

Projet 2017.10 EcoViaLactique

Viabilité économique, validation technique et recyclage en cascade d'un traitement de modification chimique du bois innovant, bio-sourcé, pour l'utilisation d'essences locales en extérieur

Rapport final

Nr. de rapport WHFF	2017.10
Nr. de dossier BFH	R.008465-10-76FE-01
Classement	Public
Date	30.09.2019
Mandataire	Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Wald, WHFF Frau Claire-Lise Suter CH – 3003 Bern
Adresse du centre de Recherche	Haute école spécialisée bernoise Architecture, bois et génie civil Institut des Matériaux et de la technologie du bois IWH Domaine des compétences Modification du bois et traitement de surface Institut de l'économie numérique de la construction et du bois IdBH Domaine des compétences Management et Recherches de marché Solothurnstrasse 102, CH-2504 Biel Tel / Fax +41 (0)32 344 03 41/91 www.ahb.bfh.ch
Auteurs	Marion Noël, Bernhard Letsch, Nadja Riedweg, Birgit Neubauer-Letsch, Simon Meier
Personnes chargées du Dossier	Marion Noël, Birgit Neubauer-Letsch 26.9.19 Birgit N. Letsch
Responsables des Instituts	Frédéric Pichelin / Rolf Baumann 26.09.2019 R. Baumann

Haute école spécialisée bernoise
Institut des Matériaux et de la technologie du bois

Sommaire

Rapport final	1
Sommaire	2
1 Situation initiale	3
2 Objectifs	4
3 Collaborateurs du projet	5
4 Méthode	5
4.1 Déviations par rapport à la demande	5
4.2 PT1 Méthodes pour l'analyse de la concurrence	5
4.3 PT2 Méthodes pour les sondages	5
4.4 PT3 Méthodes pour les chiffrages des investissements	6
4.5 PT4 Méthodes pour la validation technique	7
4.5.1 Evaluation de l'efficacité anti-gonflement	7
4.5.2 Essai de lessivage	7
4.5.3 Caractérisation mécanique	7
4.5.4 Résistance à la corrosion	8
4.5.5 Aptitude au revêtement de surface	8
4.5.6 Vieillissement naturel	9
5 Résultats	11
5.1 Analyse de la concurrence	11
5.2 Sondage du marché	14
5.3 Chiffrage des investissements, Paquet de travail 3, partie processus modèle	21
5.3.1 Procédé modèle de la méthode de traitement	21
5.3.2 Calcul des coûts d'investissement et de fabrication selon le procédé modèle	22
5.4 Validation technique, Paquet de travail 4	25
5.4.1 Courte étude préalable, autres essences	25
5.4.2 Fabrication de bois traité	26
5.4.3 Caractérisation mécanique par flexion	31
5.4.4 Aptitude au collage	33
5.4.5 Aptitude à la finition	34
5.4.6 Corrosion	45
5.4.7 Vieillissement naturel	46
5.5 Dissémination, Paquet de travail 5	49
6 Conclusions	50
7 Stipulation du présent rapport	52
7.1 Nombre de pages	52
8 Index	53
8.1 Index des tableaux	53
8.2 Index des figures	53
Annexe A: Catalogue de questions pour les interviews d'experts	55
Annexe B: Analyse de la concurrence	58

1 Situation initiale

Un système de modification chimique du bois à base d'acide lactique a été développé par la BFH-AHB, qui permet d'atteindre des propriétés comparables aux deux traitements commerciaux de références dans le domaine : l'Accoya® et le Kebony®. Les avantages notables de ce traitement par rapport à ces deux concurrents sont entre autres les suivants : le produit de traitement est entièrement bio-sourcé et largement disponible localement, la réaction ne crée pas de co-produit indésirable, le procédé de traitement est long mais simple techniquement, le traitement du hêtre est possible contrairement à la plupart des systèmes de modification du bois. Une ouverture du traitement est proposée dans ce projet à d'autres essences locales, en particulier le sapin blanc.

De plus, une pré-étude économique a laissé entrevoir que ce traitement pourrait être rentable et se positionner sur le marché du bois haut-de-gamme, qui semble en forte croissance sur les 5/10 dernières années.

Ce projet a pour double objectif de :

- s'assurer de l'intérêt d'un portefeuille d'utilisateurs qui pourront attester de la qualité du produit, et de ce fait, attirer l'attention des distributeurs,
- valider certains aspects techniques de fabrication et de mise en œuvre pour faciliter l'implémentation dans une seconde étape.

Pour répondre à ces objectifs, le projet s'articule en 4 paquets de travail principaux auxquels s'ajoutent la coordination et la dissémination. Les activités orientées marché sont considérées dans les paquets de travail « Analyse de la concurrence » et « Sondage du marché », alors que les considérations techniques font l'objet des paquets de travail « Chiffrage des investissements » et « Validation technique ». L'organisation globale du travail de projet est illustrée par la Figure 1 ci-dessous :

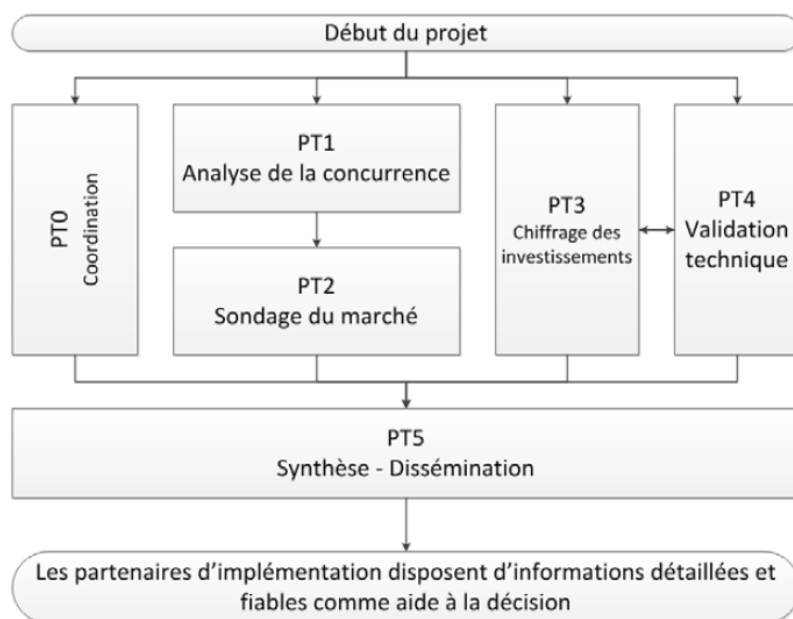


Figure 1 : Plan de recherche général du projet

Historiquement lié au développement du traitement au travers de précédents projets de recherche, l'entreprise Corbat Holding SA est le partenaire de mise en œuvre du traitement du bois, possédant l'équipement nécessaire à la partie technique du travail, et la connaissance du marché nécessaire à la partie marketing. L'entreprise Jungbunzlauer Suisse SA, leader sur le marché de la production d'acide lactique, et productrice en Europe, est intéressée de diversifier ses marchés, en particulier vers des applications techniques. Sa connaissance du produit et sa culture de possibles alternatives ou additifs seront nécessaires à la conduite des parties technique et économique du travail.

2 Objectifs

Les objectifs de la recherche prévue selon la demande ont été adaptés en cours de projet en fonction des résultats intermédiaires et des évaluations de marché. Ces adaptations ont été effectuées principalement pour des raisons de faisabilité et de viabilité économique, et sur conseil des partenaires industriels du projet.

L'intégration du bois « EcoViaLactique » serait envisageable dans l'assortiment de Corbat Holding SA en complément d'autres produits dans le segment « haut de gamme » des lames de façade et de terrasse, comme les produits EcoGris® ou EcoNoir®. Le hêtre n'est plus traité thermiquement, ni proposé pour des applications extérieures par l'entreprise. Les longueurs disponibles sont également plus courtes qu'en résineux, ce qui implique un aboutage intermédiaire qui renchérirait le coût. L'utilité d'un traitement efficace réalisable facilement sur le hêtre et permettant d'améliorer les propriétés de cette essence sans péjorer le collage est d'autant plus claire. Le sapin blanc sera également inclus dans le développement. En revanche, l'entreprise Corbat Holding SA n'étant pas productrice de fenêtres, cette application ne sera pas considérée dans ce projet, car cela supposerait un gros travail technique potentiellement non valorisé.

Les principaux objectifs par paquet de travail sont résumés ci-dessous :

- PT1 Une analyse de la concurrence,

Objectif : fournir une vue d'ensemble des produits concurrents du bois modifié chimiquement et également des produits concurrents de type WPC (*wood plastic composites*) ou Resysta® en matière de propriétés importante, gammes de prix, capacités de production de ces produits, en Suisse et sur quelques pays limitrophes (DEU, AUT, FRA).

- PT2 Un sondage des marchés

Si le marché du bois modifié chimiquement, haut de gamme, semble en pleine croissance, l'implémentation d'un nouveau processus sur ce marché ne coule pas de source, en particulier de production Suisse.

Objectif : évaluer les besoins, les solutions choisies, l'opinion des commerçants et utilisateurs finaux et déduire les volumes de vente possibles. On peut ainsi déduire une bonne idée de la croissance du secteur, d'après contact avec les commerçants en Suisse et dans quelques pays limitrophes (DEU, AUT, FRA).

- PT3 Un chiffrage des investissements

Objectif : décrire les variantes prometteuses, incluant le montant de l'investissement de départ, le retour sur investissement et la rentabilité.

- PT4 Une validation technique :

Objectif 1 : décrire les principales propriétés mises en jeu dans les applications visées

Des pièces de sections représentatives de pièces à l'échelle 1 ont été produites par imprégnation au laboratoire de la BFH-AHB et traitement thermique dans la chambre de traitement thermique de Corbat Holding SA. Ces pièces ont été évaluées en termes de résistance en flexion, d'aptitude au collage et à la finition, de résistance au vieillissement artificiel et naturel, et de corrosion des assemblages métalliques. Ces essais posent les bases de l'optimisation, nécessaire, du cycle de fabrication, et de la rédaction de prescriptions de pose une fois l'optimisation conduite.

Objectif 2 : pré-étude de valorisation en cascade du bois modifié

Dans cette optique, l'aptitude au collage donne une idée des possibilités de recyclage des co-produits de sciage ou de rabotage, mais aussi des pièces finales en fin de vie, sous forme de composites bois (panneaux de fibres, de particules) principalement. La valorisation en pellets a en effet été déconseillée par l'entreprise Corbat Holding SA, producteurs de pellets par l'intermédiaire de leur filiale « Pellets du Jura », du fait de nombreuses réglementations contrôlant le contenu des pellets.

- PT5 La finalité de ce projet est de déterminer si une entrée en matière concernant l'implémentation de ce nouveau procédé de traitement du bois sur le marché est judicieuse ou pas. Dans le cas positif, les deux partenaires que sont Corbat Holding SA et Jungbunzlauer Suisse SA seraient intéressés de débiter une collaboration dans cette optique. Les premières démarches ont déjà été engagées.

3 Collaborateurs du projet

Collaborateurs de projet

- Marion Noël, collaboratrice scientifique / cheffe de projet, validation technique
- Birgit Neubauer-Letsch, professeur / cheffe de projet, marchés, commercialisation, variantes
- Nadja Riedweg, collaboratrice scientifique / processus, commercialisation, sondage du marché
- Bernhard Letsch, professeur / calcul des investissements
- Charlotte Grosse, assistante de recherche / validation technique
- Simon Meier, collaborateur scientifique / analyse de la concurrence
- Lucas Boustie, stagiaire, élève ingénieur ENSTIB (été 2017) / analyse de la concurrence, sondage

4 Méthode

4.1 Déviations par rapport à la demande

En termes de validation technique, plusieurs adaptations au plan ont eu lieu. Il a été décidé en début de projet, après nouvelle consultation de nos partenaires industriels et de plusieurs experts de la branche, de favoriser l'ouverture à d'autres essences d'intérêt et plusieurs qualités de bois, plutôt que de pousser la démarche de caractérisation trop loin sur le seul hêtre, de plus en plus sévèrement mis de côté par les professionnels.

Ainsi, les variations au plan sont les suivantes : la revalorisation sous forme de pellets de chauffage a été mise de côté sur les conseils de nos partenaires industriels, du fait de réglementations très strictes concernant les matériaux. La revalorisation par fabrication de composites bois (panneaux de particules) a été repoussée après la fin officielle du projet pour bénéficier de la matière à disposition jusqu'à la conclusion finale. Des produits finis en hêtre à l'échelle 1 n'ont pas été produits, empêchant l'élaboration de prescriptions de pose précises. En revanche, le sapin blanc a été intégré dans le projet, multipliant les essais et résultats par deux. De plus, pour les deux essences (hêtre et sapin blanc), deux qualités de bois ont été comparées, multipliant les essais et résultats par deux.

4.2 PT1 Méthodes pour l'analyse de la concurrence

Dans une première phase, plusieurs produits - probablement concurrentiels aux futurs produits avec un traitement EcoViaLactique - ont été examinés dans le cadre d'une étude de marché. Dans un premier temps, les pages internet et les catalogues des fabricants et fournisseurs de produits concurrentiels ont été consultés. Dans un deuxième temps, quatre grands magasins de Do-it-Yourself (Hornbach, Jumbo, Coop, OBI) ont été visités et les produits proposés ont été comparés ainsi que les offres des commerçants spécialisés.

4.3 PT2 Méthodes pour les sondages

Sur la base des résultats des premières analyses des concurrents, un questionnaire pour une étude de marché a été élaboré. Initialement, ce questionnaire a été développé sous forme d'enquête en ligne auprès d'un public cible d'architectes et de constructeurs de terrasses et de façades en bois. Ce questionnaire est composé de 25 questions environ. La base de données et les adresses de contact pour l'expédition du sondage ont été choisies parmi les permis de construire. Tous les permis de construire sont disponibles à la Haute école spécialisée Bernoise à des fins de recherche.

Lors de la réunion de travail du 23.03.2018 à Bienne, il a été décidé qu'aucune enquête en ligne ne devrait être réalisée dans cette étape du projet, mais que des interviews exploratoires d'experts devraient être menées. Étant donné que les produits finaux avec le nouveau traitement ne sont pas encore sur le marché et que le concept de produit est encore relativement ouvert, il est méthodiquement plus approprié dans cette étape de recueillir l'avis des revendeurs potentiels et des experts de la branche que celui des planificateurs et des constructeurs.

Le questionnaire de l'enquête en ligne a donc été transformé en un guide pour les interviews d'experts.

Lors de la sélection des experts, on a veillé à ce que les groupes de clients les plus importants pour les produits de façade et de terrasse traités avec le nouveau procédé soient pris en compte. Il s'agit notamment de revendeurs de bois et de matériaux de construction, d'entreprises de construction bois ainsi que d'architectes et d'urbanistes.

La demande initiale des entreprises sélectionnées a été envoyée par courrier électronique. En peu de temps, la majorité des personnes contactées a réagi. Une relance n'a été nécessaire qu'avec peu d'entreprises. Une date d'entretien a finalement pu être convenue avec neuf entreprises au total. Six d'entre elles sont actives dans le commerce de matériaux de construction ou de bois, deux sont actives dans le secteur de la construction en bois et une est un bureau d'architecture avec une expérience dans la construction bois. Une à trois personnes de chaque entreprise ont pris part aux discussions.

Pour préparer ces interviews, les lignes directrices ont été envoyées aux experts avant la rencontre. Les sujets suivants constituent les lignes directrices (le guide complet se trouve en annexe) :

- Évaluation générale du marché des terrasses / façades :
 - Quelle est l'évaluation générale du marché des terrasses / façades en bois ?
 - Quels sont les matériaux les plus fréquemment vendus ou utilisés pour les terrasses / façades ?
 - Quelle est la superficie moyenne des terrasses / façades ?
 - Quels sont les critères importants pour le choix du matériau des terrasses / façades ?
 - Quelle est la situation actuelle des prix des terrasses / façades ?
 - La pression de la concurrence internationale est-elle forte ?
 - Existe-t-il des différences sur le marché des terrasses et des façades par rapport aux pays voisins ?
- Évaluation du potentiel commercial du bois modifié par le nouveau procédé :
 - Comment les experts évaluent-ils le nouveau produit ?
 - Les experts peuvent-ils imaginer d'inclure ou d'utiliser le produit dans leur gamme ?
 - Quels seraient les arguments de vente les plus importants ?
 - Dans quelle fourchette le prix devrait-il se situer ?
 - Quels groupes de clients sont intéressants pour le nouveau produit ?
 - Quelles informations devraient être disponibles sur le nouveau produit ?
 - Quelle serait l'importance d'une certaine longueur minimale des produits ?
 - Quelles sous-constructions devraient être compatibles ?
 - Quels autres domaines d'application les experts voient-ils pour les produits en bois traités à l'acide lactique ?

Les entretiens ont été menés personnellement sur la base de ce questionnaire et protocolés manuellement. Les comptes-rendus sont résumés dans le présent rapport.

4.4 PT3 Méthodes pour les chiffrages des investissements

Afin d'évaluer la faisabilité de la production de bois traité à l'acide lactique et d'estimer le potentiel du marché, un modèle de processus est défini et les coûts d'investissement et de fabrication associés sont calculés. Pour cela, les informations fournies par les partenaires du projet Corbat Holding SA et Jungbunzlauer Suisse SA ont servi de base, ainsi que l'expérience des experts impliqués, les chiffres standards du secteur et les informations fournies par Maschinenbau Scholz GmbH & Co. KG, qui fabrique notamment des autoclaves et des installations pour l'industrie du bois.

Le modèle de procédé débute à l'achat du bois scié et va jusqu'à la climatisation du bois traité à l'acide lactique. La coupe et le séchage du bois ne sont pas pris en compte dans ce calcul des coûts de production, car il existe des indicateurs industriels à cet égard et ces étapes du processus ne sont pas examinées dans le cadre du présent projet. Pour le bois scié, le prix d'achat actuel des essences respectives a été utilisé (état en mars 2019). En outre, les coûts de rabotage et de transformation finale des produits semi-finis sont également exclus du calcul, car ils varient considérablement en fonction du produit souhaité et sont également disponibles sous forme de moyennes industrielles.

A l'origine, deux variantes de fabrication de base ont été testées. Dans la première variante, un seul autoclave est utilisé, l'imprégnation et le traitement thermique sont réalisés l'un après l'autre. Dans la

deuxième variante, deux autoclaves sont utilisés : l'un pour l'imprégnation et l'autre pour le traitement thermique du bois imprégné. Cependant, la deuxième variante avec deux autoclaves n'a pas été approfondie car le traitement thermique dure plus de temps que l'imprégnation (environ 3,5 jours contre 6 heures environ). La capacité de production ne peut donc être que légèrement augmentée avec deux autoclaves en raison du goulot d'étranglement du traitement thermique. De plus, la température dans l'autoclave doit être abaissée après l'achèvement du traitement thermique avant que le bois puisse être sorti, sinon il serait exposé à des différences de température excessives. Par conséquent, aucune économie d'énergie ne peut être réalisée par un niveau de température stable dans l'autoclave du traitement thermique. L'utilisation de deux autoclaves en parallèle n'aurait de sens que si l'autoclave d'imprégnation pouvait être utilisé à pleine capacité avec d'autres produits de l'entreprise concernée.

Le calcul des coûts de production est effectué séparément pour le hêtre et pour le sapin blanc, car des écarts sont à prévoir en raison des prix d'achat du bois et du taux d'imprégnation différent en acide lactique.

4.5 PT4 Méthodes pour la validation technique

4.5.1 Evaluation de l'efficacité anti-gonflement

L'efficacité anti-gonflement représente la capacité d'un traitement du bois donné à stabiliser les dimensions du bois traité en comparaison au bois non traité, lorsque ceux-ci sont exposés à des conditions d'humidité stables données. L'essai est généralement effectué selon deux protocoles : trempage dans l'eau à 20°C, ou exposition à une humidité de 100% ± 5% à température ambiante constante d'échantillons orientés de dimensions 15 x 15 x 10 mm³ (R x T x L). Le volume des échantillons, préalablement stabilisés sous conditions contrôlées, est mesuré avant exposition, puis après stabilisation de la masse, également suivie pendant l'essai. La valeur d'ASE (*anti-swelling efficiency*) est calculée selon l'Equation 1 et l'Equation 2 :

$$ASE (\%) = \frac{S_r - S_t}{S_r} \times 100 \quad \text{Equation 1}$$

$$S (\%) = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \quad \text{Equation 2}$$

où S (*swelling*) représente le gonflement des échantillons exposés (S_r [%] pour les échantillons références, S_t [%] pour les échantillons traités) dont le volume initial V_i [m³] est mesuré avant l'exposition, et le volume V_f [m³] en fin d'exposition, lorsque leur masse est stabilisée.

4.5.2 Essai de lessivage

Cet essai est fondamental car il permet de vérifier la persistance du traitement dans le bois malgré son exposition à l'eau, ce qui garantit le maintien des propriétés et une absence de relargage dans l'environnement. Les échantillons traités, orientés, de dimensions 15 x 15 x 10 mm³ (R x T x L), sont immergés dans l'eau pendant 504h (21 jours). Ils sont pesés avant l'immersion et en fin d'immersion après séchage et stabilisation dans les conditions initiales (stabilisation identique avant immersion). La valeur de lessivage est calculée selon l'Equation 3 :

$$L (\%) = \frac{m_f - m_i}{m_t - m_0} \times 100 \quad \text{Equation 3}$$

où m_f [g] est la masse finale après lessivage, stabilisée dans les conditions initiales, m_i la masse initiale avant lessivage stabilisée dans les conditions initiales, m_t la masse juste après traitement (anhydre) et m_0 la masse anhydre avant traitement. Cette équation représente le rapport de la masse de produit lessivée dans l'eau sur la masse de produit présent dans le bois avant lessivage.

4.5.3 Caractérisation mécanique

L'essai de flexion, décrit par les normes DIN 52186, ISO 13061-3 et -4, est effectué de façon à obtenir une information quantifiée quant à la résistance en flexion de hêtre traité et non traité, de sapin blanc

traité et non traité et d'Accoya®. Il s'agit d'une caractérisation qui permettra de positionner le produit final en comparaison aux produits concurrents sur le marché en matière de résistance mécanique, la flexion étant la propriété la plus impactante sur les applications finales visées.

