les billons a été aussitôt apposé sur les sections selon les préconisations de la figure suivante.

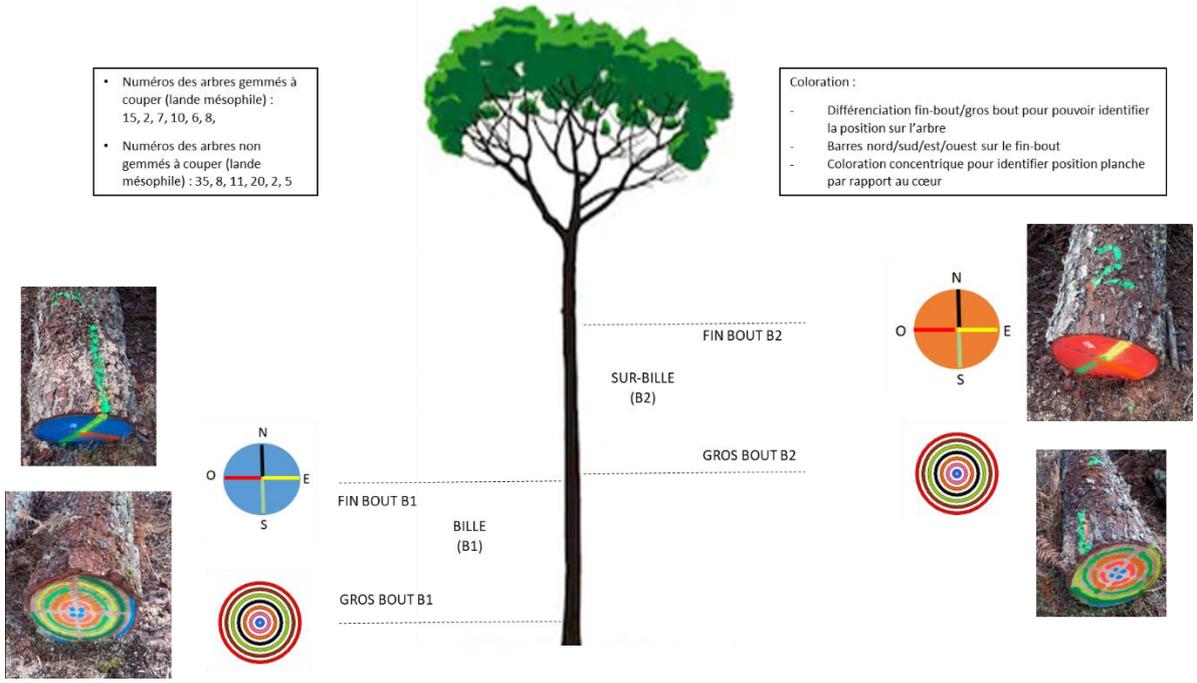


Figure 2: Codes couleurs appliqués sur les billons de la parcelle des pins gemmés et pins non gemmés le 20 novembre 2020 – détail de l'arbre N°2



Figure 3 : Abattage des pins (Komatsu CTL modèle C144), et vue des billons prélevés

La couleur unie sur l'extrémité des billons permet ainsi de les différencier lors du sciage. Les différents cercles de couleur peints à l'extrémité du billon au plus près du pied de l'arbre seront relevés lors des essais de flexion pour évaluer la distance de la planche sciée par rapport à la moelle de l'arbre suivant le codage du tableau suivant :

Code couleur	Distance à la moelle (en mm)
Bleu	30
Rouge/Rose	70
Orange	110
Vert clair	150
Jaune	190

Bleu	230
Vert foncé	270
Pas de peinture	Au-delà de 310

Tableau 2 : Correspondance entre le code couleur et la distance par rapport à la moelle de l'arbre

4.2 Sciage

Les billons ont ensuite été sciés le 27 novembre 2020, au sein de la scierie Labadie. Le sciage a donné un total de 256 avivés, et une plaquette forestière a été apposée sur chacun des avivés afin d'assurer la traçabilité.



