

# Rapport

## Intégration des Epicéas « Scolytés » dans l'écoconstruction biosourcée

Rapport de synthèse du 21/06/2022

Equipes projet :

CLUSTER ROBIN : Laurent BOITEUX

FRANSYLVA : Christian BULLE

FIBOIS BFC : Martial TAULEMESSE

FCBA : Nathalie MIONETTO / Philippe FENART / Jean-Denis LANVIN / Clément L'HOSTIS

### Siège social

10, rue Galilée  
77420 Champs-sur-Marne  
Tél +33 (0)1 72 84 97 84

[www.fcba.fr](http://www.fcba.fr)

Siret 775 680 903 00132  
APE 7219Z  
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Institut technologique FCBA :  
Forêt, Cellulose, Bois – Construction  
Ameublement

# SOMMAIRE

<b>1. Préambule .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Contexte de l'action .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Descriptif de l'étude et protocole réalisé .....</b>	<b>6</b>
3.1 Essai de rendement-matière, qualitatif et productivité.....	6
3.2 Comportement au séchage des bois scolytés.....	7
3.3 Collage et finitions des bois scolytés .....	7
3.4 Déroulé prévisionnel.....	8
<b>4. Descriptif des phases et résultats .....</b>	<b>11</b>
4.1 Sélection des arbres, exploitation et transport .....	11
4.2 Essais de sciage .....	14
4.3 Essai de séchage .....	16
4.3.1 Méthodologie .....	17
4.3.2 Résultats .....	19
4.3.3 Conclusion sur les essais de séchage .....	22
4.4 Essai de collage .....	23
4.4.1 Identification des méthodes de contrôle de la qualité du collage des bois d'épicéa scolytés.....	23
4.4.2 Fabrication de prototypes et évaluation en Laboratoire selon les moyens de contrôle précédemment identifiés.....	25
4.4.3 Conclusion des essais de collage .....	28
4.5 Impact de l'attaque de scolytes sur la tenue des finitions .....	29
4.5.1 Préparation des éprouvettes pour caractériser la tenue des finitions .....	29
4.5.2 Description des essais physico-mécaniques.....	33
4.5.3 Résultats des tests de tenue des finitions sur les épicéas .....	35
4.5.4 Conclusions sur les essais de finitions .....	38
<b>5. Conclusion générale .....</b>	<b>39</b>
<b>Annexe 1 : Cubage des billons sciés.....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXE 2 : Mesures des sciages obtenus.....</b>	<b>42</b>
<b>ANNEXE 3 : Mesures des liées au séchage .....</b>	<b>48</b>
<b>ANNEXE 4 : sélection des éprouvettes du test de tenue des finitions .....</b>	<b>54</b>

## 1. Préambule

Les responsables politiques et institutionnels (Etat, régions, ADEME,...), tant au niveau national que de la région Bourgogne-Franche-Comté (BFC), ont inscrit dans les différents documents de programmation (contrat stratégique de la filière bois, contrat régional forêt- bois, feuille de route matériaux de construction biosourcés, ...) la volonté d'encourager les maîtres d'ouvrage et les professionnels de la filière bois à entrer dans la logique de l'économie circulaire notamment grâce à la construction en bois et matériaux biosourcés.

Cela se traduit par des initiatives permettant de favoriser cette volonté :

- ✓ La création d'un label « bâtiment biosourcé » afin d'encourager l'utilisation de matériaux de construction biosourcés
- ✓ La sensibilisation des acteurs de la construction aux enjeux de l'économie circulaire et à l'intérêt des matériaux biosourcés
- ✓ La rédaction de textes techniques de référence encadrant les solutions constructives biosourcées
- ✓ Plan bâtiment durable BFC
- ✓ Expérimentation E+C-
- ✓ Feuille de route matériaux de construction biosourcés

L'actualité récente montre que :

- ✓ L'incidence des crises sanitaires, sociales et économiques et le souhait affirmé, tant par la population que par les responsables politiques, que la relance économique et sociale devra être écologique et environnementale ;
- ✓ Les conclusions de la Convention citoyenne pour le climat qui proposent la rénovation énergétique globale des bâtiments à l'horizon 2040 ;
- ✓ Le Haut conseil pour le climat énonce 18 recommandations pour favoriser une sortie de crise, avec, en bonne place, l'accélération de la rénovation énergétique des bâtiments, la réduction de la pollution intérieure et une meilleure isolation;

Cela renforce la nécessité d'accélérer le mouvement pour une écoconstruction que ce soit :

- ✓ En matière de construction : où il convient de transformer la façon de construire en prenant en compte le poids carbone dans la construction neuve et veiller à la qualité des réalisations, la dimension sanitaire va également prendre une place accrue dans la façon avec laquelle réaliserons des constructions neuves, les notions de confort et de bien-être, telles que le confort d'été, la qualité de l'air intérieur, etc. prennent une place croissante. Enfin la dimension sociale est essentielle, il importe en effet de permettre aux plus modestes d'accéder à l'écoconstruction mais aussi à des bâtiments peu ou pas consommateurs d'énergies.
- ✓ En matière de rénovation : la prise en compte du paramètre : santé et bien-être doit également être pris en compte pour inciter à la rénovation énergétique et environnementale des logements mobilisant des matériaux de construction biosourcés.

Si le contrat régional forêt-bois relève que la Bourgogne-Franche-Comté est la région forestière la plus productive de France, il n'en demeure pas moins que les entreprises de construction rencontrent régulièrement des difficultés à s'approvisionner en bois locaux à des prix concurrentiels au regard du marché.

Parallèlement les régions Bourgogne-Franche-Comté et Grand-Est connaissent depuis plus de deux ans une attaque de scolytes sans précédent. Ces attaques initialement cantonnées aux plantations d'épicéas des régions de plaine et des premiers plateaux du Jura s'étendent maintenant aux pessières d'altitude des deuxièmes plateaux et hautes chaînes du Jura.

Afin de limiter la propagation des scolytes, la filière forêt bois se mobilise pour récolter dans l'urgence le maximum de bois touchés entraînant ainsi un surplus de matière sur les marchés.

Une partie de ces bois dépréciés esthétiquement ne trouve pas de débouchés alors même que leur qualité mécanique n'est pas atteinte.

**Le but du présent projet est donc d'inciter à la mobilisation des épicéas scolytés en recherchant des pistes de valorisation de ces bois dans le secteur de la construction.**

## 2. Contexte de l'action

### 2.1 Problématique des attaques de scolytes sur les épicéas

Les plantations d'épicéas de la région BFC sont sujettes depuis plus de deux ans à des attaques de scolytes dans des proportions considérables et inquiétantes. Les insectes prolifèrent en raison de conditions climatiques sèches et chaudes rencontrées dernièrement.

Les sécheresses affaiblissent les épicéas, ce qui favorise l'attaque des scolytes, l'arbre ayant plus de difficultés à répondre à l'attaque. Les arbres de plus de 60 cm de circonférence représentent la population la plus sensible.

L'insecte en plus de disposer de sujets plus aisés à coloniser bénéficie actuellement d'un autre avantage majeur. Les températures récentes sont très élevées ce qui lui permet de pulluler. Dans une année classique, on observe deux envols de scolytes mais durant ces deux dernières années, trois envols ont été constatés, rendant la population d'autant plus importante et aggravant la problématique pour les épicéas.

Le nombre d'insectes est maintenant suffisamment important pour attaquer des sujets sains, ce qui aggrave encore plus la problématique.

Il convient en conséquence d'exploiter un maximum d'arbres touchés, et de les écorcer avant qu'un envol soit possible afin de limiter la propagation des scolytes.

Le problème reste que le volume d'arbres à exploiter est considérable, et que les bois touchés présentent classiquement du bleuissement, champignon lignicole sans influence sur la qualité structurelle du bois mais ayant un impact esthétique limitant leur commercialisation.

De nombreuses interrogations subsistent et pénalisent l'utilisation de bois scolytés. Il convient donc de répondre à ces interrogations pour permettre une meilleure valorisation des bois, une augmentation de la récolte, et ainsi, soutenir une filière en crise et permettre de limiter l'extension des scolytes.

### 2.2 Possibles influences de l'attaque de scolytes sur les bois

La mise sur le marché de produit bois provenant d'arbres scolytés engendre de nombreuses questions auprès des utilisateurs potentiels. Quel est l'impact de l'attaque sur la qualité

mécanique des bois, le fait que le bois présente du bleuissement dégrade-t-il le matériau ? Quels sont les débouchés possibles des bois scolytés ? Comment doit-on stocker les bois ? etc...

En premier lieu, la question des propriétés mécaniques des bois scolytés ne doit pas être considérée comme une problématique du fait seulement de l'attaque de scolyte, et ce pour plusieurs raisons :

Tout d'abord, le développement des larves de cet insecte sous cortical ne concerne que la zone périphérique de l'arbre. Typiquement, quelques millimètres sont touchés sous l'écorce, ce qui induit que, une fois les bois écorcés, la grume peut être considérée de la même manière qu'un bois sain en ce qui concerne les débits : aucune galerie ne peut pénétrer profondément et les épaisseurs caractéristiques des avivés ne sont pas impactées. Les dommages sont spatialement localisés sous l'écorce.

En revanche, un bleuissement peut être observé dans la masse du bois. Ce bleuissement correspond au développement d'un champignon lignicole symbiotique du scolyte mais n'attaque pas les constituants structurels du bois. Ainsi, ce champignon ne remet pas en cause les propriétés mécaniques de l'arbre [Etude FCBA : « Le bleuissement des bois Pin maritime, Propriétés mécaniques, collage, finition, aspect panneaux, effets de la température sur la neutralisation du bleu » Convention n° 372/203 (Etat) - Convention n° 20036109 (Région Aquitaine) juin 2002]. La présence de bleuissement ne représente qu'une perte de valeur des bois pour des raisons esthétiques (discoloration).

Si un arbre scolyté est abattu rapidement dès la détection du dépérissement, que les bois sont stockés dans des conditions visant à empêcher une attaque par d'autres organismes de dégradation, il n'y a donc *a priori* pas d'obstacle à leur utilisation structurelle.

En revanche, le fait que l'arbre ait subi une attaque de scolyte ne remet pas en cause le fait qu'il puisse être attaqué par la suite par d'autres organismes de dégradation, comme des champignons de pourriture, qui pourraient remettre en cause ses propriétés mécaniques.

De toute manière, il convient donc d'exploiter rapidement les bois scolytés pour garantir la pérennité de leurs propriétés mécaniques.

De plus, sachant que l'arbre scolyté est un arbre affaibli, parfois mort sur pied, il convient de se poser la question de la teneur en humidité des bois provenant de cette ressource. Les industriels font état de bois « secs », mais aucune donnée ne permet de quantifier la teneur en humidité des bois qui a pourtant de nombreux impacts sur, notamment, leur stockage, leur usinabilité, leur séchage, leur utilisation pour des bois d'ingénierie (collage, cintrage, etc...)

### 2.3 Problématique concernant la valorisation des bois

Du fait de la nécessité de sortir les bois contaminés de la forêt pour des questions sanitaires, un volume considérable, à très bas prix se retrouve sur le marché. Pour limiter la chute des prix, et améliorer la situation sanitaire, il convient donc de valoriser au maximum la ressource en bois scolytés et donc de trouver un maximum de débouchés.

Actuellement, ces bois sont essentiellement valorisés comme bois de trituration et bois d'emballage, usages qui ne permettent pas d'obtenir une forte valeur ajoutée, notamment dans

le cas de sciages de bonne qualité. De plus, ces transformations peuvent se faire dans des régions autres que la région BFC, induisant des coûts de transport supplémentaires.

Comme cela a été spécifié précédemment, il n'y a aucun obstacle particulier à l'utilisation structurelle de l'épicéa scolyté. Il convient néanmoins de valider certains aspects, liés à leur utilisation en bois d'ingénierie (CLT, lamellé-collé, etc...) qui permettrait un usage dans des volumes importants.

Une fois les points techniques validés, et la communication associée réalisée auprès des industriels et des prescripteurs (architectes, etc...), aucun obstacle n'empêcherait une meilleure utilisation de cette ressource.

### **3. Descriptif de l'étude et protocole réalisé**

Comme cela a été mentionné précédemment, nous n'avons pas de données concernant la teneur en humidité des grumes de bois scolytés, ainsi que sur les impacts pour la mise en œuvre de bois d'ingénierie. Cela pose plusieurs problèmes :

- Nous ne pouvons prévoir l'humidité des bois sciés, et donc l'impact de l'attaque de scolyte sur l'usinage. En effet, plus un bois est sec, plus les efforts de coupe sont importants voire déclenchent des fissilités. Ces données permettraient notamment d'adapter les vitesses et les outils de coupe.
- Si les bois scolytés sont plus secs que les bois sains, il convient de vérifier le comportement au séchage de tels bois. En effet, un arbre sec sur pied peut avoir activé des mécanismes de défense engendrant une perméabilité plus faible, des poches d'eau, et généralement une hétérogénéité d'humidité. Ces aspects doivent être maîtrisés pour permettre d'adapter les tables de séchage, le cas échéant, pour limiter la consommation d'énergie liée au séchage, limiter les déformations et fentes, ainsi que de garantir une teneur en humidité homogène au sein de la planche et du lot à sécher. Sans cela, il sera impossible de valoriser les bois dans des procédés mettant en œuvre une opération ultérieure de collage qui requiert une grande maîtrise de la teneur en humidité.
- L'impact de l'attaque de scolytes sur le collage doit également être évalué pour vérifier que les propriétés du matériau ne sont pas altérées de ce point de vue. En effet, si le champignon de bleuissement induit par l'attaque de scolyte ne remet pas en cause les composants structurels du bois, il se nourrit d'autres composés, et peut ainsi modifier localement les interactions chimiques entre le bois et la colle.

#### **3.1 Essai de rendement-matière, qualitatif et productivité**

Après sélection des grumes saines et scolytées et approvisionnement dans une scierie d'accueil, les opérations suivantes ont été réalisées :

- Suivi avec enregistrement du temps du sciage et du tri qualitatif (selon possibilité de la scierie d'accueil) en fonction de la hauteur dans l'arbre.
- Cubage des sciages obtenus par section, longueur et qualité selon mesurage par scierie d'accueil

- Évaluation du rendement matière, de la répartition qualitative et de la productivité avec possibilité de calcul de la valeur ajoutée.
- Analyse comparative des résultats quantitatifs techniques et économiques ainsi que qualitatifs.

### 3.2 Comportement au séchage des bois scolytés

Pour caractériser le comportement au séchage des bois scolytés des essais ont été réalisés permettant de caractériser les grandeurs suivantes :

- Teneur en humidité des avivés avant séchage :
  - o Moyenne et homogénéité des lots en fonction des attaques subies, de la durée entre l'attaque et l'exploitation, et comparaison avec des bois sains
- Comportement des bois lors du séchage : 3 cycles de séchage
  - o Comparaison du comportement au séchage des différentes modalités d'attaque de scolytes avec les bois sains par la constitution de lots homogènes des différentes modalités d'attaque.
  - o Estimation des pathologies de séchage : fentes, collapse, poches d'eau, et comparaison avec les bois sains.
  - o Détermination des profils finaux d'humidité

### 3.3 Collage et finitions des bois scolytés

#### 3.3.1 Collage

Une fois déterminés les comportements au séchage des bois, une caractérisation du collage a été effectuée, là encore pour permettre de valider ou non leur application en bois d'ingénierie. Nous avons privilégié comme convenu les tests de structure au détriment des tests appliqués aux menuiseries extérieures LCA.

Sur la base de l'extension de la validation des adhésifs type I pour le collage structural, 2 poutres 1m (5 plis) ont été réalisées sur bois scolytés et non scolytés au FCBA selon le référentiel EN 302-2. Un test de délamination et la résistance par cisaillement des joints de colles ont été pratiqués sur des tronçons de poutres. L'impact de l'attaque d'insectes a été analysé.

#### 3.3.2 Finitions

Afin de caractériser la performance des finitions dans le cadre d'une application à des bois scolytés, et pour étudier la pertinence de tels procédés pour permettre de mieux valoriser techniquement les épicéas scolytés, des essais de qualification de finitions ont été réalisés de la manière suivante :

Des éprouvettes (20 éprouvettes d'épicéas sains – 20 éprouvettes d'épicéas scolytés) ont été débitées. Une mesure par pendule Persoz a permis de connaître les caractéristiques de surface. Un revêtement de référence a été appliqué. Les éprouvettes ont été soumises à un test de dégradation « rapide » par QUV. L'adhésion de la finition a été quantifiée par Positest.

### 3.4 Déroulé prévisionnel

Au cours d'une réunion technique, il a été décidé d'appliquer ces tests sur 4 lots d'épicéa selon le protocole ci-dessous.:

- bois sain, épicéa n'ayant aucune perte d'aiguilles ni de branches mortes
- bois scolyté frais, épicéa ayant subi une attaque récente visible sur quelques branches de l'houpier
- bois scolyté vieux, épicéa ayant une mortalité de branches constatée
- bois secs, épicéa n'ayant plus d'aiguilles visibles.

Fransylva et Fibois BFC ont donc choisi les parcelles les plus représentatives des niveaux d'attaque<sup>1</sup> décrits ci-dessus, sélectionné les arbres correspondants à ces attaques, les ont faites exploiter et transportées jusqu'à la scierie LONCHAMPT.

La scierie a billonné les grumes, écorcé puis scié les bois conformément au protocole ci-dessous, classé et trié les sciages.