Il s'agit d'un essai de flexion trois points (Figure 2) mené sur des échantillons de dimensions $h = 25$ mm (RT), $b = 25$ mm (TR) et $l = 350$ mm (L).

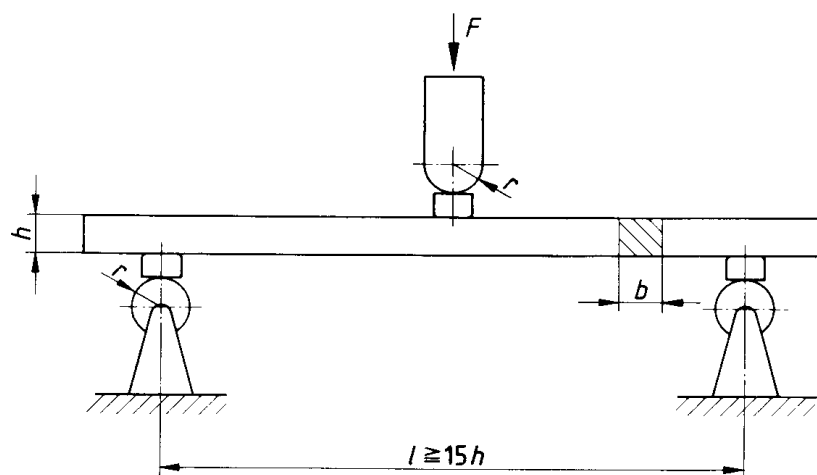


Figure 2 : montage d'essai de flexion 3 points, $l = 350$ mm, $h = b = 25$ mm

Les modules d'élasticité (MOE en MPa) et contrainte en flexion (σ en MPa) ont été calculés selon l'Equation 4 et l'Equation 5 :

$$MOE (MPa) = \frac{\Delta F (N) \times l^3 (mm^3)}{\Delta f (mm) \times 4 \times b (mm) \times h^3 (mm^3)} \quad \text{Equation 4}$$

$$\sigma (MPa) = \frac{3 \times F_{max} (N) \times l (mm)}{2 \times b (mm) \times h^2 (mm^2)} \quad \text{Equation 5}$$

où ΔF = la différence de force entre 10% et 40% de F_{max} (N)

l = la longueur entre appuis

Δf = la différence de flèche entre les flèches à 10% et 40% de F_{max} (mm)

b = la largeur de l'échantillon (mm)

h = la hauteur de l'échantillon (mm)

F_{max} = la force maximale de l'échantillon en flexion

4.5.4 Résistance à la corrosion

Sur des échantillons de hêtre traité et non traité, de sapin blanc traité et non traité, et d'Accoya®, des vis en acier zingué bleu, en acier zingué jaune, en acier zingué passivé jaune, et en acier inoxydable type A2 ont été fixées. Les échantillons ont été exposés à une humidité relative de l'air de 100% à température constante. L'essai consiste à réaliser des observations visuelles régulières, puis à mesurer la dégradation par pesée (après élimination de la rouille), à la fin de la durée d'exposition (déterminée en fonction de la rapidité de corrosion).

4.5.5 Aptitude au revêtement de surface

Dans un premier temps, deux systèmes de revêtement de surface ont été appliqués selon les prescriptions fournisseurs sur des échantillons de hêtre traité et non traité, de sapin blanc traité et non traité, et d'Accoya®. Le premier système consiste en un vernis transparent polyuréthane deux composants (Owedur 4126, Teknos Feyco) ; le second consiste en un vernis transparent acrylate en phase aqueuse un composant (Hydro-Mehrschichtlack, Votteler). Ces deux revêtements de surface sont adaptés à une utilisation en ameublement intérieur. Ils ont été appliqués en deux couches avec égrenage intermédiaire selon les grammages suivants :

Tableau 1 : Grammage humide des deux systèmes de revêtement

	Grammage humide Owedur 4126 (g.m ⁻²)	Grammage humide Hydro-mehrschichtlack (g.m ⁻²)
Couche 1	98 ± 17	100 ± 10
Couche 2	78 ± 15	136 ± 18

a. Essai d'adhésion

L'essai d'adhésion a été mené selon la norme EN 4624. Il consiste à arracher des pions métalliques collés par résine époxy sur la surface de l'échantillon revêtu. La force d'adhésion mesurée permet une comparaison quantifiée entre les différents systèmes de revêtement. Cet essai donne une bonne indication des risques de décohésion potentiels. Les valeurs de forces maximales d'arrachement ont été mesurées sur 2 échantillons. Les moyennes et écart-types ont été calculés sur 8 mesures par variante (4 mesures par échantillon).

En complément des valeurs de force, la norme requiert l'observation du faciès de rupture et sa classification en pourcentage (par 10%) en rupture cohésive ou adhésive, entre le substrat et le revêtement, dans le système de revêtement, entre la dernière couche de revêtement et l'adhésif, entre l'adhésif et le pion. Lorsque la rupture se produit entre la dernière couche de revêtement et l'adhésif, ou entre l'adhésif et le pion, la valeur de force maximale n'est pas prise en compte dans le calcul.

b. Essai de vieillissement artificiel

Pour accélérer les dégradations mécaniques du revêtement, et obtenir un aperçu de la coloration du bois à attendre par exposition aux UV (même en intérieur), l'essai de vieillissement artificiel ainsi que les analyses décrites dans la norme EN 927-6 ont été menés sur les échantillons revêtus. Cet essai destiné à une évaluation des réponses d'un système de revêtement à des sollicitations extérieures a été mené sur du bois revêtu de systèmes destinés à des applications intérieures en connaissance de cause. C'est le côté extrêmement discriminant de cet essai qui était recherché.

Les mesures de couleur ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre selon le système CIE L*a*b*. Les valeurs de différence globale de couleur ΔE^* , ΔL^* et ΔB ont été calculées selon l'Equation 6, l'Equation 7 et l'Equation 8.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad \text{Equation 6}$$

$$\Delta L^* = \frac{L_2^* - L_1^*}{L_1^*} \times 100 \quad \text{Equation 7}$$

$$\Delta B = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \quad \text{Equation 8}$$

Où L_2^* et L_1^* sont la valeur de L^* (coordonnée de clarté sur l'axe du blanc au noir) mesurée en cours d'exposition, et avant exposition respectivement,

a_2^* et a_1^* sont la valeur de a^* (coordonnée de couleur sur l'axe du rouge au vert) mesurée en cours d'exposition, et avant exposition respectivement,

b_2^* et b_1^* sont la valeur de b^* (coordonnée de couleur sur l'axe du jaune au bleu) mesurée en cours d'exposition, et avant exposition respectivement,

B_2 et B_1 sont la valeur de brillance mesurée en cours d'exposition, et avant exposition respectivement.

4.5.6 Vieillissement naturel

La bonne tenue de l'aspect général du bois traité « EcoViaLactique » sera validé par l'essai de vieillissement naturel normalisé (EN 927-3) qui consiste à exposer des pièces revêtues de hêtre traité et non traité, de sapin blanc traité et non traité et d'Accoya® à l'extérieur, à 45° dirigés vers le Sud-Ouest. L'évaluation consistera principalement en une mesure régulière de la couleur des échantillons dans le temps ainsi qu'une observation visuelle des défauts apparaissant. Cet essai débutera pendant le cours normal du projet, mais sera poursuivi longtemps après la fin officielle.

D'après les conclusions de l'essai d'adhésion et de vieillissement artificiel, un nouveau système de revêtement est sélectionné et appliqué pour évaluer la résistance au vieillissement naturel. Il s'agit d'une peinture de pré-grisaillement en phase aqueuse (Eterno Fassadengrau gris moyen, Feyco Treffert). Cette peinture a été appliquée en une seule couche selon le grammage suivant : $128 \pm 22 \text{ g.m}^{-2}$. L'écart-type est assez élevé du fait des fentes en bout présentes sur certains échantillons traités, 5 faces ayant été recouvertes par Fassadengrau.

5 Résultats

5.1 Analyse de la concurrence

Aperçu des produits concurrents possibles

Les produits traités avec la nouvelle méthode EcoViaLactique sont principalement destinés à un usage extérieur. Les terrasses, lames de façade et mobilier extérieur ont été définis comme les principaux domaines d'application considérés dans ce projet. Les produits suivants (décrits en annexe B) ont été définis comme les produits concurrentiels les plus importants :

- Bois traité thermiquement
- Wood Plastic Composites (WPC) tel que GEOLAM®
- Resysta®
- MOSO®
- Accoya®
- Kebony®

Les produits ont été comparés en fonction de leurs propriétés techniques. Pour que les résultats puissent être présentés dans le diagramme araignée suivant, ils ont été pondérés. Un nombre élevé signifie une masse volumique élevée, une résistance à la flexion élevée ou un module d'élasticité élevé. Pour la classe de durabilité, la pondération suivante a été appliquée : classe 1 = valeur 10, classe 2 = valeur 8 et classe 3 = valeur 6.

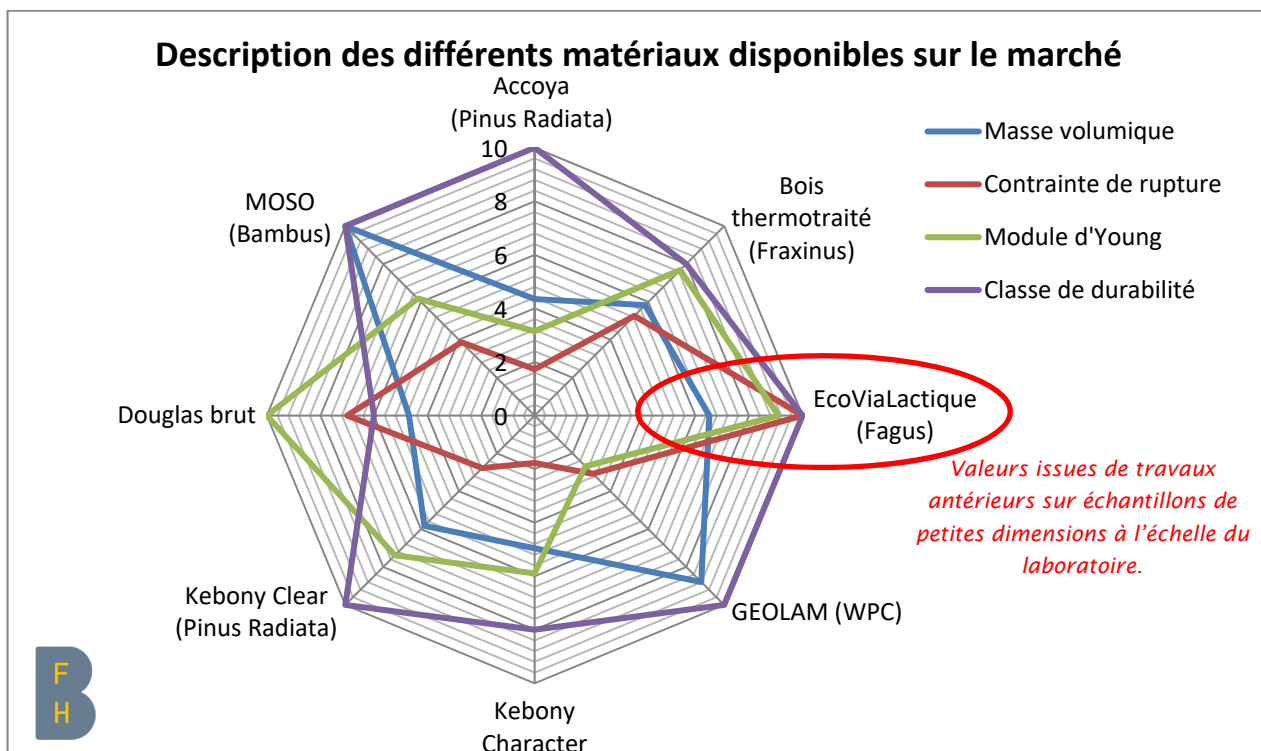


Figure 3: Comparaison des propriétés techniques de différents produits concurrents du traitement EcoViaLactique

Partant de produits et d'essences de bois très différents, ce diagramme doit être considéré du point de vue du produit fini, à l'exception du bois « EcoViaLactique ». La finalité de cette représentation graphique est de positionner le bois modifié par rapport à ses concurrents. En matière de masse volumique et de classe de durabilité, le changement de dimensions ne devrait pas conduire à de drastiques déviations. En revanche, l'up-scaling du procédé est susceptible d'impacter les propriétés mécaniques du bois traité, le rapprochant ainsi du comportement de la plupart de ses concurrents.

Canaux de vente possibles

Pour la commercialisation des produits traités avec la nouvelle méthode EcoViaLactique, il y a principalement quatre possibilités, qui peuvent être utilisées seules ou en même temps côte à côte - selon la stratégie de l'offrant:

- par des commerçants spécialisés dans le secteur du bois
- par des commerçants spécialisés des matériaux de construction
- par des magasins de Do-it-Yourself
- par vente directe aux clients professionnels (p. ex. charpentiers, menuisiers)

Les terrasses sont principalement vendues dans le commerce spécialisé ou dans les magasins de Do-it-Yourself. Les discussions menées par le consortium au complet (en particulier la séance d'avancement du 26.06.2018) ont conduit à la conclusion que les principaux marchés pour le bois traité EcoViaLactique seraient les entreprises de la filière bois et les commerces spécialisés. La raison en est qu'on peut supposer que le nouveau produit, en tant que produit de qualité suisse, se situera plus probablement dans le segment de marché supérieur et qu'une grande importance est accordée au traitement et au montage professionnels. La clientèle cible sera donc surtout le maître d'ouvrage soucieux de la qualité plutôt que le bricoleur. Ceci est d'autant plus vrai pour le domaine d'application possible des façades, où la planification et l'installation seront probablement réalisées presque exclusivement par des entreprises professionnelles.

Cette appréciation concernant les canaux de vente a été confirmée par l'étude de marché réalisée (voir chapitre 5.4).

Gamme disponible et comparaison des prix en date de la recherche

Afin d'évaluer la gamme de produits et la situation des prix sur le marché des terrasses, une analyse de marché a été réalisée en première étape dans le secteur du Do-it-yourself. Les offres des sociétés Hornbach, Jumbo, Coop Brico+Loisirs et Obi ont été analysées et comparées en tant que assortiments, moyens d'information et gamme de prix.

Le plus grand choix de produits se trouve dans les terrasses en mélèze sans traitement thermique. On y trouve également un grand choix de profilés creux WPC. Les produits Accoya® et Kebony® ne sont pas disponibles dans les magasins DIY, au moment de la recherche elles sont distribuées exclusivement par des négociants spécialisés et sélectionnés. En Suisse, il y a 13 revendeurs qui vendent les produits Accoya® et 4 revendeurs qui vendent les produits Kebony® (fin septembre 2019). Le bois traité EcoViaLactique est le plus susceptible d'être comparé à ces deux produits en termes de prix et de caractéristiques, ce qui indique également des ventes par l'intermédiaire de ces canaux professionnels.

Pour le tableau ci-dessous, les prix du bois résineux, du bois feuillu, du WPC et des planches de terrasse en bois modifié ont été comparés. Les prix des trois premiers groupes ont été obtenus auprès des quatre fournisseurs Do-it-yourself Hornbach, Jumbo, Coop Brico+Loisirs et Obi, tandis que les données relatives aux bois modifiés ont été obtenues auprès de négociants spécialisés en bois et matériaux de construction.

Le nombre de produits sur lesquels sont basées les valeurs moyennes des différentes catégories est indiqué entre parenthèses dans la liste des produits. Au total, 47 planches de terrasse ont été analysées. Outre les prix par mètre cube et par mètre carré pour une épaisseur supposée de 25 mm, les méthodes de fixation possibles et l'origine du bois des produits sont également indiquées. La distance maximale de la sous-construction n'est pas indiquée car elle varie selon les fournisseurs entre 0,4 et 0,6 mètre pour les produits en bois et entre 0,3 et 0,4 mètre pour les produits WPC et n'est pas considérée comme déterminant pour la compétitivité.

L'analyse montre que la fourchette de prix est particulièrement large pour les magasins DIY. Les produits en bois non traité en mélèze ou en douglas et les lamelles imprégnées sous pression sont plutôt bon marché. Les produits de résineux thermotraités et les produits WPC se situent dans la moyenne gamme, tandis que les frênes thermotraités et les bois tropicaux se situent dans la partie supérieure de la gamme de prix. Les bois modifiés disponibles chez les commerçants spécialisés sont légèrement plus chers que les frênes thermiques et les bois tropicaux.

En ce qui concerne les systèmes de fixation, on constate qu'il y a deux systèmes principaux : les produits en bois peuvent généralement être fixés visibles à l'aide de vis ou invisibles à l'aide d'un système de clips. Les produits WPC sont proposés exclusivement avec des rainures latérales pour le système clip. En ce qui concerne l'origine, il est clair que la plupart des lamelles de bois des distributeurs de Do-it-Yourself proviennent de l'UE. Bien sûr, il est toujours possible de s'approvisionner en bois Suisse par d'autres canaux que les magasins de Do-it-Yourself. Le pin radiata pour les bois modifiés Accoya® et Kebony® est récolté en Nouvelle-Zélande.

Tableau 2 : Comparaison de différentes lames de terrasse des magasins de Do-it-Yourself et des distributeurs spécialisés (tableau actualisé fin septembre 2019)

	Ø Prix/m ^{3*}	Ø Prix/m ^{2**} , Épaisseur 25 mm	Fixation	Origine du bois
Lames de terrasse en bois résineux				
Mélèze (7 produits)	Fr. 1'430.-	Fr. 35.-	Vissage (5x), fixation invisible (2x)	Allemagne (4x), Russie (3x)
Douglas (5 produits)	Fr. 1'160.-	Fr. 30.-	Vissage (3x), fixation invisible (2x)	Allemagne (4x), EU (1x)
Pin thermotraité (4 produits)	Fr. 2'360.-	Fr. 60.-	Vissage (1x), fixation invisible (3x)	Finlande (3x), Europe (1x)
Pin imprégnée sous pression en autoclave (3 produits)	Fr. 990.-	Fr. 25.-	Vissage (3x)	Allemagne (1x), Pologne (1x), EU (1x)
Lames de terrasse en feuillu				
Frêne thermotraité (7 produits)	Fr. 4'600.-	Fr. 115.-	Vissage (4x), fixation invisible (3x)	Allemagne (2x), Europe (2x), Autriche, États-Unis, Turquie (1x)
Bois tropical (4 produits)	Fr. 3'720.-	Fr. 95.-	Vissage (3x), fixation invisible (1x)	Afrique de l'Ouest (2x), Indonésie (1x), Chine (1x)
Lames de terrasse en WPC				
WPC (profilé à corps creux) (6 produits)	Fr. 2'750.-	Fr. 70.-	Fixation invisible (6x)	Allemagne (1x), non précisé (5x)
WPC (profilé plein) (2 produits)	Fr. 4'020.-	Fr. 100.-	Fixation invisible (2x)	non précisé
Lames de terrasse en bois modifié (distributeurs spécialisés)				
Accoya® (3 produits)	Fr. 4'710.-	Fr. 120.-	Vissage (2x), fixation invisible (1x)	Nouvelle-Zélande (3x)
Kebony® (6 produits)	Fr. 5'360.-	Fr. 135.-	Vissage (2x), fixation invisible (3x), k.A. (1x)	Nouvelle-Zélande (6x)

* Arrondi à 10 chiffres

** Arrondi à 5 chiffres

5.2 Sondage du marché

Des interviews d'experts ont été réalisées pour évaluer le potentiel commercial du bois traité à l'acide lactique pour les terrasses et les façades. Un entretien personnel a eu lieu avec un total de neuf entreprises du commerce du bois et des matériaux de construction sur la base de lignes directrices rédigées dans cet objectif. Dans ce qui suit, les déclarations les plus importantes de ces experts sur les différents sujets sont résumées et expliquées.

Evaluation générale du marché des terrasses / façades :

Quelle est l'**évaluation générale du marché** des terrasses / façades en bois, en bois modifié (Accoya®/Kebony®/bois thermo-traité) et en matériaux composites (WPC/ Moso®/Resysta®) ?

- Le marché des façades en bois est considéré comme très positif par tous les experts. Le bois est à la mode et a donc encore un grand potentiel. Cependant, certains experts soulignent que la durabilité est un élément critique et que le matériau ne doit pas être trop sollicité.
- Pour les terrasses en bois, le marché est plus prudent. Plusieurs experts supposent que l'utilisation du bois est déjà à son apogée dans ce domaine. Seule une entreprise spécialisée dans la vente de lames de terrasses évalue l'évolution du marché de façon positive et vend notamment du bois thermo-traité et des produits imprégnés sous pression.

Quels sont les **matériaux** les plus fréquemment **vendus ou utilisés pour les terrasses** ?

- Selon les personnes interrogées, les bois domestiques comme le mélèze et le douglas, le bois thermo-traité et les bois modifiés comme l'Accoya® et le Kebony® sont fréquemment utilisés pour les terrasses. Les produits les plus vendus varient en fonction de l'orientation et de l'orientation des ventes des entreprises. Le bois thermo-traité est perçu de façon plus critique par certains en raison de sa fragilité et de sa tendance à se fissurer, tandis que pour d'autres, c'est l'un des produits les plus vendus. Accoya® et Kebony® sont considérés par presque tous les experts comme des produits intéressants avec un potentiel élevé malgré le prix élevé et représentent parfois une part importante des ventes.
- Le bois imprégné sous pression n'est proposé pour les terrasses que par une seule entreprise active dans ce secteur.
- Les avis sont partagés sur les bois tropicaux. Les revendeurs qui l'ont dans leur assortiment, voient une justification pour ces produits en raison de la durabilité, d'autres entreprises n'utilisent, respectivement ne vendent, que rarement ou pas du tout de bois tropical.
- Les produits WPC sont importants pour certaines des entreprises interrogées, d'autres ne les vendent que sur demande ou n'ont pas de tels produits dans leur gamme en raison de l'haptique artificielle et du fort chauffage de surface sous rayonnement solaire.
- Les carreaux de céramique d'aspect bois sont considérés par la majorité comme une nouvelle tendance, mais pour les marchands de bois spécialisés c'est un marché plutôt difficile, car ces produits sont généralement posés par des horticulteurs, qui se fournissent chez les revendeurs de matériaux de construction.
- Les produits en bambou ont apparemment presque complètement disparu du marché, car ils ont tendance à présenter de très fines échardes s'ils ne sont pas entretenus.