Figure 4: identification des 256 sciages en sortie de sciage des billons de la parcelle pin gemmé - non gemmé (27 novembre 2020).

4.3 Triage

256 avivés ont été ainsi préparés pour l'étude de caractérisation. La mesure des singularités et du potentiel mécanique par contrôle non destructif (CND) doivent être faits pour préparer 2 lots de planches pin maritime non gemmées et gemmées équivalents en termes de propriétés physico-mécaniques.

Pour cela, l'appareil portable MTG (Mobile Timber Grader¹) développé par Brookhuis (NL) a été utilisé pour évaluer chaque planche en termes de masse volumique et module d'élasticité. Cette méthode non destructive nous permet d'une part de vérifier si l'estimation du module d'élasticité lors de l'essai de flexion est correcte et d'autre part de pouvoir classer les bois sans forcément les casser.

Le système MTG est une machine de classement portable utilisant les techniques de vibration pour mesurer le module élasticité Edyn de manière à prédire la contrainte à la rupture par régression. Avec cette machine, il nous sera donc possible de classer les bois par la résistance.

Les avivés présentant des échauffures ont également été exclus de l'étude, rendant le nombre total d'avivés à 236. Autant que cela puisse paraître surprenant, l'échauffure des avivés a été principalement vue dans les sciages provenant d'arbres non gemmés. Nous avons donc supprimé durant la phase de sélection des avivés présentant ces anomalies :

- Cinq planches (moyennement échauffées) au sein du lot non gemmé (Edyn moyen = 10700 MPa ; CoV=25%)
- Quinze planches (fortement échauffées) au sein du lot non gemmé (Edyn moyen = 8034 MPa ; CoV=32%)

Bien que présentant de légères échauffures, la planche (provenant de la surbille de l'arbre 10 gemmé) est gardée, son module Edyn est évalué à 9 300 MPa).

A l'issue de la sélection initiale, les propriétés selon les pins gemmés – non gemmés et la position du billon sont les suivantes :

Lot	BILLON	N	EdynMTG				MV	
			Moyenne	CoV (%)	Minimum	Maximum	Moyenne	CoV (en %)
Bois gemmé	Bille pied	67	11113	24,6	3954	16227	861	16
	Surbille	60	10951	22,6	5045	15035	843	19
	Lot	127	11036	23,6	3954	16227	852	17
Bois non gemmé	Bille pied	55	10638	21,6	5524	15600	889	13
	Surbille	54	10717	20,2	5641	14743	896	17
	Lot	109	10676	20,8	5524	15600	892	15

Tableau 3 : Statistiques descriptives du EdynMTG mesuré sur les 236 planches

4.4 Séchage

La configuration du séchoir nous impose de mettre 7 planches (largeur 110 mm) sur 13 rangées (52 mm d'épaisseur + 30 mm de tasseau) par campagne de séchage, soit à sélectionner au maximum :

- 91 planches pour le lot gemmé sur les 127 planches
- 91 planches pour le lot non gemmé sur les 109 planches.

Le module d'élasticité sera notre variable d'ajustement pour assurer la sélection des bois à sécher. Il faut toutefois attirer l'attention autour des mesures du Edyn qui utilise la masse volumique, valeur elle-même dépendante du taux d'humidité des bois. Bien que les arbres aient été abattus et sciés dans une période très courte, le taux d'humidité est pour autant très variable. Par défaut, il a été fixé à 50% pour les mesures CND. Il faut donc que les distributions soient suffisamment « identiques » sachant que le nombre de planches initiales n'est pas le même entre les lots gemmés et non gemmés. C'est pourquoi, nous avons privilégié une « même valeur » moyenne par lot (gemmé et non gemmé ;

position du billon). Dans un premier temps, nous avons lissé les valeurs extrêmes (minimales et maximales) puis nous avons éliminé une planche par intervalle de manière à garder une distribution centrée autour de la valeur moyenne avec un même écart type.