N°	Etape	Responsable	Données d'entrée	Données de sortie
1	Sélection des arbres	<b>Fransylva Franche Comté</b>	Parcelles avec ou sans attaques de scolytes	3 m <sup>3</sup> mini d'arbres sur pied (qualité, VUM semblables) selon les 4 modalités suivantes : - Arbre sain - Arbre colonisé sans envol - Arbre à signe de rougissement et envol - Arbre sec (attaque année N-1) Prise de photos des arbres sur pied
2	Exploitation	<b>Fransylva Franche Comté</b>	arbres sur pied marqués	Grumes débardées découpe fin bout 20 ou 30, longueur multiple de 4-4,5 ou 5 m avec sur-longueur pour découpe ultérieure, numérotées (plaquettes) avec référence à l'arbre et à la modalité correspondante, cubées et recensées dans une liste Prise de photos des grumes
3	Transport	<b>Fransylva Franche Comté</b>	Grumes bord de route	Livraison à la scierie LONCHAMPT, Mouthe
4	Billonnage	<b>Scierie LONCHAMPT</b>	Grumes livrées	Billons de 4 à 5 m écorcés étalés selon grume initiale et modalité ou numéro + photo FCBA

<sup>1</sup> La méthode DEPERIS : comment quantifier et mesurer l'état de santé d'une forêt et son évolution  
fiche\_essence\_epicea.pdf

N°	Etape	Responsable	Données d'entrée	Données de sortie
5	Marquage des billons	FCBA	Billons étalés	Billons avec 1 couleur gros bout (modalité) et une 2ième couleur fin bout pour hauteur dans l'arbre + photo FCBA
6	Sciage selon méthodologie de la scierie LONCHAMPT idem pour chaque modalité et diamètre billon	Scierie LONCHAMPT	Billons regroupés par modalité (couleur gros bout)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Découverts en 27 mm délignés non purgés de longueur, triés par qualité scierie et empilés séparément pour comptabilisation</li> <li>- Plateaux de 38 mm délignés en 160 mm avec ou sans récup de 4X4 ou 4x6 (si récup, empilage pour comptabilisation), non purgés de longueurs</li> <li>- Noyaux de 160X38 mm non purgés de longueur, triés par qualité scierie et empilés séparément (possibilité de pile commune en raison des codes couleurs aux 2 bouts) pour comptabilisation</li> </ul>
		FCBA		Observation du sciage, retour des scieurs, chronométrages du sciage de tête
7	Relevé quantitatif	FCBA	Piles de sciages	Volume par qualité, section selon les 4 modalités et la hauteur dans l'arbre
8	Sélection des planches pour séchage	FCBA	Piles de sciages de 160 X 38 mm	Non car les 4X30 planches initiales seront numérotées aux 2 bouts
9	Tronçonnage des planches sélectionnées	Scierie LONCHAMPT	120 planches sélectionnées de 160X38 en 4 - 4,5 et 5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>*240 planches 160 X38 mm de 2 à 2,5 m,</li> <li>*les 4X30 planches initiales seront numérotées aux 2 bouts pour ne pas perdre la traçabilité de 50 % des planches</li> <li>* on coupe les planches en 2</li> </ul>
10	Pesée des planches	FCBA	240 planches	Poids de chaque planche et constitution d'un colis. Initialement 4 colis étaient prévus, mais le transport était facilité par la constitution d'un seul colis.
11	Cerclage des colis	Scierie LONCHAMPT	1 colis	1 colis cerclé
12	Enlèvement	FCBA	1 colis	Livraison FCBA Bordeaux

N°	Etape	Responsable	Données d'entrée	Données de sortie
13	Séchage	FCBA	1 colis, typologie de bois	Evaluation humidité initiale sur 4x60 planches, grâce à la pesée frais de sciage. Comportement au séchage sur 3 cycles (mélange homogène de typologies d'attaque pour comparaison) avec mesure Hfin, dimensions, estimation fentes. Les lots sont placés en enceinte à 3°C pour stopper le séchage en attente de disponibilité du séchoir.
14	caractériser l'aptitude au collage structurel	FCBA	4 colis	sélection des planches (débit dosse-150*30*1000mm) et masse volumique identique pour préparer poutres LAMELLE COLLE par lot (soit 4*2 poutres)  essai de délamination et test de cisaillement selon EN 301 (normes d'exigence) et normes ad hoc analyses et rapport
	caractériser l'aptitude à la tenue des finitions	FCBA	4 colis	sélection des planches (débit faux quartier) et masse volumique identique pour préparer 2 éprouvettes (150*75*15 mm) par lot (soit 4*20 éprouvettes) selon EN927-6  Un revêtement de référence sera appliqué une mesure par pendule Persoz est faite pour connaître les caractéristiques initiale de la surface  Les éprouvettes seront soumises à un test de dégradation « rapide » par QUV. Une mesure Persoz doit être fait. L'adhésion de la finition sera quantifiée par Positest analyse et rapport

Une fois la sélection des arbres en forêt, le temps entre l'abattage et la réception scierie et transformation a été le plus court possible.

## 4. Descriptif des phases et résultats

### 4.1 Sélection des arbres, exploitation et transport

Les grumes utilisées pour les essais proviennent d'une même parcelle (2ème plateau jurasien ; > 1000 m d'altitude en forêt privée jardinée) afin de s'affranchir de la variabilité inhérente à l'environnement de croissance de l'arbre.

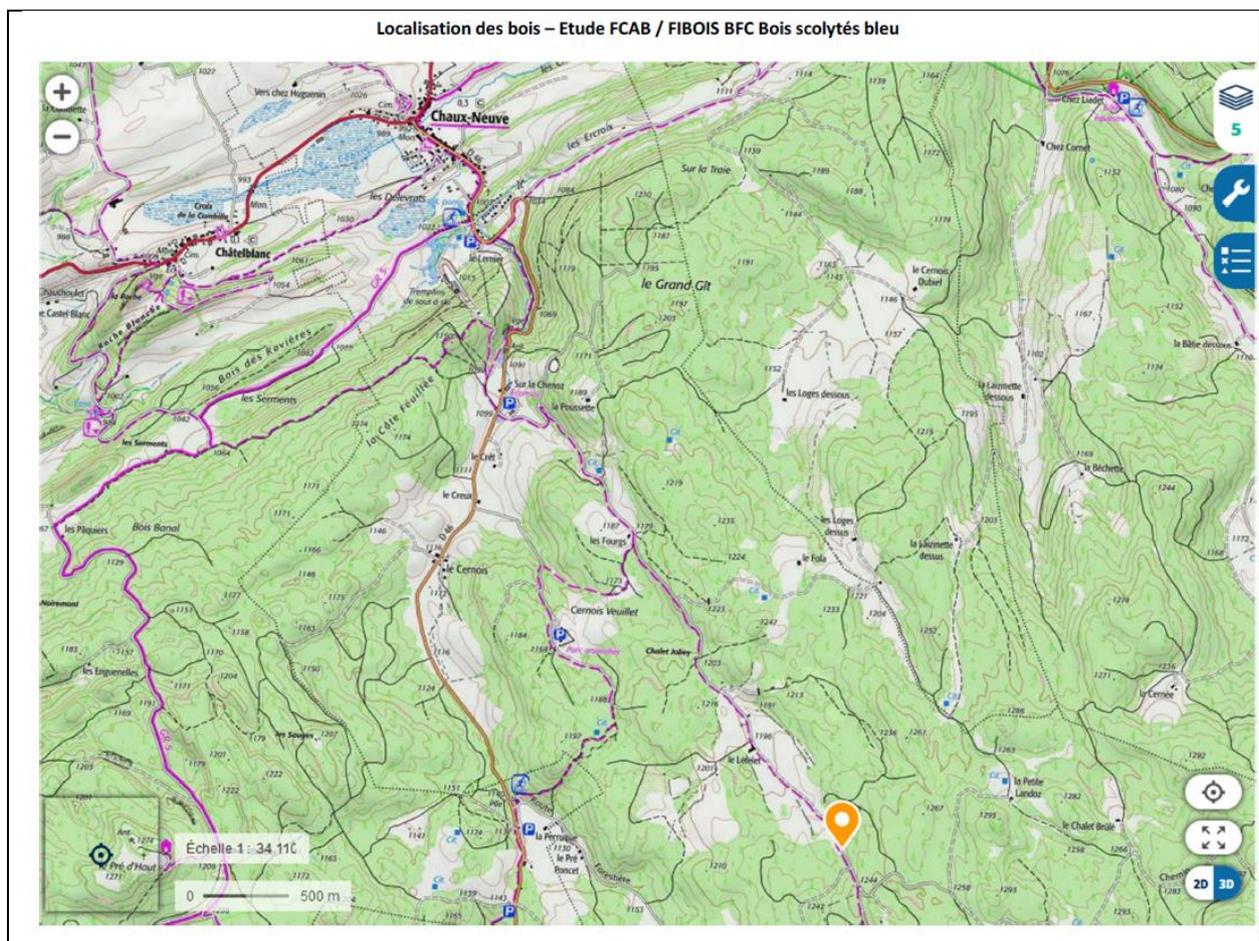


Figure 1 : localisation de la placette retenue

Ainsi, les arbres comparés dans cette étude ne présentent *a priori* comme différence que la sévérité de l'attaque de scolytes. Les arbres ont été sélectionnés sur la base de leur représentativité en regard de la sévérité de l'attaque définis dans le protocole expérimental ci-dessus.



Figure 2 : Bois secs : 3 grumes



Figure 3 : Bois scolytés vieux : 2 grumes



Figure 4 : Bois scolytés frais : 2 grumes



Figure 5 : bois sains : 2 grumes

## 4.2 Essais de sciage

Les grumes étalées sur le parc à grumes de la scierie Lonchamp ont été tronçonnées de manière à réduire les pertes de longueur. La longueur cible comme l'indique le protocole a été de 4,5 m mais pour tenir compte de la longueur totale des grumes, des « fausses » longueur ont été faites en 4 et 2,5 m. Chaque billon obtenu a été cubé selon les règles de la NFB 53020 sur écorce à la longueur « commerciale » hors sur-mesures. Pour les bois dépourvus d'écorce dans la zone de mesurage, il a été rajouté 2 cm pour écorces de chaque côté du diamètre médian. Le relevé de cubage des grumes a donné le résultat suivant :

Niveau d'attaque de scolyte	Volume sur écorce (m3)	Nombre de billons	Volume moyen par billon (m3)
<b>SAIN</b>	4,307	8	0,538
<b>SCOLYTE FRAIS</b>	4,414	8	0,552
<b>SCOLYTE VIEUX</b>	3,566	8	0,446
<b>SEC</b>	6,134	13	0,472
<b>TOTAL</b>	18,421	37	0,498

L'annexe 1 donne le détail des mesures réalisées.

Chaque billon a été peint sur ses 2 coupes d'extrémités :

- gros bout : couleur identifiant le niveau d'attaque de scolyte
- fin bout : couleur indiquant le numéro de billon du pied à la découpe.

Après réduction des pattes et écorçage, les billons ont été sciés par campagne de niveau d'attaque de scolyte en espaçant chaque campagne pour permettre à la scierie de poursuivre son travail de production et pour ne pas risquer de mélanger les lots notamment lors de tronçonnage intermédiaire de mise en longueur des planches de bord.

Le schéma de débit a été réalisé comme l'indique le protocole :

- Des sciages de section 160 X 38 mm<sup>2</sup> mm en produits principaux ;
- Des sciages de section 63 X 38 mm<sup>2</sup> ou 38 X 38 mm<sup>2</sup> en produits de récupération pour optimiser les largeurs de plateaux de 38 mm
- Des sciages de 160 - 150 - 100 - 75 X 27 mm<sup>2</sup> pour optimiser la refente des noyaux et la largeur des planches de découverts.

Comme l'étude a pour objectif la valorisation des bois en construction, les classements visuels choisis ont privilégié cet usage par le choix de C18 pour les produits structuraux (principaux) et les produits de récupération. En complément du choix 2 ou 3 d'aspect a été choisi pour valoriser les produits restants.

La productivité a été évaluée par chronométrage de chaque campagne au niveau de la scie à grumes de la scierie Lonchamp, outil donnant le rythme de la production de l'entreprise. L'analyse des résultats montre que la productivité décroît assez sensiblement (15% environ) avec le niveau d'attaque de scolyte en lien avec les déclassements et les pertes de rendement matière (voir plus bas). La donnée concernant les scolytés vieux est à relativiser du fait d'un volume global plus limité et d'un volume moyen bien adapté à la section principale à produire.

Niveau scolyte	Temps de sciage sag (")	Volume sciage/min
<b>SAIN</b>	271	0,605
<b>SCOLYTE FRAIS</b>	287	0,539
<b>SCOLYTE VIEUX</b>	214	0,567
<b>SEC</b>	410	0,516

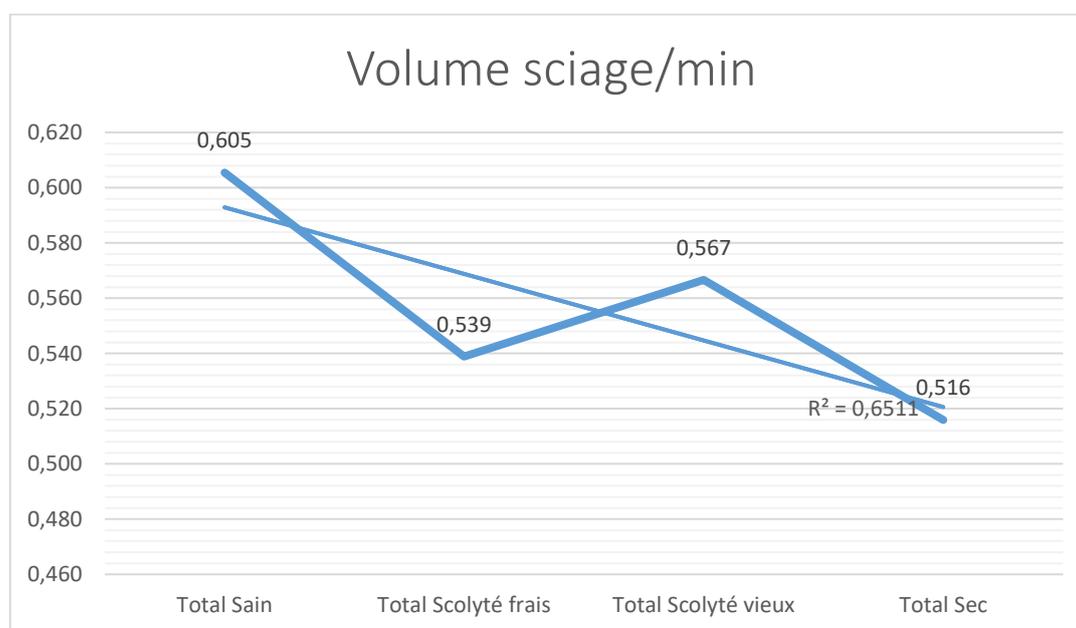


Figure 6 : volume de sciage par minute en fonction du niveau d'attaque

L'approche graphique ci-dessus donne un coefficient de corrélation limité de 0,65. Tous les produits obtenus ont été empilés par la scierie Lonchamp et cubés par FCBA. Toutes les mesures de cubage sont données en annexe 2.

Niveau scolyte	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume billon (m <sup>3</sup> )	Rendement-matière	Part de C18 et choix 2 sur volume sciages
<b>SAIN</b>	2,735	4,307	63,50%	81,55%
<b>SCOLYTE FRAIS</b>	2,578	4,414	58,40%	83,43%
<b>SCOLYTE VIEUX</b>	2,021	3,566	56,68%	85,91%
<b>SEC</b>	3,525	6,134	57,47%	74,73%

Avec un rendement-matière de 63,5%, les bois sains se distinguent des bois scolytés dont le rendement pour les 3 catégories d'attaques est de 57,6% soit 10% de moins. Si l'on compare les 3 catégories de bois scolytés, les valeurs moyennes sont comprises entre 56,7 et 58,4% avec la même tendance que pour la productivité.

Sous l'angle qualitatif, il n'est pas constaté de différences significatives évaluées par méthode visuelle en ce qui concerne la part de C18 et/ou choix 2 : 83,4% entre les bois sains, les scolytés frais et les scolytés vieux. C'est uniquement avec les bois secs que la part de C18 et (ou) choix 2 baisse significativement à 74,7% soit 10%. En prenant en compte le numéro du billon (soit la hauteur dans l'arbre), il n'est pas constaté dans les chiffres de différence quant à la part de C18 sur le volume total de sciages hormis à partir du billon 4 où celle-ci décroît entre bois sain ou scolyté frais et les 2 autres niveaux de scolytés vieux et secs.

Sur le plan économique les résultats présentés ci-dessus ont une incidence sur :

- la marge brute par la diminution du rendement global et du rendement qualitatif ;
- l'excédent brut d'exploitation par la diminution de la productivité.

Nous proposons un calcul très simplifié afin d'appréhender les impacts des valeurs mesurées par rapport à des données globales de prix.

Dans une première hypothèse nous prendrons un prix du bois rond de 45€/m<sup>3</sup> (données issues des indices de prix 2022 de France Bois Forêt) pour les épicéas sains.

Nous considérerons un prix de ventes<sup>2</sup> de sciages de 240 €/m<sup>3</sup>

Nous considérerons une marge nulle.

A partir des données des épicéas sains, nous définissons une situation de référence.

