

Feel Wood  
**ProFilWood**



Évaluation de la valeur-ajoutée d'un  
traitement huileux appliqué en  
complément d'un traitement ACQ sur du  
bois rond d'épicéa

*Ir Anthonissen Félix*

*Juillet 2020*

## Table des matières

1.	Mise en contexte et objectif de l'étude .....	4
2.	Quelques rappels bibliographiques importants.....	4
2.1.	Les normes utilisées .....	4
2.2.	Les classes de durabilité du bois .....	4
2.3.	Les classes d'emploi .....	5
2.4.	Le traitement de l'épicéa.....	5
3.	Protocole .....	6
3.1.	La préparation du matériel et la sélection des éprouvettes .....	6
3.2.	Les produits de traitement sélectionnés.....	9
3.2.1.	Le sel de cuivre .....	9
3.2.2.	Les huiles .....	10
3.3.	La double imprégnation .....	10
3.3.1.	Imprégnation au sel de cuivre aqueux .....	10
3.3.2.	Imprégnation à l'huile .....	14
3.3.3.	Notions de rétention et d'absorption .....	15
3.3.4.	Mesure de la rétention par mesure volumétrique.....	16
3.3.5.	Mesure de la rétention par la concentration en cuivre .....	16
3.3.6.	Analyse de la pénétration.....	18
3.4.	Dé lavage selon la norme EN84.....	20
3.5.	Essais de durabilité selon la norme EN113.....	20
3.5.1.	Matériel utilisé.....	20
3.5.2.	Matériel biologique utilisé.....	20
3.5.3.	Détermination des masses initiales anhydres théoriques .....	20
3.5.4.	Mise en contact avec le champignon, essai de durabilité proprement dit.....	21
3.5.5.	Validité des résultats .....	21
4.	Résultats et analyse des résultats .....	22
4.1.	Analyse des données de l'imprégnation .....	22
4.1.1.	Diagramme d'imprégnation – traitement au sel.....	22
4.1.2.	Rétention par mesure volumétrique – traitement à l'huile .....	23
4.1.3.	Rétention par mesure de la concentration en cuivre .....	25
4.1.4.	Pénétration.....	25

4.1.5.	Autres observations.....	27
4.2.	Résultats des essais de durabilité.....	29
5.	Conclusions et perspectives .....	32
6.	Annexes .....	34
6.1.	Annexe 1 : résultats bruts pour le traitement « sel pur » .....	34
6.2.	Annexe 2 : résultats bruts pour le traitement « sel + huile minérale » .....	35
6.3.	Annexe 3 : résultats bruts pour le traitement « sel + huile végétale » .....	36
6.4.	Annexe 4 : résultats bruts pour le traitement « sel + mix d’huile végétale/minérale » .....	37
6.5.	Annexe 5 : résultats bruts pour le traitement « sel + huile de récupération » .....	38
6.6.	Annexe 6 : présentation des valeurs d’absorption par latte .....	39
6.7.	Annexe 7 : illustration de la procédure d’analyse XRF en photos.....	40

## 1. Mise en contexte et objectif de l'étude

La plupart des pays européens ont récemment décidé d'interdire le créosotage des piquets et/ou des poteaux. Ces débouchés représentent des volumes considérables pour la filière de l'épicéa en Région Wallonne.

Le traitement de l'épicéa au moyen de sels ACQ standards (Cuivre + Ammonium Quaternaire) donne des résultats mitigés du fait du caractère réfractaire à l'imprégnation de l'épicéa. Les durées de vie en service observées peuvent être jugées insuffisantes pour certaines applications nécessitant des garanties en termes de tenue dans le temps (poteau électrique, filet pare-grêle, houblonnière, ...).

L'utilisation d'huiles combinée à un traitement ACQ standard pourrait permettre d'améliorer la durée de vie des bois ainsi traités. En effet, l'hydrophobicité conférée par un traitement huileux peut s'avérer très intéressante, entre autres pour limiter le développement des champignons, et limiter le lessivage des substances actives (biocides) contenues dans les sels ACQ.

Le projet est le fruit d'une collaboration entre la firme Durwood, les organismes belges Hout Info Bois et l'Office Economique wallon du Bois, le laboratoire de technologie du bois du DEMNA de Gembloux et l'asbl Geprofor. Cette étude s'inscrit dans l'action "I Wood Search" du projet européen ProFilWood (Interreg V France-Wallonie-Flandres).

Ce rapport inclut les résultats obtenus par le DEMNA sur les essais de résistance biologique.

## 2. Quelques rappels bibliographiques importants

### 2.1. Les normes utilisées

Les normes mentionnées dans ce rapport sont les suivantes :

- EN 113 (2004) : produits de préservation du bois – méthode d'essai pour déterminer l'efficacité protectrice vis-à-vis des champignons basidiomycètes lignivores – détermination du seuil d'efficacité ;
- EN 84 (1997) : durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – épreuves de vieillissement accéléré des bois traités avant essais biologiques – épreuve de délavage ;
- CEN/TS 15083-1 (2005) : durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – détermination de la durabilité naturelle du bois massif vis-à-vis des champignons lignivores, méthodes d'essai – partie 1 : basidiomycètes, pour l'octroi de classes de durabilité.

### 2.2. Les classes de durabilité du bois

La norme européenne EN 350.2 précise la répartition en classes de durabilité et la résistance contre les insectes de la plupart des espèces utilisées en Europe.

Les espèces de bois sont conventionnellement réparties en cinq classes de durabilité. Elles expriment uniquement la résistance contre les champignons lignivores :

- Classe de durabilité naturelle I : très durable (plus de 25 ans) ;
- Classe de durabilité naturelle II : durable (de 15 à 25 ans) ;
- Classe de durabilité naturelle III : moyennement durable (de 10 à 15 ans) ;

- Classe de durabilité naturelle IV : peu durable (de 5 à 10 ans) ;
- Classe de durabilité naturelle V : très peu durable (moins de 5 ans).

La durabilité ne concerne que le bois parfait. L'aubier de (presque) toutes les essences n'est jamais durable et appartient à la classe de durabilité naturelle V.

L'épicéa appartient à la classe de durabilité 4.

### 2.3. Les classes d'emploi

Les normes définissent les spécifications auxquelles doivent répondre les bois, pour que soit assurée en service, une résistance aux insectes, aux champignons et aux organismes marins de dégradation des bois.

Les performances finales sont définies par l'aptitude à l'usage dans une classe d'emploi déterminée, qui correspond au domaine d'utilisation du bois.

Généralement, l'objectif d'un traitement en autoclave est l'obtention d'une classe d'emploi 4.

Une spécificité CTB-B+ pour des conditions d'expositions sévères, la classe 4 SP permet une protection renforcée et des durées de service supérieures à 15 ans.

Les classes d'emploi sont résumées dans le tableau ci-dessous (CTB B+).

Classes d'emploi				
1	2	3.1	3.2	4
Intérieur, entièrement protégé des intempéries, non exposé à l'humidification	Intérieur ou sous abri protégé des intempéries, humidification occasionnelle non persistante (condensation)	Sans contact avec le sol, soumis à une humidification fréquente sur des périodes courtes. Séchage complet entre deux périodes d'humidification.	Sans contact avec le sol, soumis à une humidification fréquente sur des périodes longues mais non continues. Séchage complet entre deux périodes d'humidification.	Extérieur en contact avec le sol ou support à humidification récurrente ou immersion dans l'eau douce, conception induisant une rétention importante d'eau, humidification très prononcée induite

### 2.4. Le traitement de l'épicéa

L'imprégnabilité des bois est fortement variable d'une essence à l'autre et cela est dû aux caractéristiques anatomiques propres à chacune des essences. La norme EN 350.2 a défini quatre classes d'imprégnabilité. L'épicéa appartient à la classe d'imprégnabilité « classe 4, non imprégnable ».

D'après la définition de la norme, les bois appartenant à cette classe sont « virtuellement » impossibles à traiter. Peu de produit est absorbé, même après 3 à 4 heures de traitement sous pression, les pénétrations latérales et axiales étant minimales.

### 3. Protocole

#### 3.1. La préparation du matériel et la sélection des éprouvettes

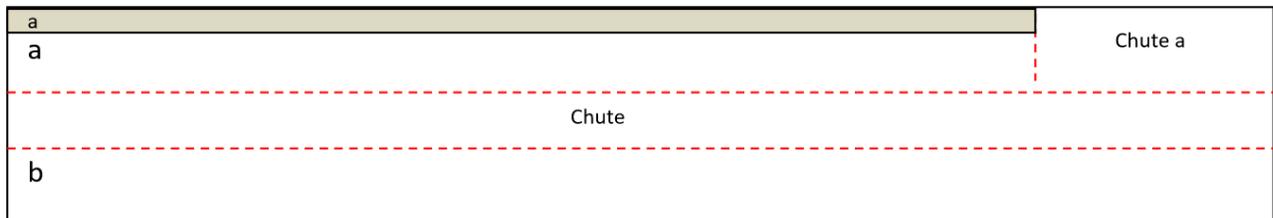
Le Demna s'est chargé de préparer le matériel destiné à être imprégné dans les 10 billons frais d'épicéa de 2m de long et 40 cm de diamètre fin bout, fourni par Durwood le 3 mai 2019. Sept billons ont été sciés aux fins de l'expérimentation, les trois autres ne présentaient pas les qualités requises.



Les billons ont été sciés le 7 mai 2019 sur dosse en plateaux de 25 mm d'épaisseur perpendiculairement au plus grand diamètre. Les premières et les dernières dosses ont été éliminées compte tenu de la non-conformité de l'orientation des cernes, trop tangents. En moyenne, 8 plateaux ont été sciés par billon.

N° de billon	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7
Nombre de plateaux par billon	8	9	7	8	8	8	8

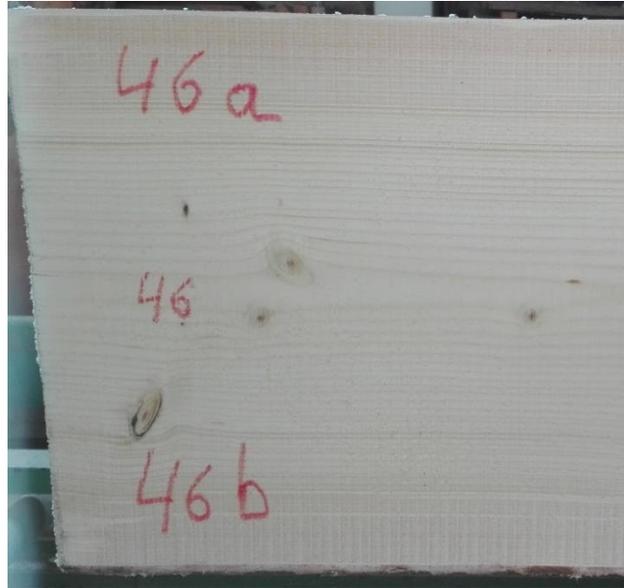
Après délignage de l'écorce sur les deux chants, chaque plateau est déligné en 3 planches : la première est notée « a », la planche centrale en pur bois parfait est éliminée et la dernière planche est notée « b ». Les planches « a » sont recoupées à 160 cm de longueur et une latte de 25 mm de largeur est délignée côté aubier. Chaque latte sera façonnée en éprouvettes après le traitement d'imprégnation.