4.4.1 Méthode

Les essais de séchage ont été réalisés sur le séchoir Cathild pilote Air Chaud Climatisé (ACC) disponible à FCBA. Ce séchoir permet la régulation de la température et de la teneur en humidité relative de l'air en fonction de la teneur en humidité du bois mesurée par le biais de sondes résistives. Les bois ont été lattés par des baguettes de 30 mm profilées pour favoriser la circulation de l'air sur les faces des avivés.

4.4.2 Acquisition de données et tables de séchage

Avant et après séchage, chaque sciage est pesé sur une balance précise à 10g. Les dimensions sont mesurées au pied à coulisse au dixième de millimètre. Ces mesures permettent de déterminer la masse volumique avant et après séchage, ainsi que la masse totale d'eau évaporée par cycle. Après séchage, la teneur en humidité est mesurée par un humidimètre à pointes, et la teneur en humidité initiale est recalculée par rapport à la teneur en humidité finale et les masses initiales et finales des sciages.

Tout au long du séchage, la température réelle, l'humidité d'équilibre réelle, la teneur en humidité des bois (sondes résistives), la vitesse de ventilation, ainsi que les valeurs consignes associées sont enregistrées. Le pas d'acquisition est de 15 minutes.

Deux cycles identiques sont réalisés afin de séparer les lots provenant de pins gemmés et non-gemmés.

4.4.3 Résultats du séchage

Les deux cycles de séchage ont connu une durée quasi identique d'environ 5 jours, cohérente avec un séchage industriel classique. La moyenne des teneurs en humidité finales pour le pin gemmé est de 11,3% (écart-type 0,78%) et de 13,2% (écart-type, 1,30%) pour le pin non gemmé. Dans les deux cas, la valeur moyenne des sciages correspond à la tolérance prévue par la norme NF EN 14298, qui pour une cible à 12% permet des teneurs en humidité moyenne comprises, sur un lot, entre 10,5% et 13,5%.

De plus, selon cette, norme, 93,5% des sciages doivent présenter une teneur en humidité individuelle comprise entre 0,7 fois la teneur en humidité cible et 1,3 fois la teneur en humidité cible. Pour le lot de pin gemmé, 100% des pièces sont comprises dans cette tolérance et pour le lot non-gemmé, 97,8% des pièces sont comprises dans cet intervalle (2 sciages sur 91).

Du point de vue de la teneur en humidité finale, les deux lots sont parfaitement en adéquation avec les valeurs cibles que l'on peut attendre. Nous n'observons pas de changement lié au gemmage par rapport à des bois non gemmés.

La comparaison des teneurs en humidité initiales et finales, pour chacun des deux lots (Figure 10 et Figure 11), nous permet de mettre en perspective la teneur en humidité initiale et la teneur en humidité finale pour chacun des deux lots. Malgré une dispersion importante des teneurs en humidité initiales, les teneurs en humidité finales mesurées sont bien groupées dans les deux cas.

5. Essais réalisés

5.1 Test de dureté

On utilise généralement l'échelle de Brinell pour mesurer la dureté des matériaux. Pour réaliser ce test, on presse une bille en acier sur le matériau et on mesure la taille de l'empreinte sphérique laissée. Ici, nous avons utilisé une bille de 10mm de diamètre.

Les mesures de la dureté Brinell ont été conduites sur une sélection de 42 éprouvettes (20 en pin gemmé et 22 en pin non-gemmé), d'une longueur d'environ 40cm. Un total de 5 répétitions a été effectué par éprouvette, donnant 210 valeurs disponibles. Les planches de dosses et surtout de faux-quartier privilégiées pour le test.