### 4.3 Essai de séchage

Les essais de séchage avaient pour but de déterminer un éventuel comportement différent au séchage des bois scolytés en fonction de la typologie d'attaque. Les épicéas scolytés pouvant avoir subi des stress hydriques importants, ce qui peut se voir avec des rougissements notamment, il ne peut être exclu *a priori* que des mécanismes de défense soient activés par l'arbre. Par exemple, la fermeture de ponctuations aréolées au niveau microscopique engendre chez le Sapin la formation de poches d'eau. Ces poches d'eau sont particulièrement nuisibles à l'homogénéité du séchage et à l'utilisation en bois d'ingénierie.

Nous avons donc caractérisé l'aptitude au séchage des différentes typologies d'attaque (intégrant des bois sains servant de lot de contrôle) du point de vue qualitatif et de l'homogénéité au séchage.

<sup>2</sup> données Mercuriales CEEB – deuxième trimestre 2022 – épicéa choix 2 en madriers 63x160 mm<sup>2</sup>

Les bois utilisés pour les essais sont ceux choisis lors des essais de caractérisation de l'aptitude au sciage, après classement et tri qualitatif. Ils ont été marqués planche a planche afin d'assurer une traçabilité totale de la planche intégrant la typologie de l'attaque et le positionnement du billon dont la planche est issue par rapport à la hauteur dans l'arbre. Les sciages choisis étaient de section 160x38 mm<sup>2</sup> afin de permettre l'utilisation en collage à l'issue des essais de séchage et de travailler avec une seule section.

A la suite du sciage, les bois ont été conditionnés pour former deux colis et livrés depuis la Scierie Longchamp à Mouthe au laboratoire de séchage de FCBA à Bordeaux.

Dans l'attente des essais de séchage, les bois ont été conditionnés dans une chambre climatique régulée à 3°C et 85% d'humidité relative. Ces conditions assurent l'arrêt du séchage des planches, ce qui limite le risque de différentiel de séchage d'un lot à l'autre pouvant fausser les caractérisations.

### 4.3.1 Méthodologie

#### ✓ Constitution des lots

Trois lots ont été constitués avec un mélange des différentes typologies d'attaques. Le but de cette étude étant de détecter les différences potentielles de comportement, par rapport au séchage dans le cas présent, de l'attaque des scolytes sur les épicéas, la stratégie a été de placer les bois dans des conditions de séchage similaires et de déterminer les différences sur les propriétés finales. Ainsi nous nous plaçons dans le cas le plus probable d'un point de vue industriel d'un mélange d'arbres sains et scolytés selon différents degrés d'attaque.

Les lots ont été constitués afin de présenter un nombre de sciages sensiblement identique et représentant un volume permettant de constituer des piles adaptées aux capacités de notre séchoir pilote. Le nombre de sciages total par lot et par typologie d'attaque est donné dans le tableau suivant :

<i>typologie d'attaque</i>					
<i>Numéro de lot</i>	Sain	Scolytés frais	Scolytés vieux	Scolytés sec	total
<i>Lot 1</i>	19	21	21	21	82
<i>Lot 2</i>	18	18	18	21	75
<i>Lot 3</i>	20	22	21	25	88

#### ✓ Cycles de séchage

Les cycles de séchage ont été conduits avec la table suivante (Figure 7) :

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	13,0
S 3	Séchage 1	50			00	> 50	070	11,0
		50	07		00	50 - 40	070	10,0
		50			00	40 - 35	070	09,6
		50			00	35 - 30	070	08,6
S 4	Séchage 2	50			00	30 - 27	070	07,9
		50			00	27 - 24	070	08,3
		50	07		00	24 - 21	070	06,5
		50			00	21 - 18	070	05,8
		50			00	18 - 15	070	04,8
		50			00	15 - 12	070	04,5
		50			00	12 - 09	070	04,0
50			00	09 - 06	070	03,6		
S 5	Equilibrage	50	03		10		070	
S 6	Refroidissement	50	02	05			070	

Figure 7 : table de séchage employée pour les essais

Il s'agit d'une table classique pour un séchage de résineux, d'épicéa en particulier, avec une température de 70°C atteinte directement après la phase de préchauffage. Les gradients de séchage de 3 à 4 sont normaux pour cette essence ne présentant pas de difficulté majeure sur des sciages provenant d'arbres sains.

#### ✓ Mesures des propriétés

##### *Teneur en humidité tombés de scie*

Les teneurs en humidité des bois tombés de scie sont obtenues par pesée de la planche à l'issue de la phase de tri, le lendemain du sciage.

Les teneurs en humidité sont calculées à partir de la masse anhydre calculée elle-même à partir de la teneur en humidité et de la masse à l'issue du séchage.

##### *Teneur en humidité avant séchage*

Les teneurs en humidité des bois avant séchage sont obtenues par pesée de la planche au moment de l'empilage, immédiatement avant séchage.

Les teneurs en humidité sont calculées à partir de la masse anhydre calculée elle-même à partir de la teneur en humidité et de la masse à l'issue du séchage.

##### *Teneur en humidité après séchage*

Les teneurs en humidité sont mesurées à l'aide d'un humidimètre de type résistif, modèle Gann HT85T équipé d'un marteau d'enfoncement et de pointes de 45mm. La masse de chacune des planches est également relevée à ce moment. La mesure est effectuée à cœur et à mi-longueur.

#### Détection de poches d'eau et défauts

La détection de poches d'eau est réalisée en procédant à la mesure en 5 points différents selon la longueur de chaque sciage et en déterminant les variations de teneur en humidité de plus de 3% par rapport à la mesure réalisée à mi-longueur.

Les défauts de fentes et de collapse sont recherchés par observation visuelle des sciages et analyse qualitative. Les fentes visiblement liées à des singularités du bois sont ignorées.

#### Dimensions

Les dimensions des sciages sont mesurées au pied à coulisse concernant la largeur et l'épaisseur. Les mesures sont réalisées à mi-longueur.

#### Masses volumiques

Les masses volumiques sont calculées à partir des masses relevées et aux dimensions mesurées au même moment. En scierie, les dimensions nominales sont retenues, et il n'est pas procédé à une nouvelle mesure. Les longueurs mesurées en scierie, bois vert sont retenues pour l'ensemble des essais à suivre considérant un retrait longitudinal des bois négligeable.

### 4.3.2 Résultats

#### ✓ Teneurs en humidités et masses volumiques

Les masses volumiques des bois verts sont présentées en fonction de chacune des attaques dans la Figure 8.

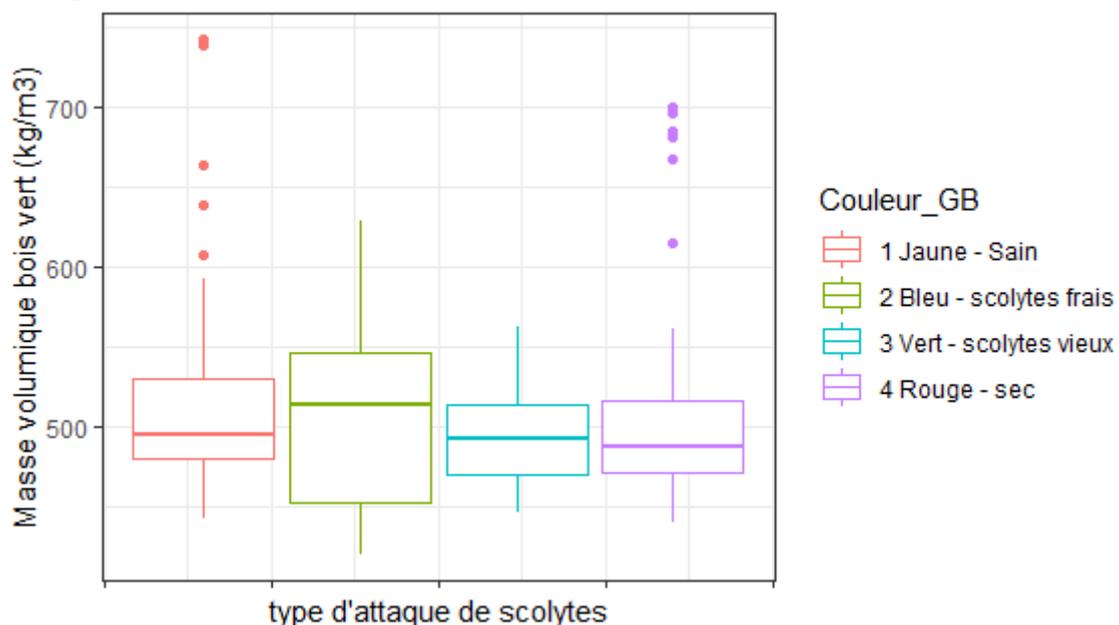


Figure 8 : masse volumique bois vert en fonction du type d'attaque de scolytes (couleur Gros bout) pour l'ensemble des sciages

L'expression des résultats sous forme de masse volumique permet de s'affranchir de l'effet de différence de masses volumiques anhydres pouvant avoir un impact sur la teneur en humidité.

Nous observons que globalement, les valeurs de masses volumiques des bois frais de sciages sont similaires, et que, aucune différence notable ne peut être observée en fonction des différents lots. Les points sortant des boîtes à moustache correspondent à des valeurs statistiquement extrêmes d'un point de vue statistique, et si les bois sains présentent des valeurs extrêmes supérieures au reste des typologies d'attaques, ces valeurs ne sont pas considérées comme significatives.

Les masses volumiques après séchage (Figure 9) n'indiquent pas non plus de différence notable, aucun des groupes n'étant sensiblement disjoint. La distribution reste plus étendue chez les bois scolytés frais. En conséquence, nous ne pouvons pas mettre en avant de différence notable de comportement au séchage du point de vue de l'humidité finale entre les différents types d'attaque.

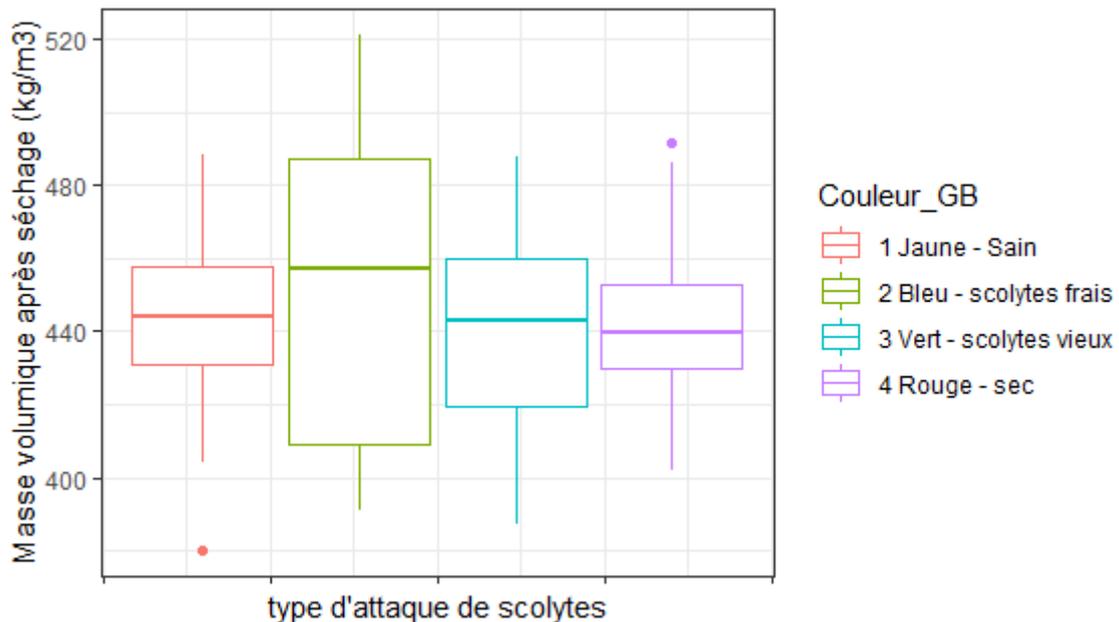


Figure 9 : masses volumiques des sciages après séchage en fonction du type d'attaque de scolytes (couleur Gros bout)

Ce constat est confirmé par l'expression des résultats sous forme de teneur en humidité finale, c'est-à-dire en représentant directement les teneurs en humidités mesurées à l'humidimètre à pointes (Figure 10).

Les teneurs en humidité présentent des distributions encore plus semblables que les masses volumiques, ce qui indique que les variations de masse volumique sont davantage dues à des différences de structure des bois que de variation de la teneur en humidité.

Les différences structurelles ne peuvent être attribuées à l'attaque de scolyte, et correspondent donc à des différences de croissance des arbres qui peuvent s'expliquer par un échantillonnage relativement restreint, même s'il est issu d'une même parcelle.

Du point de vue de l'humidité finale, l'attaque de scolytes ne semble donc pas avoir d'influence sur les propriétés finales des bois.

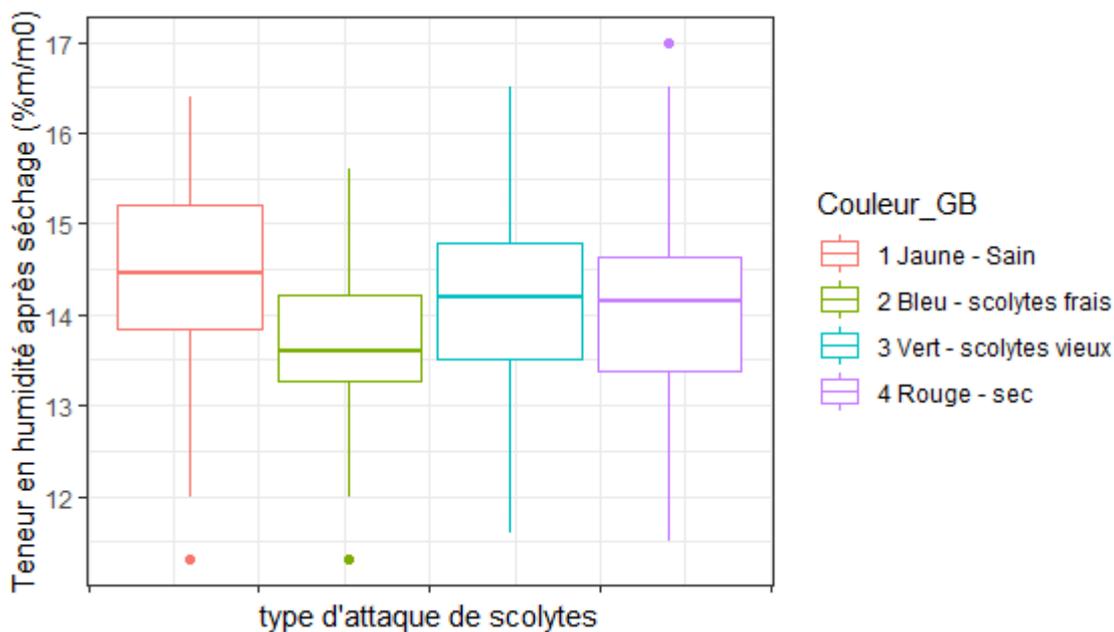


Figure 10 : teneur en humidité après séchage en fonction des différents lots en fonction du type d'attaque de scolytes (couleur Gros bout) pour l'ensemble des sciages

#### ✓ Défauts

A l'issue du séchage, nous n'avons pas observé de poches d'eau à l'exception d'un sciage. Le sciage en question, n°94B était un bois issu d'un arbre sain séché dans le lot 1. La poche d'eau constatée l'était au niveau de la buse d'humidification du séchoir, et nous attribuons cette poche d'eau à une aspersion accidentelle du sciage, et non à une réelle différence de comportement du bois. De plus, le bois issu d'un arbre sain ne permettrait pas de conclure que l'attaque de scolyte puisse engendrer ce type de défaut.

L'attaque de scolyte ne provoque pas de risque de formation de poche d'eau.

De même, nous n'avons constaté aucun défaut de type collapse ou fente (en dehors de défauts liés à des singularités), et nous en concluons que l'attaque de scolyte n'impacte pas les bois de ce point de vue.

La présence de poches d'eau et le collapse sont régulièrement liés puisqu'avec l'augmentation de la température avec l'avancée du séchage, les zones de poches d'eau constituent un risque élevé. Nous avons pu constater la survenue des deux phénomènes simultanément au cours d'essais précédents sur du tremble notamment. Il n'est donc pas surprenant de ne pas détecter l'un des défauts, si l'autre est absent.

#### ✓ Analyse multivariée

Etant donné le nombre important de variables considérées, et la difficulté de les traiter une à une en comparaison, nous avons décidé de procéder à une analyse multivariée sur les essais de séchage et l'impact de l'attaque de scolyte. Cette démarche a été conduite dans le but de conforter ou de remettre en cause les éléments d'analyse exposés précédemment.

Ainsi, une classification hiérarchique a été conduite sur un jeu de données simplifié intégrant la masse volumique bois vert, bois sec, la teneur en humidité après séchage et les paramètres qualitatifs suivants : type d'attaque, position du billon et lot de séchage. L'arbre hiérarchique obtenu (Figure 11), ne présentant pas de disjonction claire entre les groupes (quatre groupes déterminés pour correspondre au nombre d'attaques) ne permet pas de distinguer les sciages.