Fin bout

Gros bout

Les chutes centrales ne seront plus utilisées dans le cadre de cette étude. Les photos ci-dessous illustrent la découpe d'une planche (à gauche) et le paquet de chutes (à droite).



Le tableau suivant présente la répartition des lattes dans les différentes variantes de traitement et dans les blancs.

Traitement	Billon 1	Billon 2	Billon 3	Billon 4	Billon 5	Billon 6	Billon 7
1	12	23	34	45	56	67	77
2	13	24	35	46	57	62	72
3	14	25	36	47	52	63	73
4	15	26	37	42	53	64	74
5	16	27	32	43	54	65	75
Blancos	17/18	22/28	33/38	44/41	55/58	66/68	76/78

Billon 7 considéré comme réserve mais traité comme les autres

L'ensemble des planches « a » et « b » ainsi que les lattes « a » ont été colisées par billon pour être envoyées chez Durwood pour l'imprégnation, comme représenté sur la photo. Les planches « a » et « b » ont été imprégnées en même temps que les lattes mais ne sont pas analysées dans le cadre de ce rapport. Le billon 6 n'a pas été envoyé chez Durwood car il sert de blanco et n'a pas été traité. Le billon 7 est considéré comme réserve, et n'a donc pas été traité également.



Fin août 2019, les lattes traitées ont été réexpédiées au DEMNA et le façonnage des éprouvettes (50x25x15 mm) a eu lieu selon le schéma ci-dessous.

H1	H2	H5	C1	C2	H6	H7	C3	FC 9	H8	H3	H4
----	----	----	----	----	----	----	----	------	----	----	----

Les éprouvettes notées « H » seront déshydratées à 103°C pour le calcul de l'humidité, celles notées « C » seront exposées aux champignons et enfin celles notées « FC » serviront au calcul du facteur de correction.

Les lattes blancs fournissent les éprouvettes non traitées de l'essai.

Avec cette manière de procéder, chaque variante de traitement implique des éprouvettes issues de lattes prélevées dans différentes dosses réparties différemment dans chaque billon.

### 3.2. Les produits de traitement sélectionnés

Quatre types d'huiles différentes ont été testés. Pour évaluer l'effet des différentes huiles, l'imprégnation uniquement au sel de cuivre alcalin quaternaire est également testée.

#### 3.2.1. Le sel de cuivre

La première imprégnation aux sels a été réalisée en utilisant un sel de cuivre commercial utilisé dans les installations de Durwood. Il s'agit du Korasit KS2.

Le Korasit est un produit de préservation du bois fabriqué par Obermeier (Kurt Obermeier GmbH & Co. KG) en Allemagne. La solution pure est soluble dans l'eau et est utilisée dans des concentrations comprises entre 2 et 5 %. Le produit est déjà couramment utilisé pour le traitement de bois résineux pour des applications extérieures. Le produit de traitement peut être utilisé pour le traitement dans les classes d'emploi 1, 2, 3 et 4 selon la norme EN 335-2. Le Korasit est une formulation à base de complexes composés de cuivre et d'un puissant composé d'ammonium quaternaire, sans chrome et sans bore. Les matières actives présentes dans le Korasit sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Nom de la substance	N° CAS	Concentration (%)
Carbonate de cuivre (« Basic Copper Carbonate »)	12069-69-1	19,2 %
N,N-didécyl-N-méthylpolyammoniumpropionate	94667-33-1	10,56 %

Le Korasit KS2 est certifié « CTB P+ » par le FCBA. Pour information, la certification CTB P+ délivrée par le FCBA atteste « depuis plus de 20 ans de l'efficacité des produits de préservation des bois lorsqu'ils sont appliqués par un procédé défini et reconnu efficace, pour faire du bois un matériau fiable et sûr dans le respect de la santé humaine et de l'environnement ».

La valeur critique à atteindre est de 14,2 kg de solution pure par m<sup>3</sup> de bois imprégnés pour une classe d'emploi 4 et de 23,7 kg/m<sup>3</sup> pour une classe d'emploi 4 SP.

Afin de transformer cette quantité totale préconisée en % de cuivre préconisé, la composition du produit a dû être analysée. La seule substance active contenant du cuivre dans le Korasit KS2 est le « Basic Copper Carbonate » (Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>) qui représente 19,2% de la masse volumique totale du produit.

Substance active "Copper based"	[ ] subst. Active (% mass)	Rapport Masse molaire (Cu/molécule active)	[ ] Cu (% mass)	[ ] Produit dans sol.traitement (% mass)	Prescription rétention produit (kg/m <sup>3</sup> bois traité)	Prescription rétention solution (kg/m <sup>3</sup> bois traité)	Prescription rétention Cu (kg/m <sup>3</sup> bois traité)
Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	19,20%	57,48%	11,04%	3,00%	<b>14,20</b>	473,33	<b>1,57</b>

En réalisant, le calcul de la masse molaire de cette substance, on se rend compte que le Cuivre représente 57,48% de cette molécule. En multipliant les deux, on obtient le % de cuivre dans le produit qui est égal à 11,04%.

Injecter 14,2 kg/m<sup>3</sup> de produit pur dans la zone de bois imprégné revient donc à injecter 1,57 kg/m<sup>3</sup> de cuivre (11,04% de 14,2 kg/m<sup>3</sup>).

Le pourcentage de cuivre à atteindre dans la zone de bois imprégné dépend donc de la densité du bois et peut être connu par transformation mathématique en utilisant la formule suivante :

$$\% Cu = \frac{kg/m^3 Cu * 100}{Densité du bois (kg/m^3)}$$

Si on pose donc l'hypothèse que la densité moyenne de l'épicéa produit en Belgique est de 420 kg/m<sup>3</sup>, cela voudrait dire que la concentration en Cu à viser dans la zone de bois imprégnable est de **0,373 %** (elle est de 0.623 % pour une classe 4 SP). Plus la densité du bois sera faible et plus la concentration en Cu préconisée sera importante. On peut considérer cette valeur de 420 kg/m<sup>3</sup> comme étant le « worst case ». Si on atteint la concentration calculée préconisée, on peut considérer la rétention en Cuivre satisfaisante.

### 3.2.2. Les huiles

Les quatre types d'huiles sélectionnées sont les suivantes :

- Une huile minérale 100 % : il s'agit de l'huile Hydroseal G3H qui est une huile minérale désaromatisée et désulfurisée, très légère, inodore et incolore. Cette huile est fabriquée par Total.
- Une huile végétale 100 % : il s'agit d'huile de lin fabriquée par l'entreprise Vandeputte située à Mouscron.
- Une huile de récupération : il s'agit d'une huile issue de l'industrie agro-alimentaire. Plus précisément, il s'agit de l'huile utilisée par l'entreprise Lutosa, située à Leuze-en-Hainaut pour la cuisson des transformations à base de pommes de terre.
- Un mélange (50%-50%) des huiles minérales et végétales.

## 3.3. La double imprégnation

### 3.3.1. Imprégnation au sel de cuivre aqueux

L'imprégnation au sel de cuivre est réalisée au sein de la nouvelle installation de traitement de Durwood. Il s'agit d'une installation unique en Europe de par sa caractéristique « multi-produit ». En effet, le cylindre de traitement est relié à 4 cuves de réserve (et donc potentiellement 4 produits de traitement différents). Une procédure de vidange complète de la tuyauterie permet le switch d'un produit à un autre. La capacité de l'autoclave est de l'ordre de 12 m<sup>3</sup> de bois.

Les photos ci-dessous illustrent l'installation.



Les cycles de traitement sont entièrement automatisés. Une série de capteurs permettent de suivre en temps réel le déroulement du cycle, comme illustré sur la photo.



La charge totale des paquets de planches destinées à cette étude ne permet pas de démarrer un cycle. Ces paquets ont donc dû être associés à d'autres marchandises pour le démarrage du cycle. Les photos ci-dessous illustrent le chargement des échantillons (planches, lattes, lamelles) dans l'autoclave.





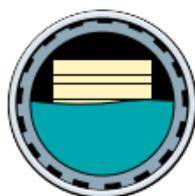
Le procédé utilisé est un procédé de type Bethell, procédé le plus répandu dans les installations industrielles et commerciales pour le traitement sous pression de bois résineux.

Ce procédé est également appelé traitement par « injection à refus ». En effet, le principe de ce type de traitement consiste à saturer de produit toutes les cellules du bois.

Une fois que la charge est rentrée dans l'autoclave, un premier vide, appelé « vide initial » est réalisé. L'objectif de celui-ci est d'extraire un maximum d'air contenu dans les cellules du bois. Ensuite, l'autoclave est rempli de produit de préservation. Lors du remplissage, l'autoclave est toujours sous vide. Lorsque les bois sont totalement immergés, une pression hydraulique est exercée pour forcer la pénétration du produit de préservation dans les cellules du bois. La durée de la phase de pression est dépendante de l'essence et de la classe de risque à atteindre. Pour terminer, un vide est réalisé. Il s'agit d'un vide de propreté qui a pour objectif d'extraire l'excédent de produit de préservation en surface des bois.