Figure 5 : Application de la charge (à gauche) et réalisation de l'empreinte pour la mesure des deux diamètres (à droite)

Les essais ont été réalisés avec une machine d'essai pilotée et asservie informatiquement, équipée d'un dispositif de poinçonnement de dureté Brinell, et d'un papier carbone pour marquer le poinçonnement. L'analyse des dimensions du poinçonnement a été réalisée sur la base d'une photographie de l'éprouvette testée prise avec un smartphone et d'un traitement avec le logiciel Fidji. L'échelle des photos a été étalonnée à partir d'un étalon de précision 0,1 mm. Chaque photo a fait l'objet d'un contrôle manuel avec un régllet de précision 0,5 mm. Les essais sont réalisés selon la norme NF EN 1534 de Décembre 2020.

Une faible pré charge est appliquée afin d'amener le poinçon de diamètre 10 mm au contact de l'éprouvette. Puis, en (15 ± 3) s, une force d'une valeur nominale de 1kN est appliquée et maintenue durant (25 ± 5) s.

5.2 Test de flexion

Dans le but de comparer les deux lots de sciage de pin maritime gemmés et non gemmés, FCBA a déterminé la qualité « mécanique » des sciages par un essai de flexion 4 points. Les essais de flexion ont été réalisés selon les normes suivantes :

- NF EN 408+A1 (Septembre 2012) – Bois structure et bois lamellé-collé : Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques.
- EN 13183-1:(Juin 2002) - Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 1 : détermination par la méthode par dessiccation.

Les essais ont été réalisés sur une machine d'essais verticale pilotée et asservie informatiquement, d'une capacité nominale de 50 kN par vérin. Cette machine est de classe 1, c'est à dire que la force est mesurée avec une précision de 1 % sur la mesure.



Figure 6 : Dispositif expérimental pour tester en flexion les planches bois construction : bâti d'essai de flexion quatre points (à gauche) et rupture planche n°2285 (à droite)

Les éprouvettes d'essais sont placées sur les deux appuis extérieurs de manière à centrer le défaut majeur (nodosité, pente de fil, ...). Les efforts de flexion sont transmis aux éprouvettes en deux points de chargement par le biais de deux appuis supérieurs.

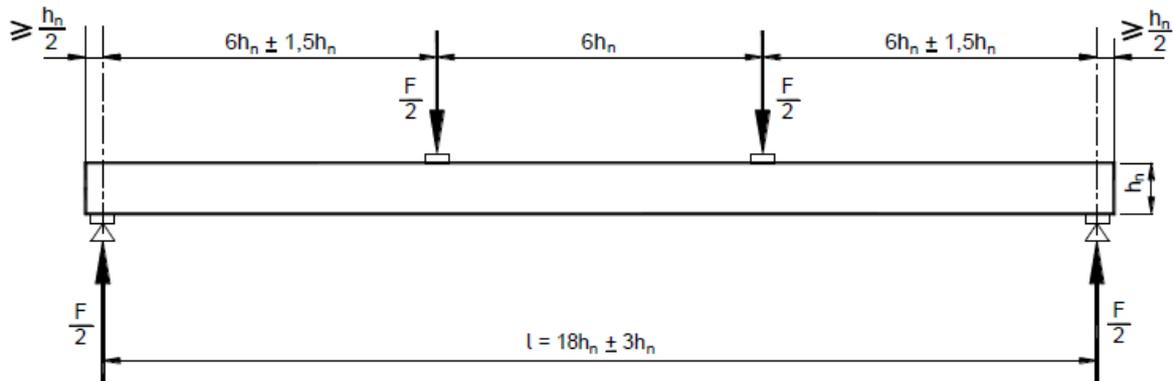


Figure 7 : Schéma de principe de l'essai de flexion selon la norme EN 408

Les résultats d'essais sont présentés comme suit :

- F_{max} : force maximale, en N
- L : longueur de l'éprouvette, en mm
- b : largeur de la section transversale de l'éprouvette, en mm
- h_e : hauteur de la section transversale de l'éprouvette, en mm
- h_n : hauteur nominale de la section transversale des éprouvettes, en mm
- a : distance entre un point de chargement et l'appui le plus proche en mm ($a = 6 h_n$)