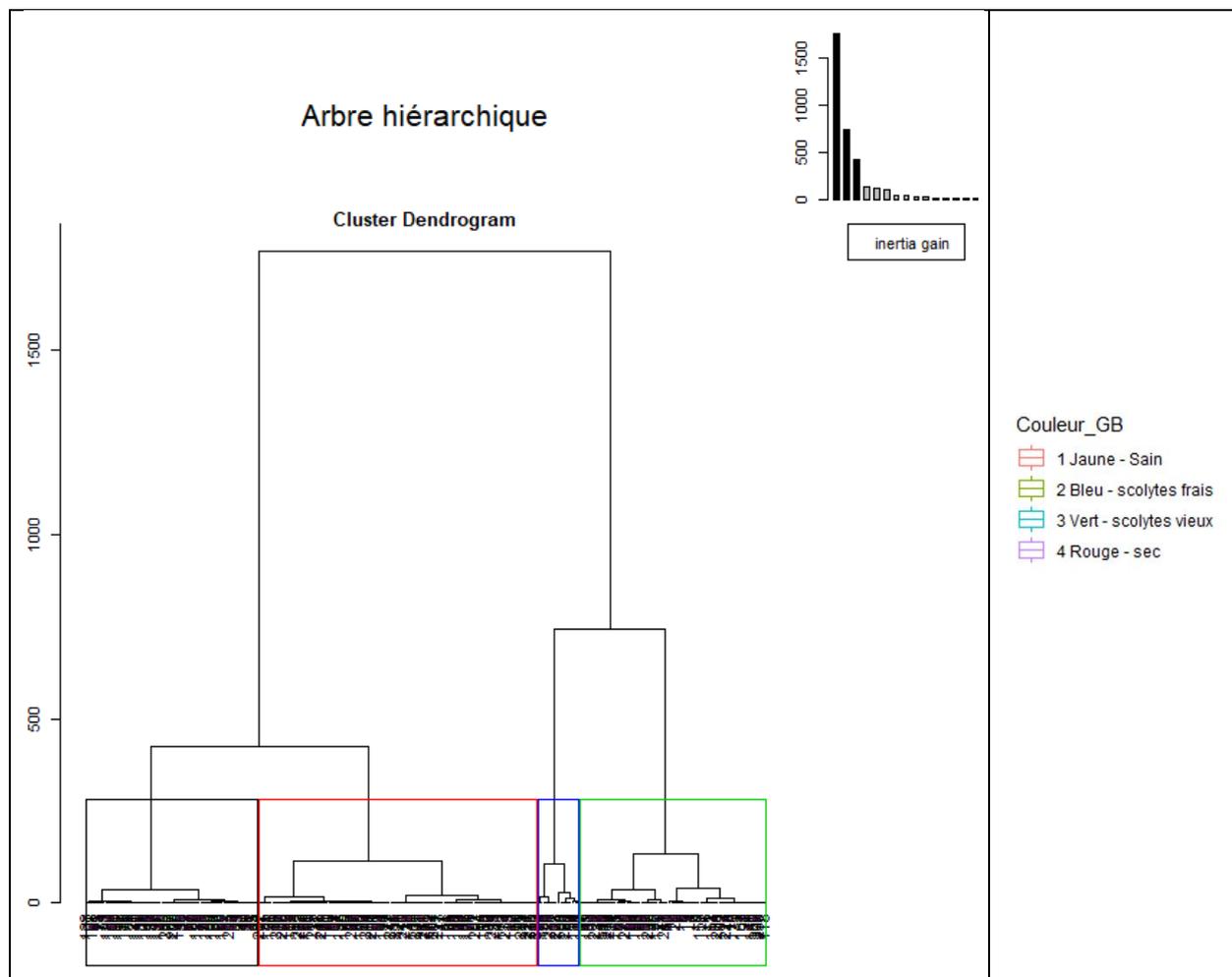


Figure 11 : arbre hiérarchique représentant l'éloignement des différents individus

### 4.3.3 Conclusion sur les essais de séchage

Les essais ne séchage conduits dans la suite des caractérisations de l'aptitude au sciage n'ont pas permis de mettre en avant une quelconque différence entre les bois sains et les bois scolytés, quel que soit le niveau d'attaque.

Ces résultats sont mis en avant par une analyse de chacune des propriétés, et confirmés par une analyse multivariée, intégrant l'ensemble des paramètres d'influence, y compris qualitatifs.

En conséquence, des sciages issus de bois scolytés, issus d'un tri permettant d'exclure les pathologies classiques des bois (c'est-à-dire non exclusivement liées à l'attaque de scolytes) ne présentent pas de différence de traitement vis-à-vis du séchage et doivent conduire à des résultats similaires aux bois sains.

Cette conclusion est valable dans le cas où les bois sont séchés dans des conditions similaires aux bois sains et présentent des teneurs en humidité initiales similaires.

Nous rappellerons que le séchage permet de limiter drastiquement le risque de pathologies sur les bois et peut être mis en avant pour limiter le risque de dégradation fongique postérieur à l'attaque.

A l'issue du séchage, la conservation des bois dans une atmosphère contrôlée, sans réhumidification limitera le risque de dégradation fongique et de développement du bleu. Pour éviter de fortes dégradations esthétiques, un séchage précoce des bois scolytés est conseillé.

#### 4.4 Essai de collage

Le terme « bois lamellé collé » correspond à un mode de fabrication industrielle précis et particulièrement contrôlé (marquage CE niveau 1 selon la norme harmonisée EN 14080). En l'occurrence, ce matériau est composé de lamelles de bois purgées de défauts critiques, aboutées puis collées entre elles face contre face dans le sens du fil du bois. Le bois lamellé collé est un matériau de construction dont les principales qualités sont la résistance, la rigidité, la fiabilité et la durabilité. Pour s'en assurer, la qualité des joints de colle doit être vérifiée par voie d'essais selon des méthodologies dépendant de la destination du produit (intérieur, extérieur abrité, extérieur exposé) définie par la classe de service (1, 2, 3).

Les adhésifs utilisés doivent donc présenter des propriétés reconnues en termes de résistance et de durabilité en cas d'exposition aux intempéries et de sollicitation à long terme. Seuls sont utilisés des adhésifs répondant aux exigences de normes de classification qui leurs sont dédiées.

Les adhésifs les plus couramment utilisés pour les éléments de structure en bois lamellé collé sont principalement les Mélamine-Urée-Formol (MUF) répondant aux exigences de la norme EN 301 et les Polyuréthane (PUR) répondant aux exigences de la norme EN 15425. Le marquage CE du bois lamellé-collé doit indiquer l'adhésif utilisé et son Type, attribué par la norme de classification dont il dépend :

- Type I, capable de résister à toutes les expositions extérieures et aux températures dépassant 50°C
- Type II, pour usage intérieur chauffé et ventilé ; à l'extérieur sous abri et avec une température supérieure à 50°C très occasionnelle.

Dans ce contexte, l'étude réalisée s'articule en 4 étapes :

1. Identification des méthodes de contrôle de la qualité du collage des bois d'épicéa scolytés, en particulier en vue d'une valorisation en bois lamellé collé
2. Identification des colles représentatives du marché, à éprouver sur des échantillons de bois d'épicéa caractérisés par différents degrés d'attaques de scolytes
3. Fabrication de prototypes et évaluation en laboratoire selon les méthodes de contrôle précédemment identifiées
4. Conclusions et recommandations éventuelles

##### *4.4.1 Identification des méthodes de contrôle de la qualité du collage des bois d'épicéa scolytés*

#### ✓ Méthodes de contrôle de l'aptitude au collage d'une nouvelle essence

Le bois lamellé a une vocation structurelle. Les adhésifs qui entrent dans sa composition doivent donc satisfaire à de fortes exigences de résistance, fiabilité et durabilité. Comme évoqué précédemment, les adhésifs pour le collage structural du bois se répartissent en différentes familles faisant l'objet de normes de classification, étape préalable à leur mise sur le marché. Il s'agit des normes :

- NF EN 301 pour les adhésifs phénoliques (RPF) et aminoplastes (MUF)
- NF EN 15425 pour les adhésifs polyuréthanes (PUR)
- NF EN 16254 pour les adhésifs sous forme d'émulsion de polymères et d'isocyanates (EPI)

A l'issue de leur évaluation initiale selon ces normes, ils sont validés pour le collage des bois résineux courants (épicéa, sapin, pin sylvestre, ...). Si les adhésifs doivent être utilisés sur une autre essence (on pourrait considérer alors les épicéa scolytés comme nouvelle essence », il convient préalablement de démontrer la compatibilité de la colle avec cette essence.

Cette tâche est réalisée par voie d'essais de détermination de la résistance à la délamination des plans de collage selon la norme NF EN 302-2 sur des éprouvettes de bois lamellé collé. Pour une utilisation en classe de service 2, à laquelle appartiennent la plupart des conditions d'utilisation des bois de structure en épicéa dans lesquelles l'humidité moyenne du bois n'excède pas 20 %, le cycle de délamination devant être mis en œuvre est le cycle correspondant au Type I.

→ *L'épicéa scolyté ne doit pas être assimilé à une nouvelle essence et, dans le cadre de cette étude, cette méthode de contrôle n'a pas été retenue.*

### ✓ Méthodes de contrôle de la qualité du collage des bois de structures

Les bois de structures collés se répartissent en différentes familles faisant l'objet de normes d'exigences de fabrication et de performances, parmi lesquelles se dégagent principalement les normes :

- NF EN 15497 pour les bois massifs aboutés (BMA)
- NF EN 14080 pour les bois lamellés collés (BLC)
- NF EN 16351 pour les bois lamellés croisés (CLT)

Pour le contrôle de la qualité du collage, ces normes s'appuient sur différentes méthodes d'essais :

- Flexion 4 points pour les BMA
- Cisaillement des plans de collage et détermination de la résistance à la délamination pour les BLC et CLT, avec, pour une utilisation en classe de service 2, possibilité de mettre en œuvre l'une ou l'autre de ces méthodes dans le cadre du contrôle de production usine, et uniquement la détermination de la résistance à la délamination dans le cadre de l'évaluation initiale des produits

La mise en œuvre d'aboutages n'étant pas envisageable en laboratoire, l'essai de flexion 4 points sur éprouvettes de BMA n'a pas été retenu dans le cadre de cette étude.

Par ailleurs, l'essai de cisaillement des plans de collage s'est souvent avéré moins sensible et discriminant que l'essai de détermination de la résistance à la délamination. C'est pourquoi il n'est pas possible de l'utiliser lors de l'évaluation initiale des produits.

Enfin, la détermination de la résistance à la délamination est considérée comme étant la plus largement utilisée par les organismes de contrôle et les industriels. Pour une utilisation en classe de service 2, deux cycles de délamination sont proposés : méthode A et méthode B. La méthode A s'est souvent avérée moins discriminante que la méthode B qui sollicite d'avantage les plans de collage, qui est plus courte, et pour ces raisons certainement la plus utilisée par les industriels.

→ *Dans le cadre de cette étude, la méthode de contrôle de la qualité du collage par voie d'essai de détermination de la résistance à la délamination selon la méthode B a été retenue.*

Les caractéristiques descriptives des cycles de délamination selon les méthodes A et B sont présentées dans la Figure 12.

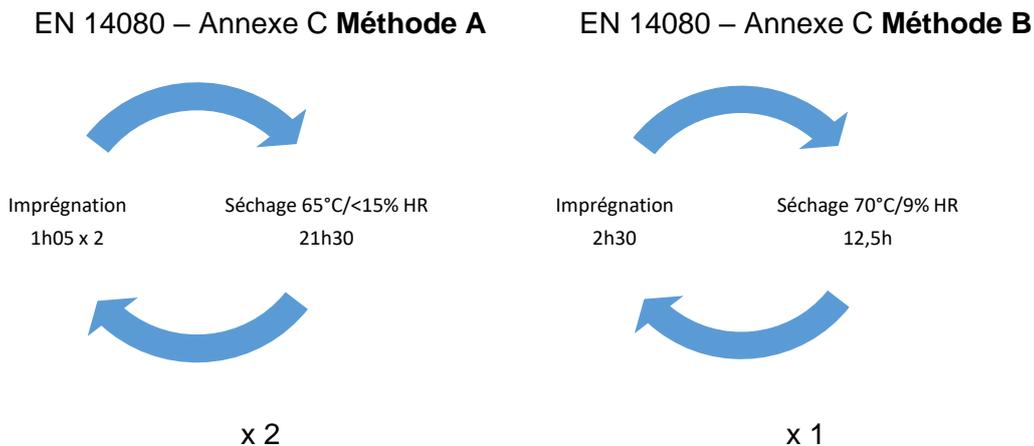


Figure 12: cycle de délamination selon la norme NF EN 14080, annexe C, méthodes A et B

✓ **Identification de technologies de collage représentatives du marché**

4 grandes familles d'adhésifs cohabitent sur le marché du collage structural du bois. Il s'agit des adhésifs :

- Phénoliques (RPF)
- Aminoplastes (MUF)
- Polyuréthanes (PUR)
- Emulsion de polymères et d'isocyanates (EPI)

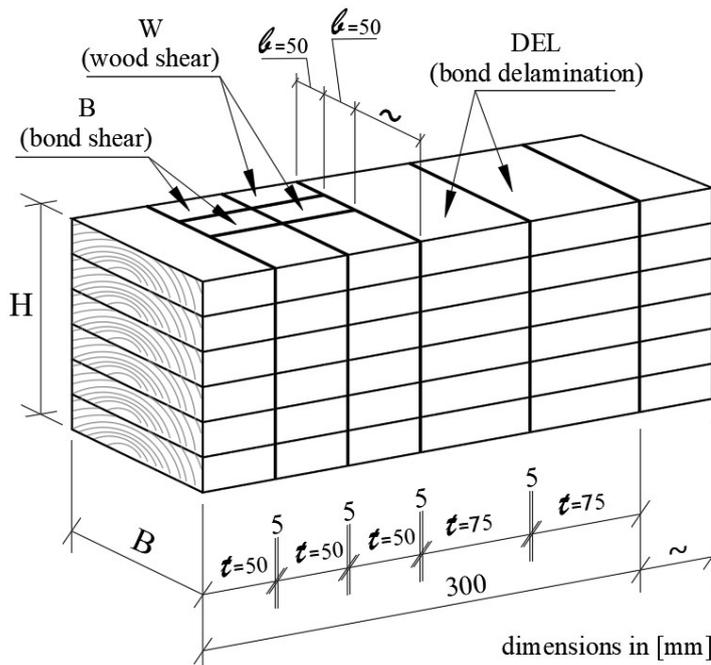
Parmi eux, les adhésifs MUF sont de très loin les plus utilisés avec plus de 80% de parts de marché.

→ Dans le cadre de cette étude, un adhésif MUF a été retenu. Il s'agit de la référence commerciale 1247 / 2526 commercialisée par la société AKZO NOBEL.

**4.4.2 Fabrication de prototypes et évaluation en Laboratoire selon les moyens de contrôle précédemment identifiés**

✓ **Fabrication de prototypes**

L'essai de détermination de la résistance à la délamination a été réalisé sur des éprouvettes de bois lamellés collés de section représentative, caractérisées par différents degrés d'attaque de scolytes. La géométrie des éprouvettes est représentée selon la figure suivante.



B : éprouvettes pour essais de cisaillement des plans de collage

W : éprouvettes pour essais de cisaillement du bois massif

DEL : éprouvettes pour essais de délamination

H = 180 mm

B = 145 mm

Figure 13 : éprouvettes de bois lamellé collé pour essai de résistance au cisaillement et à la délamination des plans de collage

2 poutres BLC ont été fabriquées pour chaque typologie d'attaque (intégrant des bois sains servant de lot de contrôle) à partir des sciages sélectionnés dans le cadre de l'étude. Un premier tri des sciages a été nécessaire pour mettre de côté ceux provenant d'un débit en dosse (débit maximalisant les déformations des lamelles et les contraintes induites au niveau des plans de collage lors du cycle d'injection / séchage).

Seuls sont gardés les sciages issus des billons 1 et 3 (cf tableau ci-dessous).

Niveau d'attaque	Jaune – Sain		Bleu - Scolytes frais		Vert - Scolytes vieux		Rouge – Sec	
	Nbre de planche	MV 12%	Nbre de planche	MV 12%	Nbre de planche	MV 12%	Nbre de planche	MV 12%
Noir - billon 1	11	431	7	427	14	419	12	434
Rose - billon 2	9	420	10	449	12	438	16	428
Blanc - billon 3	14	435	14	430	12	443	12	431
Orange - billon 4	8	464	11	458	6	448	11	439
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>436</b>	<b>42</b>	<b>441</b>	<b>44</b>	<b>435</b>	<b>51</b>	<b>432</b>

Un premier pré-débit a été fait pour ramener les sciages à la cote de 38x150x800 mm<sup>3</sup> en évitant de prendre si possible les planches présentant des défauts.



Figure 14 : éprouvettes de bois lamellé collé sélectionnées pour les essais de résistance au cisaillement et à la délamination des plans de collage

Une première mise en stabilisation (taux cible à 12%) a été effectuée à partir de fin janvier 2022. Le rabotage en épaisseur a été fait le jour du collage. Après 7 jours de stabilisation (condition de stabilisation ?), des poutres, une découpe des éprouvettes a été faite. La correspondance entre les numéros des poutres BLC et les sciages est la suivante :

N° Poutre	Référence lamelle	N° Poutre	Référence lamelle
1 (bois sec - B3)	23A ROUGE	5 (scolytes frais - B1)	71B NOIR
	117A ROUGE		70B NOIR
	110A ROUGE		68B NOIR
	16A ROUGE		64B NOIR
	15A ROUGE		71A BLEU
	17A ROUGE		68A BLEU
2 (scolytes vieux - B3)	49A VERT	6 (bois sec - B1)	40A ROUGE
	36A VERT		14B NOIR
	53A VERT		104B NOIR
	47A VERT		106B NOIR
	48A VERT		115B NOIR
3 (scolytes frais - B3)	46A VERT	7 (scolytes vieux - B1)	26B NOIR
	69A BLEU		122B NOIR
	66B BLEU		12B NOIR
	65A BLEU		123B NOIR
	4A BLEU		34B NOIR
4 (sain - B3)	8A BLEU	8 (sain - B1)	31B NOIR
	67A BLEU		38B NOIR
	93A JAUNE		81B NOIR
	96A JAUNE		86B NOIR
	82A JAUNE		97B NOIR
	92A JAUNE		79B NOIR
83A JAUNE	87B NOIR		
89A JAUNE	84B NOIR		

### ✓ Evaluation

L'essai de détermination de la résistance à la délamination a été réalisé selon la norme EN 14080, annexe C, méthode B.