*Bois chargé dans un autoclave  
Application d'un vide initial  
(air expulsé des cellules du bois)  
Vide maintenu.*



*Autoclave rempli,  
sous vide.*



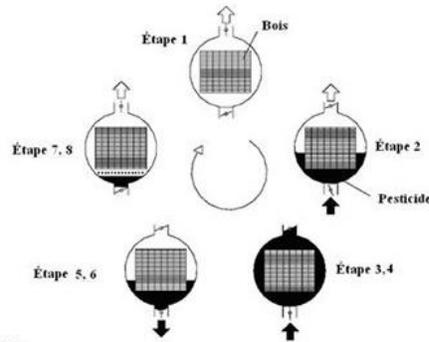
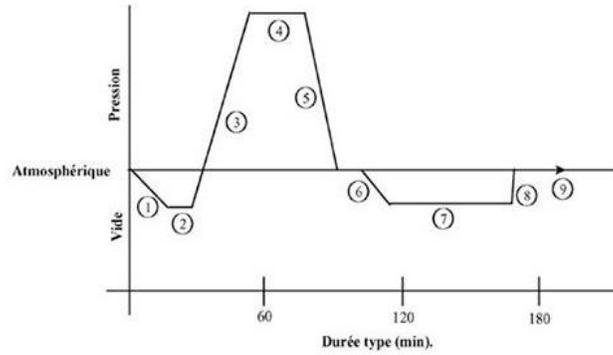
*Pression hydraulique  
appliquée, forçant le produit  
de préservation à pénétrer en  
profondeur dans le bois.*



*Le vide final permet  
d'extraire l'excès de produit  
de préservation, lequel est  
renvoyé vers la cuve de  
stockage.*



*Retour à la pression  
atmosphérique pour favoriser  
le ressuyage superficiel du  
bois traité.*



**Étapes du procédé :**

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vide initial</li> <li>2. Remplissage avec le produit de préservation</li> <li>3. Augmentation de la pression</li> <li>4. Cycle d'imprégnation sous pression</li> <li>5. Relâchement de la pression</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Évacuation du produit de préservation</li> <li>7. Vide final</li> <li>8. Relâchement du vide</li> <li>9. Déchargement du bois traité</li> </ol> |
|---|---|

### 3.3.2. Imprégnation à l'huile

La seconde imprégnation à l'huile a été réalisée dans un autoclave de laboratoire spécialement conçu dans le cadre de ce projet de recherche. L'autoclave fait 2 m de long pour un diamètre intérieur de 20 cm. Les deux photos ci-dessous présentent cet autoclave.



La mise sous vide peut être réalisée en reliant l'autoclave de laboratoire directement à l'installation de traitement et sa pompe à vide qui permet d'atteindre des pressions négatives de plus de 0.85 bar. Dans

notre cas et pour cette seconde imprégnation à l'huile, aucun vide initial n'a été réalisé. Nous avons en effet réalisé un cycle Löwry qui constitue une adaptation du cycle Bethell sans une phase initiale de vide initiale.

Le remplissage de l'autoclave a été réalisé manuellement et par gravité comme l'illustre la photo ci-dessous.



La mise sous pression est réalisée en connectant l'autoclave directement à la pression d'air du compresseur. Habituellement, c'est une pression hydraulique qui est appliquée mais ici, le cycle a été adapté. C'est une pression d'air qui génère la pression pour faire pénétrer l'huile dans le bois. La phase de pression appliquée est de 90 minutes.

Aucun vide final n'est réalisé, mais les bois sont laissés 2 heures dans l'autoclave à la pression atmosphérique pour permettre l'écoulement des bois.

### 3.3.3. Notions de rétention et d'absorption

Dans la littérature, le terme « rétention » et « absorption » sont souvent utilisés indifféremment. Pour éviter toute erreur de compréhension, nous redéfinissons ci-dessous les deux notions.

La **rétention** est définie par le FCBA comme étant la quantité de produit de préservation dans la zone d'analyse. Elle est exprimée en  $\text{kg/m}^3$  pour les produits d'imprégnation profonde.

L'automate de l'installation d'imprégnation nous donne une valeur d'**absorption** exprimée en  $\text{l/m}^3$  (et non de rétention). L'absorption moyenne est estimée lors de chaque cycle sur base du volume du tank de réserve au début du cycle et en fin de cycle. Des capteurs permettent de connaître le niveau de remplissage de chaque cuve et d'en déduire la contenance.

$$\text{Absorption} \left( \frac{l}{m^3} \right) = \frac{\text{Volume initial avant traitement (l)} - \text{Volume final après traitement (l)}}{\text{Charge estimée de l'autoclave (m}^3\text{)}}$$

La charge de l'autoclave est définie par la norme EN351-2 comme l'ensemble de tous les bois traités simultanément dans une même opération.

La rétention moyenne peut aisément être déduite de cette valeur d'absorption en tenant compte de la densité du produit de préservation.

$$\text{Rétention} = \text{Absorption} * \text{Densité}$$

Pour rappel, la densité est définie comme le rapport entre la masse du volume d'un corps et la masse du même volume d'eau ou d'air.

Pour exemple, la densité du produit pur Korasit KS2 est de 1,20 g/cm<sup>3</sup>. En moyenne, la solution de traitement contient 3% de produit pur et 97% d'eau (sauf dans le cas d'un traitement en vue de classe 4 SP où la concentration de la solution est plus importante). La densité de l'eau étant de 1000 kg/m<sup>3</sup>, on peut calculer la densité moyenne de la solution : celle-ci est de 1006 kg/m<sup>3</sup>. Pour faciliter les calculs, dans le cas des traitements aqueux et dans ce cas précis uniquement, on peut considérer l'absorption en l/m<sup>3</sup> égale à la rétention en kg/m<sup>3</sup>. Ce n'est pas aussi simple pour les traitements de type huileux, d'où l'importance de bien comprendre la différence entre les deux notions.

### 3.3.4. Mesure de la rétention par mesure volumétrique

La rétention en kg/m<sup>3</sup> est estimée grâce aux données initiales récoltées avant le traitement et le poids après.

La rétention est donnée par les formules suivantes.

$$\text{Volume} = \text{largeur T1} * \text{épaisseur T1} * \text{longueur}$$

$$\text{Rétention} = \frac{\text{poids après imprégnation} - \text{poids avant imprégnation}}{\text{volume}}$$

Les mesures de section (largeur et épaisseur) sont mesurées grâce à un pied à coulisse.

La mesure de la longueur est mesurée grâce à un mètre à ruban.

Le poids avant et imprégnation sont mesurées à l'aide d'une balance de précision.

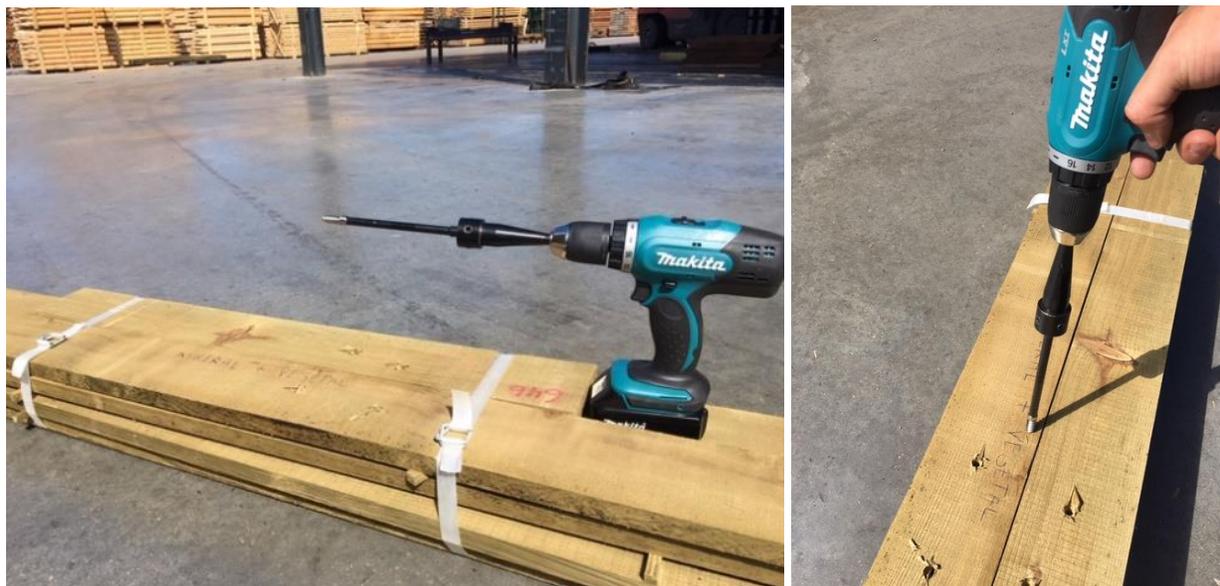
### 3.3.5. Mesure de la rétention par la concentration en cuivre

Le cuivre est le biocide principal présent dans le sel utilisé pour la première imprégnation. Des carottes de bois sont prélevées dans les différentes planches après la seconde imprégnation pour mesurer la dose de cuivre présente dans l'épicéa.

Les carottes sont prélevées aléatoirement dans les planches, en évitant de réaliser les prélèvements sur les extrémités pour ne pas fausser les résultats par le phénomène d'absorption axiale.

Dans le cas de cette étude, 4 carottes sont prélevées aléatoirement pour constituer un échantillon composite sur l'ensemble des planches traitées au sel. Cinq répétitions ont été effectués, soit un total de 20 carottages.

Les carottes sont prélevées à l'aide d'une tarière de Pressler. La tarière de Pressler utilisée dans le cadre de ce projet a un diamètre 5,2 mm. Grâce à un adaptateur, elle est installée directement sur une visseuse électrique, comme sur les photos ci-dessous.



Les carottes sélectionnées sont ensuite broyées. Pour ce faire, la machine « IKA® Tube Mill control » est utilisée. Cette machine est largement utilisée dans l'industrie alimentaire ou pharmaceutique pour la préparation d'échantillons pour des contrôles qualité.

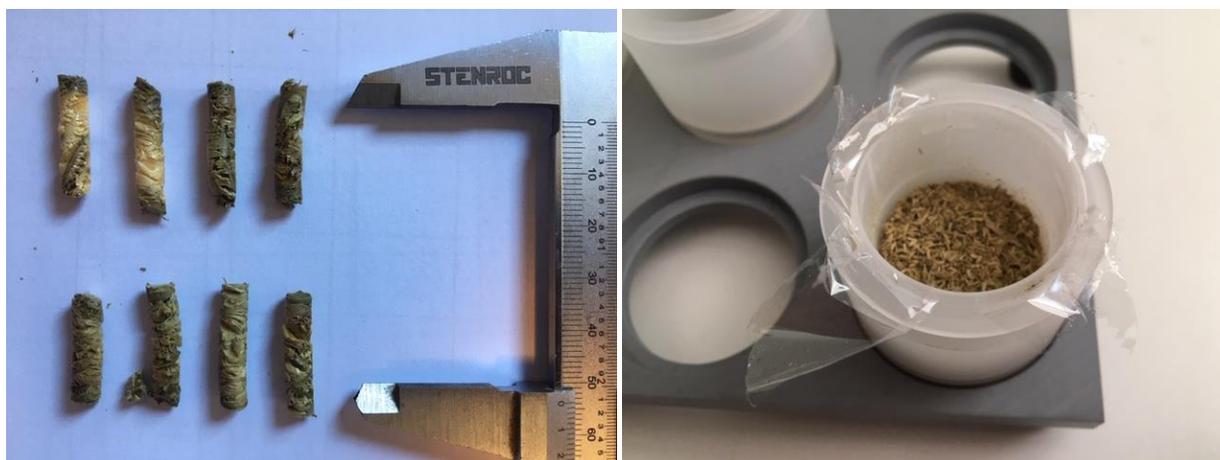
La matière est réduite à l'aide du couteau. La finesse finale du broyat est fonction de la durée et de la vitesse du broyage. Il est possible de « jouer » sur ces deux paramètres : la vitesse de rotation de la lame de coupe et le temps de fonctionnement.