- W : module d'inertie ou de résistance de la section transversale, en mm³
- l1 : longueur de base pour la détermination du module d'élasticité, en millimètres
- F2-F1 est un accroissement de force en newtons sur la ligne de régression avec un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux ;
- w2-w1 est l'accroissement de flèche en millimètres
- I : moment quadratique d'une surface, en millimètres à la puissance quatre
- H : humidité, en %

La résistance à la flexion est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$MOR = \frac{a F_{max}}{2 W}$$

avec $a = 6 h_n$

$$W = \frac{b h_e^2}{6}$$

Le module d'élasticité local est calculé en newtons par millimètre carré ou MPa :

$$E_{ml} = \frac{a l_1^2 (F_2 - F_1)}{16 l (w_2 - w_1)}$$

La flèche mesurée au centre de la rive de compression de l'éprouvette entre 0 et 40% de la force maximale (Fmax) nous permet d'obtenir un module global d'élasticité (MOEg) en flexion quatre points.

$$E_{m,g} = \frac{\ell^3 (F_2 - F_1)}{b h^3 (w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4\ell} \right) - \left(\frac{a}{\ell} \right)^3 \right]$$

La rupture des éprouvettes est classée selon les causes suivantes : pente de fil (PDF), bois (U), présence d'un nœud simple (Z). Après essai, un morceau de planche a été découpé proche de la zone de rupture. Ce morceau a ensuite été immédiatement pesé puis placé en étuve à une température comprise entre 101 et 105°C, jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives effectuées à six heures d'intervalle soit inférieure à 0,1%.

5.3 Test sur les finitions extérieures

D'abord, la préparation des éprouvettes en vue d'une mesure de la performance d'une finition doit suivre le protocole de la norme EN 927-6 (2018) qui impose de prendre des planches (150*75*20 mm) orientées « faux quartier » pour assurer une répétabilité des essais d'adhérence d'une finition. Comme ces éprouvettes sont débitées à partir des sciages testés en flexion, la sélection n'a pas été aisée.

12 planches (7 planches provenant des bois gemmés et 5 issues des bois non gemmés) ont été sélectionnées. Chaque planche a permis d'avoir plusieurs échantillons à tester (soit 55 éprouvettes au total). Ces consignes ne nous ont donc pas permis d'avoir un lot de planches homogènes, il a donc fallu trier et sélectionner les éprouvettes au moyen de la masse volumique après débit. 10 éprouvettes ont donc été éliminées, rendant le nombre total d'éprouvettes testées à 45.

5.3.1 Préparation des éprouvettes pour le revêtement d'essai

Pour éliminer les films oléophiles, il faut poncer les panneaux manuellement (granularité 150) immédiatement avant l'application du revêtement. L'arrondissement des arêtes n'est pas autorisé. Le système de peinture est appliqué sur toutes les surfaces de chaque panneau, y compris le bois de bout de manière à obtenir une épaisseur de « film humide » correspondant à la valeur moyenne (+/- 20%) du rendement superficiel recommandé par le fabricant.

La quantité de produit de peinture appliquée sur chaque panneau d'essai a été déterminée par pesée pour calculer ensuite une moyenne en g/m^2 . Après l'application du revêtement, les éprouvettes ont été stabilisées pendant approximativement 7 jours dans un environnement contrôlé à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ avec une humidité relative de $(65 \pm 5)\%$ avant les examens.

5.3.2 Positest

Pour tester les différences de qualité des bois gemmés et non-gemmes sur les finitions extérieures, un test d'adhésion a été réalisé avant et après un vieillissement accéléré des planches. Le Positest, contrôleur d'adhésion, mesure la force nécessaire à l'arrachement d'une pastille de diamètre connu collée sur le revêtement à tester.