Les éprouvettes de bois lamellé collé ont été soumises à un cycle d'injection d'eau / séchage conduisant au gonflement / retrait du bois dont découlent des contraintes différentielles au niveau des plans de collage pouvant conduire à leur ouverture, appelée délamination.

A l'issue du cycle de délamination représenté (Figure 12), les délaminations observables en bois de bout sont mesurées et le résultat est exprimé sous forme de pourcentage de délamination par rapport à la longueur totale des joints de colle :

$$D_{totale} = \frac{l_{totale,délam}}{l_{totale,joints}} \cdot 100 (\%)$$

Les résultats d'essais sont reportés dans le tableau ci dessous.

**Tableau 2 : résultats d'essais de délamination selon la norme NF EN 14080, annexe C, méthode B**

Poutre	4 sain B3	8 sain B1	3 scolyte frais B3	5 scolyte frais B1	2 scolyte vieux B3	7 scolyte vieux B1	1 sec B3	6 sec B1
D <sub>totale</sub> (%)	0,0	0,4	0,0	3,7	0,0	0,3	0,2	1,3

#### 4.4.3 Conclusion des essais de collage

Les résultats d'essais sont conformes aux exigences de la norme NF EN 14080, soit :

*D<sub>tot</sub> ≤ 4 % après 1 cycle de délamination*

Par ailleurs, aucune influence significative du degré d'attaque de scolytes sur la qualité du collage n'a été mise en évidence si ce n'est la position du sciage par rapport au pied de l'arbre.

*NB : le pourcentage de délamination de l'éprouvette 5 est certes légèrement supérieur à celui des autres éprouvettes mais reste considéré comme faible et révélateur d'une bonne qualité de collage.*

Ces résultats d'essais ne sont valables que pour la référence commerciale de colle MUF testée. Ils laissent présumer de la bonne aptitude au collage des bois d'épicéa scolytés, en particulier par les colles MUF (80% du marché des adhésifs bois), mais ne peuvent être extrapolés sans précautions.

Il conviendra donc d'encadrer le collage de ces bois sur lesquels nous manquons encore de retour d'expérience par des essais de contrôle internes de production accrus.

## 4.5 Impact de l'attaque de scolytes sur la tenue des finitions

Le but de l'expérimentation suivante est de quantifier l'impact des attaques de scolytes sur les épiceas sur la qualité d'adhésion d'une finition. Pour cela, deux tests physico-mécaniques ont été utilisés :

- le pendule Persoz :
  - test considéré comme non destructif
- le Positest :
  - test considéré comme destructif

Pour chaque méthode, un lot de 40 éprouvettes a été préparé sachant que la moitié des éprouvettes sera mise en vieillissement accéléré selon le cycle QUV NF EN 927-6 pendant 3 semaines. Ainsi, l'analyse de la cohésion du film de finition sera interprétée avant et après exposition du film.

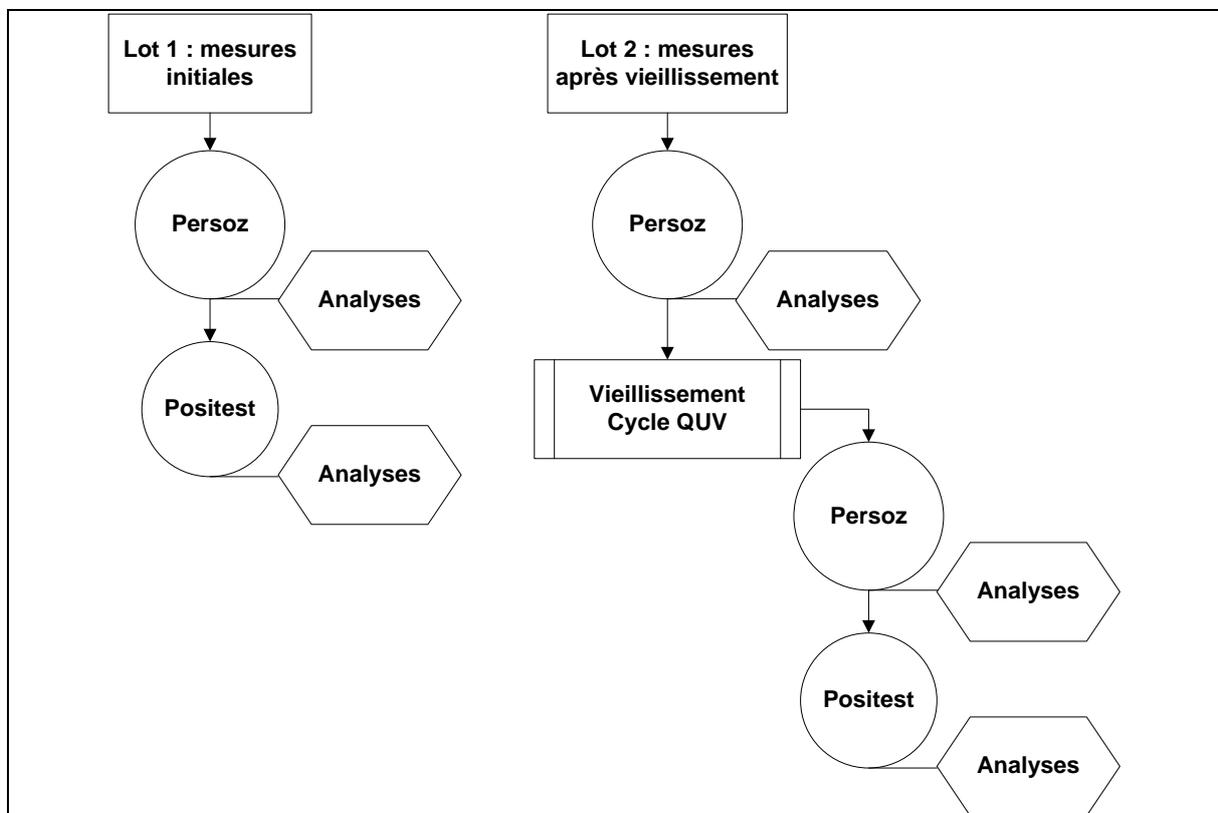


Figure 15: logigramme des essais mis en place

### 4.5.1 Préparation des éprouvettes pour caractériser la tenue des finitions

La préparation des éprouvettes en vue d'une mesure de la performance d'adhésion 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 la répétabilité des essais d'adhérence.

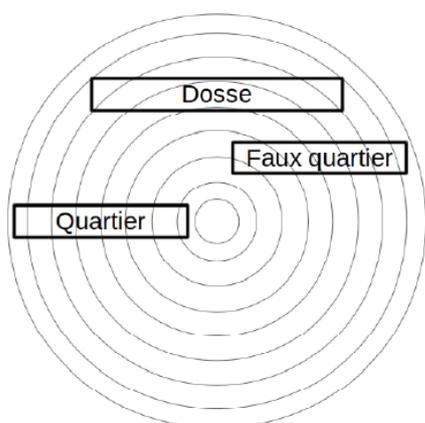
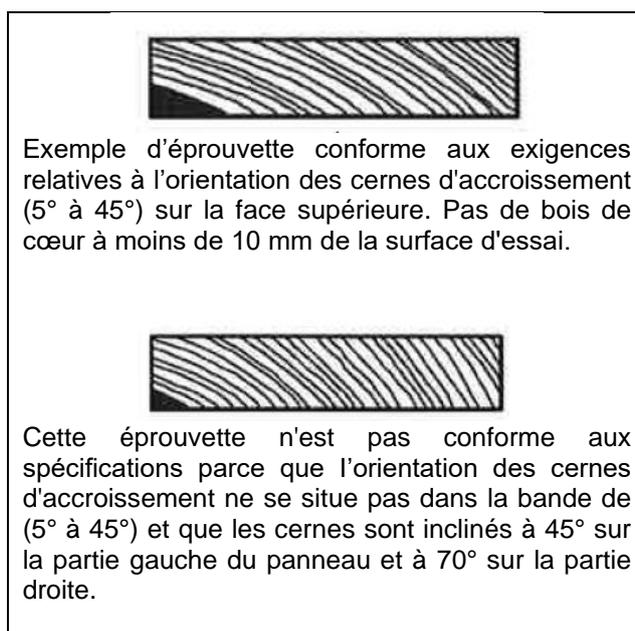


Figure 16 : Schéma de débit de planches dans une grume avec la représentation du type de sciage obtenu.



Exemple d'éprouvette conforme aux exigences relatives à l'orientation des cernes d'accroissement (5° à 45°) sur la face supérieure. Pas de bois de cœur à moins de 10 mm de la surface d'essai.

Cette éprouvette n'est pas conforme aux spécifications parce que l'orientation des cernes d'accroissement ne se situe pas dans la bande de (5° à 45°) et que les cernes sont inclinés à 45° sur la partie gauche du panneau et à 70° sur la partie droite.

Figure 17 : Schéma de débits des éprouvettes préconisées par la norme EN 927-6.

Comme ces éprouvettes sont débitées à partir des sciages sélectionnés pour l'étude du séchage, la sélection n'a pas toujours été aisée. Seules 22 planches (provenant des 4 classes d'infestation) ont été sélectionnées. Chaque planche a permis le débit d'éprouvettes à tester (soit 234 éprouvettes EN 927-6 au total).

Tableau 31 : description des sciages retenus pour l'étude de la tenue d'une finition

Etat des bois / position du billon	Nombre d'éprouvette	MV moyenne
<b>1 Jaune - Sain</b>	<b>87</b>	<b>442</b>
1 Noir - billon 1	54	442
2 Rose - billon 2	22	438
3 Blanc - billon 3	11	451
<b>2 Bleu - scolytes frais</b>	<b>49</b>	<b>468</b>
1 Noir - billon 1	10	406
2 Rose - billon 2	7	473
3 Blanc - billon 3	11	490
4 Orange - billon 4	21	484
<b>3 Vert - scolytes vieux</b>	<b>53</b>	<b>445</b>
1 Noir - billon 1	33	426
3 Blanc - billon 3	20	477
<b>4 Rouge - sec</b>	<b>45</b>	<b>431</b>
1 Noir - billon 1	45	431
<b>Total général</b>	<b>234</b>	<b>446</b>

Nous avons surtout privilégié la sélection des éprouvettes au niveau des sciages issus du 1<sup>er</sup> billon. Les éprouvettes bleues et celles contenant des nœuds ou piqures n'ont pas été prises pour la suite des essais.

Pour parfaire le plan d'expérience en fonction des éprouvettes représentatives de l'état d'infestation et de la position des billons, nous avons figé la sélection des 40 éprouvettes à revêtir comme suit.

**Tableau 4 : description des éprouvettes issues des sciages retenus pour l'étude de la tenue d'une finition**

Tests	Attaque	Billon	Nombre éprouvettes	MV moyenne	CV
<b>Persoz + positest</b>			<b>20</b>	<b>442</b>	<b>6,3%</b>
	1 Jaune – Sain	1 Noir - billon 1	4	425	2,5%
	2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	4	480	1,3%
	3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	4	421	0,4%
		3 Blanc - billon 3	4	468	1,5%
	4 Rouge – sec	1 Noir - billon 1	4	417	0,3%
<b>QUV + persoz + positest</b>			<b>20</b>	<b>444</b>	<b>6,4%</b>
	1 Jaune – Sain	1 Noir - billon 1	4	427	2,7%
	2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	4	483	1,4%
	3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	4	422	0,2%
		3 Blanc - billon 3	4	470	1,7%
	4 Rouge – sec	1 Noir - billon 1	4	418	0,5%
Total général			40	443	6,2%

Il n'y a pas de différence significative de la MV des éprouvettes par type d'attaques.

Une finition de référence a été appliquée en 2 couches sur toutes les faces, le grammage total a été mesuré.

**Tableau 52 : grammage total appliqué sur les éprouvettes**

Type d'attaque	N	Grammage total (g/m <sup>2</sup> )	
		Moyenne	Coef Var
1 Jaune – Sain	8	182,4	10,0
2 Bleu - scolytes frais	8	174,4	10,4
3 Vert - scolytes vieux	16	171,0	8,5
4 Rouge - sec	8	194,9	4,2
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>178,8</b>	<b>9,6</b>

La variabilité du grammage est illustrée dans la figure suivante où nous pouvons constater qu'il y a un grammage plus fort au niveau des éprouvettes provenant des sciages d'épicéas (arbre sec sur pied).

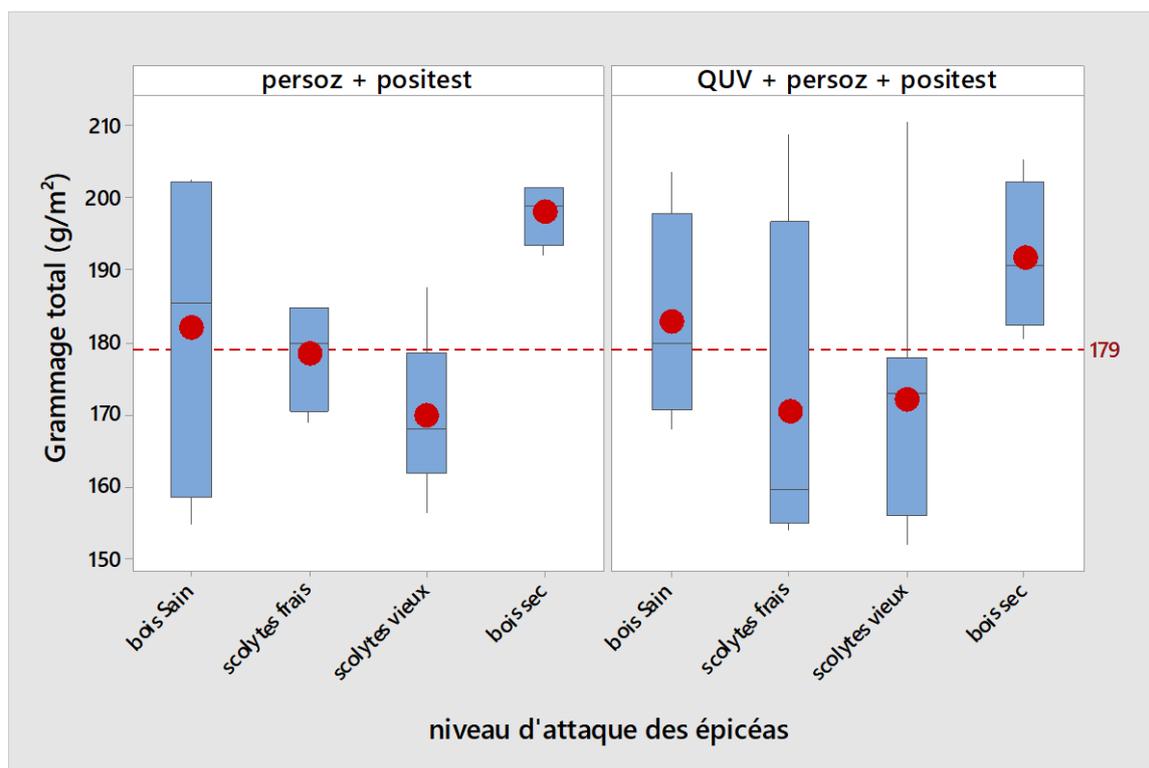


Figure 18 : distribution du grammage total d'une finition appliquée sur les éprouvettes (l'étendue de la boîte représente 50% de la distribution)

C'est pourquoi, nous avons analysé le grammage selon le nombre de couche appliquée. La 1<sup>ère</sup> couche a été diluée à 10% avec de l'eau selon les recommandations du fabricant.

Tableau 6 : grammage de la 1<sup>ère</sup> couche appliquée sur les éprouvettes

Type d'attaque	N	Grammage 1 <sup>ère</sup> couche (g/m <sup>2</sup> )	
		Moyenne	Coef Var
1 Jaune – Sain	8	55,8	9,5
2 Bleu - scolytes frais	8	54,6	12,4
3 Vert - scolytes vieux	16	54,3	9,6
4 Rouge - sec	8	57,3	6,0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>55,3</b>	<b>9,4</b>

Il n'y a pas de différence significative du grammage de la 1<sup>ère</sup> couche selon le type d'attaque. La finition 1<sup>ère</sup> couche a été ensuite égrenée avant l'application de la 2<sup>ème</sup> couche.