La méthode préconisée pour un broyage complet est la suivante :

- 1 minutes à 10.000 RPM (rotations par minutes) ;
- 1 minutes à 16.000 RPM ;
- Et, 1 minutes à 22.000 RPM.

La vitesse maximale du broyeur est de 25.000 RPM. Cette procédure de broyage est théorique et est fonction de la dureté des échantillons. Après chaque étape de broyage, le tube « Multi-use Milling Tube MMT40 » doit être correctement lavé à l'aide d'un tissu propre (et au besoin légèrement humide) afin d'éviter toutes contaminations entre les différents échantillons.

Le broyat constitue l'échantillon final utilisé pour la mesure de la concentration en cuivre. Les deux photos ci-dessous illustrent des carottes et le broyat qui en découle.



La concentration en cuivre est mesurée grâce à la machine Hitachi Lab-X5000 qui utilise une méthode de fluorescence de rayons X à dispersion d'énergie (EDXRF). En Outre-Atlantique, cette machine est reconnue dans le milieu de la préservation du bois et utilisée par une grande majorité des sites d'imprégnation. En effet, son utilisation est simple et fiable. La fluorescence des rayons X (XRF) permet de quantifier la composition élémentaire des échantillons solides et liquides. On utilise les rayons X pour exciter les atomes qui sont dans l'échantillon, ce qui leur fait émettre des rayons X à énergie caractéristique de chaque élément présent. L'intensité et l'énergie de ces rayons X sont ensuite mesurées pour quantifier la concentration des différents éléments. Dans notre cas, seule la concentration en cuivre est déterminée car c'est le biocide présent dans le produit de traitement utilisé dans le cadre de ce projet.

Pour effectuer l'analyse, le broyat est transféré dans un « pot éphémère » préparé à l'aide d'un film plastique. Celui-ci est placé dans la machine qui réalise la mesure de la concentration.

Une calibration a été réalisée auparavant sur base d'échantillons fournis et dont la concentration exacte en cuivre a été mesurée par un laboratoire externe spécialisé.

L'annexe 7 illustre par des photos les différentes étapes de l'analyse après la collecte des carottes de bois.

### 3.3.6. Analyse de la pénétration

La pénétration est évaluée grâce à des tests destructifs. Des coupes transversales dans les planches de bois traités sont réalisées et permettent ainsi d'évaluer la profondeur et la qualité de la pénétration.

Une imprégnation sera de qualité et protégera le bois de longues années à condition que toute la zone de bois imprégnable soit complètement imprégnée. La pénétration doit donc être totale, soit correspondre à la classe de pénétration 8 selon la norme EN 351-1.

Classes de pénétration	Exigences de pénétration	Zone d'analyse	Illustration stylisée de l'exigence de pénétration
P1	Aucune	3 mm sous les faces latérales	
P2	Au moins 3 mm en latéral et 40 mm en axial dans l'aubier	3 mm en latéral dans l'aubier	 Si la distinction entre aubier et bois parfait est impossible
P3	Au moins 4 mm en latéral dans l'aubier	4 mm en latéral dans l'aubier	 Si la distinction entre aubier et bois parfait est impossible
P4	Au moins 6 mm en latéral dans l'aubier	6 mm en latéral dans l'aubier	Voir P3
P5	Au moins 6 mm en latéral et 50 mm en axial dans l'aubier	6 mm en latéral dans l'aubier	Voir P2
P6	Au moins 12 mm en latéral dans l'aubier	12 mm en latéral dans l'aubier	Voir P3
P7	Bois rond seulement. Au moins 20 mm dans l'aubier	20 mm dans l'aubier	 épaisseur de l'aubier > 20 mm
P8	Tout l'aubier	Aubier	 Si la distinction entre aubier et bois parfait est impossible
P9	Tout l'aubier et au moins 6 mm dans le bois parfait exposé	Aubier et 6 mm dans le bois parfait exposé	 Si seulement le bois parfait est présent
<b>Légendes des schémas :</b> limite de l'aubier quand il est distingué du bois parfait. limite de l'aubier quand il ne peut être distingué du bois parfait.			

Le réactif de cuivre, Chrome Azurol est utilisé pour mettre en évidence le cuivre présent dans le bois. En effet, la distinction entre le bois possédant du produit de traitement ou du bois sans produit de traitement n'est pas toujours appréciable à l'œil nu.

### 3.4. Délavage selon la norme EN84

Avant la mise en contact avec le champignon (EN 113), les éprouvettes traitées destinées à l'exposition aux champignons ou au calcul du facteur de correction ont été soumises à un délavage.

Les délavages ont été réalisés en novembre-décembre 2019 et en conformité à la norme EN 84. Les éprouvettes ont été ensuite stockées dans une enceinte climatisée pour les stabiliser à 12% d'humidité.

### 3.5. Essais de durabilité selon la norme EN113

L'étude réalisée s'inspire autant que possible de la norme européenne NBN EN 113 : 2004 « produits de préservation du bois – méthode d'essai pour déterminer l'efficacité protectrice vis-à-vis des champignons basidiomycètes lignivores – détermination du seuil d'efficacité ». En effet, les essais sont réalisés sur de l'aubier d'épicéa alors que l'article 7.1 de la norme EN 113 prévoit que l'essence de référence est le pin sylvestre. Il s'agit d'un essai exploratoire qui n'a pas pour objectif l'homologation ou non d'un produit. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes permis cette liberté.

La norme indique que l'imprégnation doit être réalisée sur des éprouvettes en laboratoire. Pour se rapprocher le plus possible des conditions réelles industrielles, l'imprégnation a été réalisée sur des échantillons de la taille de lattes (desquelles les éprouvettes seront tirées) au sein d'une réelle installation de traitement. En conséquence, la masse anhydre initiale des éprouvettes n'a pu être mesurée et a donc dû être estimée (imprécision qui peut avoir un impact sur le calcul du facteur de correction selon la norme EN113).

#### 3.5.1. Matériel utilisé

Le milieu de culture est réalisé à base d'un mélange malt/agar.

#### 3.5.2. Matériel biologique utilisé

Les trois souches de champignons basidiomycètes testées dans le cadre de cette expérimentation sont :

- *Coniophora puteana* (Schumacher Ex Fries) Karsten, souche (BAM Ebw. 15), CP, identifiée dans la norme EN 113 pour résineux uniquement et par ailleurs obligatoire dans tous les cas (mais décrite dans la CEN/TS 15083-1 :2005 comme agent agressif sur feuillus et résineux).
- *Gloeophyllum trabeum* (Persoon Ex Fries) Murill, souche (BAM Ebw. 109), GT, identifiée dans la norme EN 113 pour résineux uniquement (mais décrite dans la CEN/TS 15083-1 :2005 comme agent agressif sur feuillus et résineux).
- *Poria placenta* (Fries) Cooke sensu J. Eriksson, souche (FPRL280), identifiée pour résineux.

Préalablement à leur utilisation, les souches de champignon ont été rajeunies pour s'assurer de leur virulence.

#### 3.5.3. Détermination des masses initiales anhydres théoriques

Toutes les éprouvettes sont pesées. Les éprouvettes H sont déshydratées à 103°C pendant au minimum 48 heures puis sont à nouveau pesées. Ne connaissant pas la perte de masse effectivement due à l'évaporation de l'eau, étant donné une probable élimination partielle de l'huile pendant le séchage, l'expression des résultats se fera en estimant qu'il y a soit 100% d'huile éliminée, soit 0% d'huile éliminée. La réalité se situera entre les valeurs extrêmes calculées selon ces deux hypothèses.

#### 3.5.4. Mise en contact avec le champignon, essai de durabilité proprement dit

Les essais de durabilité ont été menés entre décembre 2019 et avril 2020. La stérilisation des éprouvettes avant la mise en contact des champignons est réalisée à la vapeur d'eau dans un autoclave. Une éprouvette traitée et une éprouvette non traitée sont exposées au champignon dans un même flacon de culture Kolle. En parallèle, deux éprouvettes traitées sont placées dans un même flacon en contact avec le milieu de culture mais sans champignon. Celles-ci permettent de déterminer le facteur de correction sur base de la variation de masse en l'absence de champignon, conformément à la norme EN 113. La durée d'incubation est de 16 semaines.

#### 3.5.5. Validité des résultats

Les résultats des éprouvettes traitées doivent être invalidés et donc exclus de l'analyse, si la perte de masse de ces éprouvettes est inférieure à 3% et si l'une des conditions suivantes est rencontrée :

- La présence d'agents contaminants est avérée ;
- L'éprouvette non traitée correspondante présente une perte de masse trop faible, inférieure à 20%.

La norme EN 113 prévoit aussi d'exclure les éprouvettes dont les valeurs de rétention sont trop éloignées de la moyenne. L'application de cette règle n'a pas été possible car nous ne disposons pas des valeurs de rétention par éprouvette mais seulement par latte. Cependant, les écarts des masses des éprouvettes par rapport à une masse moyenne théorique que les éprouvettes d'une même latte auraient dû présenter si l'imprégnation avait été homogène ont permis d'estimer la quantité d'huile absorbée par éprouvette. Ces valeurs sont présentées à l'annexe 6.

Les résultats validés des pertes de masse corrigées (via le facteur de correction évoqué plus haut) sont présentés dans les annexes 1 à 5. Il faut cependant noter que la rétention d'huile des lattes intervient dans le processus de calcul, l'huile n'étant pas consommée par les champignons.

Afin d'approfondir l'analyse, la classe de durabilité des éprouvettes selon les valeurs présentées dans la norme CEN/TS 15083-1 :2005 a également été estimée. Cette norme définit la durabilité naturelle des bois. Elle est utilisée ici uniquement à titre indicatif, n'étant pas dans les conditions d'application.