Quels **matériaux** vendez-vous le plus souvent pour les **façades** ?

- Les entreprises interrogées vendent ou utilisent comme revêtement de façade du bois d'épicéa et de sapin blanc le plus souvent traité ou pré-grisailé. Le mélèze et parfois le douglas sont également utilisés régulièrement.
- En raison des exigences élevées des clients et du fait que l'architecture des façades n'est pas toujours adaptée au bois, deux des entreprises interrogées s'appuient également sur le bois imprégné sous pression, qui offre un haut degré de durabilité.
- Deux des entreprises interrogées vendent aussi régulièrement du bois thermo-traité pour les façades.

- Les bois modifiés tels que Accoya® ou Kebony® ne sont que rarement utilisés pour les façades, car selon les répondants au moment de la recherche, ils sont trop chers pour cette application.
- La plupart des experts interrogés constatent également une tendance dans les produits fibre-ciment, entre autres parce qu'ils nécessitent très peu d'entretien.

Quelle est la **superficie moyenne des terrasses et des façades** ?

- La majorité des experts estiment que la surface des terrasses dans les maisons individuelles se situe entre 20 et 30 m².
- Les façades des maisons individuelles sont plus difficiles à estimer. Des valeurs entre 80 et 100 m² sont mentionnées plusieurs fois.
- Les surfaces des immeubles et des bâtiments commerciaux sont très variables et peuvent atteindre jusqu'à 500 m² pour les terrasses et plusieurs milliers de m² pour les façades.

Quels sont les **critères** les plus importants dans le choix des matériaux pour les **terrasses et les façades** (par exemple prix, esthétique, durabilité, propriétés mécaniques, entretien et maintenance, disponibilité des matériaux, origine des produits, caractère naturel et durable, labels) ?

- La majorité des experts considère l'esthétique, l'entretien et la maintenance nécessaires, la durabilité et le prix comme les critères les plus importants. Les produits doivent obligatoirement être très durables et faciles à entretenir (maintenance et nettoyage). L'esthétique est souvent encore plus importante que le prix, deux entreprises considèrent même que le prix est d'importance secondaire. Pour l'essentiel, le secteur des façades semble être un peu plus sensible aux prix pour les clients privés que le secteur des terrasses. La tolérance aux intempéries ainsi qu'aux fissures et déformations est nettement plus élevée pour les façades que pour les terrasses. Selon un expert, le prix n'est pas très pertinent pour les projets du secteur public, puisque les sommes pour les terrasses et les façades sont relativement faibles par rapport aux coûts d'investissement totaux.
- Selon la majorité des experts, l'origine des produits, le caractère naturel et durable ainsi que les labels jouent un rôle assez secondaire ; ils ont une certaine importance surtout pour les bois tropicaux et pour les clients qui peuvent se le permettre d'un point de vue financier.
- Selon plusieurs experts, le thème du bois suisse est de plus en plus souvent abordé et est de plus en plus demandé. Selon l'une des personnes interrogées cependant, les produits en bois suisse disponibles aujourd'hui, en particulier pour les terrasses, ne répondent pas suffisamment aux besoins des clients.
- Selon les experts, les propriétés mécaniques n'ont d'importance que pour les terrasses en termes de résistance à la rupture.
- Un expert voit une tendance dans l'offre de systèmes complets, y compris les sous-constructions et l'outil de planification associé.

Quelles est la **situation actuelle des prix des lames de terrasse et des lames de façade** ?

- La situation des prix pour les façades et les terrasses est généralement jugée très bonne. Le client suisse opte généralement pour la qualité et l'esthétique et non pour le prix le plus bas.
- Une exception semble être le marché du bricolage, où, selon les experts, la sensibilité au prix est très élevée.

Dans quelle mesure la **pression de la concurrence internationale** est-elle perceptible ?

- Dans le cas des façades bois, la pression à l'importation est à peine perceptible. En effet, les raboteries étrangères ne sont généralement pas en mesure d'atteindre la qualité requise en Suisse.
- Pour les terrasses, la pression est plus forte, peut-être parce que les produits sont plus standardisés. De nombreux revendeurs ont des produits étrangers dans leur gamme. Un expert note que la pression a également augmenté, en particulier à cause du commerce en ligne. La plupart des clients se renseignent d'abord en ligne et viennent ensuite chez les revendeurs suisses avec des idées et des listes de prix de l'étranger.

Par rapport **aux pays frontaliers** (D, A, F), y a-t-il des **différences** sur le marché des terrasses et des façades ?

- Les experts estiment que la qualité des produits vendus en Suisse est nettement plus élevée que dans les pays voisins. En Allemagne et en France, le marché du bricolage est nettement plus important qu'en Suisse et le prix est généralement le critère décisif. Par exemple, une grande partie du douglas est utilisée dans des qualités qui ne pourraient pas être vendues en Suisse. Par conséquent, les sommes consacrées aux terrasses et aux façades en Suisse sont également nettement plus élevées. Une entreprise part du principe qu'en Suisse, la quantité de déchets triés lors de la transformation du bois brut est au moins deux fois plus importante que dans les pays voisins.
- Un expert est d'avis que le commerce en ligne des produits de terrasse est déjà très bien établi en Allemagne. Souvent, les commerçants allemands n'ont plus du tout d'entrepôt, mais vendent presque exclusivement par le biais de la boutique en ligne.
- En France, le bois tropical est encore souvent utilisé pour les terrasses.

Évaluation du potentiel commercial du bois modifié à l'acide lactique

Que pensez-vous des nouveaux produits « EcoViaLactique » en sapin blanc et hêtre pour terrasses et façades ?

- Les neuf entreprises interrogées ont jugé le bois modifié selon le nouveau procédé "très intéressant".
- En tant qu'essences de bois intéressantes, les experts citent le sapin blanc, en partie aussi le douglas, le mélèze, le châtaignier, l'érable et le chêne. Le pin est également considéré comme très intéressant par une personne, car il est actuellement utilisé presque exclusivement comme bois de chauffage. La majorité des personnes interrogées peut également imaginer le hêtre, mais seulement s'il peut réellement être prouvé que le produit fonctionne à l'extérieur. Cependant, trois experts excluent fondamentalement l'utilisation du hêtre pour des applications extérieures. Une entreprise pourrait également imaginer que le hêtre ainsi traité puisse être utilisé à l'intérieur en raison de sa couleur intéressante.
- Plusieurs experts soulignent que le produit doit faire l'objet d'une recherche et d'essais approfondis afin d'éviter tout dommage au début de la mise sur le marché. En effet, un cas de dommage au début peut entraîner la disparition immédiate du nouveau produit du marché.
- Selon un expert, le procédé devrait pouvoir être multiplié et fabriqué par diverses entreprises à des coûts d'investissement raisonnables afin de desservir un grand marché.
- Un autre expert estime qu'il est important que le produit soit lancé rapidement sur le marché, car le boom du bois dans le secteur de la terrasse pourrait décliner.

Pouvez-vous imaginer **ajouter ces nouveaux produits à votre gamme** ?

- Les neuf entreprises interrogées pourraient imaginer vendre ou utiliser le produit. Pour une entreprise, cela nécessiterait un soutien au développement du marché ou de la demande.
- Pour les revendeurs, il importe de savoir comment la distribution est organisée exactement, si, par exemple, seuls certains revendeurs sont autorisés à vendre le produit ou la totalité d'entre eux. Selon une autre déclaration, il convient également d'éviter un mélange entre les ventes directes et indirectes.

Quels seraient les **arguments de vente les plus importants** ?

- Les neuf experts interrogés estiment que le fait qu'il s'agisse d'un produit national fabriqué à partir de bois suisse est un argument important.
- La plupart des experts considèrent que l'argument central est la longue durée de vie et la durabilité, la résistance aux attaques d'insectes et fongiques.
- Un autre argument important est que le bois est dimensionnellement stable et n'a pas tendance à se fissurer. Pour les terrasses, l'idéal serait un produit dit « pieds nus », car aujourd'hui seuls les produits Accoya® et WPC répondent à cette exigence d'« absence de fissures ».

- Un expert considère que l'argument selon lequel il s'agit d'un produit « bio » sans chimie lourde et sans émissions de substances toxiques est très important.
- Selon la majorité des répondants, il est également important d'offrir un haut niveau de sécurité, soit par une longue expérience du produit, soit par des périodes de garantie.
- Un expert considère que l'offre d'une huile est importante pour que la surface puisse être protégée et éventuellement changée de couleur. Selon un autre expert, les produits de couleur stable, en particulier, sont très demandés. C'est pourquoi il est essentiel d'offrir la possibilité d'une stabilisation de la couleur et d'une protection contre les intempéries.
- Selon un expert, il est également très important que la disponibilité soit garantie et que certaines longueurs soient également disponibles en stock.

Dans quelle fourchette **le prix** devrait-il se situer ?

- La majorité des experts considère Accoya® comme une référence de prix appropriée. Idéalement, le prix du nouveau produit devrait être légèrement inférieur à celui de l'Accoya®. Au moment de l'entretien, le prix d'achat de l'Accoya était d'environ 100 CHF/m² pour les pièces brutes, 120 CHF/m² pour les pièces rabotées. Les produits WPC de Megawood par exemple sont encore plus chers. Le prix du bois exotique Sipo est à peu près au même niveau que celui de l'Accoya®.
- Un expert a estimé qu'un produit suisse avec des propriétés comparables à Accoya® et Kebony® devrait être un peu plus cher. En effet, il aurait l'avantage d'une bonne disponibilité et d'une assurance qualité élevée. Cet expert a également supposé que les architectes tiendraient compte de la durée de vie plus longue du produit par rapport aux façades en bois non traitées.
- Deux experts ont utilisé des produits en fibres-ciment et en grès cérame comme références pour la comparaison des prix et ont cité l'exemple des carreaux de façade Swisspearl, qui coûtent environ 250 CHF/m², installation incluse, pour le client final. Un prix du nouveau produit pour le client final d'environ 200 CHF/m² a donc été jugé acceptable.

Quels **groupes de clients** sont intéressants pour le nouveau produit ?

- La plupart des experts considèrent les constructeurs privés, les architectes et les investisseurs institutionnels comme des groupes de clients potentiels.
- La vente devrait probablement se faire par l'intermédiaire du commerce et des bons artisans, en particulier les charpentiers et menuisiers. Selon un expert, il serait idéal d'offrir un programme de formation.
- Selon un expert, il sera probablement difficile d'impliquer les horticulteurs, car ils n'ont généralement pas d'affinité avec le bois. Cependant, une possibilité serait éventuellement de réaliser un objet de référence, en collaboration avec la Fédération.

Quelles **informations** sur le nouveau produit devraient être disponibles pour qu'il soit inclus dans la gamme (fiche technique, rapports d'essais de matériaux tels que le vieillissement à long terme, etc.) ?

- Les experts ont désigné comme documents nécessaires : les fiches techniques, les instructions d'installation, la garantie de qualité constante, les déclarations de performance, les critères de tri et les instructions de transformation.
- Un expert souligne de nouveau l'importance de l'expérience à long terme. Il peut être nécessaire de commencer par un investisseur, un entrepreneur général, qui est convaincu du produit et qui assume le risque.
- Plusieurs experts soulignent l'aide importante que seraient des objets de référence.
- Deux experts jugent qu'il serait intéressant de bénéficier d'un agrément général.
- Certains experts ont proposé une liste plus détaillées des essais et validations à mener absolument dans la perspective d'une mise sur le marché :
 - Formation de fissures et comportement aux retrait-gonflement
 - Résistance à la rayure (en particulier pour une utilisation en terrasse)
 - Résistance au glissement
 - Possibilités de nettoyage

- Aptitude au traitement de surface. Existerait-il un traitement qui limiterait le vieillissement et permettrait de conserver la couleur du bois intacte ?
- Aptitude au collage (possibilité de coller par résine PU, aptitude à l'aboutage)
- Propriétés au rabotage (le rabotage du Kebony® conduit par exemple à la formation d'une très fine poussière facilement inflammable)
- Classe d'inflammabilité du produit
- Comportement au vieillissement naturel à long terme. A quelle vitesse le bois grisaille-t-il ? Les essais de vieillissement accélérés sont une bonne base, mais le comportement dans des conditions réalistes doit absolument être évalué.
- Des composés volatils peuvent-ils s'échapper du bois ? Le nouveau produit est-il sans danger pour les humains et les animaux (par exemple pour les poissons dans un étang sur lequel un pont serait construit dans ce nouveau produit) ?
- Peut-il causer des réactions allergiques chez l'homme ? Dans le cas de produits en bambou, de très fins éclats de bois ont conduit à une inflammation des pieds retardée.
- Résistance à la corrosion des vis par exemple. Le bois se colore-t-il au contact par exemple ?

Quelle est l'importance d'une certaine **longueur minimale** des produits pour la terrasse ou la façade ? Les produits en hêtre peuvent être fabriqués jusqu'à une longueur d'environ 2,4 m, en sapin blanc jusqu'à 5 m.

- La majorité des experts s'accorde sur le fait que plus la longueur disponible est grande, mieux c'est. Pour les résineux, une portée d'environ 3 à 5 ou 6 mètres serait la bienvenue. Les feuillus devraient également au moins atteindre 2.4 mètres, mais idéalement 3 mètres (longueur fréquente des balcons par exemple). Pour cela, les feuillus pourraient éventuellement être jointés dans la longueur.
- Un expert souligne qu'il serait bon que le produit puisse être abouté car cela permettrait d'obtenir un rendement nettement supérieur pendant la production.
- Comme le prix des matériaux est généralement relativement bas par rapport aux coûts de main d'œuvre, les fabricants préfèrent commander les produits les plus longs possible sans longue planification, qu'ils peuvent ensuite couper en longueur sur le chantier de construction.
- Il pourrait également être intéressant de proposer deux gammes de produits, l'une sans nœud et l'autre avec nœuds.
- Selon un expert, une épaisseur de 20 à 25 mm serait logique. Pour une utilisation, par exemple, en bordure de lac (porteuse), des épaisseurs de 40 mm seraient nécessaires.

Quelle **sous-construction** est le plus souvent recommandée pour les lames de terrasse ? Fixation visible, vissée, ou invisible, par exemple par clips ?

- Tous les experts sont d'avis que les systèmes de fixation invisibles représentent aujourd'hui une part importante du marché. Il est donc essentiel que le nouveau produit soit rainuré sur le côté.
- Selon les experts, les fixations vissées visibles n'existent plus que dans le cas du bois exotique Ipé, à cause de ses forts retrait et gonflement.
- Il est très important que la sous-construction soit réalisée dans le même matériau que les lames de terrasse. C'est la seule façon de garantir que la durée de vie de ces deux éléments est la même. Dans certains cas, par exemple, une sous-construction meilleur marché en résineux est combinée avec un revêtement en Accoya®, ce qui entraîne inévitablement des dommages.
- Selon un expert, des sous-structures en aluminium ne sont pas très souvent utilisées.
- La tendance est de plus en plus à l'offre de systèmes complets.

Pouvez-vous imaginer **d'autres domaines d'application** que les terrasses et les façades pour le bois modifié avec le nouveau procédé, comme le mobilier extérieur ?

- Il serait intéressant de l'utiliser comme bois lamellé-collé pour les surfaces porteuses s'il peut être collé et abouté. Ainsi l'acier et le béton pourraient également être remplacés dans cette

application, et pas seulement d'autres produits bois. Serait-il même possible de traiter le bois à l'acide lactique seulement après la prise ?

- Le bois traité pourrait-il aussi être transformé en panneaux ? Par exemple, pour une utilisation en façade ou comme plan de travail de cuisine.
- Pourrait-on traiter les équipements d'aires de jeux avec ce produit ? Les directives concernant les ingrédients autorisés sont très strictes dans ce domaine, et pour les imprégnations sous pression, par exemple, seuls quelques produits qui ne sont pas les plus efficaces sont autorisés.
- Un expert trouverait intéressant que le produit soit testé pour sa résistance à la rupture et qu'il puisse être utilisé pour les balcons et les garde-corps.
- Selon un expert, Accoya® est également utilisé dans les coffrages de toiture et les lucarnes.
- Peut-on imaginer son utilisation pour les façades en tavillons ?
- Son utilisation dans le domaine des portes et fenêtres serait également intéressantes.
- Les meubles de jardin seraient également un champ d'application possible.
- Un expert considère également comme intéressante la fabrication de clôtures, de cloisons de protection visuelle et de murs antibruit.
- Certains experts considèrent également que l'utilisation du hêtre traité pour les meubles et les planchers intérieurs est intéressante, grâce à son faible taux de gonflement et de retrait et à sa couleur foncée. Une autre possibilité considérée est son utilisation en milieu humide, par exemple dans les salles de bains ou les piscines.

Autres remarques

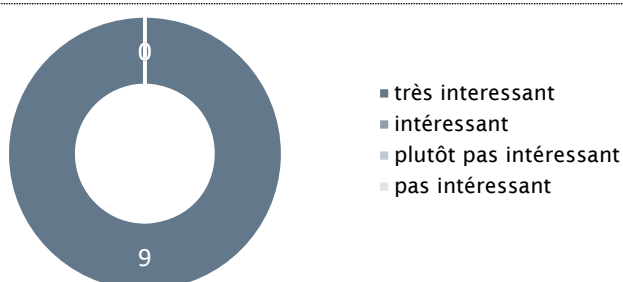
- Deux des entreprises sondées seraient intéressées de participer à un éventuel projet de suivi concernant cette méthode de traitement.
- Deux autres entreprises souhaitent être tenues au courant de l'état d'avancement du développement et souhaitent intégrer des échantillons dans leur propre installation pilote.
- Une autre société serait disposée à soutenir le lancement sur le marché avec l'acquisition et la réalisation de projets de référence.

Bilan

En fonction de l'orientation et de l'assortiment de l'entreprise, le marché des façades et des terrasses ainsi que les produits et leur potentiel sont évalués différemment. Cependant, les critères centraux pour le choix des matériaux sont l'esthétique, la durabilité ainsi que l'entretien et le soin nécessaires. Le prix est également important, mais semble être le deuxième facteur le plus important pour les clients intéressés par le bois. L'origine des produits n'est généralement pas considérée comme très pertinente. Le thème du bois suisse, par contre, semble prendre de plus en plus d'importance ; selon divers experts, les demandes des clients à cet égard sont en forte augmentation.

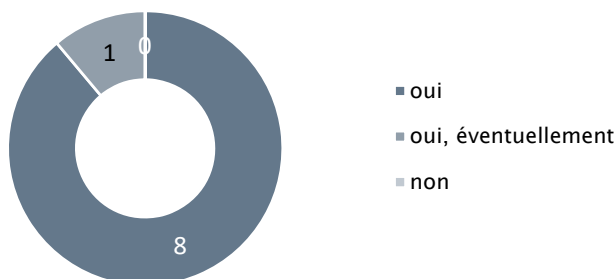
La nouvelle méthode de traitement suscite un grand intérêt auprès de tous les experts, d'autant plus qu'il s'agit d'un produit suisse avec une grande durabilité et une longue durée de vie. Toutes les entreprises pourraient imaginer d'inclure le produit dans leur gamme :

Diagramme 1 : Que pensez-vous des nouveaux produits en sapin blanc et hêtre pour terrasses et façades ?



Source: Haute école spécialisée Bernoise BFH, Département Architecture, bois et génie civil, Domaine de compétences Management et Etudes de marché

Diagramme 2 : Pouvez-vous imaginer inclure ou utiliser ces nouveaux produits dans votre gamme ?



Source: Haute école spécialisée Bernoise BFH, Département Architecture, bois et génie civil, Domaine de compétences Management et Etudes de marché

Avant d'entrer sur le marché, les experts considèrent qu'il est essentiel que les produits soient testés avec la nouvelle méthode de traitement pour toutes les éventualités, par exemple pour la résistance au vieillissement naturel, la stabilité dimensionnelle et l'aptitude au revêtement et au collage.

Selon les experts, tous les documents usuels, tels que les fiches techniques et les instructions de montage et d'utilisation, sont nécessaires comme base de vente. Les experts considèrent également que la longue expérience et les projets de référence, qui confirment la fonctionnalité et la sécurité de la méthode de traitement, sont un élément central de la réussite commerciale.

Les experts interrogés voient de nombreuses autres applications possibles, principalement à l'extérieur, mais aussi à l'intérieur. La production de bois lamellé-collé pour des applications porteuses est considérée comme particulièrement intéressante.

Le grand intérêt pour le produit est également confirmé par le fait que deux des entreprises interrogées pourraient imaginer participer à un projet de suivi de cette méthode de traitement, que deux autres souhaitent être tenues au courant et qu'une entreprise serait prête à soutenir le lancement sur le marché avec la réalisation de projets de référence.

5.3 Chiffrage des investissements, Paquet de travail 3, partie processus modèle

5.3.1 Procédé modèle de la méthode de traitement

Le bois traité peut être produit dans la scierie selon deux processus. Dans la plupart des cas, le bois est coupé sur commande et séché à l'air libre pendant environ un mois avant d'être placé dans la chambre de séchage. Avec un taux d'humidité résiduelle d'environ 8 %, les panneaux peuvent être triés, imprégnés d'acide lactique et ensuite traités thermiquement. Une fois cette étape terminée, les panneaux sont coupés sur mesure. Cet ordre de procédure ne peut pas être modifié car le bois peut encore gonfler et se déformer pendant le traitement. Les délais de livraison du bois traité à l'acide lactique sont donc d'environ quatre à six semaines.

Le processus peut être raccourci en coupant et en séchant le bois au préalable. Ceci est fondamentalement possible pour les produits standards. Le temps de production peut ainsi être réduit à environ 72 heures, soit le temps nécessaire pour l'imprégnation à l'acide lactique et le traitement thermique ultérieur.