Tableau 7 : grammage de la 2<sup>ème</sup> couche appliquée sur les éprouvettes

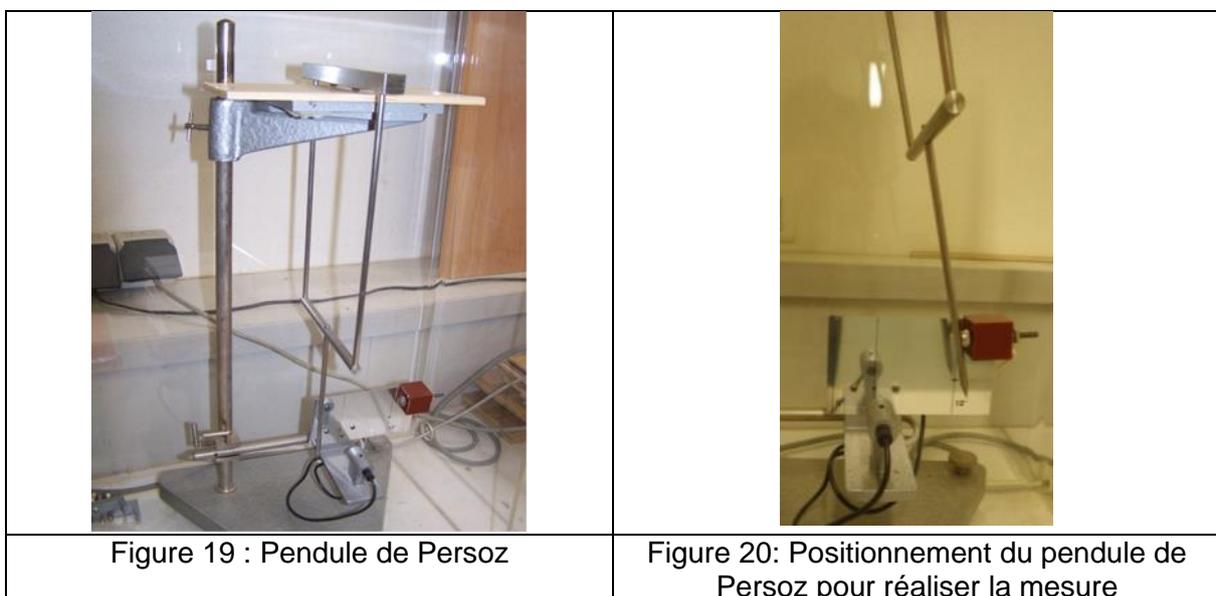
Type d'attaque	N	Grammage 2 <sup>ème</sup> couche (g/m <sup>2</sup> )	
		Moyenne	Coef Var
1 Jaune – Sain	8	126,7	12,2
2 Bleu - scolytes frais	8	119,9	13,1
3 Vert - scolytes vieux	16	116,7	11,3
4 Rouge - sec	8	137,6	5,9
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>123,5</b>	<b>12,3</b>

Il a été relevé une différence significative du grammage 2<sup>ème</sup> couche entre les bois (scolytés vieux et secs) et les bois sains ou faiblement attaqués.

#### 4.5.2 Description des essais physico-mécaniques

##### ✓ Le pendule Persoz

La méthode pendulaire consiste à déterminer la durée d'oscillation d'un pendule reposant par l'intermédiaire de deux billes sur la surface à tester. La dureté pendulaire est exprimée en termes d'oscillations du pendule pour atteindre une diminution d'amplitude fixée. La durée est d'autant plus faible que l'enfoncement de la bille est important. Ce dispositif simple permet une mesure non destructive et rapide de la dureté de la finition via l'amortissement des oscillations du pendule. Le pendule de Persoz est constitué d'un cadre que l'on pose sur le revêtement à tester.



Ce cadre est constitué de deux billes en carbure de tungstène de  $(8 \pm 0.005)$  mm de diamètre, distantes de  $(50 \pm 1)$  mm qui reposent sur le revêtement. Ces billes permettent au pendule d'osciller sur le revêtement. Le temps d'amortissement est mesuré à l'aide d'un chronomètre. La méthode d'essai s'appuie sur la norme EN ISO 1522 (2007) « Peintures et vernis - Essai d'amortissement du pendule ». Dans l'étude, les finitions étant destinées à protéger le bois, les mesures sont réalisées directement sur des échantillons de bois revêtus de finition et non pas sur plaques de verre comme le préconise la norme. L'étalonnage du pendule se fait sur verre, sur lequel l'amortissement est de  $(430 \pm 15)$  s. L'éprouvette à tester est placée sur un support. Lorsque le pendule est vertical et stable, il doit correspondre avec l'angle  $0^\circ$  indiqué sur l'échelle. Le pendule est ensuite orienté pour être en position de  $12^\circ$  (position repérée sur l'échelle et représenté sur la Figure 20). L'actionnement d'un électro-aimant permet de le maintenir à cette position de  $12^\circ$ . Le temps d'amortissement est ensuite détecté par un capteur de mouvement et correspond au temps d'amortissement entre  $12^\circ$  à  $4^\circ$ . La dureté dite de Persoz est exprimée en secondes.

##### ✓ Le Positest

Le positest mesure la force nécessaire à l'arrachement d'une pastille de diamètre connu collée sur le revêtement (finition) à tester sur un substrat. L'appareil utilise une pompe hydraulique manuelle qui permet d'appliquer une force constante et continue en un seul mouvement.



Figure 21: vue d'ensemble du matériel positest

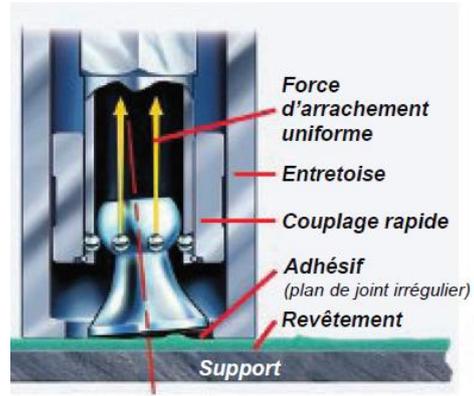


Figure 22: détail de la force d'arrachement des plots lors d'un test positest

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.



Figure 23: collage des plots pour test positest



Figure 24: ébavurage de la colle autour des plots pour test positest

Une codification des faciès de rupture est nécessaire, elle a été établie comme suit :

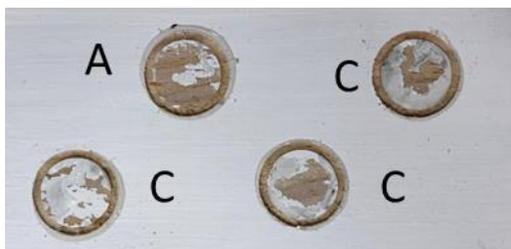


Figure 25: exemple des faciès de rupture du film de finition lors du test Positest

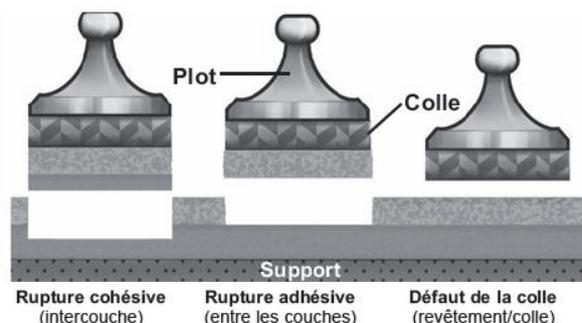


Figure 26: codification des faciès lors des tests positest (A adhésive ; C cohésive , D défaut de collage)

✓ **Le vieillissement au QUV<sup>3</sup>**

Un lot de 20 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 type 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 3 : Cycles QUV d'exposition (cas d'une semaine)**

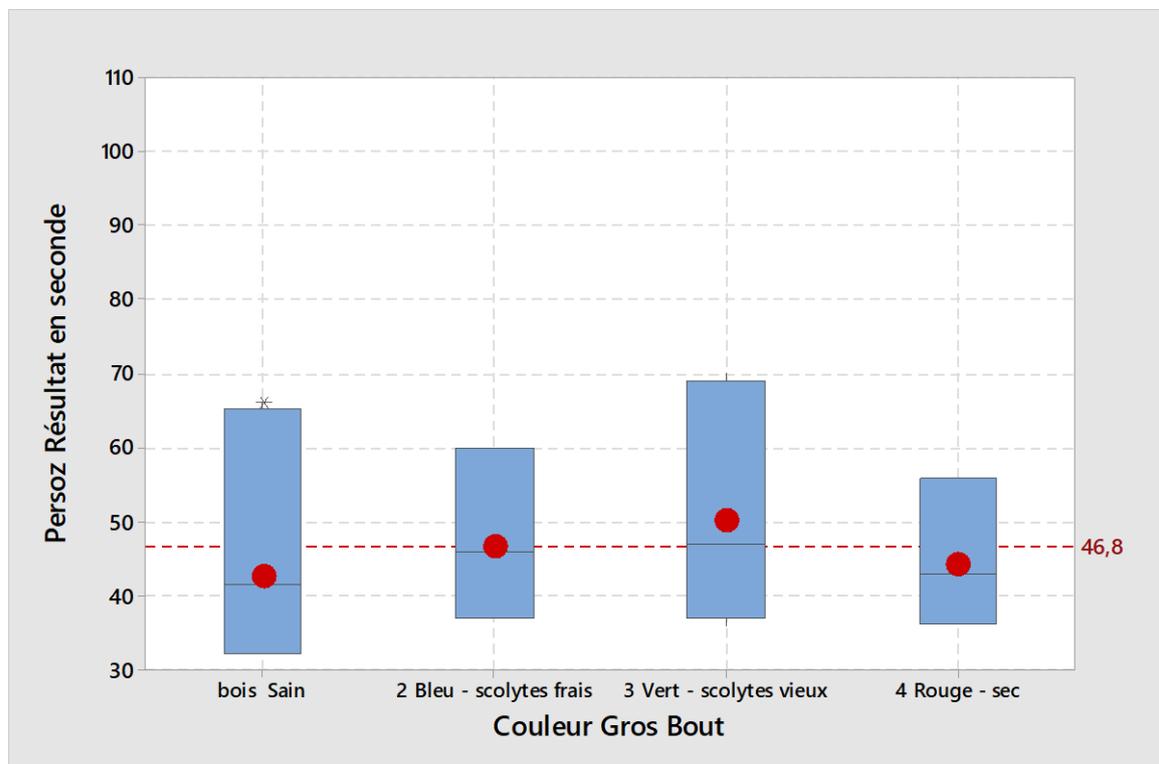
Étape	Fonction	Température	Durée	Condition
1	Condensation	45 +/- 3°C	24 h	
2	Étape de sous-cycle 3+4		144 h consistant en 48 cycles de 3 h constitués des étapes 3 et 4	
3	UV	60 +/- 3°C	2,5 h	point de réglage de l'éclairage énergétique 0,89W/(m <sup>2</sup> nm) à 340 nm
4	Pulvérisation		0,5 h	6l/min à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

**4.5.3 Résultats des tests de tenue des finitions sur les épiceás**

✓ **Etat initial du film**

*Mesure Persoz à l'initial*

Il y a une différence significative du temps Persoz entre les bois (scolytés vieux et sains) et les bois faiblement attaqués voire secs.



**Figure 27: distribution des résultats PERSOZ selon la technique des boîtes à moustache (étendue de la boîte à 95%)**

<sup>3</sup> L'enceinte de vieillissement accéléré QUV (Accelerated Weathering Tester) reproduit les dégradations naturelles causées par le soleil, l'humidité et la pluie.

### Mesure Positest initial

Il y a une différence significative entre la contrainte d'arrachement du film sur bois secs avec les autres types d'attaques. Cette différence peut être due au grammage plus fort sur les bois secs.

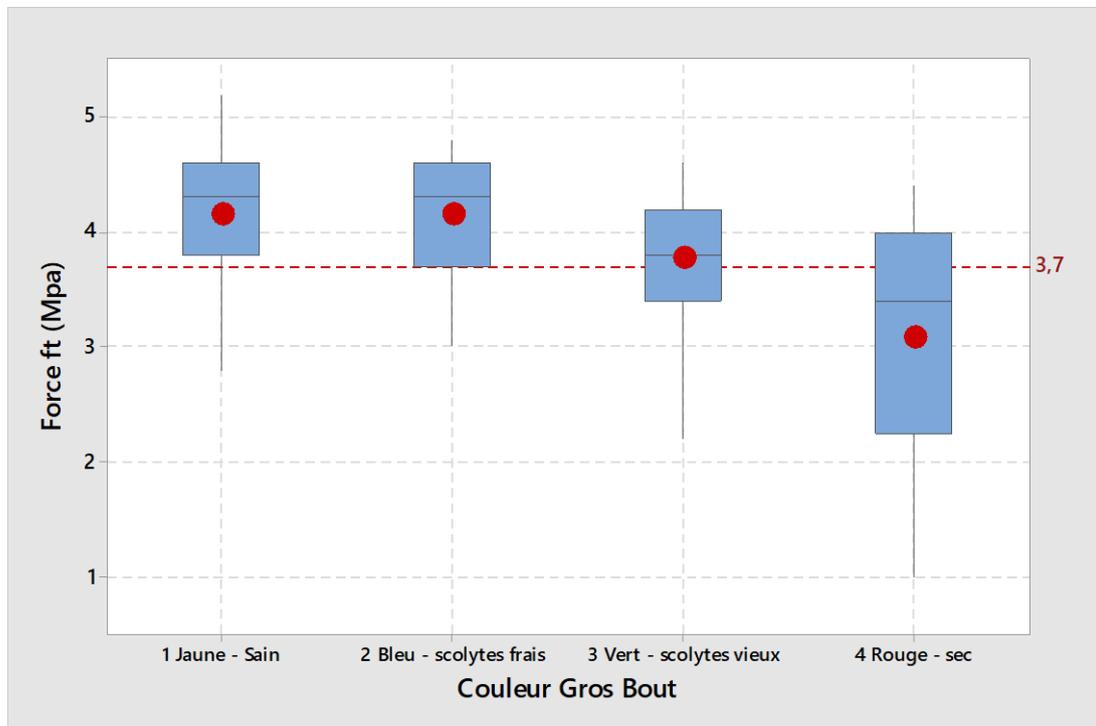


Figure 28: distribution des résultats POSITEST (initial) selon la technique des boîtes à moustache (étendue de la boîte à 50%)

### ✓ Après dégradation QUV du film

#### Mesure Persoz

On retrouve les mêmes valeurs de Persoz avant vieillissement que celles mesurées à l'initial. L'augmentation des valeurs Persoz après vieillissement montre que la finition a bien été endommagée par le cycle QUV.

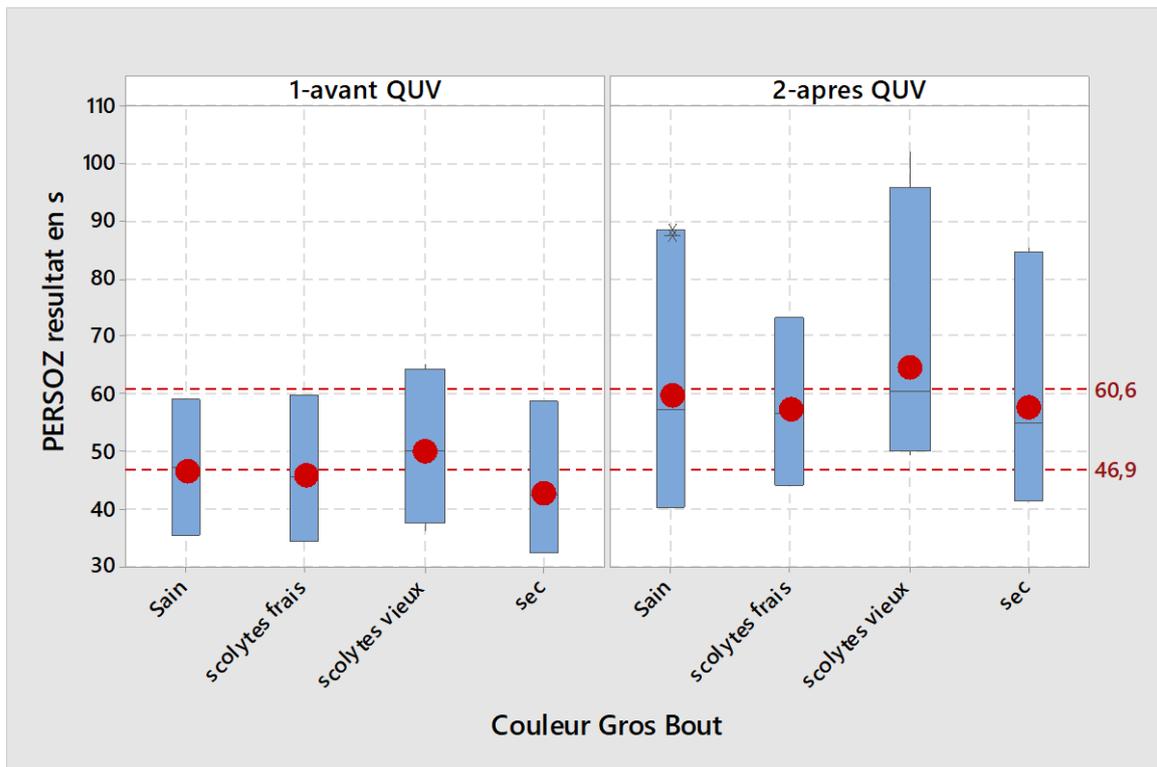


Figure 29: distribution des résultats PERSOZ selon la technique des boîtes à moustache (étendue de la boîte à 95%)

Il est à noter une différence significative des valeurs de Persoz entre les bois scolytés vieux et les autres types d'attaques, probablement due au plus grand nombre de valeurs mesurées pour ce type d'attaque (largeur de la boîte).