Figure 8 : vue d'ensemble du matériel Positest (à gauche) et collage des plots pour le Positest (à droite)

L'appareil utilise une pompe hydraulique manuelle qui permet d'appliquer une force constante et continue en un seul mouvement. Le testeur d'adhérence Positest compense tout désalignement. Une codification des facies de rupture est nécessaire, elle a été établie comme suit :

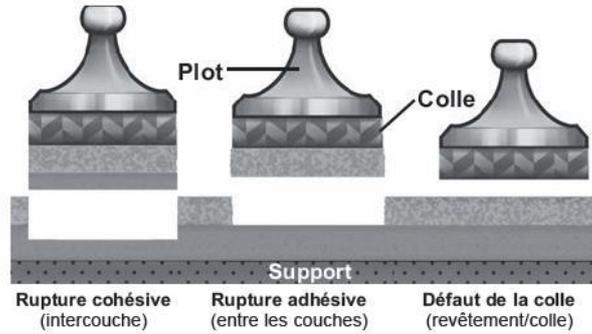


Figure 9 : Codification des facies lors des tests positest (A : adhésive, C : cohésive, D : défaut de collage)

5.3.3 Test de dégradation rapide par QUV

Un lot de 16 éprouvettes a été placé dans des « QUV » et exposé au cycle de vieillissement de la norme NF EN 927-6, pendant 3 semaines. Le cycle d'exposition d'une semaine comporte une période de condensation, suivie d'un sous-cycle de pulvérisation d'eau et d'exposition au rayonnement UV-A 340 selon le tableau suivant.

Étape	Fonction	Température	Durée	Condition
1	Condensation	45 +/- 3°C	24 h	
2	Étape de sous-cycle 3+4		144 h consistant en 48 cycles de 3 h constitués des étapes 3 et 4	
3	UV	60 +/- 3°C	2,5 h	point de réglage de l'éclairage énergétique 0,89W/(m ² nm) à 340 nm
4	Pulvérisation		0,5 h	6l/min à 7l/min, sans UV

Tableau 4 : Cycles QUV d'exposition (tranche d'une semaine)

6. Résultats obtenus

6.1 Test de dureté

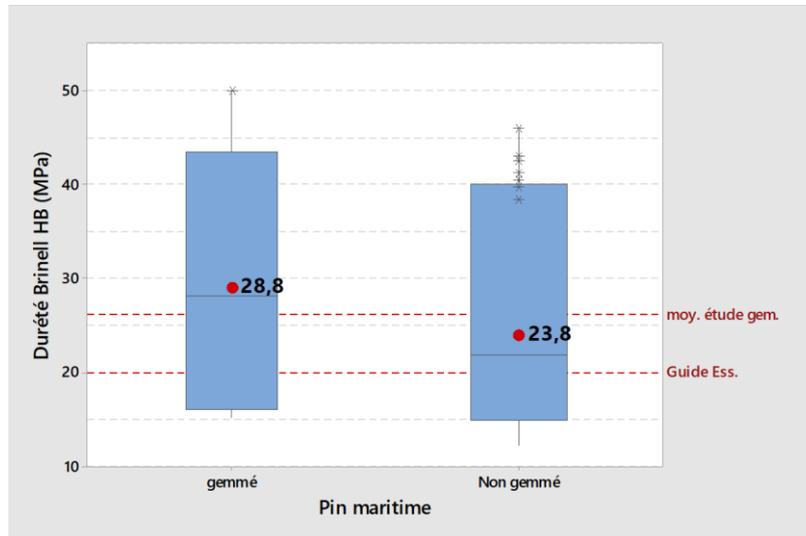


Figure 10 : Distribution des valeurs de dureté (l'étendue de la boîte est de 95%) selon le type de gemmage du pin

Nous avons cerné notre population en tenant compte de :

- la position du sciage par rapport au pied de l'arbre (bille de pied et surbille) et
- la masse volumique de la planche testée en flexion.

L'action du gemmage est significative pour les résultats de dureté. D'autre part, la résine de protection secrétée par l'arbre face à une blessure doit jouer le rôle d'une « imprégnation » au sein des canaux et augmente de fait la masse volumique des bois gemmés.