Il est également concevable que le client livre lui-même le bois à traiter, mais dans ce cas le client est responsable de s'assurer que l'humidité du bois se trouve dans la zone appropriée pour le traitement.

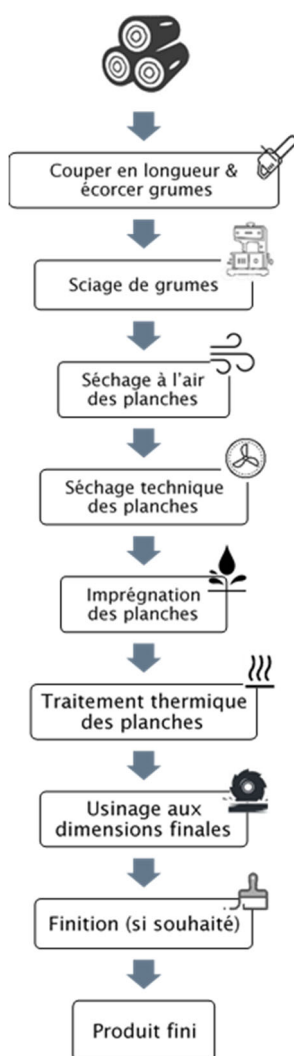


Figure 4 : Processus de fabrication complet dans la commande client

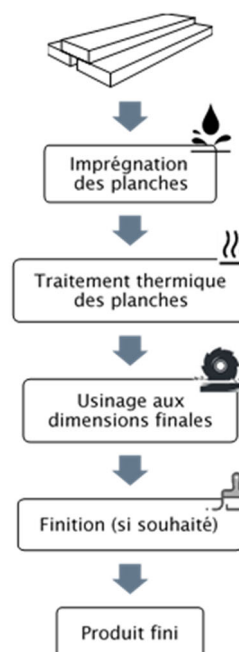


Figure 5 : Fabrication avec du bois sur stock / fourni par le client

5.3.2 Calcul des coûts d'investissement et de fabrication selon le procédé modèle

Un calcul des coûts d'investissement et de fabrication est effectué dans le cadre du projet pour le procédé modèle afin d'estimer le potentiel commercial de la méthode de traitement à cet égard. Les facteurs de coûts respectifs tels que les coûts de personnel, les coûts logistiques, les coûts des matériaux, les coûts des machines, etc. ont été déterminés et calculés pour chaque étape du processus. Les facteurs de coûts individuels par étape de procédé et leur pourcentage par rapport aux coûts totaux sont présentés à la Figure 6.

Pour déterminer les coûts horaires des machines, les coûts d'investissement d'un autoclave ont été demandés à une entreprise de construction de machines. En outre, les coûts de l'énergie ont été déterminés sur la base de chiffres clés standards de la branche. Le coût horaire moyen des machines a été déterminé en fonction de l'utilisation moyenne de la capacité et des coûts fixes tels que l'amortissement, les coûts d'infrastructure et les intérêts.

Les informations du partenaire de projet Jungbunzlauer Suisse SA ont été utilisées pour déterminer les coûts des matériaux pour l'acide lactique. Les calculs des frais de personnel et de matériel pour le bois scié sont basés sur les informations fournies par Corbat Holding SA et les chiffres clés standard de la branche. Les frais de manutention et de stockage ont été calculés sur la base de l'expérience de la BFH-AHB.

Étant donné que les prix d'achat du bois scié de hêtre et de sapin blanc et la quantité d'acide lactique nécessaire pour le traitement diffèrent pour chaque essence, deux calculs ont été effectués : un pour le traitement du bois de hêtre et un pour le traitement du bois de sapin blanc.

Ces calculs conduisent aux coûts suivants pour la fabrication de bois modifié par l'acide lactique (sans finition ni traitement de surface, situation au début de 2019):

- Hêtre: environ 1'800.- CHF/m³
- Sapin blanc: environ 1'100.00 CHF/m³

Influence des étapes du processus sur les coûts totaux

Si l'on compare la part des différentes étapes du processus (achat, préparation des matériaux, chargement de l'autoclave, imprégnation à l'acide lactique, traitement thermique, déchargement de l'autoclave et stabilisation) dans les coûts totaux, il apparaît clairement que trois étapes sont particulièrement importantes pour les deux types de bois (voir Figure 6) : l'achat du bois scié, l'imprégnation à l'acide lactique en raison des coûts matière de l'acide lactique et le traitement thermique en raison des coûts énergétiques. Comme le traitement du sapin blanc nécessite moins d'acide lactique en raison de la densité apparente inférieure et de la saturation inférieure à celle du hêtre, l'achat du bois scié et le traitement thermique sont plus importants pour le sapin blanc. Un autre paramètre important pour les coûts de production est l'utilisation de l'installation. Si l'autoclave n'est pas en service pendant 310 jours de l'année comme prévu, le coût horaire de la machine et donc aussi les coûts de production par mètre cube augmentent considérablement.

Potentiel d'optimisation

Le potentiel d'optimisation du procédé réside donc principalement dans l'achat de matières premières et dans la réduction des coûts énergétiques. C'est pourquoi, lors du développement de la méthode de traitement, il sera important, entre autres, d'optimiser précisément la saturation nécessaire du bois en acide lactique et la durée requise du traitement thermique en fonction de l'essence de bois. En outre, une société exécutante pourrait examiner de plus près la production d'énergie et éventuellement, comme décrit au début de ce chapitre, opter pour la variante de production avec deux autoclaves, si des produits supplémentaires étaient disponibles dans la gamme.

Le tableau ci-dessous montre les résultats d'une comparaison entre les essences hêtre et sapin blanc pour le procédé modèle, sans finition ni traitement de surface, décrit en figure 6. Les écarts entre les coûts directs estimés et les parts en pourcentage résultent principalement des différents prix d'achat des essences de bois et des différentes quantités d'acide lactique nécessaires.

Facteurs de coûts directs		Hêtre: Pourcentage par rapport aux coûts totaux	Sapin blanc: Pourcentage par rapport aux coûts totaux
	<ul style="list-style-type: none"> Prix d'achat bois scié Coûts de personnels pour l'approvisionnement 	48.3 %	53.4 %
	Préparation matériel <ul style="list-style-type: none"> Coûts de personnels, préparation des matériaux pour le traitement (empilage du bois) 	0.8 %	1.3 %
	Chargement autoclave <ul style="list-style-type: none"> Coûts de personnels, chargement de l'autoclave Coût des chariots élévateurs, chargement de l'autoclave 	0.6 %	1.0 %
	Imprégnation des planches <ul style="list-style-type: none"> Coût matière (acide lactique) Coûts machines Coûts de personnels, fonctionnement des machines 	34.4 %	22.1 %
	Traitement thermique des planches <ul style="list-style-type: none"> Coûts machines Coûts de personnels, fonctionnement des machines 	14.8 %	20.5 %
	Déchargement <ul style="list-style-type: none"> Coûts de personnels, déchargement autoclave Coût des chariots élévateurs, déchargement de l'autoclave 	0.3 %	0.5 %
	Climatisation <ul style="list-style-type: none"> Frais de stockage 	0.8 %	1.3 %
Produit semi-fini		100 %	100 %
Estimation des coûts directs totaux, sans finition ni traitement de surface :		CHF/m ³ 1'800.-	CHF/m ³ 1'100.-

Figure 6 : les facteurs de coûts par étape de processus du procédé modèle et leur pourcentage par rapport aux coûts directs totaux de production (estimation, situation au début de 2019).

Classification des coûts

La comparaison des prix au chapitre 5.3 a montré que le prix au mètre cube pour le client final sans installation est d'environ CHF 4'710.- pour Accoya®, d'environ CHF 2'360.- pour le pin thermotraité et d'environ CHF 4600.- pour le frêne thermotraité.

Lors d'un entretien d'expert, un négociant en bois a indiqué que le prix d'achat de l'Accoya® brut (avant transformation ultérieure) était de CHF 3 800.00 CHF/m³. Si l'on consulte également les listes de prix disponibles sur Internet, on trouve des prix pour l'Accoya® brut entre CHF 3000.00 et CHF 3'800.00 du mètre cube. Ces prix comprennent des éléments tels que les risques et les bénéfices, les frais généraux de distribution, les coûts de transport et de logistique, les marges pour les remises aux entreprises, etc. qui manquent encore dans le calcul ci-dessus des coûts de fabrication du bois traité à l'acide lactique. Toutefois, elles indiquent clairement que **le prix de référence du produit Accoya® mentionné par les experts pourrait être atteint par le bois modifié à l'acide lactique**, et que, en fonction de l'optimisation de la capacité, des produits supplémentaires, des coûts énergétiques et des prix d'achat du matériel, celui-ci **pourrait même être inférieur**.

5.4 Validation technique, Paquet de travail 4

5.4.1 Courte étude préalable, autres essences

Avant caractérisation complète, deux essences complémentaires (douglas et sapin blanc) ont été évaluées en matière de stabilité dimensionnelle, de façon à valider l'efficacité du traitement sur ces essences pour la première fois, à la demande des partenaires industriels.

La stabilité dimensionnelle obtenue sur le sapin blanc est au moins égale à celle obtenue sur le hêtre, légèrement inférieure en ce qui concerne le douglas, comme le montrent les valeurs d'ASE compilées dans le Tableau 33. De plus, les valeurs de lessivage sont significativement inférieures pour les deux essences en comparaison au hêtre. Pour comparaison, le taux de lessivage de bois non traité est d'environ 0.5%. Il semble donc que le sapin blanc soit une essence particulièrement réceptive au traitement « EcoViaLactique », le douglas légèrement moins (efficacité inférieure à celle de l'Accoya®, ≈70%). La coloration des échantillons de sapin blanc due au traitement est visible sur la Figure 77.

Tableau 3 : Efficacité du traitement « EcoViaLactique » sur le sapin blanc et le douglas, en comparaison au hêtre (ASE = efficacité anti gonflement, L = lessivage)

	ASE [%]	L [%]
Hêtre	61	10
Sapin blanc	70	1
Douglas	51	4

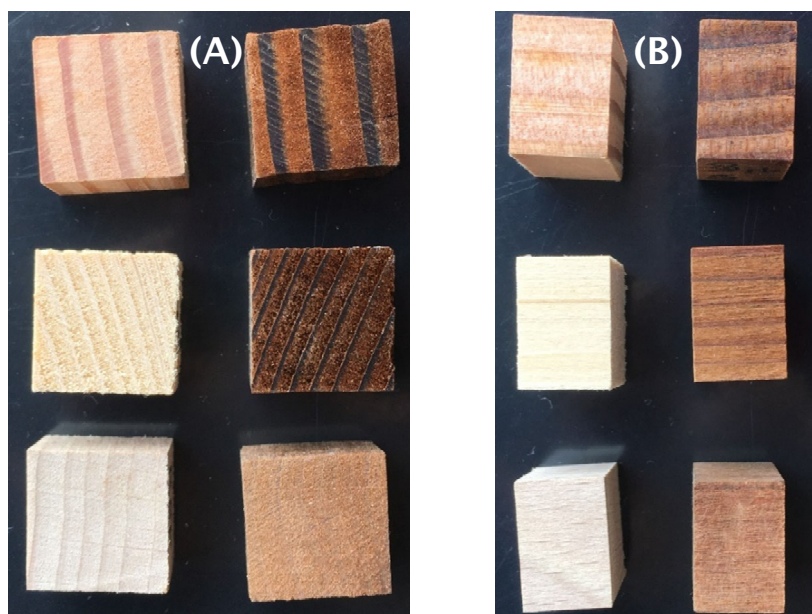


Figure 7 : échantillons de douglas, sapin blanc et hêtre (de haut en bas) avant traitement (gauche) et après traitement (droite), en section transversale (A) et radiale (B)

5.4.2 Fabrication de bois traité

Pour la partie de validation technique du traitement, le bois utilisé consiste en 2 essences (hêtre et sapin blanc), fournis par deux sources (BFH-AHB et Corbat Holding SA) de différente qualité, de différentes dimensions (en fonction des essais prévus). Les échantillons ont été stabilisés à environ 15% d'humidité d'équilibre.

Tous les échantillons ont été imprégnés ensemble selon le même protocole au laboratoire de la BFH-AHB.

Puis, pour tous les essais présentés ci-dessous, tous les échantillons ont été traités thermiquement en un seul lot dans la chambre de traitement thermique de Corbat holding, selon un cycle de chauffage légèrement adapté aux exigences industrielles. Le projet n'avait pas pour objectif d'optimiser les cycles de traitement thermique, mais de valider la faisabilité d'un changement d'échelle et d'identifier les moyens d'action possibles pour l'amélioration.

5.4.2.1 Imprégnation

Tous les échantillons ont été imprégnés sous vide / pression au laboratoire de la BFH-AHB en semaine calendaire 40, 2018 (1-5.10.2018). Cette étape d'imprégnation a été menée de façon identique pour toutes les dimensions d'échantillons des deux essences (vide/pression simple classique). Les valeurs de prise de masse figurent dans le Tableau 4 ci-dessous. Une grande variabilité est observée dans les valeurs d'imprégnation, en particulier dans le cas du sapin blanc dont les lots contenaient vraisemblablement des échantillons d'aubier, beaucoup plus imprégnable et non différencié. Malheureusement, il n'a pas été possible de mobiliser la chambre de traitement thermique industrielle pour un second cycle de production, qui aurait permis de multiplier les échantillons. Toutefois, toutes les conclusions effectuées dans la suite de ce rapport le seront en regard du taux d'imprégnation.

Tableau 4 : Valeurs de prise de masse par imprégnation et finale après traitement thermique

Type d'essai	Essence	Provenance	Prise de masse par imprégnation (%)	Prise de masse finale après traitement thermique* (%)
Flexion (25x25x400 mm, RxTxL)	Hêtre	BFH-AHB	106 ± 4	15 ± 3
		Corbat	101 ± 11	12 ± 6
	Sapin blanc	BFH-AHB	52 ± 23	-3 ± 6
		Corbat	35 ± 13	-8 ± 2
Adhésion des finitions (10x78x375 mm, RTxTRxL)	Hêtre	BFH-AHB	101 ± 2	17
		Corbat	86 ± 5	19
	Sapin blanc	BFH-AHB	63 ± 24	3 ± 6
		Corbat	159 ± 12	24
Vieillessement artificiel (18x74x300 mm, RTxTRxL)	Hêtre	BFH-AHB	100 ± 2	13
		Corbat	74 ± 1	11
	Sapin blanc	BFH-AHB	66 ± 18	-17
		Corbat	143 ± 62	9
Vieillessement naturel (20x78x375 mm, RTxTRxL)	Hêtre	BFH-AHB	93 ± 4	13
		Corbat	90 ± 13	23
	Sapin blanc	BFH-AHB	52 ± 7	-3
		Corbat	29 ± 10	-9

**les écarts types ne sont pas calculés pour toutes les variantes car plusieurs échantillons n'étaient plus reconnaissables après traitement thermique (référence effacée). L'essence et la provenance étaient toutefois clairement identifiables. Les calculs de prise de masse finales sont donc basés sur des valeurs moyennes.*

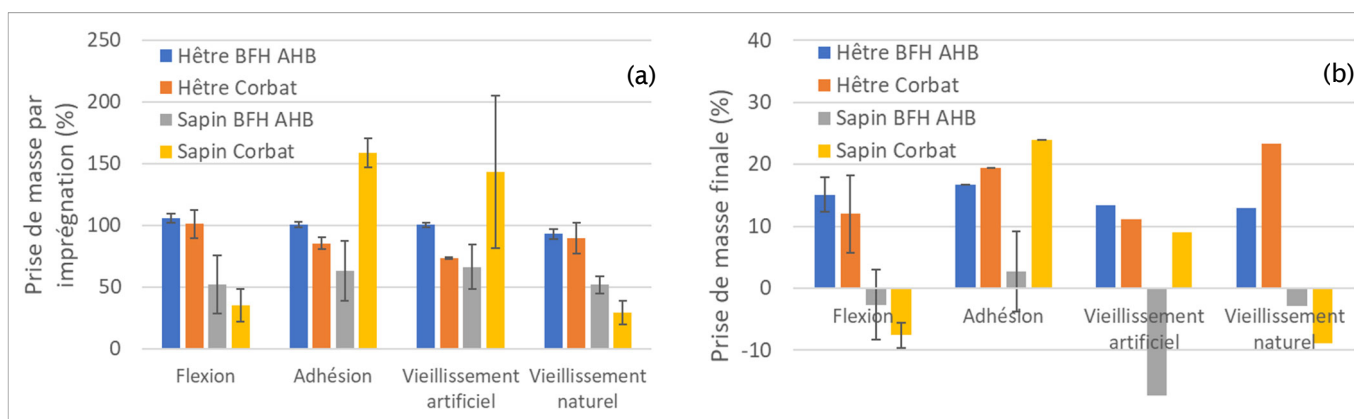


Figure 8 : Prise de masse par imprégnation (a) et prise de masse finale après traitement thermique (b)

Dans l'optique de production industrielle, le tri du bois revêtera une très grande importance, puisqu'une imprégnation trop élevée d'acide lactique conduit à une consommation et un coût élevés, et n'induit pas nécessairement de meilleures propriétés (voir paragraphes suivants).

5.4.2.2 Traitement thermique

Tous les échantillons ont été traités thermiquement dans la chambre de traitement thermique de l'entreprise Corbat Holding SA (ETS Röthlisberger à Glovelier) en semaine calendaire 44, 2018 (29.10 – 02.11.2018) selon le cycle de chauffage suivant :

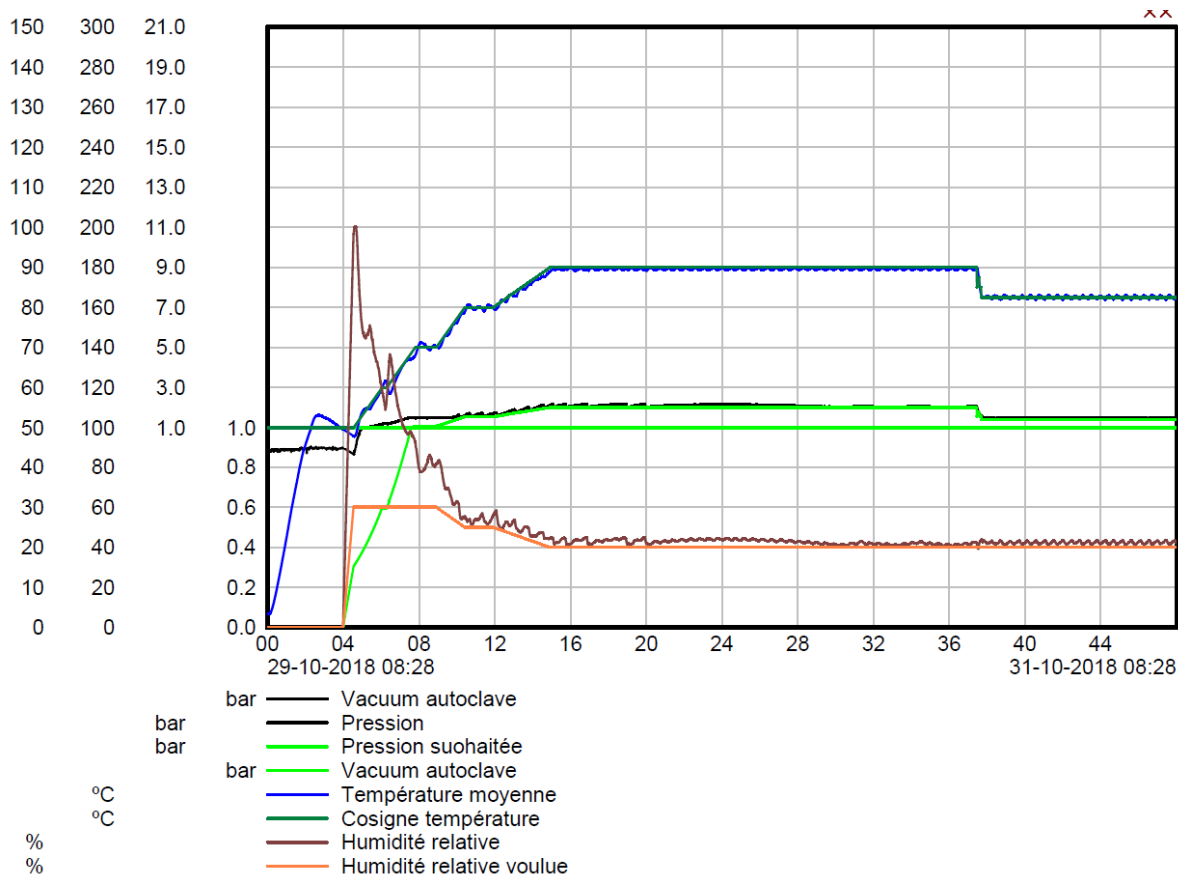


Figure 9 : Suivi de la pression, de la température et de l'humidité dans la chambre de traitement thermique pendant le traitement

Les valeurs de prise de masse finale après traitement thermique sont rapportées dans le Tableau 4 ci-dessus. Puisque les échantillons n'ont pas été séchés anhydres avant imprégnation, il apparaît que la perte de masse due au traitement thermique est parfois supérieure à la prise de masse par imprégnation, ce qui conduit à une valeur négative.



Figure 10: Photographie d'échantillons imprégnés disposés pour le traitement thermique à l'entrée de la chambre de traitement de Corbat holding



Figure 11: Photographies des échantillons après traitement thermique dans la chambre de traitement (Corbat Holding SA)

5.4.2.3 Usinage ultérieur

Après une période de stabilisation d'environ 1 semaine, les échantillons ont été usinés aux dimensions finales correspondant à chaque essai, le traitement provoquant une prise de volume parfois hétérogène. L'usinage ultérieur a montré une coloration homogène du hêtre sur plusieurs millimètres au moins. En revanche, les échantillons de sapin semblent avoir été imprégnés de façon plus hétérogène.