C'est pourquoi, nous avons regardé les facteurs d'influence des valeurs moyennes.

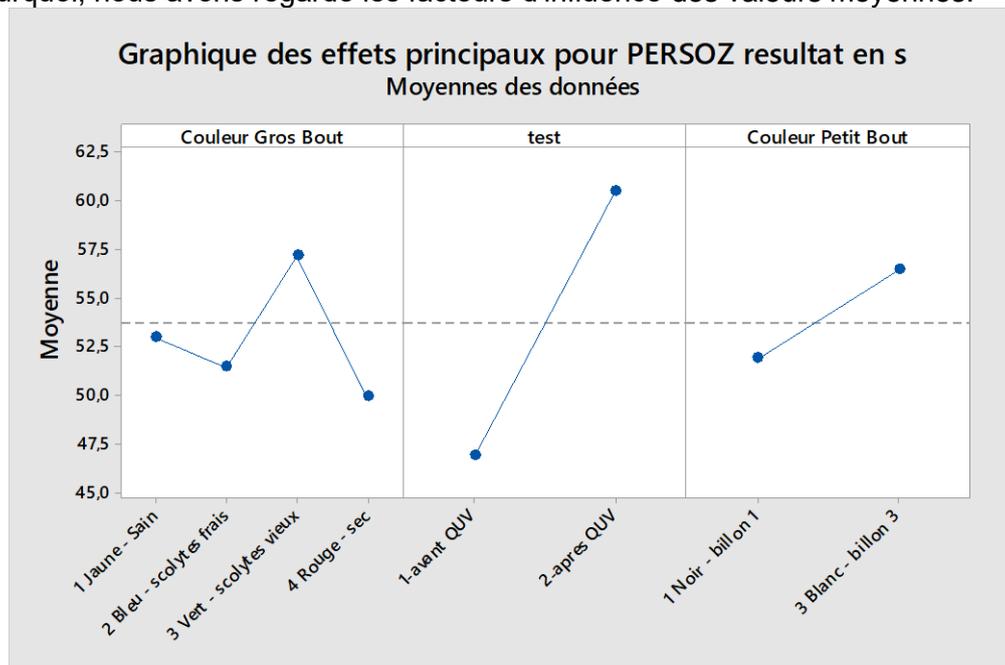


Figure 30 : impact des grandeurs d'influence sur les mesures PERSOZ

### Mesure Positest après QUV

On constate que la peinture « adhère » mieux sur les bois après vieillissement probablement dû à l'apparition de micro-fentes ou la transformation chimique de la finition face aux UV. On passe d'une valeur moyenne de 3,7 à 4,04 MPa, soit 8 % d'augmentation.

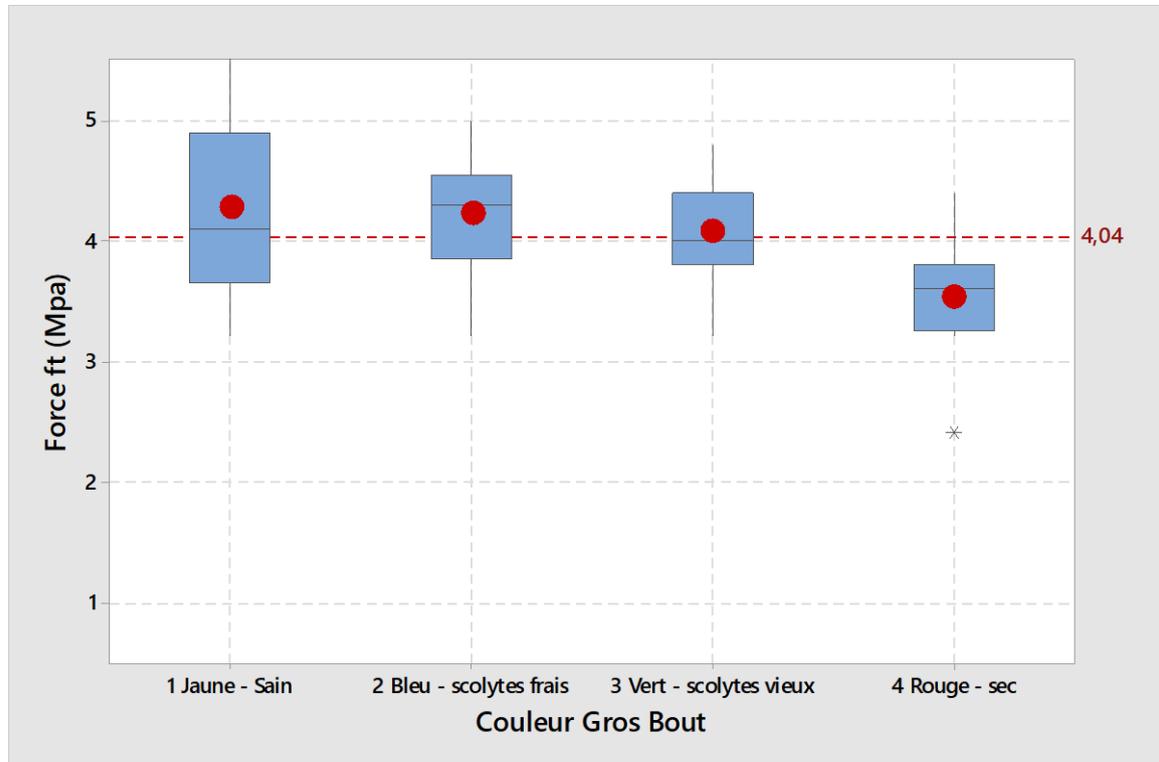


Figure 31: distribution des résultats POSITEST (après vieillissement) selon la technique des boîtes à moustache (étendue de la boîte à 50%)

En revanche, on observe exactement les mêmes tendances entre le test Positest initial et celui effectué après le cycle de vieillissement des finitions.

« La perte de la contrainte » pour les bois attaqués (statistiquement différents à 95%) est peut-être due uniquement à un grammage plus fort. L'analyse en fonction de la position du billon au sein de l'arbre ne montre pas de différence.

#### 4.5.4 Conclusions sur les essais de finitions

L'attaque des épicéas par les scolytes n'a pas de conséquence sur la tenue des finitions si ce n'est que les sciages issus des arbres séchés sur pied présentent une plus forte proportion à absorber les produits aqueux.

A rendu équivalent, le grammage y est bien plus élevé avec pour conséquence un temps d'application et une quantité de produit plus importants mais sans conséquence sur la tenue de la finition au cours du temps..

## 5. Conclusion générale

L'étude conduite ici avait pour but de détecter les freins possibles à l'utilisation d'épicéas scolytés et de permettre d'orienter leur utilisation en construction. Les essais conduits présentés ici concernent à la fois des aspects procédés (sciage, séchage) et produits (collage BLC, finitions).

L'impact le plus important de l'attaque de scolyte que nous avons pu mesurer sur le lot de bois testé concerne l'aptitude au sciage, avec un rendement matière affecté du fait du déclassement d'une partie des bois scolytés et d'autant plus fort que l'attaque est prononcée sur les arbres.

Des différences de comportement aux finitions ont pu être observées également sur les bois scolytés « secs », mais ces différences peuvent certainement être corrigées par une adaptation du procédé d'application des finitions, et ne peuvent pas être considérées comme un frein majeur à la valorisation de ces bois.

Les aspects séchage et collage, qui sont très liés en termes de succession dans la chaîne de transformation n'ont pas mis en avant de différence notable entre les bois sains et scolytés qu'importe le niveau d'attaque.

Nous pouvons ainsi conclure qu'aucun élément de nature à remettre en cause l'utilisation de bois scolytés pour les usages précités n'est apparu, et que le traitement de ces bois présente uniquement une différence en ce qui concerne la rentabilité du procédé de sciage.

Il est donc souhaitable de favoriser l'utilisation de bois scolytés en construction pour mobiliser « rapidement » cette ressource avant que des dégradations plus importantes ne se produisent sur des bois non-exploités.

Devant les enjeux sanitaires majeurs liés au changement climatique que la forêt traverse (et va traverser), il est primordial d'étudier le comportement de la ressource forestière et du bois qu'elle produit pour rassurer les utilisateurs sur les produits qui en sont issus et orienter la ressource vers les meilleurs usages à plus haute valeur ajoutée.

## Annexe 1 : Cubage des billons sciés

Niveau attaque scolyte	N° arbre	N° billon	Longueur (m)	Diamètre médian sur écorce (cm)	Volume sur écorce (m3)	Volume moyen par billon
Sain	1	1	4,5	48	0,814	
Sain	1	2	4,5	43	0,653	
Sain	1	3	4,5	38	0,510	
Sain	1	4	4,5	32	0,362	
Sain	2	1	4,5	45	0,716	
Sain	2	2	4,5	40	0,565	
Sain	2	3	4,5	34	0,409	
Sain	2	4	4,5	28	0,277	
<b>Total Sain</b>					<b>4,307</b>	<b>0,538</b>
Scolyté frais	1	1	4,5	44	0,684	
Scolyté frais	1	2	4,5	40	0,565	
Scolyté frais	1	3	4,5	37	0,484	
Scolyté frais	1	4	4,5	32	0,362	
Scolyté frais	2	1	4,5	48	0,814	
Scolyté frais	2	2	4,5	44	0,684	
Scolyté frais	2	3	4	39	0,478	
Scolyté frais	2	4	4	33	0,342	
<b>Total Scolyté frais</b>					<b>4,414</b>	<b>0,552</b>
Scolyté vieux	1	1	4,5	40	0,565	
Scolyté vieux	1	2	4,5	35	0,433	
Scolyté vieux	1	3	4	31	0,302	
Scolyté vieux	1	4	2,5	27	0,143	
Scolyté vieux	2	1	4	47	0,694	
Scolyté vieux	2	2	4	44	0,608	
Scolyté vieux	2	3	4	39	0,478	
Scolyté vieux	2	4	4	33	0,342	
<b>Total Scolyté vieux</b>					<b>3,566</b>	<b>0,446</b>
Sec	1	1	4,5	45	0,716	
Sec	1	2	4,5	40	0,565	
Sec	1	3	4,5	35	0,433	
Sec	1	4	4,5	30	0,318	
Sec	2	1	4	47	0,694	
Sec	2	2	4	40	0,503	
Sec	2	3	4	37	0,430	
Sec	2	4	4	32	0,322	
Sec	2	5	4	26	0,212	
Sec	3	1	4,5	44	0,684	
Sec	3	2	4	41	0,528	
Sec	3	3	4	36	0,407	

Niveau attaque scolyte	N° arbre	N° billon	Longueur (m)	Diamètre médian sur écorce (cm)	Volume sur écorce (m3)	Volume moyen par billon
Sec	3	4	4	32	0,322	
<b>Total Sec</b>					<b>6,134</b>	<b>0,472</b>
<b>Total général</b>					<b>18,421</b>	<b>0,498</b>

## ANNEXE 2 : Mesures des sciages obtenus

Niveau scolyte	Qualité sciage	largeur (mm)	épaisseur (mm)	longueur (m)	N° billon	Nombre	Volume (m3)
Sain	C18	160	38	4,5	1	21	0,575
Sain	C18	160	27	4,5	1	2	0,039
Sain	C18	63	38	4,5	1	13	0,140
Sain	<b>Total C18</b>						0,753
Sain	2	38	38	4,5	1	4	0,026
Sain	<b>Total 2</b>						0,026
Sain	3	160	38	4,5	1	6	0,164
Sain	<b>Total 3</b>						0,164
Sain					<b>Total 1</b>		0,944
Sain	C18	160	38	4,5	2	14	0,383
Sain	C18	160	27	4,5	2	3	0,058
Sain	C18	63	38	4,5	2	8	0,086
Sain	<b>Total C18</b>						0,528
Sain	2	38	38	4,5	2	6	0,039
Sain	<b>Total 2</b>						0,039
Sain	3	160	38	4,5	2	7	0,192
Sain	<b>Total 3</b>						0,192
Sain					<b>Total 2</b>		0,758
Sain	C18	160	38	4,5	3	18	0,492
Sain	C18	160	38	4	3	1	0,024
Sain	C18	100	27	4	3	2	0,022
Sain	C18	63	38	4,5	3	4	0,043
Sain	C18	63	38	4	3	1	0,010
Sain	C18	63	38	3	3	1	0,007
Sain	<b>Total C18</b>						0,598
Sain	2	38	38	4,5	3	6	0,039
Sain	<b>Total 2</b>						0,039
Sain	3	160	38	4,5	3	2	0,055
Sain	3	75	27	4	3	5	0,041
Sain	3	75	27	3,5	3	5	0,035
Sain	3	75	27	3	3	3	0,018
Sain	<b>Total 3</b>						0,149
Sain					<b>Total 3</b>		0,786
Sain	C18	160	38	4,5	4	8	0,219
Sain	C18	63	38	4,5	4	2	0,022
Sain	<b>Total C18</b>						0,240
Sain	2	38	38	4,5	4	1	0,006
Sain	<b>Total 2</b>						0,006
Sain					<b>Total 4</b>		0,247
<b>Total Sain</b>							2,735

Niveau scolyte	Qualité sciage	largeur (mm)	épaisseur (mm)	longueur (m)	N° billon	Nombre	Volume (m3)
Scolyté frais	C18	160	38	4,5	1	21	0,575
Scolyté frais	C18	63	38	4,5	1	10	0,108
Scolyté frais	<b>Total C18</b>						0,682
Scolyté frais	2	38	38	4,5	1	4	0,026
Scolyté frais	<b>Total 2</b>						0,026
Scolyté frais	3	160	38	4,5	1	6	0,164
Scolyté frais	3	75	27	4,5	1	1	0,009
Scolyté frais	<b>Total 3</b>						0,173
Scolyté frais					<b>Total 1</b>		0,882
Scolyté frais	C18	160	38	4,5	2	17	0,465
Scolyté frais	C18	160	27	4,5	2	1	0,019
Scolyté frais	C18	63	38	4,5	2	7	0,075
Scolyté frais	<b>Total C18</b>						0,560
Scolyté frais	2	100	27	4,5	2	1	0,012
Scolyté frais	2	38	38	4,5	2	6	0,039
Scolyté frais	<b>Total 2</b>						0,051
Scolyté frais	3	160	38	4,5	2	3	0,082
Scolyté frais	3	160	27	4,5	2	1	0,019
Scolyté frais	3	75	27	4,5	2	1	0,009
Scolyté frais	3	75	27	3,5	2	1	0,007
Scolyté frais	<b>Total 3</b>						0,118
Scolyté frais					<b>Total 2</b>		0,729
Scolyté frais	C18	160	38	4,5	3	7	0,192
Scolyté frais	C18	160	38	4	3	7	0,170
Scolyté frais	C18	160	27	4	3	1	0,017
Scolyté frais	C18	160	27	4	3	1	0,017
Scolyté frais	C18	160	27	3,5	3	1	0,015
Scolyté frais	C18	160	27	3	3	1	0,013
Scolyté frais	C18	63	38	4	3	3	0,029
Scolyté frais	C18	63	38	3,5	3	1	0,008
Scolyté frais	C18	63	38	3	3	2	0,014
Scolyté frais	C18	63	38	2	3	1	0,005
Scolyté frais	<b>Total C18</b>						0,481
Scolyté frais	2	75	27	3,5	3	1	0,007
Scolyté frais	2	38	38	4	3	11	0,064
Scolyté frais	<b>Total 2</b>						0,071
Scolyté frais	3	160	38	4,5	3	1	0,027
Scolyté frais	3	160	27	4	3	1	0,017
Scolyté frais	3	100	27	3,5	3	1	0,009
Scolyté frais	3	100	27	3	3	1	0,008
Scolyté frais	3	75	27	4	3	2	0,016
Scolyté frais	3	75	27	3,5	3	1	0,007

Niveau scolyte	Qualité sciage	largeur (mm)	épaisseur (mm)	longueur (m)	N° billon	Nombre	Volume (m3)
Scolyté frais	3	75	27	3	3	2	0,012
Scolyté frais	3	75	27	3	3	1	0,006
Scolyté frais	<b>Total 3</b>						0,104
Scolyté frais					<b>Total 3</b>		0,655
Scolyté frais	C18	160	38	4,5	4	5	0,137
Scolyté frais	C18	160	38	4	4	5	0,122
Scolyté frais	C18	63	38	4,5	4	1	0,011
Scolyté frais	<b>Total C18</b>						0,269
Scolyté frais	2	100	27	4	4	1	0,011
Scolyté frais	<b>Total 2</b>						0,011
Scolyté frais	3	160	38	4	4	1	0,024
Scolyté frais	3	75	27	4	4	1	0,008
Scolyté frais	<b>Total 3</b>						0,032
Scolyté frais					<b>Total 4</b>		0,312
<b>Total Scolyté frais</b>							2,578
Scolyté vieux	C18	160	38	4,5	1	8	0,219
Scolyté vieux	C18	160	38	4	1	14	0,340
Scolyté vieux	C18	63	38	4	1	2	0,019
Scolyté vieux	<b>Total C18</b>						0,579
Scolyté vieux	2	38	38	4,5	1	2	0,013
Scolyté vieux	<b>Total 2</b>						0,013
Scolyté vieux	3	160	38	4,5	1	1	0,027
Scolyté vieux	3	100	27	4	1	1	0,011
Scolyté vieux	3	75	27	4	1	3	0,024
Scolyté vieux	<b>Total 3</b>						0,062
Scolyté vieux					<b>Total 1</b>		0,654
Scolyté vieux	C18	160	38	4,5	2	6	0,164
Scolyté vieux	C18	160	38	4	2	8	0,195
Scolyté vieux	C18	160	27	4	2	2	0,035
Scolyté vieux	C18	160	27	3,5	2	1	0,015
Scolyté vieux	C18	63	38	4,5	2	2	0,022
Scolyté vieux	C18	63	38	4	2	6	0,057
Scolyté vieux	<b>Total C18</b>						0,487
Scolyté vieux	2	38	38	4,5	2	1	0,006
Scolyté vieux	2	38	38	4	2	1	0,006
Scolyté vieux	<b>Total 2</b>						0,012
Scolyté vieux	3	160	38	4,5	2	1	0,027
Scolyté vieux	3	160	38	4	2	1	0,024
Scolyté vieux	<b>Total 3</b>						0,052
Scolyté vieux					<b>Total 2</b>		0,551
Scolyté vieux	C18	160	38	4	3	14	0,340
Scolyté vieux	C18	160	27	4	3	1	0,017