La virulence des champignons d'essai a été vérifiée et permet de valider cet essai :

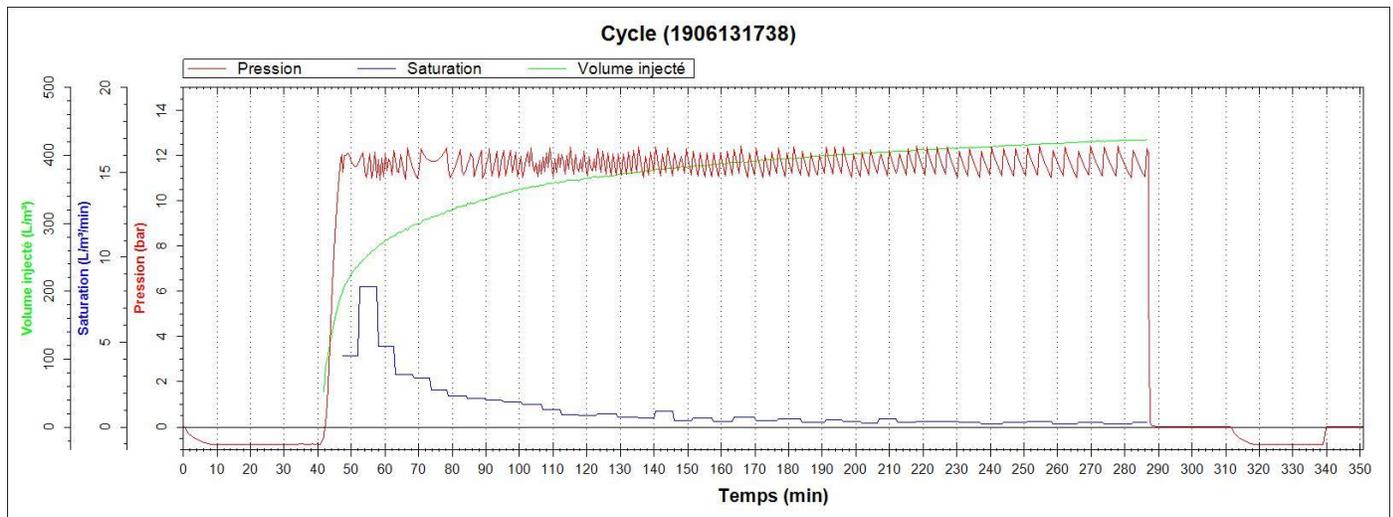
- *Coniophora puteana* : perte de masse (PM) = 31,65% ;
- *Gloephyllum trabeum* : PM = 23,23% ;
- *Poria placenta* : PM = 26,34%.

## 4. Résultats et analyse des résultats

### 4.1. Analyse des données de l'imprégnation

#### 4.1.1. Diagramme d'imprégnation – traitement au sel

Le cycle a été réalisé le vendredi 13 juin 2019. Le numéro du cycle est le 1906131738.



Par l'analyse de ce diagramme et ses différentes courbes, on peut analyser en partie le comportement du bois durant le process. Voici quelques explications à propos de ces courbes :

- La courbe de pression (en rouge) en bar : on démarre le cycle à pression atmosphérique (0 bar). Ensuite, on enclenche la pompe à vide qui met 10 minutes pour atteindre sa consigne qui est de -0.85 bar. Une fois que cette consigne est atteinte, le vide (ou dépression) est maintenu pendant une vingtaine de minutes. Ce laps de temps étant écoulé, le remplissage de l'autoclave commence alors que celui-ci est toujours maintenu sous vide. Le vide a lui seul suffit pour remplir l'autoclave de la solution de traitement. Aucune pompe n'est nécessaire lors de cette étape. Une fois que les bois sont complètement immergés, une pompe hydraulique s'enclenche pour atteindre la pression consigne de 12 bar. Dès qu'elle atteint cette pression, la pompe s'arrête et l'autoclave est entièrement « isolé ». Sous l'effet de la pression, la solution de traitement pénètre dans le bois, ce qui a pour effet de diminuer la pression à l'intérieur de l'autoclave. Or, l'automate a pour consigne de maintenir une pression dans le cylindre. Dès que la pression redescend en-dessous de 11 bar, la pompe à pression hydraulique s'enclenche à nouveau pour atteindre la pression de 12 bar. De nouveau, le bois absorbe la solution de traitement, la pression diminue et la pompe se reclenche. Cela est représenté graphiquement par la courbe de pression qui oscille entre 12 et 11 bar. On constate que plus on avance dans le temps, plus la descente en pression est lente (la courbe en « dents de scie » est de plus en plus plate). En effet, le bois se sature petit à petit. Dans ce cas précis, la pression a été maintenue pendant 240 minutes.
- La courbe de volume injecté (en vert) en l/m³ : cette courbe démarre au moment de la montée en pression. Le volume injecté est très important au début mais la courbe tend vers une asymptote horizontale.

- La courbe de saturation (en bleu) exprimée en l/m<sup>3</sup>/min : la courbe est « saccadée » car elle est réalisée en prenant des données (volume de la solution de traitement contenu dans la cuve de réserve) à un intervalle de temps régulier. Il est possible de la lisser en augmentant ces prises de données. Cette courbe est proportionnelle à la courbe de volume injectée. À son tour, elle a tendance à tendre vers 0. La saturation du bois, c'est-à-dire, l'absorption par minutes est de plus en plus faible car le bois se sature en produit de préservation.

#### 4.1.2. Rétention par mesure volumétrique – traitement à l'huile

L'ensemble des lattes et lamelles ont été pesées avant et après la seconde imprégnation à l'huile.

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

<b>Huile minérale</b>									
Type de planche	N°	Hauteur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Poids avant (g)	Poids après (g)	Rétention huile (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Lamelle</b>	13	15	25	1600	0,0006	512	307	382	125
	24	15	25	1600	0,0006	388	233	272	65
	35	15	25	1597	0,0006	366	219	377	264
	46	15	25	1598	0,0006	412	247	295	80
	51	15	25	1598	0,0006	512	307	425	197
	57	15	25	1600	0,0006	470	282	376	157
	62	15	25	1600	0,0006	457	274	412	230
72	15	25	1599	0,0006	437	262	358	160	
<b>Planchette A</b>	13	24	81	1600	0,0031	454	1411	1636	72
	24	24	81	1598	0,0031	380	1179	1292	36
	35	23	81	1597	0,0030	387	1151	1456	103
	46	24	80	1598	0,0031	374	1146	1235	29
	51	24	80	1598	0,0031	478	1468	1773	99
	57	24	81	1600	0,0031	383	1192	1543	113
	62	23	82	1598	0,0030	382	1152	1381	76
72	24	79	1599	0,0030	416	1262	1473	70	

<b>Huile mixte minérale + végétale</b>									
Type de planche	N°	Hauteur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Poids avant (g)	Poids après (g)	Rétention huile (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Lamelle</b>	15	15	25	1599	0,0006	490	294	314	33
	21	15	25	1600	0,0006	375	225	242	28
	26	15	25	1598	0,0006	397	238	255	28
	37	15	25	1599	0,0006	377	226	282	93
	42	15	25	1590	0,0006	403	240	260	34
	53	15	25	1598	0,0006	486	291	329	63
	64	15	25	1599	0,0006	487	292	351	98
74	15	25	1599	0,0006	449	269	320	85	
<b>Planchette A</b>	15	23	82	1598	0,0030	462	1392	1498	35
	21	24	79	1600	0,0030	414	1257	1335	26
	26	24	81	1598	0,0031	380	1182	1257	24
	37	24	79	1598	0,0030	412	1249	1396	49
	42	24	80	1598	0,0031	407	1250	1328	25
	53	25	80	1599	0,0032	424	1356	1473	37
	64	24	81	1596	0,0031	436	1353	1385	10
74	24	80	1599	0,0031	419	1285	1415	42	

<b>Huile végétale</b>									
Type de planche	N°	Hauteur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Poids avant (g)	Poids après (g)	Rétention huile (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Lamelle</b>	14	15	25	1599	0,0006	502	301	330	<b>48</b>
	25	15	25	1599	0,0006	410	246	266	<b>33</b>
	31	15	25	1599	0,0006	392	235	281	<b>77</b>
	36	15	25	1598	0,0006	389	233	270	<b>62</b>
	47	15	25	1598	0,0006	414	248	270	<b>37</b>
	52	15	25	1598	0,0006	496	297	323	<b>43</b>
	63	15	25	1598	0,0006	491	294	319	<b>42</b>
	73	15	25	1599	0,0006	470	282	311	<b>48</b>
<b>Planchette A</b>	14	24	81	1599	0,0031	472	1467	1574	<b>34</b>
	25	24	82	1598	0,0031	387	1218	1303	<b>27</b>
	31	26	80	1599	0,0033	428	1424	1524	<b>30</b>
	36	24	80	1597	0,0031	396	1215	1343	<b>42</b>
	47	28	80	1599	0,0036	330	1183	1274	<b>25</b>
	52	25	81	1597	0,0032	423	1367	1461	<b>29</b>
	63	24	81	1598	0,0031	400	1243	1353	<b>35</b>
	73	24	80	1599	0,0031	429	1318	1414	<b>31</b>

<b>Huile de récupération</b>									
Type de planche	N°	Hauteur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Poids avant (g)	Poids après (g)	Rétention huile (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Lamelle</b>	16	15	25	1600	0,0006	500	300	330	<b>49</b>
	27	15	25	1600	0,0006	392	235	257	<b>36</b>
	29	15	25	1600	0,0006	392	235	289	<b>89</b>
	32	15	25	1600	0,0006	380	228	361	<b>221</b>
	43	15	25	1600	0,0006	408	245	268	<b>38</b>
	54	15	25	1600	0,0006	490	294	358	<b>106</b>
	65	15	25	1600	0,0006	477	286	413	<b>211</b>
	75	15	25	1600	0,0006	452	271	354	<b>138</b>
<b>Planchette A</b>	16	25	80	1600	0,0032	470	1504	1568	<b>20</b>
	27	25	80	1600	0,0032	362	1157	1285	<b>40</b>
	29	25	80	1600	0,0032	362	1157	1317	<b>50</b>
	32	25	80	1600	0,0032	350	1120	1465	<b>108</b>
	43	25	80	1600	0,0032	378	1211	1322	<b>35</b>
	54	25	80	1600	0,0032	460	1400	1468	<b>21</b>
	65	25	80	1600	0,0032	447	1310	1400	<b>28</b>
	75	25	80	1600	0,0032	451	1443	1473	<b>9</b>

Après plus de 60 jours de séchage à l'abri des intempéries, la densité moyenne des lamelles et planchettes déjà traitées une première fois au Korasit KS2 est respectivement de 441 kg/m<sup>3</sup> et de 411 kg/m<sup>3</sup>. La densité moyenne globale est de 426 kg/m<sup>3</sup>.