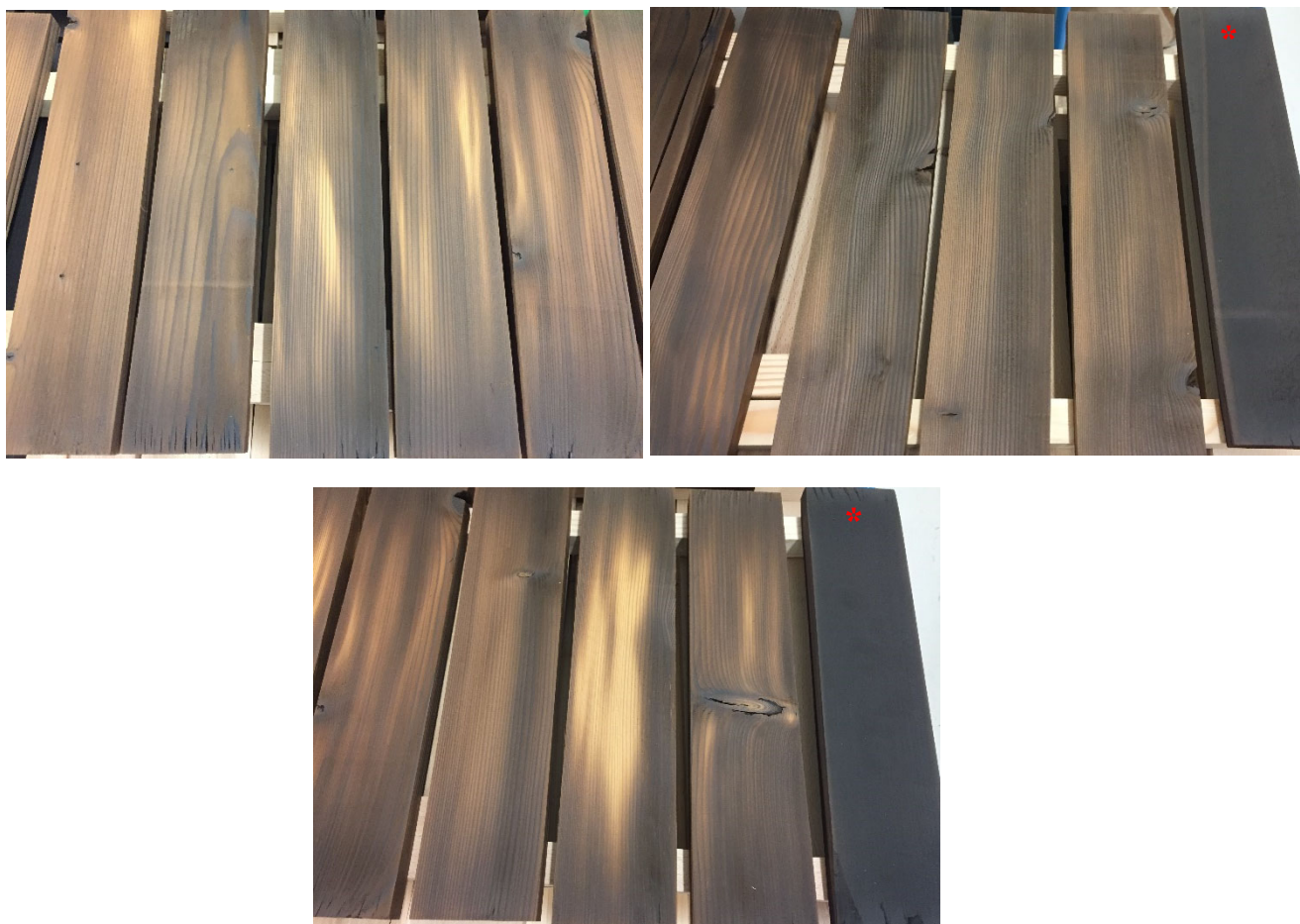


Figure 12 : Photographies des échantillons de sapin blanc après le traitement thermique et l'usinage ultérieur à dimensions (* = échantillons de hêtre)

5.4.2.4 Remarques

Le traitement d'échantillons de cette dimension en chambre industrielle a été très instructif. Malgré un taux d'imprégnation trop élevé pour le hêtre, l'aspect et la qualité des pièces en sortie de traitement thermique sont encourageants. Dans ces échantillons, la polymérisation ne semble pas complète, le bois est collant au toucher. Il semble qu'un travail sur l'imprégnation pourrait être simplement effectué et très bénéfique à la qualité finale. Pour limiter la quantité de produit imprégnée dans le bois (malgré la très forte imprégnabilité du hêtre), les procédés suivants seront approchés dans les prochains travaux : imprégnation de solutions d'acide lactique très dilué suivie d'un séchage à l'air avant traitement thermique ; vide de ressuyage en fin d'étape d'imprégnation.

Le traitement du sapin blanc n'avait pas été considéré avant ce projet, et se montre très prometteur. En effet, moins imprégnable que le hêtre, le sapin blanc est moins impacté par le traitement et présente des propriétés généralement améliorées ou peu modifiées par rapport au bois non traité (voir chapitres suivants). La difficulté résidera en une imprégnation homogène du bois, qui n'a pas été atteinte suivant les conditions d'imprégnation définies dans le présent projet.

Le traitement thermique en chambre industrielle a montré sa faisabilité, avec toutefois plusieurs paramètres à améliorer pour un développement futur : définition d'un cycle de chauffage idéal pour éviter de trop fortes contraintes sur le bois, affinage des conditions de chauffage (température, durée et humidité relative).

Tous les essais de caractérisation menés dans ce projet ne reposent que sur un seul lot de traitement, ce qui limite l'interprétation mais donne un bon aperçu des points positifs et améliorations nécessaires.

5.4.2.5 Sélection – Prescriptions de fabrication

Le sapin blanc traité par l'acide lactique selon notre procédé est un matériau dont le veinage est mis en valeur par le traitement, auquel il réagit très bien. De plus, l'haptique est agréable et l'usinage ultérieur non impacté. Une adaptation des conditions d'imprégnation ou de la dilution du produit sera nécessaire pour obtenir une diffusion complète sur de plus grandes longueurs. Mais la faisabilité du traitement est validée.

La qualité du hêtre traité par l'acide lactique est très dépendante de la quantité de produit imprégné. La gestion du taux d'imprégnation permettra d'éviter les fissurations internes.

5.4.3 Caractérisation mécanique par flexion

5.4.3.1 Résultats

De précédents résultats obtenus par essai de flexion 4 points (EN 408 :2010) sur des échantillons de hêtre de plus petites dimensions traités au laboratoire ont montré une légère augmentation du MOE (environ 5%) grâce au traitement à l'acide lactique en comparaison aux échantillons non traités. De plus, la force maximale atteinte lors de cet essai était environ deux fois supérieure pour les échantillons traités en comparaison aux échantillons non traités. Il avait été montré que dans ces conditions (petites dimensions, imprégnation contrôlée), le traitement thermique effectué au laboratoire n'avait pas d'influence sur les propriétés mécaniques. En complément, la résistance à la compression (NF B51-007:1985) était presque doublée par le traitement alors que la résistance au cisaillement (EN 302-1:2013) était diminuée d'un peu plus que la moitié traduisant l'impact sur la cohésion des fibres.

Malgré les résultats assez prometteurs obtenus dans le cadre de ces précédents travaux¹, le changement d'échelle et la maîtrise du cycle de traitement thermique laissaient entrevoir de possibles difficultés de transposition.

Comme précisé précédemment, il n'a pas été possible de travailler sur le cycle de traitement thermique dans le cadre du présent projet. Produits pour la première fois dans de telles dimensions, les échantillons ont subi une forte contrainte pendant le chauffage, qui a conduit, dans le cas du hêtre excessivement imprégné, à de nombreuses fissures internes. L'observation de l'impact du traitement sur le bois est clairement possible sur la Figure 13, qui montre que le MOE diminue d'environ 60% à cause du traitement. De même, la résistance en flexion est diminuée de 80/85%.

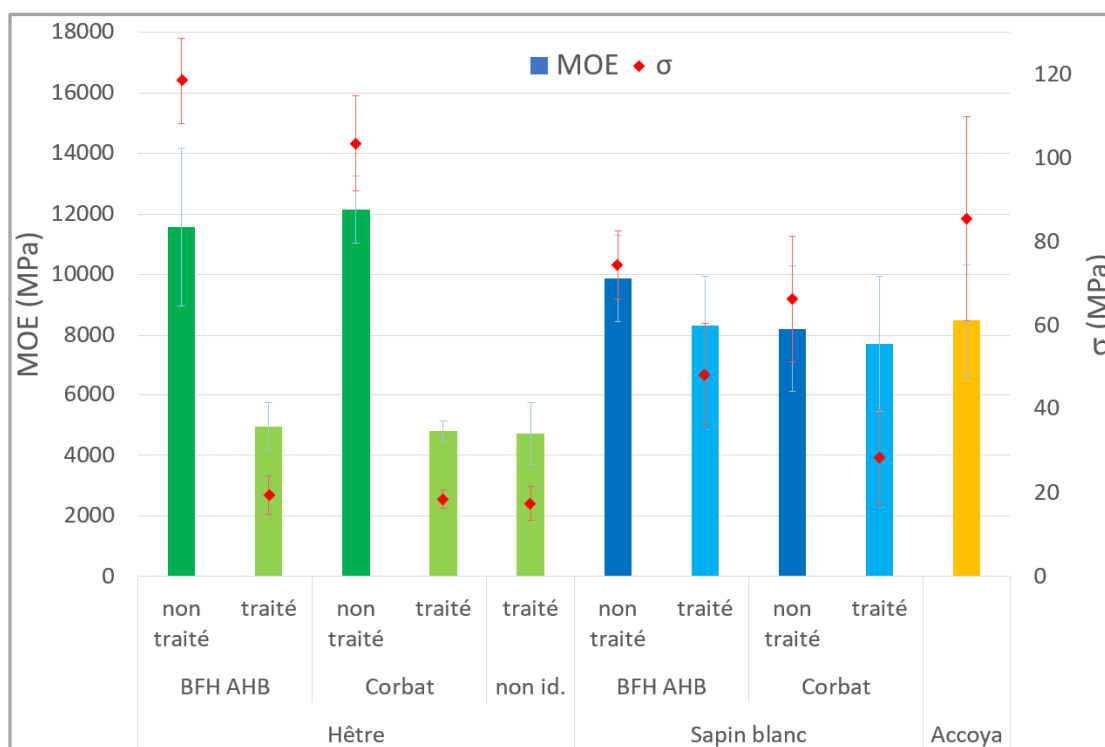


Figure 13 : MOE et σ d'échantillons traités et non traités de hêtre et de sapin, en comparaison à l'Accoya® (certaines références sur les échantillons de hêtre n'étaient plus lisibles après le traitement, ils apparaissent dans la colonne non id. = non identifié)

¹ Noël, M., Grosse, C., Burud, I., Tévenon, M.-F., Gérardin, P. Biopolyesters for wood modification: technical validation towards implementation. 9th European Conference on Wood Modification, Arnhem, 2018.

Les échantillons de sapin, moins imprégnables, ne sont pas impactés dans la même mesure que les échantillons de hêtre. On observe toutefois une diminution du MOE de 16% et 6% pour le sapin fourni par la BFH-AHB et par Corbat Holding SA respectivement. La résistance en flexion est par contre un peu plus influencée par le traitement : diminution de 35% et 57% pour le sapin fourni par la BFH-AHB et par Corbat Holding SA respectivement.

En restant conscient que l'essence est différente (Accoya® = pin radiata), on observe que les MOE du sapin traité et non traité et de l'Accoya® sont assez similaires. Les produits finis auraient donc un MOE proche. En revanche, la contrainte en flexion de l'Accoya® est presque deux fois supérieure à la contrainte de la meilleure variante de sapin traité.

Les résultats obtenus par cet essai montrent :

- La forte influence du taux d'imprégnation sur la résistance mécanique : il faudra absolument optimiser l'imprégnation du hêtre dans les prochains travaux
- La forte influence du traitement thermique sur la résistance mécanique : dans un futur proche, dépendant de la disponibilité de la chambre de traitement thermique, il faudra renouveler l'expérience en intégrant des échantillons non imprégnés mais traités thermiquement, de façon à quantifier le bénéfice du traitement chimique couplé au traitement thermique, par rapport à un traitement thermique simple.
- La forte influence de la conduite du cycle de chauffage : le principal axe de développement consistera à développer un cycle de chauffage graduel, adapté à chaque essence, permettant d'éviter la fissuration du bois.

5.4.3.2 Sélection – Prescriptions d'applications

Le sapin blanc de bonne qualité de départ, traité par l'acide lactique, voit ses propriétés en flexion influencées par le traitement de façon raisonnable, ce qui ouvre son utilisation à de nombreuses applications.

Des études antérieures sur le hêtre de dimensions intermédiaires (100 x 100 x 600 mm³) ont montré que le traitement à l'acide lactique ne conduit pas aux fissures internes observées ici lorsque le taux d'imprégnation est contrôlé, et n'impacte pas les propriétés en flexion comme observé ici.

5.4.4 Aptitude au collage

L'essai suivant a été effectué sur des échantillons de hêtre traité au laboratoire dans le cadre de précédents travaux et n'a pas été renouvelé dans le présent projet. La mesure de la résistance en cisaillement longitudinal a été effectuée selon EN 302-1 sur échantillons orientés collés par une résine polyuréthane un composant (Collano RP 2710) pour applications structurelles. Comme observé sur la Figure 14 ci-contre, le traitement provoque une diminution de la résistance du collage. On peut supposer que l'acidité du traitement soit à l'origine de cette perte de résistance de 30% environ. Cette information doit toutefois être nuancée puisque dans les applications visées par le projet EcoViaLactique, le collage ne concernerait qu'un éventuel aboutage. De plus, en contrepartie, la stabilité dimensionnelle du hêtre traité « EcoViaLactique » est largement améliorée (70% d'efficacité anti-gonflement environ), ce qui suppose une contrainte sur les assemblages collés diminuée.

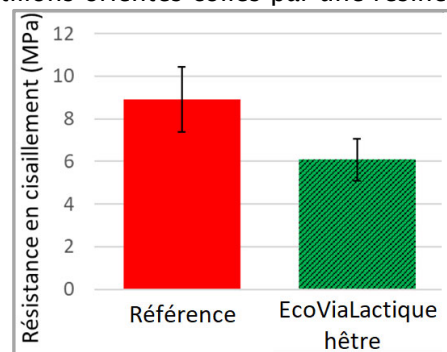
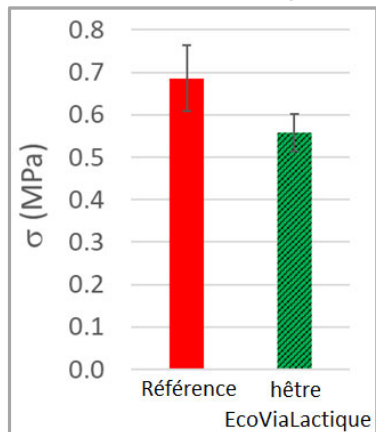


Figure 14 : Résistance en cisaillement d'échantillons collés

Dans le cadre du projet EcoViaLactique, suffisamment de matière a été produite pour la fabrication de panneaux de particules à base de bois traité pour étudier des potentialités de recyclage selon cette voie. La matière en question est constituée d'échantillons d'essai, conservés jusqu'à la fin du projet pour des raisons d'analyses. Ils seront broyés après conclusion du projet et pressés en panneaux de particules. Ces panneaux seront ensuite caractérisés par l'essai de cohésion interne, de façon à classer leur utilisation finale possible. Une inconnue réside dans la capacité de broyer les bois traités de manière à obtenir des particules de qualité, le bois traité étant sensiblement plus cassant que le bois non traité. De plus, l'acidité du bois traité (similaire à l'acidité du chêne) influencera les propriétés de collage des résines utilisées usuellement pour la fabrication de panneaux de particules.

5.4.5 Aptitude à la finition

La comparaison entre les propriétés d'échantillons fabriqués et testés précédemment et les propriétés d'échantillons de plus grande dimension produits en conditions industrielles a été effectuée.



Dans de précédents travaux², un revêtement de surface de type acrylate blanc (Aquaprotect, Feyco Treffert) a été appliqué sur des échantillons de hêtre traité « EcoViaLactique » selon les prescriptions du fournisseur. Les résultats de l'essai d'adhésion sont observables sur la **Error! Reference source not found.**15 ci-contre. Alors que le facies de rupture des échantillons référence est majoritairement adhésif entre le substrat et la première couche de revêtement, il est majoritairement cohésif pour les échantillons de hêtre traité « EcoViaLactique », avec une légère diminution de la force d'adhésion. On observe donc une adhésion un peu améliorée (mode de rupture cohésif) couplée à une diminution des propriétés intrinsèques du matériau (force d'adhésion).

Figure 15 : Force d'adhésion du revêtement

5.4.5.1 Application

L'application des revêtements de surface sur les échantillons traités dans le projet EcoViaLactique a montré une variabilité de qualité. Le produit solvanté montre une bonne compatibilité et une esthétique réussie. Le produit aqueux en revanche ne semble pas adapté aux surfaces traitées et réagit au contact du bois. Malgré la moindre qualité apparente, les échantillons ont été testés. Il est à noter que plusieurs échantillons non traités ont également montré des zones de mauvaise qualité avec le produit aqueux (Figures 16 et 17). Il est possible que l'acidité de surface ait conduit à un phénomène de floculation du produit aqueux (séparation de l'eau et du liant), traduit par l'aspect craquelé observé.

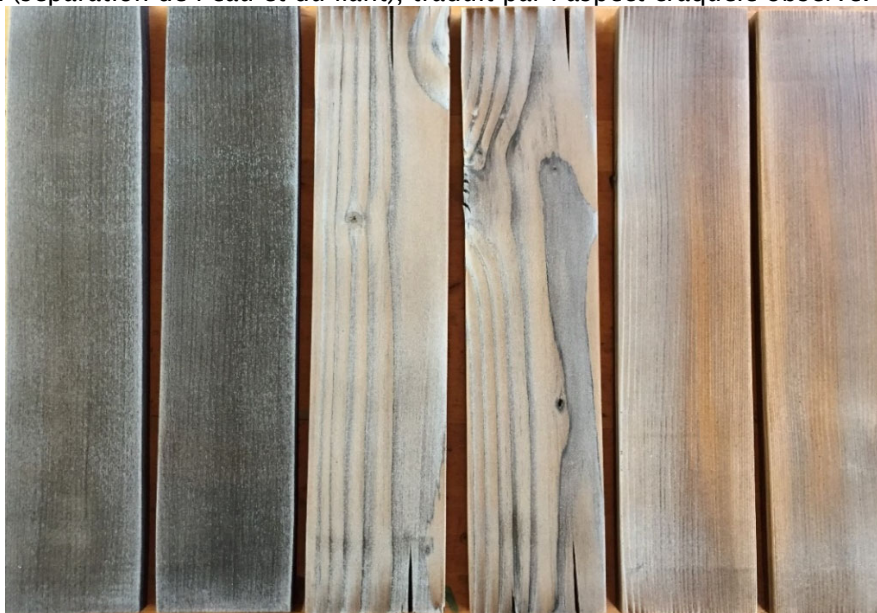


Figure 16 : Photographie d'échantillons de hêtre, sapin (Corbat) et sapin (BFH) traités, revêtus par le revêtement aqueux (Hydro-Mehrschichtlack, Votteler), première couche

² Noël, M., Grosse, C., Burud, I., Tévenon, M.-F., Gérardin, P. Biopolyesters for wood modification: technical validation towards implementation. 9th European Conference on Wood Modification, Arnhem, 2018.