Niveau scolyte	Qualité sciage	largeur (mm)	épaisseur (mm)	longueur (m)	N° billon	Nombre	Volume (m3)
Scolyté vieux	C18	63	38	4,5	3	1	0,011
Scolyté vieux	C18	63	38	4	3	4	0,038
Scolyté vieux	C18	63	38	3,5	3	4	0,034
Scolyté vieux	<b>Total C18</b>						0,440
Scolyté vieux	2	150	27	4	3	1	0,016
Scolyté vieux	2	38	38	4	3	1	0,006
Scolyté vieux	2	38	38	4	3	5	0,029
Scolyté vieux	<b>Total 2</b>						0,051
Scolyté vieux	3	160	38	4	3	1	0,024
Scolyté vieux	3	100	27	4	3	3	0,032
Scolyté vieux	3	100	27	3,5	3	1	0,009
Scolyté vieux	3	75	27	3,5	3	2	0,014
Scolyté vieux	<b>Total 3</b>						0,080
Scolyté vieux					<b>Total 3</b>		0,572
Scolyté vieux	C18	160	38	4	4	3	0,073
Scolyté vieux	C18	160	38	2,5	4	4	0,061
Scolyté vieux	C18	160	27	2	4	1	0,009
Scolyté vieux	<b>Total C18</b>						0,142
Scolyté vieux	2	38	38	4	4	2	0,012
Scolyté vieux	<b>Total 2</b>						0,012
Scolyté vieux	3	160	38	4	4	2	0,049
Scolyté vieux	3	100	27	4	4	1	0,011
Scolyté vieux	3	75	27	4	4	1	0,008
Scolyté vieux	3	75	27	2,8	4	4	0,023
Scolyté vieux	<b>Total 3</b>						0,090
Scolyté vieux					<b>Total 4</b>		0,244
<b>Total Scolyté vieux</b>							2,021
Sec	C18	160	38	4,5	1	23	0,629
Sec	C18	160	38	4	1	8	0,195
Sec	C18	63	38	4,5	1	7	0,075
Sec	C18	63	38	4	1	6	0,057
Sec	<b>Total C18</b>						0,957
Sec	2	38	38	4,5	1	1	0,006
Sec	2	38	38	4,5	1	2	0,013
Sec	<b>Total 2</b>						0,019
Sec	3	160	38	4,5	1	3	0,082
Sec	3	160	38	4	1	5	0,122
Sec	3	100	27	4	1	1	0,011
Sec	<b>Total 3</b>						0,214
Sec					<b>Total 1</b>		1,191
Sec	C18	160	38	4,5	2	8	0,219
Sec	C18	160	38	4	2	15	0,365

Niveau scolyte	Qualité sciage	largeur (mm)	épaisseur (mm)	longueur (m)	N° billon	Nombre	Volume (m3)
Sec	C18	160	27	4	2	1	0,017
Sec	C18	160	27	4	2	1	0,017
Sec	C18	63	38	4,5	2	1	0,011
Sec	C18	63	38	4	2	5	0,048
Sec	<b>Total C18</b>						0,677
Sec	2	38	38	4	2	3	0,017
Sec	2	38	38	4	2	2	0,012
Sec	<b>Total 2</b>						0,029
Sec	3	160	38	4,5	2	2	0,055
Sec	3	160	38	4	2	5	0,122
Sec	3	100	27	4	2	1	0,011
Sec	3	75	27	4	2	1	0,008
Sec	<b>Total 3</b>						0,195
Sec					<b>Total 2</b>		0,901
Sec	C18	160	38	4,5	3	5	0,137
Sec	C18	160	38	4	3	10	0,243
Sec	C18	160	27	4	3	3	0,052
Sec	C18	160	27	4	3	1	0,017
Sec	C18	160	27	2	3	1	0,009
Sec	C18	63	38	4,5	3	1	0,011
Sec	<b>Total C18</b>						0,469
Sec	3	160	38	4,5	3	2	0,055
Sec	3	160	38	4	3	4	0,097
Sec	3	100	27	4	3	1	0,011
Sec	3	75	27	2,5	3	1	0,005
Sec	<b>Total 3</b>						0,168
Sec					<b>Total 3</b>		0,636
Sec	C18	160	38	4,5	4	3	0,082
Sec	C18	160	38	4	4	6	0,146
Sec	C18	160	27	4	4	2	0,035
Sec	C18	63	38	4,5	4	1	0,011
Sec	C18	63	38	4	4	1	0,010
Sec	<b>Total C18</b>						0,283
Sec	3	160	38	4,5	4	1	0,027
Sec	3	160	38	4	4	3	0,073
Sec	3	100	27	4	4	1	0,011
Sec	<b>Total 3</b>						0,111
Sec					<b>Total 4</b>		0,394
Sec	C18	160	38	4	5	1	0,024
Sec	C18	160	27	4	5	4	0,069
Sec	C18	160	27	2	5	2	0,017
Sec	C18	63	38	4,5	5	1	0,011

Niveau scolyte	Qualité sciage	largeur (mm)	épaisseur (mm)	longueur (m)	N° billon	Nombre	Volume (m3)
Sec	C18	63	38	3,5	5	1	0,008
Sec	C18	63	38	3,5	5	1	0,008
Sec	C18	63	38	3	5	3	0,022
Sec	<b>Total C18</b>						0,160
Sec	2	38	38	4,5	5	2	0,013
Sec	2	38	38	4	5	2	0,012
Sec	2	38	38	4	5	2	0,012
Sec	2	38	38	3,5	5	1	0,005
Sec	<b>Total 2</b>						0,041
Sec	3	160	38	4	5	3	0,073
Sec	3	100	27	4	5	2	0,022
Sec	3	100	27	4	5	1	0,011
Sec	3	100	27	3,5	5	1	0,009
Sec	3	75	27	4	5	2	0,016
Sec	3	75	27	4	5	1	0,008
Sec	3	75	27	3,5	5	2	0,014
Sec	3	75	27	3	5	4	0,024
Sec	3	75	27	2,5	5	2	0,010
Sec	3	75	27	2,5	5	1	0,005
Sec	<b>Total 3</b>						0,193
Sec		63	38	4	5	1	0,010
Sec					<b>Total 5</b>		0,403
<b>Total Sec</b>							3,525
<b>Total général</b>							10,859

## ANNEXE 3 : Mesures des liées au séchage

Type d'attaque	Position billon	Lot de séchage	Masse volumique vert (kg/m <sup>3</sup> )	Teneur en humidité finale (%m/m0)	Masse volumique après séchage (kg/m <sup>3</sup> )
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	1	511	14,7	486
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	1	592	15,2	474
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	1	542	15,2	488
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	1	482	16,3	462
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	1	482	15,9	457
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	1	516	15,1	484
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	1	521	16	461
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	1	530	16,1	472
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	1	472	14,2	432
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	1	568	14,8	462
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	1	456	14,8	436
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	1	464	15	437
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	1	532	16,3	451
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	1	548	15,9	438
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	1	483	15,1	441
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	1	479	14,2	446
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	1	481	16	441
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	1	450	16,4	431
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	1	497	16,3	463
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	1	555	15	521
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	1	537	14,7	509
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	1	590	14,4	504
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	1	559	13,8	484
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	1	549	15,5	506
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	1	437	13,1	402
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	1	419	13,2	392
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	1	522	14,4	503
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	1	508	14,1	471
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	1	523	14,8	493
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	1	582	14,1	414
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	1	462	14,1	432
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	1	555	13,3	451
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	1	469	13,4	413
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	1	436	13,3	402
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	1	434	13,9	410
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	1	618	13,6	469
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	1	454	13,3	410
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	1	531	14,5	493
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	1	431	14,5	417
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	1	510	14	486
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	1	523	15,6	480
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	446	13,2	406

Type d'attaque	Position billon	Lot de séchage	Masse volumique vert (kg/m3)	Teneur en humidité finale (%m/m0)	Masse volumique après séchage (kg/m3)
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	1	457	14,9	424
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	490	15,2	437
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	474	14,4	419
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	1	464	13,9	415
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	1	516	16,5	471
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	469	14,5	394
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	1	448	14,4	404
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	1	450	15,5	417
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	1	500	14,5	464
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	1	513	14,8	483
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	1	471	13,5	446
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	1	521	13,5	443
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	1	498	15,3	486
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	1	498	15,8	476
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	1	534	15	486
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	483	14,9	449
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	487	16	475
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	1	505	15	460
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	450	14,8	421
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	478	15,3	451
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	1	454	14,5	432
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	1	471	14,3	437
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	1	482	14,6	455
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	1	503	15,9	468
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	1	457	13,9	419
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	523	14	461
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	504	13,5	471
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	444	15,5	414
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	519	16,5	483
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	1	522	13,8	486
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	1	482	14,3	452
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	1	473	14,3	443
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	1	490	15,4	457
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	1	478	14,6	442
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	1	529	17	492
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	1	513	15,6	475
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	1	561	14,9	461
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	1	700	14,9	450
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	1	490	16,4	463
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	2	491	12,2	455
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	2	526	12,5	474
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	2	559	14,2	474
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	2	480	14,5	444
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	2	485	14,2	434

Type d'attaque	Position billon	Lot de séchage	Masse volumique vert (kg/m3)	Teneur en humidité finale (%m/m0)	Masse volumique après séchage (kg/m3)
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	2	490	12,5	427
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	2	742	15,6	443
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	2	495	13,9	456
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	2	587	14,3	449
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	2	470	12,7	415
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	2	461	13,5	431
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	2	472	14,4	425
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	2	442	13	409
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	2	483	12	433
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	2	466	13,9	404
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	2	493	12,2	440
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	2	476	11,3	430
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	2	547	14,2	504
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	2	523	13,3	477
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	2	545	13,5	506
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	2	558	13,3	512
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	2	546	12	475
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	2	500	13,6	485
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	2	540	13,9	509
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	2	629	13,6	491
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	2	421	12,4	391
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	2	527	14,8	479
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	2	496	12,5	455
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	2	514	13,6	474
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	2	503	14,4	461
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	2	446	12,8	407
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	2	568	12,3	447
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	2	441	12	405
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	2	520	13,6	456
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	2	440	12,5	402
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	2	523	12	430
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	2	541	11,7	443
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	2	562	14,4	432
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	2	491	14	424
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	2	459	11,8	387
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	2	470	12	405
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	2	448	13,9	397
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	2	474	13,6	430
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	2	503	14,2	458
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	2	491	11,6	448
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	2	517	14,3	470
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	2	461	13,6	422
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	2	451	11,6	410
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	2	451	11,6	423

Type d'attaque	Position billon	Lot de séchage	Masse volumique vert (kg/m3)	Teneur en humidité finale (%m/m0)	Masse volumique après séchage (kg/m3)
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	2	507	13,7	448
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	2	513	12,8	457
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	2	513	14,4	471
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	2	520	13	488
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	2	456	13,4	426
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	2	445	13,9	418
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	2	477	12	436
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	2	500	12,6	447
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	2	515	12,1	450
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	2	473	12	429
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	2	479	13,7	421
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	2	520	13,7	440
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	2	696	12,3	450
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	2	502	13,3	462
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	2	468	11,5	430
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	2	495	11,5	456
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	2	469	12,4	404
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	2	530	13,1	449
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	2	488	12,5	434
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	2	489	14,3	448
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	2	519	12,6	460
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	2	513	12,2	472
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	2	615	12	439
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	2	685	12	437
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	2	668	13,8	432
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	3	522	14,9	456
1 Jaune - Sain	4 Orange - billon 4	3	664	15,5	476
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	507	13,1	453
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	514	14	446
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	607	13,9	448
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	638	14,6	380
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	525	14,6	460
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	471	13,2	426
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	510	13,3	454
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	560	14,1	450
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	3	510	14	426
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	3	470	14,7	419
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	738	15,2	442
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	480	13,3	444
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	450	14,3	415
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	3	530	14,6	453
1 Jaune - Sain	2 Rose - billon 2	3	484	16,1	425
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	479	13,7	422
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	3	517	14,4	460

Type d'attaque	Position billon	Lot de séchage	Masse volumique vert (kg/m <sup>3</sup> )	Teneur en humidité finale (%m/m0)	Masse volumique après séchage (kg/m <sup>3</sup> )
1 Jaune - Sain	3 Blanc - billon 3	3	481	15,1	434
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	3	547	15,5	512
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	541	15,6	475
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	534	14,3	478
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	3	559	15,5	517
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	3	560	13,3	511
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	3	449	13,1	411
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	3	511	13	465
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	3	512	12,6	471
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	3	523	14,8	486
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	3	448	13,1	403
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	3	503	13,8	406
2 Bleu - scolytes frais	4 Orange - billon 4	3	454	14,1	409
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	442	13,7	403
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	443	13,3	401
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	488	13,5	407
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	515	13,3	409
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	3	429	13,9	391
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	3	442	13,6	399
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	3	494	12,6	452
2 Bleu - scolytes frais	2 Rose - billon 2	3	546	13,3	459
2 Bleu - scolytes frais	1 Noir - billon 1	3	502	11,3	453
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	3	467	14,1	417
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	467	14,9	420
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	3	466	14,4	419
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	541	13,4	433
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	3	476	13,7	411
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	3	512	14,8	465
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	563	14,5	419
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	453	14	392
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	3	472	13,8	411
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	3	476	13	431
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	3	501	13,7	445
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	3	486	14,2	445
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	3	505	12,8	460
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	3	484	12,8	431
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	3	447	13,8	405
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	3	522	14,2	447
3 Vert - scolytes vieux	4 Orange - billon 4	3	510	14,5	455
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	3	523	14,7	462
3 Vert - scolytes vieux	2 Rose - billon 2	3	484	15,2	446
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	535	14,5	458
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	492	15,9	447
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	3	555	14	428

Type d'attaque	Position billon	Lot de séchage	Masse volumique vert (kg/m3)	Teneur en humidité finale (%m/m0)	Masse volumique après séchage (kg/m3)
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	460	13,4	412
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	469	14,9	424
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	3	477	14,2	438
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	3	461	14,4	417
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	3	465	14	432
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	3	446	13,3	420
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	477	15,3	441
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	486	15,2	452
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	499	14,3	448
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	3	440	14	402
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	3	478	14,6	440
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	555	13,5	460
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	476	14,5	423
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	494	14,6	433
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	3	475	15,5	433
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	3	523	14	440
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	681	14,6	444
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	467	13,8	411
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	3	492	14,4	451
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	470	15,2	434
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	3	467	14,7	415
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	3	482	12,5	439
4 Rouge - sec	2 Rose - billon 2	3	476	14,5	437
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	546	14,1	444
4 Rouge - sec	4 Orange - billon 4	3	513	14,3	471
4 Rouge - sec	3 Blanc - billon 3	3	499	13,7	428

## ANNEXE 4 : sélection des éprouvettes du test de tenue des finitions

Couleur Gros Bout	Couleur Petit Bout	réf planche	incrément	Numéro éprouvette	MV	Tests à faire
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	7	84A-7	414	persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	5	84A-5	414	QUV + persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	10	84A-10	418	persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	2	84A-2	422	QUV + persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	1	84A-1	432	persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	8	84A-8	433	QUV + persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	3	84A-3	437	persoz + positest
1 Jaune - Sain	1 Noir - billon 1	84A	9	84A-9	439	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	9	39B-9	418	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	1	39B-1	421	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	2	39B-2	421	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	6	39B-6	421	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	8	39B-8	421	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	5	39B-5	422	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	3	39B-3	422	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	1 Noir - billon 1	39B	4	39B-4	423	QUV + persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	1	105B-1	416	persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	3	105B-3	416	QUV + persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	4	105B-4	416	persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	13	105B-13	418	QUV + persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	9	105B-9	418	persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	10	105B-10	418	QUV + persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	12	105B-12	418	persoz + positest
4 Rouge - sec	1 Noir - billon 1	105B	11	105B-11	421	QUV + persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	8	66A-8	472	persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	7	66A-7	477	QUV + persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	6	66A-6	479	persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	9	66A-9	479	QUV + persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	5	66A-5	481	persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	4	66A-4	483	QUV + persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	11	66A-11	488	persoz + positest
2 Bleu - scolytes frais	3 Blanc - billon 3	66A	1	66A-1	492	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	8	36B-8	460	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	4	36B-4	461	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	2	36B-2	465	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	7	36B-7	465	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	11	36B-11	469	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	5	36B-5	474	QUV + persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	10	36B-10	477	persoz + positest
3 Vert - scolytes vieux	3 Blanc - billon 3	36B	3	36B-3	479	QUV + persoz + positest