Les moyennes des rétentions en huile par type d'huile sont résumées dans le tableau ci-dessous.

	Rétention en huile (kg/m <sup>3</sup> )			
	Huile minérale	Huile mixte	Huile végétale	Huile de récupération
Moyenne lamelle	<b>160</b>	<b>58</b>	<b>49</b>	<b>111</b>
Moyenne planchette A	<b>75</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>39</b>
Moyenne générale	<b>117,5</b>	<b>44,5</b>	<b>40,5</b>	<b>75</b>

L'huile minérale est l'huile qui présente la meilleure rétention. À l'inverse, l'huile végétale a la moins bonne rétention. Cela est en grande partie dû à la viscosité de l'huile qui a plus de mal à pénétrer dans les pores et les cellules du bois.

#### 4.1.3. Rétention par mesure de la concentration en cuivre

Les résultats des analyses XRF sont reprises dans le tableau ci-dessous.

N° de l'échantillon	% Cu mesuré
1	0.400
2	0.338
3	0.385
4	0.376
5	0.392

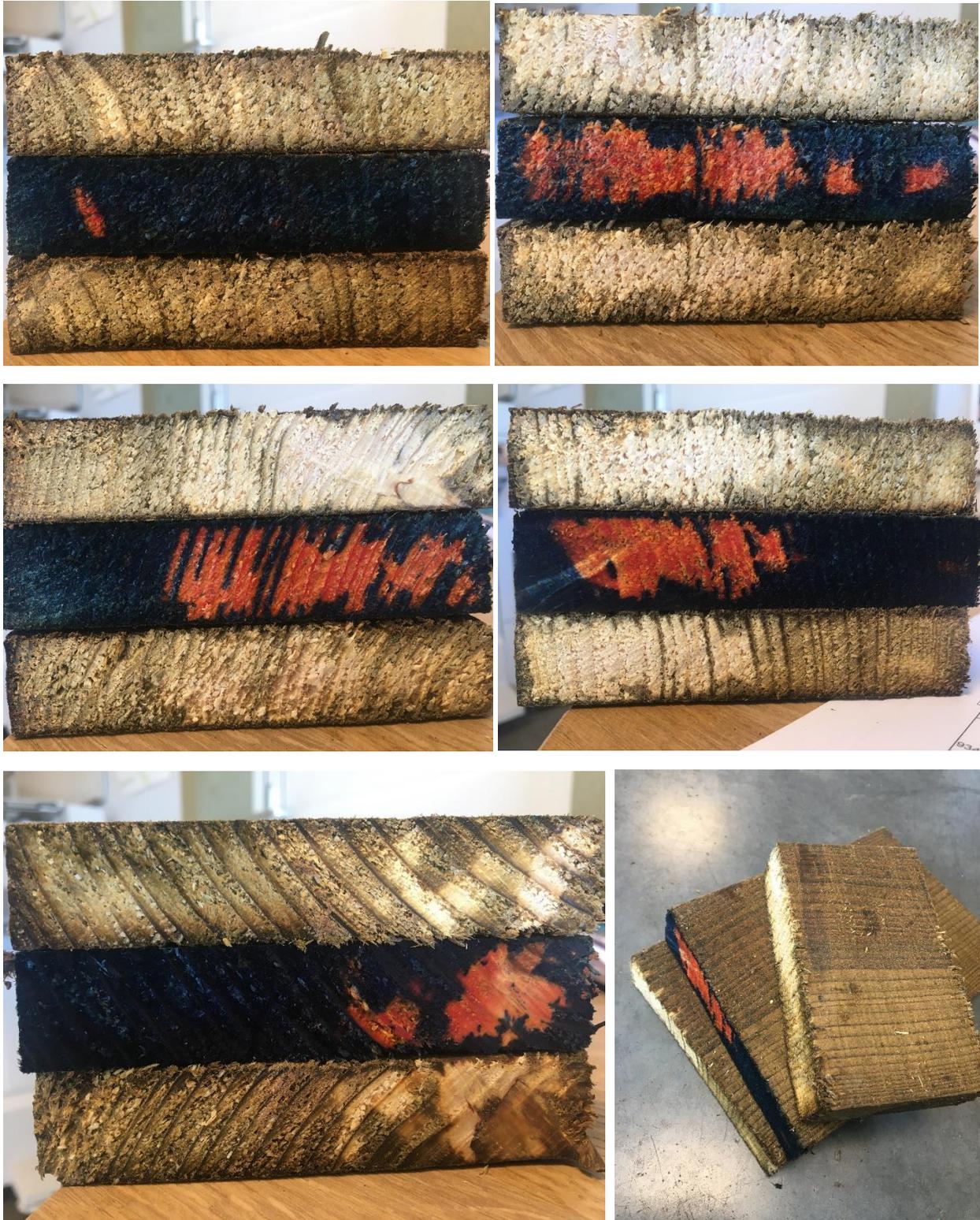
Pour rappel, la concentration en cuivre préconisée par le fabricant est de 0,373 % pour atteindre une classe d'emploi 4 et de 0,623 % pour une classe d'emploi 4 SP.

On obtient un pourcentage moyen en cuivre de 0,378 %, suffisante pour atteindre une classe 4, selon le fabricant. La concentration obtenue n'est pas suffisante pour une classe d'emploi 4 SP. L'épicéa n'est pas recommandé pour ce type d'utilisation.

À titre d'information, la procédure et l'utilisation de la machine XRF permet également de mesurer la concentration de la solution de traitement. Il existe en effet différents calibrages en fonction de la matrice à analyser (eau, huile, bois). La solution de traitement présentait une concentration de 3,17% en produit pur, soit 0,350 % de cuivre.

#### 4.1.4. Pénétration

Des coupes ont été réalisées dans des planches pour analyser la pénétration. Pour illustrer l'importance de l'utilisation du réactif de cuivre, nous avons réalisé deux coupes à distance approximative de 5 cm. Les échantillons ont été superposés.



On se rend compte qu'on obtient une pénétration quasi complète sur certaines planches et partielles sur d'autres. Cependant, la couleur prononcée du réactif met en avant une concentration importante de cuivre, ce qui confirme les résultats obtenus par l'analyse XRF.

Pour rappel, l'épicéa est un bois à aubier et duramen non différencié. Ici, on peut considérer l'imprégnation comme étant totale car l'aubier est entièrement pénétré.

#### 4.1.5. Autres observations

Ils existent d'autres paramètres qui sont difficilement mesurables pour apprécier ou non l'utilisation d'un type d'huile pour une double imprégnation.

Par exemple, certaines huiles ont une odeur plus importante que d'autres. L'huile végétale a une odeur assez prononcée tandis que l'huile minérale est quasi inodore. Le fait de réaliser un mélange d'huiles végétales et minérales atténue fortement cette odeur. L'huile de récupération rappelle clairement l'odeur de la friteuse dans sa maison. On aime ou on n'aime pas.

Le toucher varie aussi fortement d'une huile à l'autre. L'huile minérale a un toucher « sec » très rapidement après l'imprégnation tandis que l'huile végétale présente un toucher beaucoup plus gras qui persiste malgré le séchage. L'huile mixte et de récupération se situe entre les deux.

La photo ci-dessous montre les lots de bois traités directement après la seconde imprégnation. Immédiatement après imprégnation, il est difficile de distinguer à l'œil nu les différents types d'huile.



En revanche, les photos ci-dessous ont été prises près de 6 mois après les opérations de traitement. Elles montrent des planches issues des différents traitements et l'aspect visuel varie fortement d'un type de traitement à l'autre. On observe que le traitement à l'huile minérale est le plus claire. Cela est dû à la caractéristique translucide de l'huile. Les teintes du traitement réalisé avec le mélange d'huiles minérales et végétales se situent entre les teintes des traitements à l'huile minérale et végétale.



#### 4.2. Résultats des essais de durabilité

Ne connaissant pas le comportement des huiles lors du séchage des éprouvettes imprégnées, nous présentons dans les tableaux suivants la fourchette des pertes de masse en supposant d'une part que l'huile est totalement éliminée lors du séchage (PMC\_A et classe de durabilité correspondante) et d'autre part que l'huile n'est pas du tout impactée par le séchage (PMC\_B et classe de durabilité correspondante). La réalité se trouve entre les deux valeurs extrêmes.

Le traitement se montre efficace uniquement face au *Gloeophyllum*, permettant d'atteindre une classe de durabilité 1 dans tous les cas.

Les valeurs minimales et maximales ne laissent malheureusement pas d'équivoque sur une résistance conférée face au *Coniophora puteana* ou au *Poria placenta*.

Lorsque l'on compare aux pertes de masses observées sur les blancs, on constate que globalement le traitement au sel améliore la durabilité de l'épicéa. D'après la norme, cette amélioration est toutefois trop faible pour être satisfaisante.

Les différentes huiles ajoutées en appui au traitement de base avec du sel n'améliorent pas de manière significative la résistance vis-à-vis des trois champignons testés.

			PMC_A(%)	PMC_B(%)	Classe de durabilité A	Classe de durabilité B	Blancs PM (%)	Classe de durabilité
<b>Traitement 1 Sel</b>	<i>Coniophora puteana</i>	Moyenne	27,06		4		35,24	5
		Minimum	8,39				20,70	
		Maximum	42,98				48,18	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Moyenne	4,11		1		31,45	5
		Minimum	-6,56				25,47	
		Maximum	12,02				37,73	
	<i>Poria placenta</i>	Moyenne	19,22		4		27,12	4
		Minimum	13,57				15,84	
		Maximum	26,81				35,87	
<b>Traitement 2 Sel + huile minérale</b>	<i>Coniophora puteana</i>	Moyenne	12,97	40,54	3	5	45,28	5
		Minimum	8,06	23,01			38,68	
		Maximum	17,58	96,42			48,78	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Moyenne	-4,49	12,64	1	3	27,18	4
		Minimum	-12,95	-0,51			19,59	
		Maximum	0,29	48,26			37,12	
	<i>Poria placenta</i>	Moyenne	14,92	33,48	3	5	33,82	5
		Minimum	8,57	17,82			30,46	
		Maximum	19,26	67,81			39,03	
<b>Traitement 3 Sel + huile végétale</b>	<i>Coniophora puteana</i>	Moyenne	22,35	24,26	4	4	46,51	5
		Minimum	0,08	4,26			29,99	
		Maximum	44,66	42,72			55,71	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Moyenne	1,05	0,34	1	1	29,13	4
		Minimum	-4,46	-0,62			20,50	
		Maximum	4,09	1,77			39,44	
	<i>Poria placenta</i>	Moyenne	19,41	20,07	4	4	34,90	5
		Minimum	12,42	11,98			28,53	
		Maximum	28,68	29,50			41,54	
<b>Traitement 4 Sel + mélange huile minérale et végétale</b>	<i>Coniophora puteana</i>	Moyenne	24,75	26,78	4	4	44,77	5
		Minimum	6,01	8,79			32,28	
		Maximum	44,94	44,27			57,14	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Moyenne	-1,05	-0,12	1	1	24,55	4
		Minimum	-6,42	-1,31			17,04	
		Maximum	2,58	0,64			29,60	
	<i>Poria placenta</i>	Moyenne	17,88	20,82	4	4	35,67	5
		Minimum	7,37	15,90			31,56	
		Maximum	27,36	28,83			39,35	
<b>Traitement 5 Sel + huile de friteuse</b>	<i>Coniophora puteana</i>	Moyenne	23,75	28,29	4	4	40,34	5
		Minimum	7,05	14,17			26,80	
		Maximum	38,36	42,45			50,38	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Moyenne	-0,73	1,21	1	1	26,33	4
		Minimum	-2,45	-0,65			17,74	
		Maximum	1,03	2,81			33,23	
	<i>Poria placenta</i>	Moyenne	15,22	19,64	4	4	36,75	5
		Minimum	4,11	11,28			23,90	
		Maximum	28,30	30,33			47,46	

## 5. Conclusions et perspectives

Ce travail visait à mettre en évidence l'intérêt, au niveau de la durabilité vis-à-vis de champignons lignivores, d'un traitement complémentaire avec différentes huiles sur des bois préalablement imprégnés par un sel et ayant subi une épreuve de délavage ensuite.