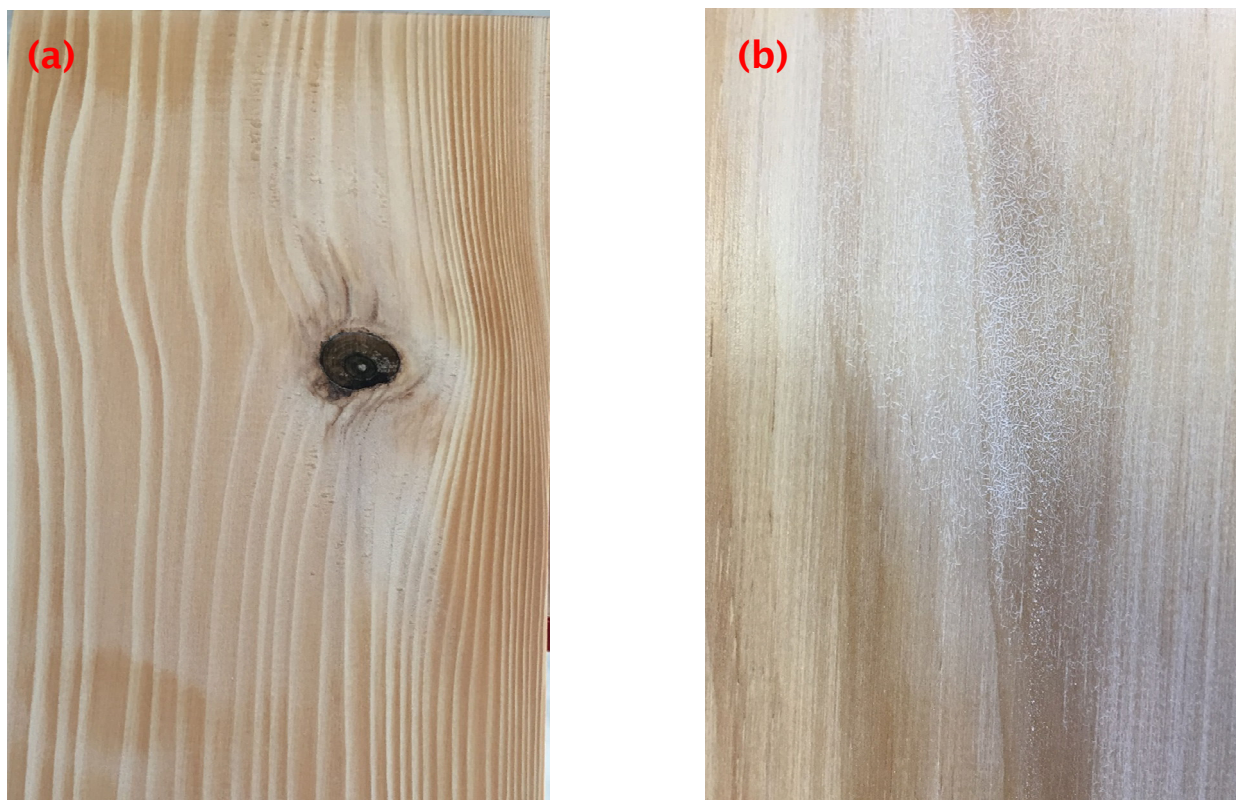


Figure 17 : Photographies des défauts d'application sur sapin (BFH) non traité (a), et Accoya® (b)

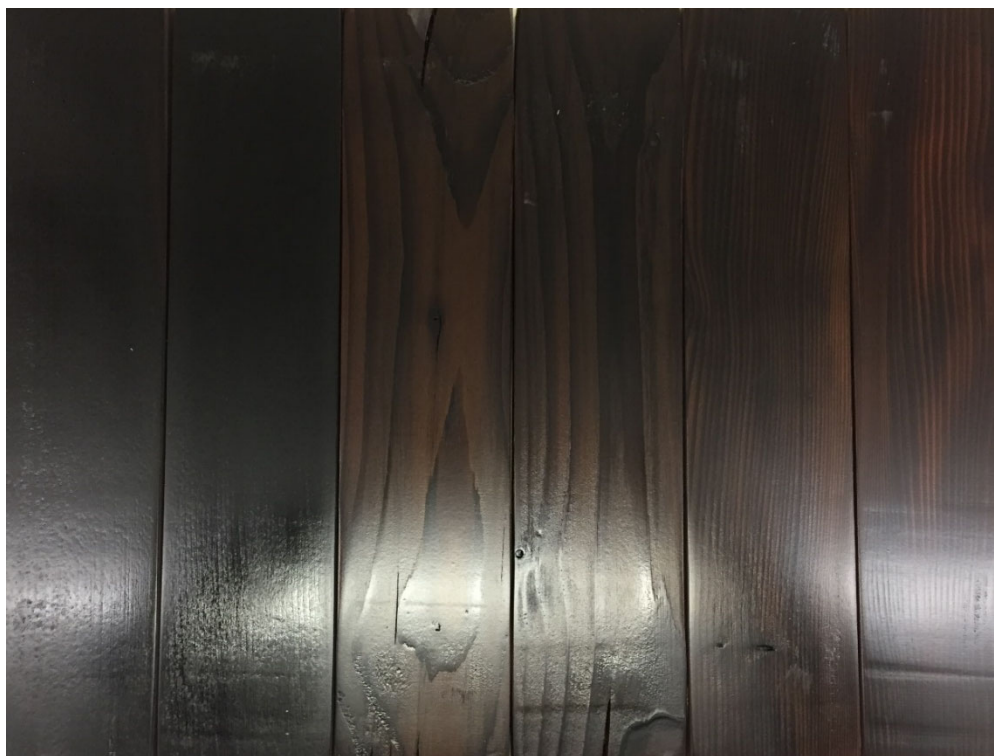


Figure 18 : Photographie d'échantillons de hêtre, sapin (Corbat) et sapin (BFH) traités, revêtus par le revêtement solvanté (Owedur 4126, Feyco Teknos), 2 couches



Figure 19 : Photographies d'échantillons de hêtre, sapin (Corbat) et sapin (BFH) traités, revêtus par le revêtement solvanté (Owedur 4126, Feyco Teknos), 2 couches – illustration de l'effet vivifiant du revêtement

L'application de peinture de pré-grisaillement en phase aqueuse a permis d'obtenir une très belle qualité de surface sur tous les échantillons, traités et non traités, à l'exception des échantillons de hêtre traités dont la surface reste collante après application. L'exposition au vieillissement naturel de ces

échantillons permettra de valider la bonne tenue de ce type de peinture extérieure en termes d'adhésion et de variation de couleur. De plus, la peinture étant couvrante colorée, il sera intéressant d'observer si d'éventuelles remontées de traitement conduisent à des pénétrations esthétiques. Les photographies ci-dessous illustrent la qualité de surface des échantillons avant exposition.



Figure 20 : Photographies d'échantillons revêtus par la peinture de pré-grisaillement en phase aqueuse

5.4.5.2 Adhésion

On note une diminution de l'adhésion des deux revêtements de surface considérés (Figure 20) après traitement, plus marquée dans le cas du revêtement aqueux, ce qui est cohérent avec les difficultés d'application. On note également de grandes disparités entre les échantillons de la même essence mais de provenance différente (et de qualité différente), traités et non traités. L'accoya® montre la même résistance avec les deux types de revêtements.

Dans le cas du revêtement solvanté, la perte de résistance à l'adhésion due au traitement est relativement faible : 13.9% pour le hêtre (aucun échantillon de hêtre fourni par Corbat Holding SA n'a donné de résultat exploitable dans ce cas), 4.6% pour le sapin (BFH) et 31.6% pour le sapin (Corbat). Les cernes plus larges et l'orientation des échantillons de sapin (Corbat) expliquent la plus grande perte. Le traitement a en effet plus d'impact sur la qualité de surface après traitement (gonflement des parois donc augmentation de la rugosité, non compensée par le ponçage avant application).

Dans le cas du revêtement aqueux, la perte de résistance à l'adhésion due au traitement est plus élevée : 39.5% et 67.9% pour le hêtre (en fonction de la provenance du bois non traité), 59.6% pour le sapin (BFH) et 46.3% pour le sapin (Corbat). L'incompatibilité observée à l'application est ainsi confirmée par les valeurs de force d'arrachement.

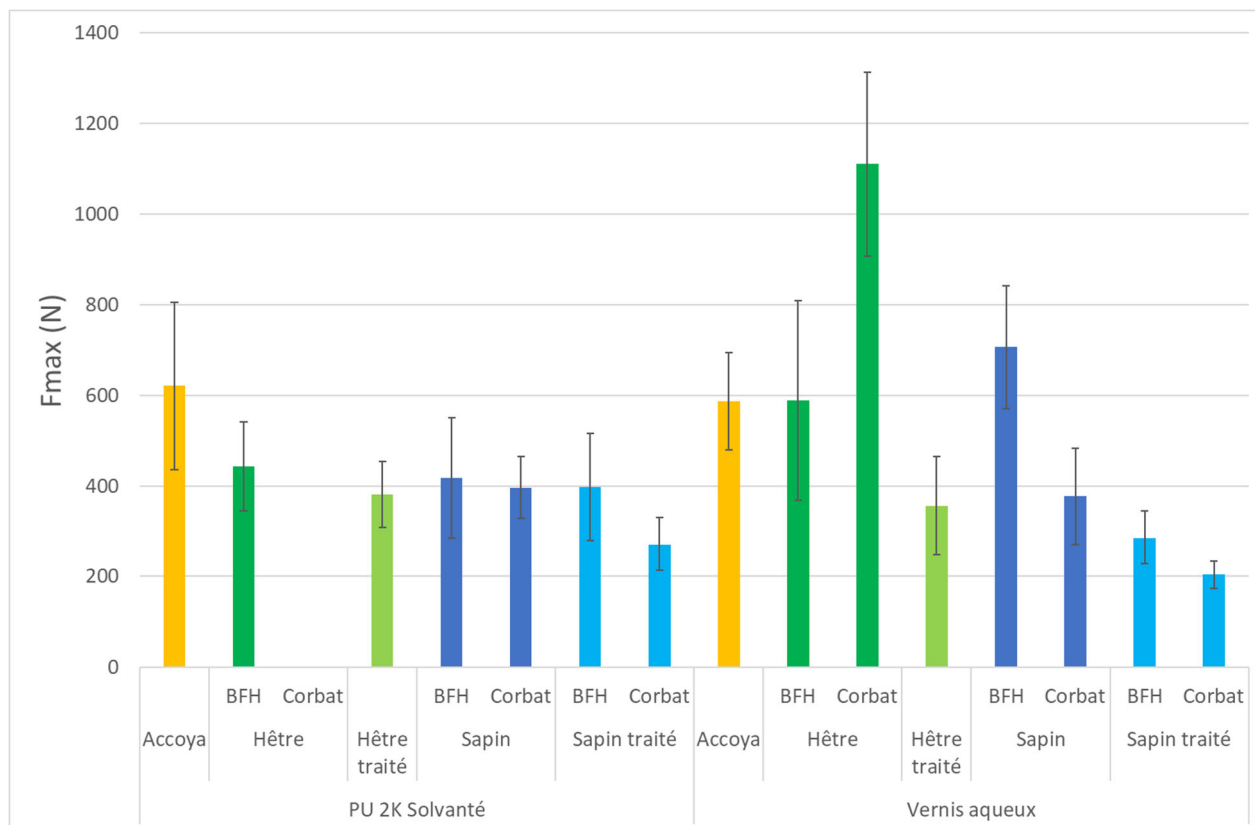


Figure 21 : Force maximale d'arrachement des échantillons traités et non traités, de toutes essences et provenances, revêtus par les deux types de revêtements de surface.

Remarque : seules les valeurs de force valables ont été intégrées dans les calculs, c'est-à-dire les valeurs correspondant aux essais valides, pour lesquels le faciès de rupture correspond aux exigences de la norme. C'est pourquoi pour certaines variantes, aucune valeur n'apparaît dans la figure 20.

L'observation des faciès de rupture permet de conclure que la péjoration de l'adhésion du revêtement de surface n'est pas le seul facteur en cause. En effet, la fragilisation du matériau entraîne souvent des

ruptures cohésives dans le bois, ce qui ne permet pas de conclure sur la force d'adhésion du revêtement mais quantifie tout de même la résistance à l'arrachement.

Les Figures 21 (a) à (f) ci-dessous montrent quelques exemples de faciès de rupture observés.

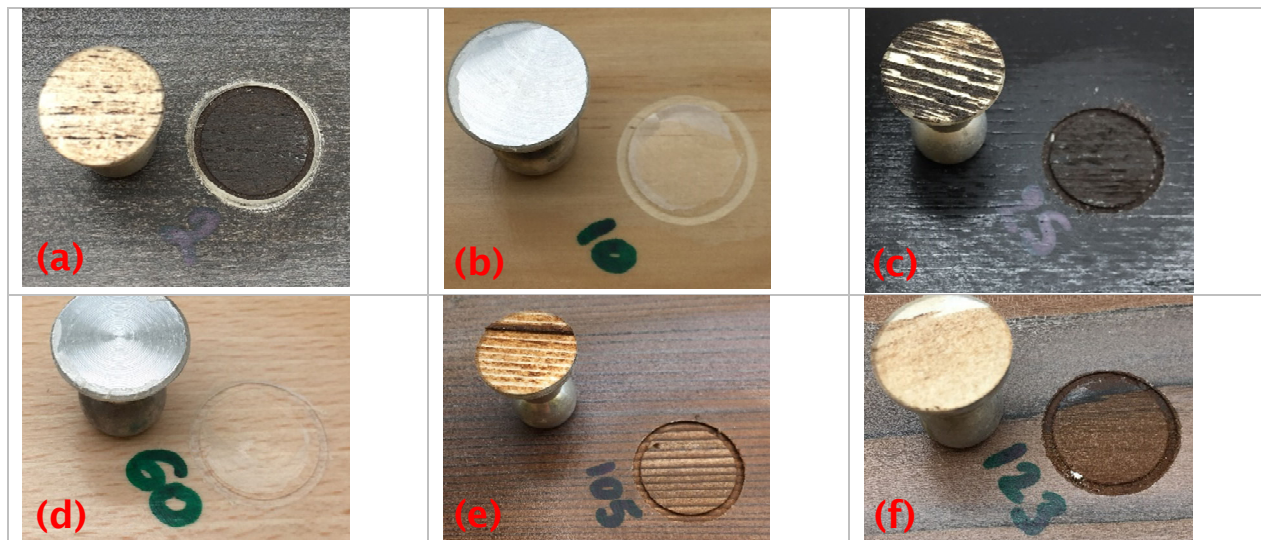


Figure 22 : Photographies d'exemples de faciès de rupture, complètement adhésive entre le pion et l'adhésif (b et d, ces essais ne sont pas comptabilisables), cohésive dans le substrat, complètement (c) ou partiellement (e) et adhésive entre la première couche de revêtement et le substrat (a et f).

5.4.5.3 Vieillissement artificiel

En parallèle, les échantillons revêtus par les deux mêmes systèmes ont subi l'essai de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6. Cet essai **est particulièrement sévère et discriminant**, en particulier sur ces types de revêtements, et sans bouchage du bois de bout avant essai. La variation globale de couleur ΔE^* a été mesurée au cours du temps, ainsi que la variation de clarté (Figures 22 et 23).

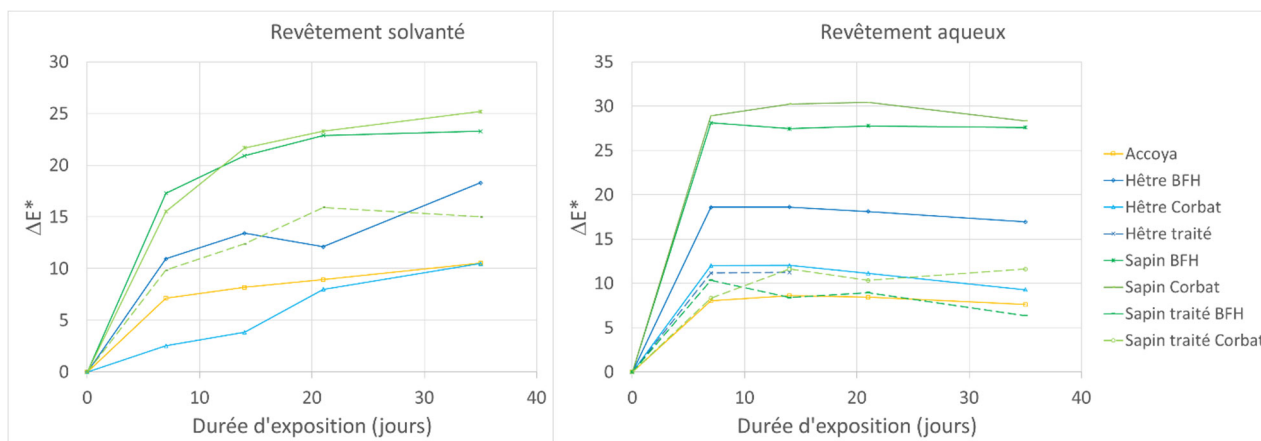


Figure 23 : Variation globale de couleur ΔE^* au cours de l'exposition au cycle de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6

Avec les deux revêtements de surface, l'Accoya® est le système présentant la plus faible variation de couleur. Les sapins traités (BFH et Corbat) montrent une performance égale à l'Accoya® avec le revêtement aqueux, légèrement inférieure avec le revêtement solvanté. Les sapins non traités se colorent 2.5 à 3 fois plus que l'Accoya.

Avec les deux revêtements de surface, l'Accoya® éclaircit de 10% environ. Le sapin Corbat traité est la seule autre variante traitée qui montre un éclaircissement également, beaucoup plus prononcé (30% à 40% en fonction du revêtement). Les autres variantes traitées ont tendance à foncer (20% à 30%) de façon comparable aux variantes non traitées (Figures 22 et 23).

La mesure de la variation de brillance au cours du temps d'exposition en vieillissement artificiel est une bonne indication de la qualité de la structure de surface. Le revêtement polyuréthane solvanté, moins élastique, perd en brillance assez rapidement pour toutes les variantes de façon assez similaire. Le revêtement acrylate aqueux semble mieux résister à l'exposition, en particulier pour le hêtre BFH traité, le sapin Corbat traité et l'Accoya® (Figure 24).

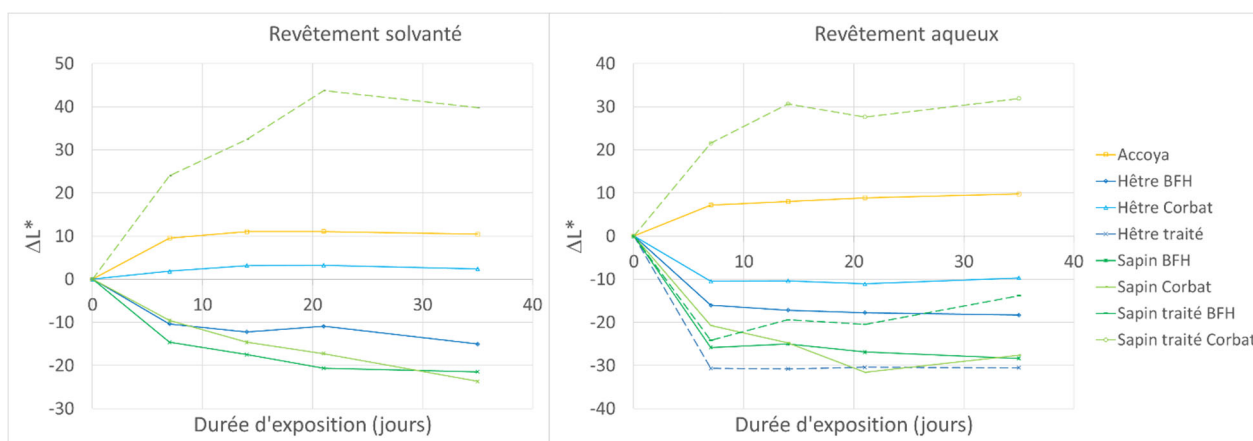


Figure 24 : Variation de clarté ΔL^* au cours de l'exposition au cycle de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6

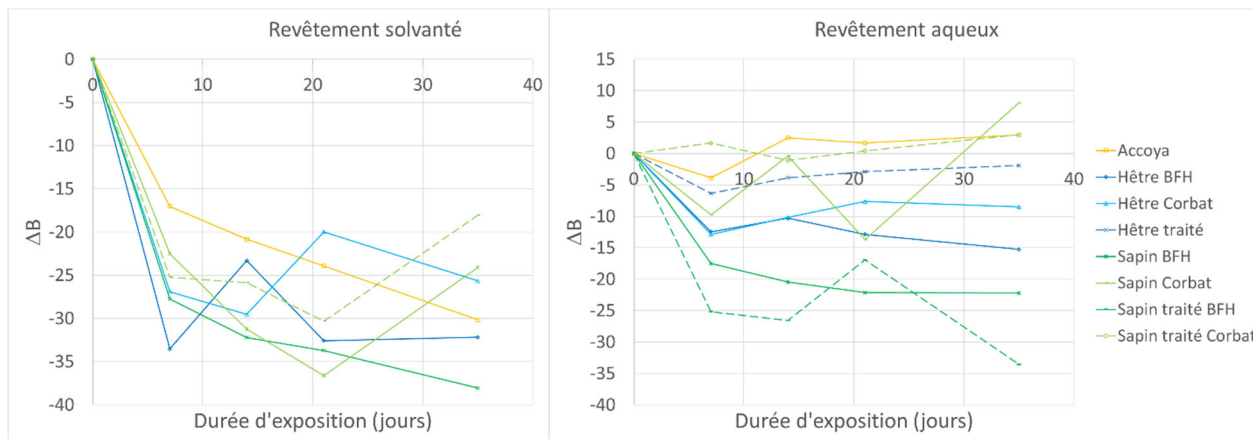


Figure 25 : Variation de brillance ΔB au cours de l'exposition au cycle de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6

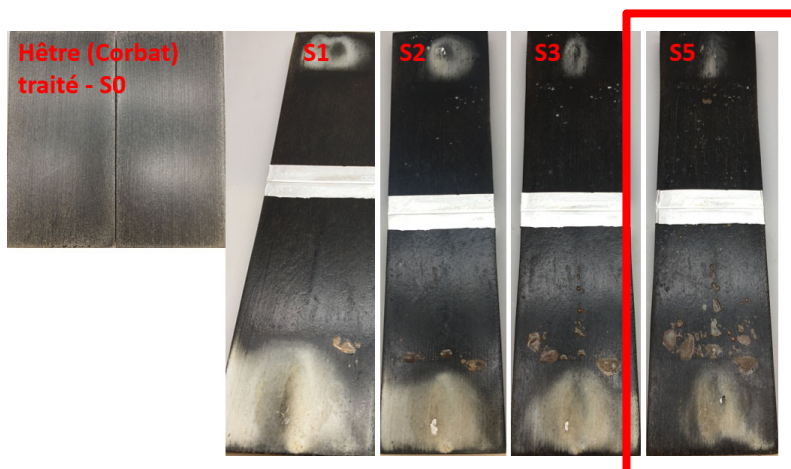
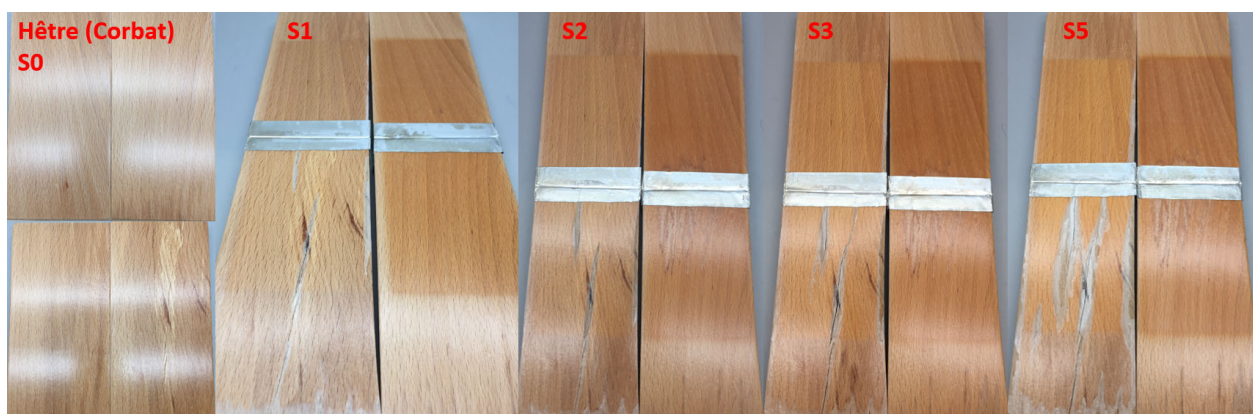




Figure 26 : Evolution de l'apparence des échantillons soumis à l'essai de vieillissement artificiel pendant 5 semaines (S0 à S5)

Ces résultats sont encourageants : il est possible d'obtenir des bois se comportant de façon similaire à l'Accoya®, lorsque le taux d'imprégnation est idéal et que le revêtement de surface est compatible, ce qui est un excellent résultat. C'est le cas du sapin (Corbat) dont l'apparence après 5 semaines d'exposition très sévère est très bien conservée avec le revêtement aqueux, en particulier en comparaison au sapin non traité (Figure 26).