6.2 Test de flexion

Type arbre	Nombre planches	MOR 150 mm (MPa)	Eml 12% (MPa)	MV12 (kg/m ³)	Edyn MTG (MPa)
Pin gemmé	91	44,0 (33%)	10 869 (22%)	568 (8%)	10 891 (20%)
gros	49	43,8 (35%)	10 329 (22%)	559 (6%)	10 529 (20%)
moyen	27	45,8 (32%)	11 210 (24%)	570 (8%)	11 062 (21%)
petit	15	41,2 (32%)	12 018 (17%)	595 (9%)	11 767 (15%)
Pin non gemmé	91	51,2 (30%)	11 080 (23%)	569 (8%)	10 577 (18%)
gros	52	43,8 (28%)	11 267 (23%)	566 (8%)	10 598 (18%)
moyen	17	45,8 (28%)	9 677 (23%)	535 (6%)	9 605 (19%)
petit	22	41,2 (34%)	11 720 (19%)	600 (7%)	11 278 (17%)
Total général	182	47,6 (33%)	10 974 (23%)	568 (8%)	10 734 (19%)

Tableau 5 : Caractéristiques moyennes du pin maritime gemmé et non gemmé par lot et par typologie d'arbres (le coefficient de variation exprimé en % est indiqué entre parenthèses)

Il existe bien une différence significative au niveau de la contrainte à la rupture entre les sciages (lot de 169 planches). Cependant, nous avons voulu voir si cela aurait une conséquence sur les bois classés en vue d'un usage structurel (lot de 169 planches).

Classe de résistance	Pin gemmé	Pin non gemmé	Total général
C30	36,7%	38,5%	75,1%
C18	11,2%	11,8%	23,1%
Rejet	1,8%	0,0%	1,8%
Total général	49,7%	50,3%	100%

Classe de résistance	Pin gemmé	Pin non gemmé	Total général
C24	48,5%	49,7%	98,2%
Rejet	1,2%	0,6%	1,8%
Total général	49,7%	50,3%	100%

Tableau 6 : Classement optimal des bois en classe C30 et C18, puis en classe C24

Il n'y a pas d'impact du gemmage sur le classement des bois, hormis le classement par méthode visuelle car les critères visuels d'exclusion sont liés à l'impact du gemmage.

6.3 Test sur les finitions extérieures

L'analyse des données a montré une amélioration de la tenue d'une finition caractérisée par un test d'arrachement du film au moyen du Positest, après un cycle de vieillissement accéléré (3 semaines de QUV) des bois gemmés. En revanche, aucune différence significative n'a été relevée avant le cycle de vieillissement accéléré.

7. Conclusions

- Le gemmage n'influe pas sur le module d'élasticité (c'est-à-dire sur le rapport entre la contrainte et la déformation d'un matériau sous chargement), mais donne aux bois gemmés une contrainte moyenne de rupture en flexion inférieure à celle des bois non-gemmés (14,1% plus faible).
- Le gemmage augmente significativement la masse volumique dans la zone périphérique de la tige, en se rapprochant de l'écorce, de la blessure de gemmage. Ceci pourrait être dû à un phénomène de résinification du bois à la suite de cette dernière.
- Les bois gemmés sont significativement plus durs que les bois non-gemmés.
- La mesure de la cohésion d'une finition au moyen d'un test d'arrachement est similaire pour des finitions non vieilles sur des bois gemmés et non gemmés. Néanmoins, la tenue des

finitions est meilleure pour les pins gemmés après un cycle de vieillissement accéléré de 3 semaines d'exposition QUV.

8. Elaboration de la feuille de divulgation

Les résultats de ces travaux menés par le FCBA ont été synthétisés dans une feuille de divulgation, le livrable 1.32.1. Cette fiche expose les opportunités commerciales du gemmage pour les propriétaires, et aide à communiquer sur les possibilités du bois gemmé pour l'industrie.