L'utilisation d'huiles combinées à un traitement ACQ standard pourrait permettre d'améliorer la durée de vie des bois ainsi traités. En effet, l'hydrophobicité conférée par un traitement huileux peut s'avérer très intéressante, entre autres pour limiter le développement des champignons, et limiter le lessivage des substances actives (biocides) contenues dans les sels ACQ.

Il paraît évident qu'un complément d'huile pourra permettre aux bois traités une plus grande stabilité à travers le temps.

Au niveau des résultats obtenus à la suite de la mise en contact avec le champignon, le traitement au sel seul sans addition d'huile n'est pas considéré comme efficace au sens de la norme EN113 alors que la concentration en cuivre mesurée par une analyse XRF indique que la concentration en cuivre est suffisante pour l'obtention d'une classe d'emploi 4, ce qui garantit (normalement) l'efficacité du traitement. Il est possible que des éprouvettes aient été sélectionnées dans des zones non complètement traitées contenant du duramen. Il aurait pu être intéressant de réitérer l'exercice en imprégnant directement les échantillons à la taille de l'éprouvette. Dans notre cas, les éprouvettes ont été prélevées dans des lamelles traitées.

Sur base des résultats obtenus, le traitement complémentaire à base d'huile n'apporte pas de résistance supplémentaire, ainsi que le montre le tableau suivant qui présente les résultats (perte de masse et classe de durabilité correspondante) pour le champignon le plus agressif, *Coniophora puteana*.

Traitements	PMC_A (%) et classe de durabilité correspondante (hypothèse A)	PMC_B (%) et classe de durabilité correspondante (hypothèse B)
Sel : valeurs de référence	27,1 % (cl 4)	
Sel + huile minérale	13,0 % (cl 3)	40,5 % (cl 5)
Sel + huile végétale	22,4 % (cl 4)	24,3 % (cl 4)
Sel + huile minérale et végétale	24,7 % (cl 4)	26,8 % (cl 4)
Sel + huile de friture	23,8 % (cl 4)	28,3 % (cl 4)

L'hypothèse A suppose que toute l'huile présente dans l'éprouvette est éliminée lors du passage à l'étuve (103 °C pendant 48h). L'hypothèse B, à l'opposé, présume que l'huile n'est pas affectée par le séchage et reste intégralement dans l'éprouvette. Les valeurs exactes de rétention d'huile ne nous sont pas connues. Les valeurs réelles de PMC sont comprises entre les valeurs extrêmes correspondant aux 2 hypothèses.

Ce tableau ne met en évidence aucune modalité de traitement à l'huile qui améliore nettement l'efficacité du traitement au sel uniquement. L'ajout d'huile ne suffit donc pas à prévenir suffisamment de l'humidité pour éviter les attaques des champignons. Pour rappel, les éprouvettes ont subi une épreuve de délavage. Il est possible que cette épreuve d'usure ait fait évacuer une quantité d'huile importante.

D'un point de vue industriel, le gros désavantage du doublement traitement est que l'imprégnation se fait en deux phases avec un temps de séchage assez long entre ces deux phases.

De plus, ce type de traitement ne semble pas réalisable lors des périodes de gel en hiver. En effet, les traverses ne pourront pas sécher lors de ces périodes froides et l'évaporation de l'eau injectée dans le bois lors de la première imprégnation au sel de cuivre ne se fera pas. Dans ce cas, si la seconde imprégnation a lieu sur des bois qui n'ont pas eu le temps de réessuyer, cette deuxième imprégnation risque de faire pire que mieux et « enfermer » l'eau à l'intérieur du bois. Pour pallier cela, il faudrait pouvoir passer les traverses dans un séchoir industriel, ce qui revient à rajouter une troisième étape dans le process, ce qui évidemment engendre des coûts supplémentaires.

## 6. Annexes

### 6.1. Annexe 1 : résultats bruts pour le traitement « sel pur »

	Traités			Blancos			
		PMC_A(%)	PMC_B(%)	Huile (g)		PM(%)	Hf(%)
Traitement 1 - Sel	129	-1,31	-1,31				
	239	0,15	0,15				
	349	2,61	2,61				
	459	-0,85	-0,85				
	569	-1,07	-1,07				
	679	9,82	9,82				
	Moyenne	1,56	1,56				
	Minimum	-1,31	-1,31				
	Maximum	9,82	9,82				
	12c1	23,79	23,79		17T1C1	34,81	72,7
	23c1	42,98	42,98		22T1C1	35,90	68,3
	34c1	8,39	8,39		33T1C1	48,18	76,6
	45c1	34,25	34,25		44T1C1	41,07	72,0
	56c1	18,87	18,87		55T1C1	20,70	20,2
	67c1	34,07	34,07		66T1C1	30,78	56,0
	Moyenne	27,06	27,06			35,24	61,0
	Minimum	8,39	8,39			20,70	20,2
	Maximum	42,98	42,98			48,18	76,6
	12c2	4,78	4,78		17T1C2	33,78	82,0
	23c2	12,02	12,02		22T1C2	35,36	92,9
	34c2	-0,01	-0,01		33T1C2	29,81	62,4
	45c2	8,71	8,71		44T1C2	37,73	122,3
	56c2	5,71	5,71		55T1C2	25,47	103,7
	67c2	-6,56	-6,56		66T1C2	26,58	53,7
	Moyenne	4,11	4,11			31,45	86,2
	Minimum	-6,56	-6,56			25,47	53,7
	Maximum	12,02	12,02			37,73	122,3
	12c3	20,01	20,01		17T1C3	35,87	88,2
	23c3	26,81	26,81		22T1C3	15,84	59,5
	34c3				33T1C3	1,10	67,5
	45c3	13,57	13,57		44T1C3	26,93	57,9
	56c3	13,66	13,66		55T1C3	29,85	68,1
	67c3	22,06	22,06		66T1C3	0,39	71,5
Moyenne	19,22	19,22			18,33	68,8	
Minimum	13,57	13,57			0,39	57,9	
Maximum	26,81	26,81			35,87	88,2	

PMC\_A= PM huile 100% éliminée lors du séchage PMC\_B= PM huile non éliminée lors du séchage

Huile=quantité d'huile estimée dans l'éprouvette

##9 : Facteur de correction C1 = *Coniophora puteana* C2 = *Gloeophyllum trabeum* C3 = *Poria placenta*

éprouvette peu ou pas recouverte par le champignon

PM<20%

## 6.2. Annexe 2 : résultats bruts pour le traitement « sel + huile minérale »

	Traités			Blancos			
		PMC_A(%)	PMC_B(%)	Huile (g)	PM(%)	Hf(%)	
Traitement 2 - Sel + huile minérale	139	3,03	0,85	1,567			
	249	1,58	2,38	1,275			
	359	18,85	-2,60	2,641			
	469	1,32	-3,74	1,133			
	579	4,48	2,87	2,296			
	629	12,21	10,31	2,916			
	Moyenne	6,91	1,68	1,971			
	Minimum	1,32	-3,74	1,133			
	Maximum	18,85	10,31	2,916			
	13c1	17,58	31,51	2,433	18T2C1	38,68	71,8
	24c1	8,06	30,37	1,817	28T2C1	48,39	82,8
	35c1	13,64	96,42	6,862	71T2C1	45,60	77,8
	46c1	13,72	23,01	1,518	41T2C1	45,70	78,3
	57c1	14,11	33,90	3,006	58T2C1	48,78	86,3
	62c1	10,71	28,02	2,882	68T2C1	44,53	75,9
	Moyenne	12,97	40,54	3,086		45,28	78,8
	Minimum	8,06	23,01	1,518		38,68	71,8
	Maximum	17,58	96,42	6,862		48,78	86,3
	13c2	-5,41	-0,51	2,150	18T2C2	24,02	82,5
	24c2	-12,95	8,67	1,710	28T2C2	30,64	77,5
	35c2	0,29	48,26	6,637	71T2C2	19,59	78,1
	46c2	-2,78	3,04	1,484	41T2C2	37,12	78,3
	57c2	-4,40	5,57	2,691	58T2C2	21,02	117,1
	62c2	-1,68	10,82	2,846	68T2C2	30,72	65,7
	Moyenne	-4,49	12,64	2,919		27,18	83,2
	Minimum	-12,95	-0,51	1,484		19,59	65,7
	Maximum	0,29	48,26	6,637		37,12	117,1
	13c3	12,33	21,75	1,664	18T2C3	30,46	112,1
	24c3	19,18	29,43	1,195	28T2C3	31,95	67,8
	35c3			2,601	71T2C3	-1,22	91,5
46c3	19,26	17,82	0,794	41T2C3	-1,71	91,6	
57c3	15,24	30,58	2,448	58T2C3	39,03	103,0	
62c3	8,57	67,81	5,163	68T2C3	-1,32	86,2	
Moyenne	14,92	33,48	2,311		16,20	92,0	
Minimum	8,57	17,82	0,794		-1,71	67,8	
Maximum	19,26	67,81	5,163		39,03	112,1	

PMC\_A= PM huile 100% éliminée lors du séchage PMC\_B= PM huile non éliminée lors du séchage