Sur échantillons très foncés (hêtre Corbat et sapin blanc BFH traités), le revêtement transparent est blanchi lorsque l'eau diffuse sous le revêtement, ce qui est le cas ici puisque le bois de bout n'a pas été bloqué. Lorsque l'échantillon sèche, la coloration blanche disparaît. L'observation de la zone exposée montre une qualité de surface très satisfaisante pour le hêtre, dont le traitement est homogène, à l'exception de la formation de bulle sous le revêtement due à la diffusion de l'eau par le bois de bout. Pour le sapin, dont l'orientation du bois n'est pas optimale, des micro-fissures sont apparues dans le revêtement et conduise au blanchiment irrégulier et un début de délamination. Le tri du bois est donc de nouveau un point à ne pas négliger dans le procédé.

Les photos ci-dessous permettent d'observer les trois variantes traitées plus en détails.

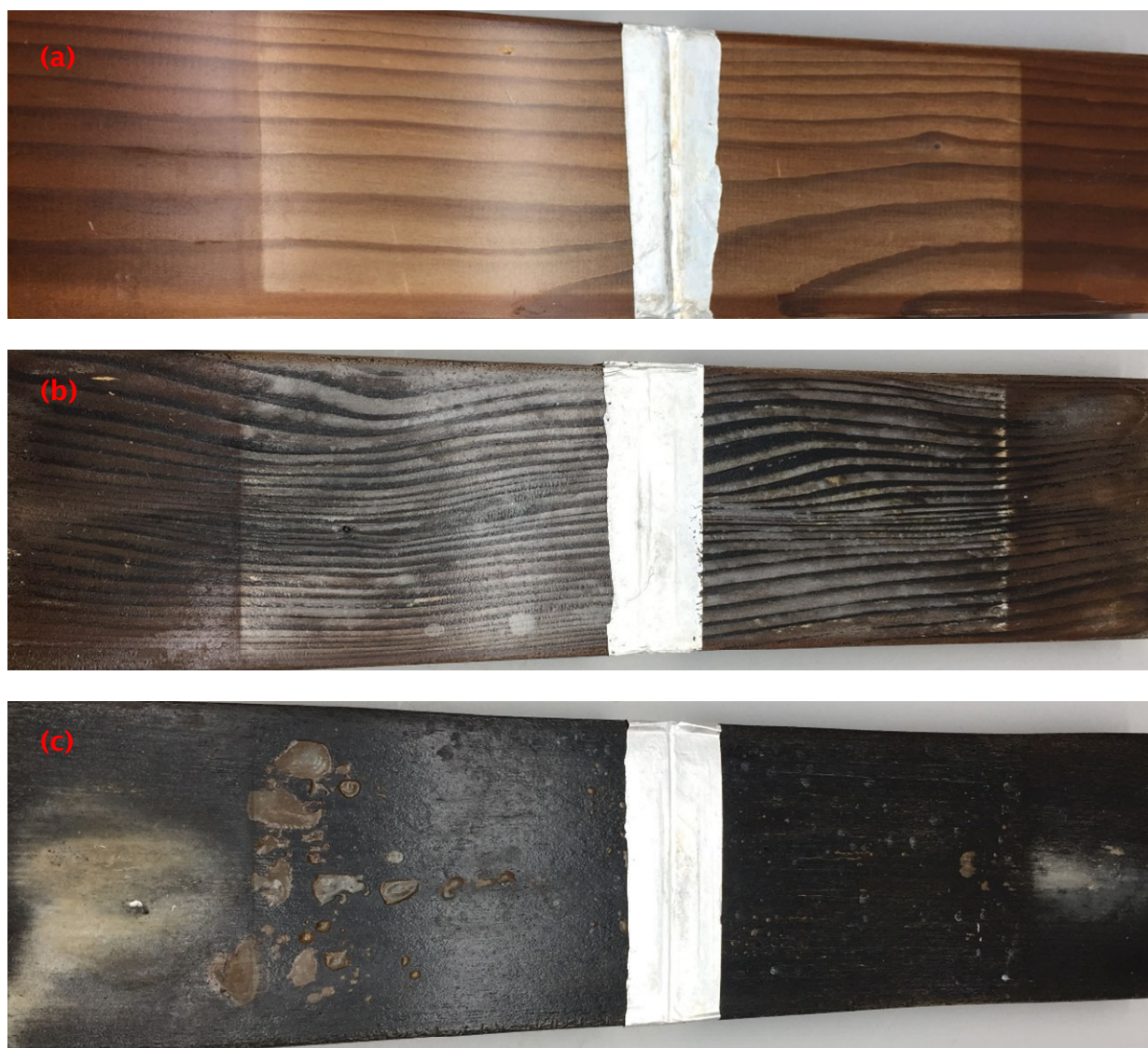


Figure 27 : Echantillons traités, revêtus et exposés à l'essai de vieillissement artificiel pendant 5 semaines (a, sapin blanc Corbat revêtement aqueux ; b, sapin blanc BFH revêtement aqueux ; c, hêtre BFH revêtement aqueux)

5.4.5.4 Sélection - Prescriptions

Il est nécessaire d'effectuer un essai de compatibilité entre le produit de revêtement envisagé et la surface traitée. Si l'application est facile et qualitative, il semble que les propriétés générales du bois traité ne soient que peu influencées, selon les remarques ci-dessous :

Le sapin traité (Corbat) est la meilleure variante à retenir en matière de revêtement de surface, en particulier avec le produit de revêtement aqueux. La surface exposée n'est pas dégradée malgré la sévérité de l'exposition, et la coloration va vers un éclaircissement couplé à une mise en valeur des veines plus prononcée.

L'observation des échantillons « trop imprégnés » de sapin blanc (BFH) et de hêtre est également prometteuse, notamment en comparaison aux échantillons non traités. Il est ici évident que les variations dimensionnelles moindres des échantillons traités permettent de maintenir une meilleure qualité du revêtement.

Les essais d'arrachement montrent une diminution de la résistance à cause du traitement dans presque tous les cas, mais toujours corrélée avec une rupture cohésive due à la fragilisation du matériau en cisaillement. Cette fragilité n'est que peu susceptible d'entraîner des dégâts dans les applications façades ou terrasses. Lorsque la rupture est adhésive entre le revêtement et la surface du bois, la résistance n'est que très peu impactée par le traitement.

5.4.6 Corrosion

5.4.6.1 Evaluation

L'essai de corrosion a été lancé plusieurs semaines avant la fin du projet (10.04.2019). Les masses des vis installées ont été relevées avant fixation et seront de nouveau relevées après une année de mise en œuvre en humidité saturée (100% HR) et nettoyage de la rouille selon procédure technique interne. Après 5 mois d'exposition, seules des observations visuelles ont été conduites et sont rapportées par les photographies ci-dessous (A2 = acier inox type A2, ZJ = acier zingué jaune, ZPJ = acier zingué passivé jaune, ZB = acier zingué bleu). Les résultats finaux seront rapportés et mis à jour sur le factsheet de projet pour la communication externe.

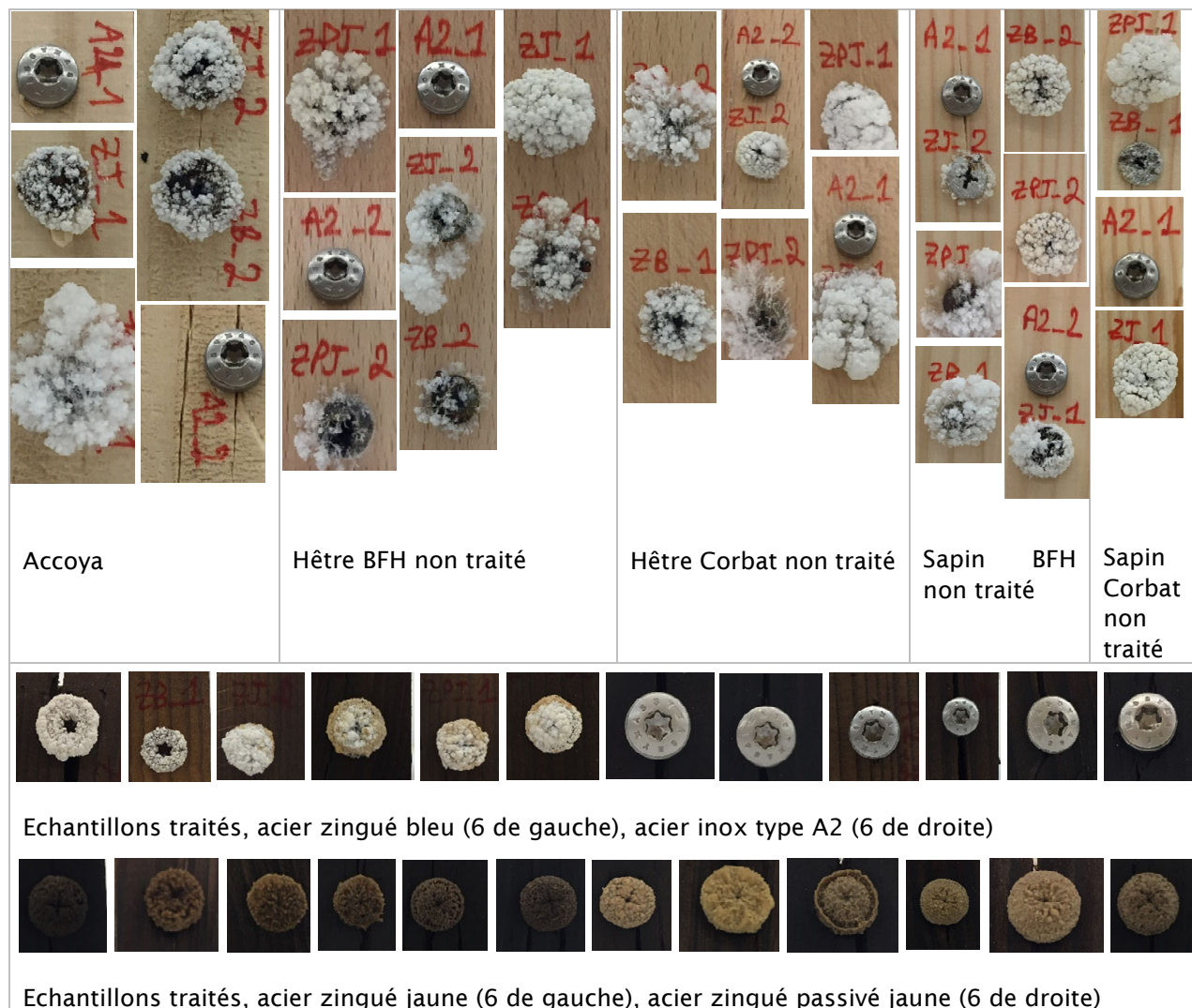


Figure 28 : Photographies de vis fixées dans les échantillons traités et non traités, exposés à une humidité relative de 100% pendant 5 mois

5.4.6.2 Sélection – Prescriptions d'assemblage par vis

Après 5 mois d'exposition et comme attendu, il apparaît que seules les vis en acier inox type A2 ne montrent aucun signe de corrosion sur les échantillons non traités. Pour l'instant, aucun traitement ne semble responsable d'une dégradation de l'acier inox A2 non plus. Toutefois, les observations visuelles ne suffisent pas et seront complétées par les mesures de perte de masse après une année d'exposition, qui permettront de conclure à la nécessité éventuelle d'utiliser des vis en acier inox type A4, sachant qu'Accoya® prescrit l'acier inox type A2 pour tout assemblage vissé.

5.4.7 Vieillissement naturel

5.4.7.1 Evaluation

L'essai de vieillissement naturel a été lancé plusieurs semaines avant la fin du projet. La dernière mesure avant publication du rapport fait état des variations de couleur, de clarté et de brillance après deux mois d'exposition. L'évaluation sera poursuivie pendant plusieurs mois/années, et les résultats seront rapportés et mis à jour sur le factsheet de projet pour la communication externe.

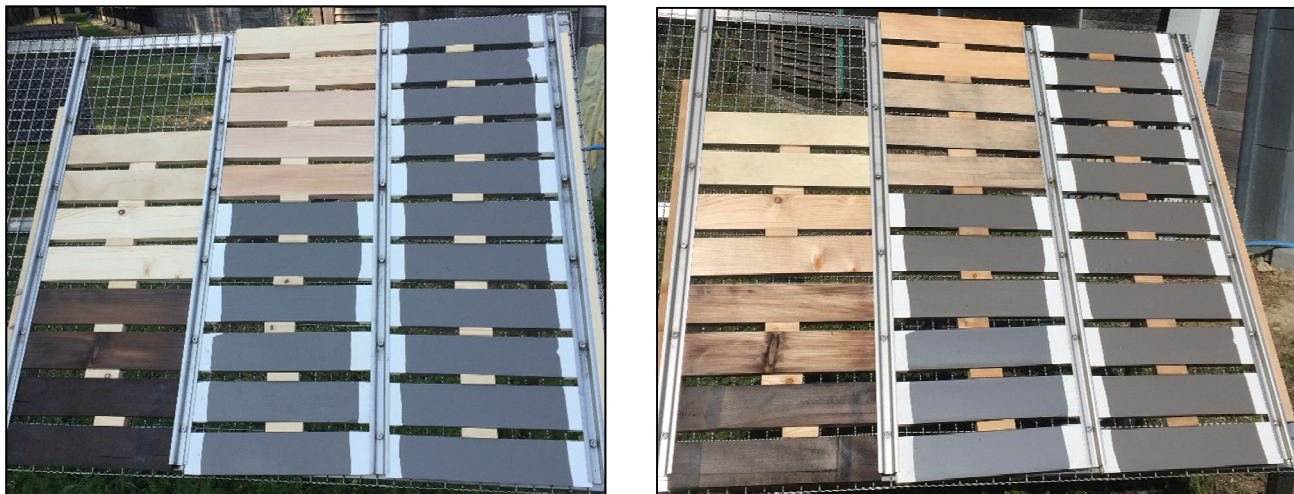


Figure 29 : Echantillons traités et non traités, revêtus et non revêtus, exposés au vieillissement naturel (jour de l'exposition à gauche – 26.07.2019, après 2 mois d'exposition à droite – 20.09.2019)

Tableau 5 : Disposition des échantillons sur les racks d'essai de vieillissement naturel présentés ci-dessus (Figure 27)

	Sapin BFH non traité	Sapin BFH traité revêtu
	Sapin BFH non traité	Sapin BFH traité revêtu
	Hêtre BFH non traité	Sapin Corbat traité revêtu
Accoya	Hêtre BFH non traité	Sapin BFH non traité revêtu
Accoya	Hêtre Corbat non traité	Sapin BFH non traité revêtu
Sapin Corbat non traité	Accoya revêtu	Sapin Corbat non traité revêtu
Sapin Corbat non traité	Accoya revêtu	Sapin Corbat non traité revêtu
Sapin BFH traité	Sapin Corbat traité revêtu	Hêtre BFH non traité revêtu
Sapin BFH traité	Hêtre traité non id. revêtu	Hêtre Corbat non traité revêtu
Hêtre traité non id.	Hêtre traité non id. revêtu	Hêtre BFH non traité revêtu
Hêtre traité non id.	Hêtre traité non id. revêtu	Hêtre Corbat non traité revêtu

On observe une variation globale de couleur usuelle pour des échantillons non revêtus à l'extérieur dans le cas du bois non traité. La variation de couleur des échantillons traité à l'acide lactique n'est pas supérieure, alors que l'Accoya montre une variation plus mesurée. Il apparaît clairement que les échantillons traités ont une forte tendance à l'éclaircissement en début d'exposition, alors que le bois naturel tend à foncer. Ceci étant, la variation de couleur des échantillons traités est homogène sur les 2 premiers mois, alors que les premiers signes de grisaillement dû à la déposition de moisissures commencent à apparaître sur le bois non traité.

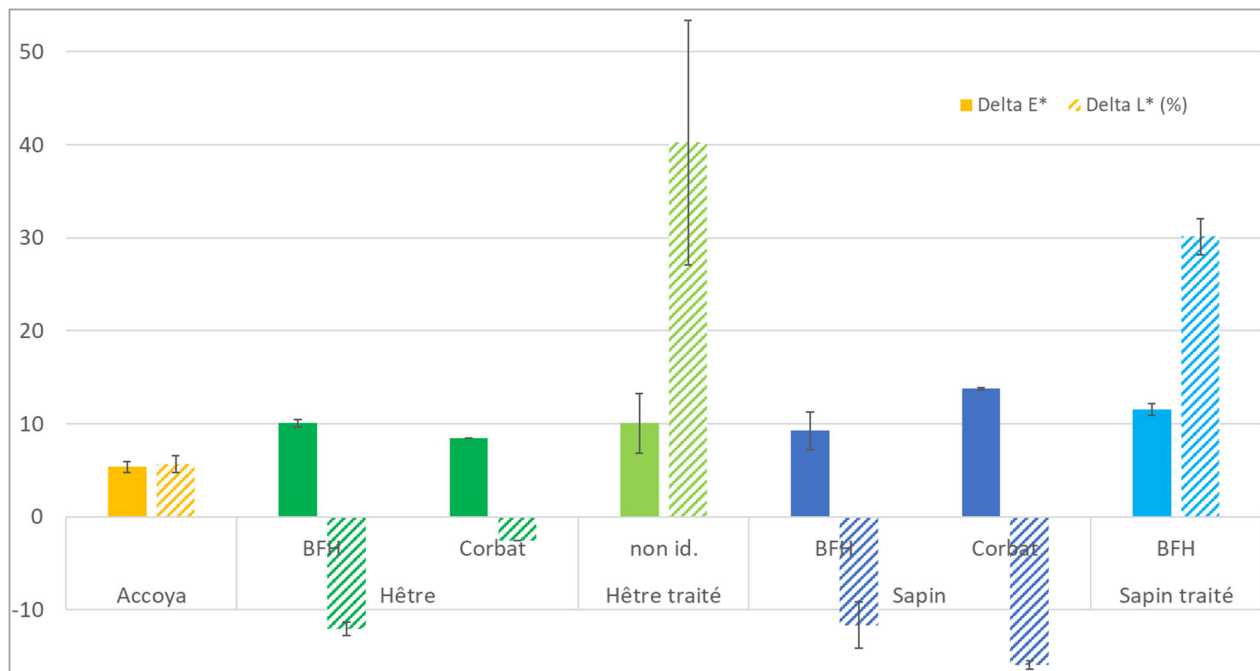


Figure 30 : Valeurs de variation globale de couleur (Delta E* en valeur absolue) et de variation de clarté (Delta L* en pourcentage) d'échantillons non revêtus, exposés au vieillissement naturel à l'horizontale selon un angle de 45° orientés vers le Sud-Ouest pendant 2 mois.

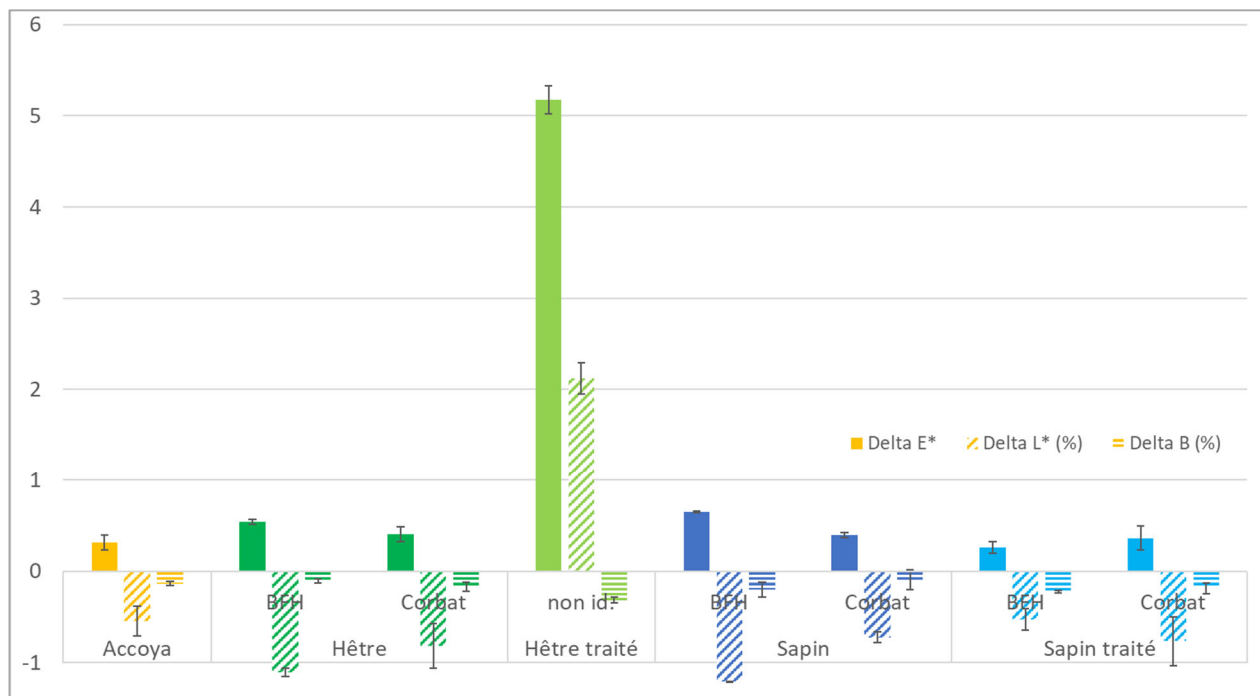


Figure 31 : Valeurs de variation globale de couleur (Delta E* en valeur absolue), de variation de clarté (Delta L* en %) et de variation de brillance (Delta B en %) d'échantillons revêtus, exposés au vieillissement naturel à l'horizontale selon un angle de 45° orientés vers le Sud-Ouest pendant 2 mois.

Dans le cas des échantillons revêtus, la finition appliquée donne de très bons résultats sur tous les échantillons, sauf les échantillons de hêtre traités. Sur ces derniers, la surface revêtue est collante, du fait d'une trop forte imprégnation d'acide lactique. Toutefois les deux premiers mois ont adouci cette

état et l'aspect n'est pas moins homogène ni plus dégradé que pour les autres échantillons traités revêtus. Après deux mois d'exposition, la variation globale de couleur est très mesurée pour tous les échantillons, à l'exception des échantillons de hêtre traité du fait d'un fort éclaircissement. Tous les autres systèmes tendent à foncer légèrement et ne voient leur brillance que très peu influencée pour l'instant.

5.4.7.2 Sélection – Prescriptions

Le comportement des échantillons traités non revêtus et revêtus est prometteur, mais devra être évalué pendant de nombreux mois pour valider les premières observations. Il semble qu'il n'y a pas de rejet prématuré de la peinture aqueuse classique sélectionnée ici, dû au traitement ou à l'acidité de surface après 2 mois d'exposition au vieillissement naturel, en été. La bonne stabilité dimensionnelle des échantillons conférée par le traitement devrait permettre de maintenir la qualité de surface des échantillons revêtus plus longtemps que sur échantillons non traités.

5.5 Dissémination, Paquet de travail 5

A la date de remise du rapport de projet, un factsheet est en cours d'élaboration. Il sera envoyé personnellement à tous les experts interviewés dans ce projet, et mis à disposition sur tous stands tenus par la BFH-AHB lors de foires et salons nationaux et internationaux, et d'événements internes.

Pendant la durée du projet, un article mentionnant entre autres les activités du projet « EcoViaLactique » a été publié dans le spirit biel-bienne, tiré à 10'000 exemplaires, et relayé sur le compte LinkedIn personnel de Marion Noël conduisant à 208 vues et 6 partages (« Des pistes vertes pour protéger le bois », spirit biel/bienne, 3|2018, le magazine des disciplines techniques de la Haute école spécialisée Bernoise³).

Il est à noter que tout au long du projet, une communication étroite a été maintenue avec les principaux experts particulièrement intéressés dans ce développement. De nouvelles pistes de développement ont été identifiées et ont conduit à la préparation de plusieurs demandes de financement de projet, dans lesquelles certains de ces experts sont parties prenantes.

En fonction de l'évolution des nouveaux développements entamés, l'organisation d'un workshop sera considérée et communiquée aux experts interviewés et autres acteurs nationaux d'importance dans le domaine.

³ https://www.spirit.bfh.ch/fr/archives/spirit_2018_3/focus/des_pistes_vertes.html

6 Conclusions

Le double objectif de ce projet était :

- de sonder l'intérêt du marché pour un produit bois modifié de performance intermédiaire entre l'Accoya® ou le Kebony® et le bois thermotraité, en calculant en parallèle les coûts de production à attendre pour ce traitement dans la configuration des partenaires industriels impliqués dans le projet,
- de valider la faisabilité d'un changement d'échelle de production entre l'échelle du laboratoire dont la caractérisation complète avait donné d'excellents résultats, et l'échelle pilote, menée en chambre de traitement thermique industrielle, et dont la caractérisation n'avait été que partiellement effectuée.

Les experts ont clairement exprimé un très **fort intérêt** pour un bois Suisse modifié en Suisse au moyen d'un traitement bio-sourcé, en insistant toutefois sur la nécessité de **valider les propriétés du matériau de façon exhaustive avant une mise sur le marché**. Plusieurs pistes intéressantes ont été de plus proposées, si tant est que les performances soient suffisantes. **La demande est donc clairement existante, mais les avertissements sont affirmés**. Une prochaine étape dans ce travail serait d'effectuer une étude de marchés dans d'autres pays également.

Le calcul des coûts de production sur la base des connaissances techniques actuelles du traitement non optimisé **a montré la faisabilité économique du procédé**, et une **cohérence avec les prix des produits concurrents** sur le marché.

En termes de validation technique, plusieurs adaptations au plan ont eu lieu. Il a été décidé en début de projet, après consultation de nos partenaires industriels et de plusieurs experts de la branche, de **favoriser l'ouverture à d'autres essences** d'intérêt et **plusieurs qualités de bois**, plutôt que de pousser la démarche de caractérisation trop loin sur le seul hêtre, de plus en plus sévèrement mis de côté par les professionnels.

Ainsi, les variations au plan sont les suivantes : la revalorisation sous forme de pellets de chauffage a été mise de côté sur les conseils de nos partenaires industriels. La revalorisation par fabrication de composites bois (panneaux de particules) a été repoussée après la fin officielle du projet pour bénéficier de la matière à disposition jusqu'à la conclusion finale. Des produits finis en hêtre à l'échelle 1 n'ont pas été produits, empêchant l'élaboration de prescriptions de pose précises. En revanche, le sapin blanc a été intégré dans le projet, multipliant les essais et analyses par deux. De plus, pour les deux essences (hêtre et sapin blanc), deux qualités de bois ont été comparées, multipliant les essais et analyses par deux.

Techniquement, le changement d'échelle du traitement a montré sa faisabilité, en particulier pour le sapin blanc, qui n'avait jamais été considéré jusque-là. Un travail exhaustif sur les conditions de traitement (imprégnation, dilutions, durée / température / humidité du traitement thermique) devra avoir lieu sur cette essence.

Tous les essais menés l'ont été sur une seule série de fabrication. Les principaux points suivants ont été observés :

- le taux d'imprégnation du hêtre doit être régulé. Pour cela, plusieurs pistes sont déjà proposées comme un vide de ressuyage en fin d'imprégnation, ou bien une imprégnation de solution très diluée suivie d'un séchage à l'air conséquent. Pour le hêtre comme pour le sapin, un taux d'imprégnation trop important provoque des fissures dans le matériau qui impactent négativement toutes les propriétés.
- Le sapin blanc répond très bien au traitement à l'acide lactique, même si une imprégnation à cœur n'a pas été obtenue pour tous les échantillons de cette série de fabrication. Malgré tout, même une imprégnation partielle conduit à de bonnes propriétés, notamment en termes de

vieillissement des revêtements (artificiel), d'adhésion des revêtements (ici en particulier solvanté). Les propriétés en flexion sont très raisonnablement impactées.

- La qualité de départ de la ressource bois conditionne grandement et logiquement l'efficacité et la qualité du traitement. Le tri devra donc être consciencieux.
- La réussite du traitement dépend des facteurs suivants :
 - Une imprégnation régulée mais homogène
 - Un cycle de traitement thermique optimisé.

Ce travail confirme l'intérêt pour la branche de poursuivre le développement du traitement du bois par l'acide lactique et donne des orientations sur les travaux prioritaires à effectuer.

7 Stipulation du présent rapport

Ce rapport ne peut être reproduit sans l'autorisation de la Haute école spécialisée bernoise Architecture, bois et génie civil. Toute publication du rapport ou d'une partie du rapport nécessite une autorisation écrite de la Haute école spécialisée bernoise Architecture, bois et génie civil. Un original de ce rapport sera archivé pendant une durée de 5 ans. Ce rapport n'est valable qu'avec l'apposition des signatures des responsables des Instituts pour les Matériaux et la technologie du bois et de l'Economie numérique de la construction et du bois, et de la personne responsable du dossier.

7.1 Nombre de pages

Ce rapport contient 58 pages, annexes inclus.

8 Index

8.1 Index des tableaux

Tableau 1 : Grammage humide des deux systèmes de revêtement.....	9
Tableau 2 : Comparaison de différentes lames de terrasse des magasins de Do-it-Yourself et des distributeurs spécialisés (tableau actualisé fin septembre 2019)	13
Tableau 3 : Efficacité du traitement « EcoViaLactique » sur le sapin blanc et le douglas, en comparaison au hêtre (ASE = efficacité anti gonflement, L = lessivage).....	25
Tableau 4 : Valeurs de prise de masse par imprégnation et finale après traitement thermique	26
Tableau 5 : Disposition des échantillons sur les racks d'essai de vieillissement naturel présentés ci-dessus (Figure 27)	46

8.2 Index des figures

Figure 1 : Plan de recherche général du projet	3
Figure 2 : montage d'essai de flexion 3 points, $l = 350 \text{ mm}$, $h = b = 25 \text{ mm}$	8
Figure 3: Comparaison des propriétés techniques de différents produits concurrents du traitement EcoViaLactique.....	11
Figure 4 : Processus de fabrication complet dans la commande client.....	21
Figure 5 : Fabrication avec du bois sur stock / fourni par le client.....	21
Figure 6 : les facteurs de coûts par étape de processus du procédé modèle et leur pourcentage par rapport aux coûts directs totaux de production (estimation, situation au début de 2019).	23
Figure 7 : échantillons de douglas, sapin blanc et hêtre (de haut en bas) avant traitement (gauche) et après traitement (droite), en section transversale (A) et radiale (B)	25
Figure 8 : Prise de masse par imprégnation (a) et prise de masse finale après traitement thermique (b)	27
Figure 9 : Suivi de la pression, de la température et de l'humidité dans la chambre de traitement thermique pendant le traitement.....	27
Figure 10: Photographie d'échantillons imprégnés disposés pour le traitement thermique à l'entrée de la chambre de traitement de Corbat holding	28
Figure 11: Photographies des échantillons après traitement thermique dans la chambre de traitement (Corbat Holding SA)	28
Figure 12 : Photographies des échantillons de sapin blanc après le traitement thermique et l'usinage ultérieur à dimensions (* = échantillons de hêtre)	29
Figure 13 : MOE et σ d'échantillons traités et non traités de hêtre et de sapin, en comparaison à l'Accoya® (certaines références sur les échantillons de hêtre n'étaient plus lisibles après le traitement, ils apparaissent dans la colonne non id. = non identifié)	31
Figure 14 : Résistance en cisaillement d'échantillons collés	33
Figure 15 : Force d'adhésion du revêtement.....	34
Figure 16 : Photographie d'échantillons de hêtre, sapin (Corbat) et sapin (BFH) traités, revêtus par le revêtement aqueux (Hydro-Mehrschichtlack, Votteler), première couche	34
Figure 17 : Photographies des défauts d'application sur sapin (BFH) non traité (a), et Accoya® (b).....	35
Figure 18 : Photographie d'échantillons de hêtre, sapin (Corbat) et sapin (BFH) traités, revêtus par le revêtement solvanté (Owedur 4126, Feyco Teknos), 2 couches	35
Figure 19 : Photographies d'échantillons de hêtre, sapin (Corbat) et sapin (BFH) traités, revêtus par le revêtement solvanté (Owedur 4126, Feyco Teknos), 2 couches – illustration de l'effet vivifiant du revêtement	36

Figure 20 : Photographies d'échantillons revêtus par la peinture de pré-grisaillement en phase aqueuse.....	37
Figure 21 : Force maximale d'arrachement des échantillons traités et non traités, de toutes essences et provenances, revêtus par les deux types de revêtements de surface.	38
Figure 22 : Photographies d'exemples de faciès de rupture, complètement adhésive entre le pion et l'adhésif (b et d, ces essais ne sont pas comptabilisables), cohésive dans le substrat, complètement (c) ou partiellement (e) et adhésive entre la première couche de revêtement et le substrat (a et f).....	39
Figure 23 : Variation globale de couleur ΔE^* au cours de l'exposition au cycle de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6.....	39
Figure 24 : Variation de clarté ΔL^* au cours de l'exposition au cycle de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6.....	40
Figure 25 : Variation de brillance ΔB^* au cours de l'exposition au cycle de vieillissement artificiel de la norme EN 927-6.....	40
Figure 26 : Evolution de l'apparence des échantillons soumis à l'essai de vieillissement artificiel pendant 5 semaines (S0 à S5)	42
Figure 27 : Echantillons traités, revêtus et exposés à l'essai de vieillissement artificiel pendant 5 semaines (a, sapin blanc Corbat revêtement aqueux ; b, sapin blanc BFH revêtement aqueux ; c, hêtre BFH revêtement aqueux)	43
Figure 28 : Photographies de vis fixées dans les échantillons traités et non traités, exposés à une humidité relative de 100% pendant 5 mois	45
Figure 29 : Echantillons traités et non traités, revêtus et non revêtus, exposés au vieillissement naturel (jour de l'exposition à gauche - 26.07.2019, après 2 mois d'exposition à droite - 20.09.2019).....	46
Figure 30 : Valeurs de variation globale de couleur (Delta E^* en valeur absolue) et de variation de clarté (Delta L^* en pourcentage) d'échantillons non revêtus, exposés au vieillissement naturel à l'horizontale selon un angle de 45° orientés vers le Sud-Ouest pendant 2 mois.....	47
Figure 31 : Valeurs de variation globale de couleur (Delta E^* en valeur absolue), de variation de clarté (Delta L^* en %) et de variation de brillance (Delta B^* en %) d'échantillons revêtus, exposés au vieillissement naturel à l'horizontale selon un angle de 45° orientés vers le Sud-Ouest pendant 2 mois.	47

Annexe A: Catalogue de questions pour les interviews d'experts



Berner Fachhochschule
Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH,
Kompetenzbereich Management und Marktforschung

Themenbereiche und Fragen für die Experteninterviews

Markteinschätzung Terrassen / Fassaden

- Wie wird der Markt generell eingeschätzt für...
 - Terrassen / Fassaden aus Holz?
 - Terrassen / Fassaden aus modifizierten Hölzern (Accoya®/Kebony®/Moso®/Thermoholz)?
 - Terrassen / Fassaden aus Kompositwerkstoffen (WPC/Resysta)?

- Welche Materialien verkaufen Sie am häufigsten für Terrassen?
 - heimisches Holz (Lärche, Douglas, Robinie etc.)
 - Tropenholz
 - modifizierte Hölzer (Accoya®/Kebony®/Moso®/Thermoholz)
 - Komposit-Produkte (WPC/Resysta)
 - HPL-Schichtstoffplatten
 - Keramikfliesen in Holzoptik
 - Andere?

- Welche Materialien verkaufen Sie am häufigsten für Fassaden?
 - heimisches Holz (Lärche, Douglas, Robinie etc.)
 - Tropenholz
 - modifizierte Hölzer (Accoya®/Kebony®/Moso®/Thermoholz)
 - Komposit-Produkte (WPC/Resysta)
 - HPL-Schichtstoffplatten
 - Andere?

- Welches sind Ihre Hauptkunden? Wie teilt sich der Absatz auf die verschiedenen Kunden auf?
 - Privatkunden
 - Verarbeiter:
 - Holzbauer
 - Schreinereien
 - Gartenbauer
 - Architekten/Planer
 - Sonstige?

- Was sind die durchschnittlichen Flächen bei Terrassen von:
 - Privatkunden (EFH/MFH)
 - Gewerbebauten
 - Öffentlichen Projekten
 - Gibt es Unterschiede je nach Material?

- Was sind die durchschnittlichen Flächen bei Fassaden von:
 - Privatkunden (EFH/MFH)
 - Gewerbebauten
 - Öffentliche Projekten
 - Gibt es Unterschiede je nach Material?



- Wie wichtig sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kriterien bei der Materialentscheidung für Terrassen (auf einer Skala von 1 bis 5, 5 = sehr wichtig)?
 - Preis
 - Ästhetik
 - Dauerhaftigkeit
 - Mechanische Eigenschaften
 - Pflege und Wartung
 - Materialverfügbarkeit
 - Herkunft der Produkte
 - Natürlichkeit & Nachhaltigkeit
 - Labels
- Wie wichtig sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kriterien bei der Materialentscheidung für Fassaden (auf einer Skala von 1 bis 5, 5 = sehr wichtig)?
 - Preis
 - Ästhetik
 - Dauerhaftigkeit
 - Mechanische Eigenschaften
 - Pflege und Wartung
 - Materialverfügbarkeit
 - Herkunft der Produkte
 - Natürlichkeit & Nachhaltigkeit
 - Labels
- Wie beurteilen Sie die aktuelle Preissituation bei den Terrassenbelägen und die Zahlungsbereitschaft der Kunden für die verschiedenen Terrassenarten?
 - Terrassen aus Holz
 - Terrassen aus modifizierten Hölzern (Accoya®/Kebony®/Moso®/Thermoholz)
 - Terrassen aus Komposit-Produkten (WPC/Resysta)
- Wie beurteilen Sie die aktuelle Preissituation bei den Fassadenverkleidungen und die Zahlungsbereitschaft der Kunden für die verschiedenen Fassadenarten?
 - Fassaden aus Holz
 - Fassaden aus modifizierten Hölzern (Accoya®/Kebony®/Moso®/Thermoholz)
 - Fassaden aus Komposit-Produkten (WPC/Resysta)
- Wie stark ist der Druck der internationalen Konkurrenz grundsätzlich spürbar? Welche Folgen hat dies für Schweizer Hersteller?
- Verglichen mit dem nahen Ausland (D, A, F), sehen sie grosse Unterschiede bezüglich des Terrassen-/Fassadenmarktes? Wenn ja, welche?



Einschätzung Marktpotential des mit dem neuen, nachhaltigen Verfahren modifizierten Holzes

- Was halten Sie von den neuen Produkten in Weisstanne und Buche für Terrassen und Fassaden?
- Könnten Sie sich vorstellen, diese in Ihr Sortiment aufzunehmen?
- Wenn nein: wieso nicht?
- Wenn ja:
 - Was sind in Ihren Augen die wichtigsten Verkaufsargumente?
 - In welchem Bereich sollte der Preis liegen?
 - Welche Kundengruppen sehen Sie für diese neuen Produkte?
- Welche Informationen zum neuen Produkt müssten vorliegen, damit dies in das Sortiment aufgenommen wird (Technisches Merkblatt, Materialprüfungen wie z.B. Langzeit-Bewitterung, etc.)?
- Wie wichtig sind Ihnen realisierte Referenzprojekte, die den Kunden gezeigt werden können?
- Wie wichtig ist eine gewisse Mindestlänge der Produkte für den Terrassen- respektive den Fassadenbereich? Buchenprodukte sind bis ca. 2.4 m Länge herstellbar, Weisstanne bis 5 m.
- Welche Unterkonstruktion empfehlen Sie bei Terrassenbelägen meist Ihren Kunden: Sichtbare, geschraubte Befestigung oder unsichtbare Befestigung z.B. mit Clips?
- Könnten Sie sich weitere Anwendungsbereiche neben Terrassen und Fassaden für das mit dem neuen Verfahren modifizierte Holz vorstellen, beispielsweise Möbel für den Aussenbereich?

Abschluss

- Was sind Ihrer Meinung nach die grössten Chancen und Risiken für Terrassen / Fassaden aus Holz?
- Sonstige Anmerkungen/Diskussionen
- Dürfen Ihre Aussagen mit Ihrem Namen im Schlussbericht erwähnt werden?

Annexe B: Analyse de la concurrence

La liste ci-dessous décrit les principaux produits concurrents potentiels du bois traité selon le procédé EcoViaLactique, sur la base de données de fournisseurs et de la littérature technique en vigueur :

- Bois traité thermiquement

Lors du traitement thermique, le bois est chauffé en l'absence d'oxygène afin d'améliorer les propriétés du bois sur toute sa section pour des applications spécifiques. Le traitement thermique peut être appliqué à différents types de bois. Ce procédé est souvent utilisé pour le frêne, le chêne et l'épicéa. La stabilité dimensionnelle est la principale propriété améliorée par le traitement, du fait de la diminution de l'équilibre hygroscopique du bois résultant de la dégradation partielle des hémicelluloses du bois. En revanche, le procédé doit être parfaitement maîtrisé pour éviter la diminution des propriétés mécaniques.

- Wood Plastic Composites (WPC) tel que GEOLAM®

Les composites bois-plastique (WPC) sont des produits extrudés ou injectés dont la matrice plastique (souvent en polyoléfine ou PVC) et renforcée par l'ajout d'une quantité variable mais significative de farine de bois (jusqu'à 90%) en entrée de vis d'extrusion. Le WPC est souvent choisi pour les planches de terrasse et est disponible sur le marché sous forme de lames de section creuse ou pleine. Ses propriétés mécaniques sont améliorées proportionnellement à la proportion et la longueur des renforts lignocellulosiques (certains produits sont renforcés de fibres annuelles à la place du bois).

- Resysta®

Resysta® n'est pas un produit en bois, mais un matériau hybride renforcé de fibres, composé de 60% de balles de riz, 22% de sel gemme et 18% d'huile minérale. Le produit est utilisé comme revêtement de sol, façade, fenêtres, clôtures et autres applications extérieures et est donc un concurrent important pour le bois et les produits en bois modifié.

- MOSO®

Les Moso® sont des panneaux de placage multicouches en bambou qui sont utilisés comme parquet, bois de construction ou comme produits d'extérieur. Lorsque Moso® est utilisé comme planches de terrasse, les bandes de bambou sont modifiées thermiquement et pressées ensemble, donnant aux planches un aspect de bois dur.

- Accoya®

Les produits Accoya® sont principalement fabriqués en pin Radiata. Dans un procédé chimique, le bois est traité à l'anhydride acétique, ce qui le rend plus résistant aux champignons ou insectes destructeurs du bois, et stable dimensionnellement, du fait d'une diminution sensible de son équilibre hygroscopique. Le bois est premièrement imprégné sous vide-pression d'anhydride acétique, puis la température induit un greffage chimique de l'anhydride sur les groupes hydroxyles du bois, dont le co-produit de réaction est l'acide acétique qui doit être éliminé le plus possible pendant le procédé pour éviter une trop forte acidité du bois traité. Le blocage partiel des groupes hydroxyles, responsables de l'hydrophilie et hygroscopie du bois, permet de diminuer les variations dimensionnelles et d'améliorer la résistance fongique.

- Kebony®

La technologie Kebony® est assez similaire et conduit à des produits de qualité similaire à l'Accoya®, à la différence près que le traitement consiste en une polymérisation in-situ d'alcool furfurylique. La méthode est principalement utilisée pour les résineux.