Huile=quantité d'huile estimée dans l'éprouvette

##9 : Facteur de correction C1 = *Coniophora puteana* C2 = *Gloeophyllum trabeum* C3 = *Poria placenta*

éprouvette peu ou pas recouverte par le champignon

PM<20%

6.3. Annexe 3 : résultats bruts pour le traitement « sel + huile végétale »

	Traités			Blancos			
		PMC_A(%)	PMC_B(%)	Huile (g)	PM(%)	Hf(%)	
Traitement 3 - Sel + huile végétale	149	2,46	3,92	1,174			
	259	3,24	1,50	0,515			
	369	-2,90	-0,81	1,215			
	739	1,27	2,00	0,937			
	529	2,07	1,42	0,094			
	639	-1,10	1,95	0,108			
	Moyenne	0,84	1,66	0,674			
	Minimum	-2,90	-0,81	0,094			
	Maximum	3,24	3,92	1,215			
	14c1	44,66	42,72	-0,037	17T3C1	49,08	72,3
	25c1	4,09	7,24	0,057	22T3C1	55,71	85,8
	36c1	0,08	4,26	1,223	33T3C1	55,03	85,4
	73c1	23,74	21,94	0,069	44T3C1	54,27	78,4
	52c1	28,82	31,42	0,860	55T3C1	34,98	69,0
	63c1	32,73	37,98	1,089	66T3C1	29,99	56,1
	Moyenne	22,35	24,26	0,543		46,51	74,5
	Minimum	0,08	4,26	-0,037		29,99	56,1
	Maximum	44,66	42,72	1,223		55,71	85,8
	14c2	4,09	1,11	0,024	17T3C2	30,58	90,6
	25c2	2,79	0,15	-0,349	22T3C2	39,44	76,1
	36c2	-4,46	0,24	1,464	33T3C2	30,76	61,2
	73c2	2,75	-0,62	-0,029	44T3C2	24,25	91,4
	52c2	1,57	-0,62	0,753	55T3C2	20,50	114,8
	63c2	-0,43	1,77	1,103	66T3C2	29,29	56,1
	Moyenne	1,05	0,34	0,494		29,13	81,7
	Minimum	-4,46	-0,62	-0,349		20,50	56,1
	Maximum	4,09	1,77	1,464		39,44	114,8
	14c3	17,01	19,00	1,097	17T3C3	41,54	76,4
	25c3	28,68	29,50	0,523	22T3C3	2,32	58,5
	36c3	22,53	22,06	0,730	33T3C3	-0,04	85,5
73c3	16,58	18,84	1,019	44T3C3	28,53	69,6	
52c3	19,22	19,05	0,216	55T3C3	34,61	104,3	
63c3	12,42	11,98	-0,090	66T3C3	0,66	69,2	
Moyenne	19,41	20,07	0,582		17,94	77,3	
Minimum	12,42	11,98	-0,090		-0,04	58,5	
Maximum	28,68	29,50	1,097		41,54	104,3	

PMC\_A= PM huile 100% éliminée lors du séchage PMC\_B= PM huile non éliminée lors du séchage  
Huile=quantité d'huile estimée dans l'éprouvette

##9 : Facteur de correction C1 = *Coniophora puteana* C2 = *Gloeophyllum trabeum* C3 = *Poria placenta*

éprouvette peu ou pas recouverte par le champignon

PM<20%

6.4. Annexe 4 : résultats bruts pour le traitement « sel + mix d'huile végétale/minérale »

	Traités			Blancs			
		PMC1(%)	PMC2(%)	Huile (g)	PM(%)	Hf(%)	
Traitement 4 - Sel + mélange huile minérale et végétale	159	5,41	2,77	0,627			
	269	2,82	2,18	0,495			
	379	-0,78	3,58	1,145			
	429	0,42	2,74	0,691			
	539	3,02	2,27	1,480			
	649	1,48	3,28	2,197			
	Moyenne	2,06	2,80	1,106			
	Minimum	-0,78	2,18	0,495			
	Maximum	5,41	3,58	2,197			
	15c1	30,25	29,71	0,114	18T4C1	32,28	66,3
	26c1	24,18	32,02	0,585	28T4C1	57,14	108,9
	37c1	6,01	8,79	2,457	71T4C1	52,83	80,3
	42c1	44,94	44,27	0,056	41T4C1	34,40	69,7
	53c1	32,40	33,46	0,307	58T4C1	43,61	75,9
	64c1	10,72	12,45	1,660	68T4C1	48,37	84,5
	Moyenne	24,75	26,78	0,863		44,77	80,9
	Minimum	6,01	8,79	0,056		32,28	66,3
	Maximum	44,94	44,27	2,457		57,14	108,9
	15c2	0,20	-1,31	0,094	18T4C2	24,55	99,9
	26c2	-6,42	0,32	0,511	28T4C2	25,66	138,5
	37c2	-2,20	0,43	2,439	71T4C2	17,04	168,7
	42c2	2,58	0,64	0,004	41T4C2	29,60	72,6
	53c2	-0,99	0,36	0,587	58T4C2	27,09	60,2
	64c2	0,54	-1,18	1,354	68T4C2	23,38	83,4
	Moyenne	-1,05	-0,12	0,832		24,55	103,9
	Minimum	-6,42	-1,31	0,004		17,04	60,2
	Maximum	2,58	0,64	2,439		29,60	168,7
	15c3	21,45	21,08	0,685	18T4C3	31,56	136,4
26c3	27,36	28,83	0,556	28T4C3	1,32	67,3	
37c3	7,37	15,90	1,536	71T4C3	-0,19	75,3	
42c3	25,41	26,29	0,398	41T4C3	39,35	77,8	
53c3	14,19	16,75	1,572	58T4C3	36,10	90,2	
64c3	11,48	16,08	2,345	68T4C3	1,39	96,5	
Moyenne	17,88	20,82	1,182		18,25	90,6	
Minimum	7,37	15,90	0,398		-0,19	67,3	
Maximum	27,36	28,83	2,345		39,35	136,4	

PMC\_A= PM huile 100% éliminée lors du séchage PMC\_B= PM huile non éliminée lors du séchage

Huile=quantité d'huile estimée dans l'éprouvette

##9 : Facteur de correction C1 = *Coniophora puteana* C2 = *Gloeophyllum trabeum* C3 = *Poria placenta*

éprouvette peu ou pas recouverte par le champignon

PM<20%

6.5. Annexe 5 : résultats bruts pour le traitement « sel + huile de récupération »

	Traités			Blancos			
		PMC_A(%)	PMC_B(%)	Huile (g)		PM(%)	Hf(%)
Traitement 5 - Sel + huile de friteuse	169	4,64	1,76	1,010			
	279	1,12	2,17	0,847			
	329	5,45	1,90	3,485			
	439	3,29	1,42	-0,067			
	549	1,02	0,34	2,430			
	659	4,41	2,21	4,041			
	Moyenne	3,32	1,63	1,958			
	Minimum	1,02	0,34	-0,067			
	Maximum	5,45	2,21	4,041			
	16c1	22,74	25,30	0,178	17T5C1	37,38	65,2
	27c1	38,36	42,45	0,223	22T5C1	38,91	74,2
	32c1	7,05	14,17	4,513	33T5C1	50,38	102,9
	43c1	27,83	32,06	0,432	44T5C1	49,61	81,0
	54c1	27,38	26,72	0,307	55T5C1	38,94	70,8
	65c1	19,16	29,03	3,161	66T5C1	26,80	52,8
	Moyenne	23,75	28,29	1,469		40,34	74,5
	Minimum	7,05	14,17	0,178		26,80	52,8
	Maximum	38,36	42,45	4,513		50,38	102,9
	16c2	-2,45	1,03	0,279	18T5C2	28,45	63,9
	27c2	1,03	2,81	0,085	28T5C2	33,23	92,7
	32c2	-0,84	1,59	3,998	71T5C2	17,74	185,0
	43c2	-0,03	1,31	0,264	41T5C2	28,83	70,3
	54c2	-1,51	1,15	0,955	58T5C2	23,46	64,1
	65c2	-0,55	-0,65	3,363	68T5C2	26,28	80,5
	Moyenne	-0,73	1,21	1,491		26,33	92,8
	Minimum	-2,45	-0,65	0,085		17,74	63,9
	Maximum	1,03	2,81	3,998		33,23	185,0
	16c3	28,08	30,33	0,735	17T5C3	41,97	69,2
	27c3	16,43	17,56	0,665	22T5C3	4,81	74,3
	32c3	4,11	15,57	4,460	33T5C3	33,69	62,1
	43c3	28,30	28,24	-0,110	44T5C3	23,90	58,5
	54c3	8,12	14,85	2,732	55T5C3	47,46	86,9
65c3	6,31	11,28	4,281	66T5C3	-0,43	83,7	
Moyenne	15,22	19,64	2,127		25,23	72,4	
Minimum	4,11	11,28	-0,110		-0,43	58,5	
Maximum	28,30	30,33	4,460		47,46	86,9	

PMC\_A= PM huile 100% éliminée lors du séchage PMC\_B= PM huile non éliminée lors du séchage

Huile=quantité d'huile estimée dans l'éprouvette

##9 : Facteur de correction C1 = *Coniophora puteana* C2 = *Gloeophyllum trabeum* C3 = *Poria placenta*

éprouvette peu ou pas recouverte par le champignon

PM<20%

6.6. Annexe 6 : présentation des valeurs d'absorption par latte

Huile	Numéro latte	Absorption kg/m <sup>3</sup>	Absorption moyenne kg/m <sup>3</sup>	Absorption moy/épr g
<b>Huile minérale</b>	13	125	<b>160</b>	2,344
	24	65		1,219
	35	264		4,947
	46	80		1,502
	51	197		3,692
	57	157		2,938
	62	230		4,313
	72	160		3,002
<b>Mélange huile minérale +végétale</b>	15	33	<b>58</b>	0,625
	21	28		0,531
	26	28		0,532
	37	93		1,751
	42	34		0,629
	53	63		1,189
	64	98		1,845
	74	85		1,595
<b>Huile végétale</b>	14	48	<b>49</b>	0,907
	25	33		0,625
	31	77		1,438
	36	62		1,158
	47	37		0,688
	52	43		0,814
	63	42		0,782
	73	48		0,907
<b>Huile de friteuse (1)</b>	16	49	<b>111</b>	0,917
	27	36		0,672
	29	89		1,672
	32	221		4,148
	43	38		0,719
	54	106		1,992
	65	211		3,948
	75	138		2,594

(1) Valeurs estimées

## 6.7. Annexe 7 : illustration de la procédure d'analyse XRF en photos

