

Moyen d'enseignement



Spécialiste en
industrie du bois

3^e année d'apprentissage

Version 1.0, 2024

Formation professionnelle spécialiste en industrie du bois CFC 3^e année de formation

Impressum

Auteurs principaux	Richard Chopard, David Coulin, Christoph Fuhrmann, Markus Lädach, Jörg Langheim, André Leuenberger, Peter Marty, Ismaël Mivelaz, Wolfram Selter
Equipe d'auteurs étendue	Bruno Abplanalp, Res Näf, Michael Widmer
Groupe d'accompagnement	Simon Codourey, Christoph Fuhrmann, Valentin Liechti, Bernhard Muhr, Pascal Schmider, Michael Widmer
Chef de projet	Bernhard Muhr
Accompagnement didactique et coordination	Barbara Vogt, Haute école fédérale en formation professionnelle HEFP
Relecture	David Coulin
Maquette	Pascal Graf, Björn Ittensohn, Valentin Liechti
Editeur	Industrie du bois Suisse, Berne, holz-bois.ch

holzindustrie schweiz
industrie du bois suisse

Partenaires du projet	Association suisse des raboteries, Zürich, vsh.ch Groupe spécialisé bois collé, Berne, holz-bois.ch/groupe-specialise-bois-colle
-----------------------	--

VSH
Verband Schweizerischer Hobelwerke
Association Suisse des Raboteries

HIS Fachgruppe Leimholz
IBS Groupe spécialisé bois collé

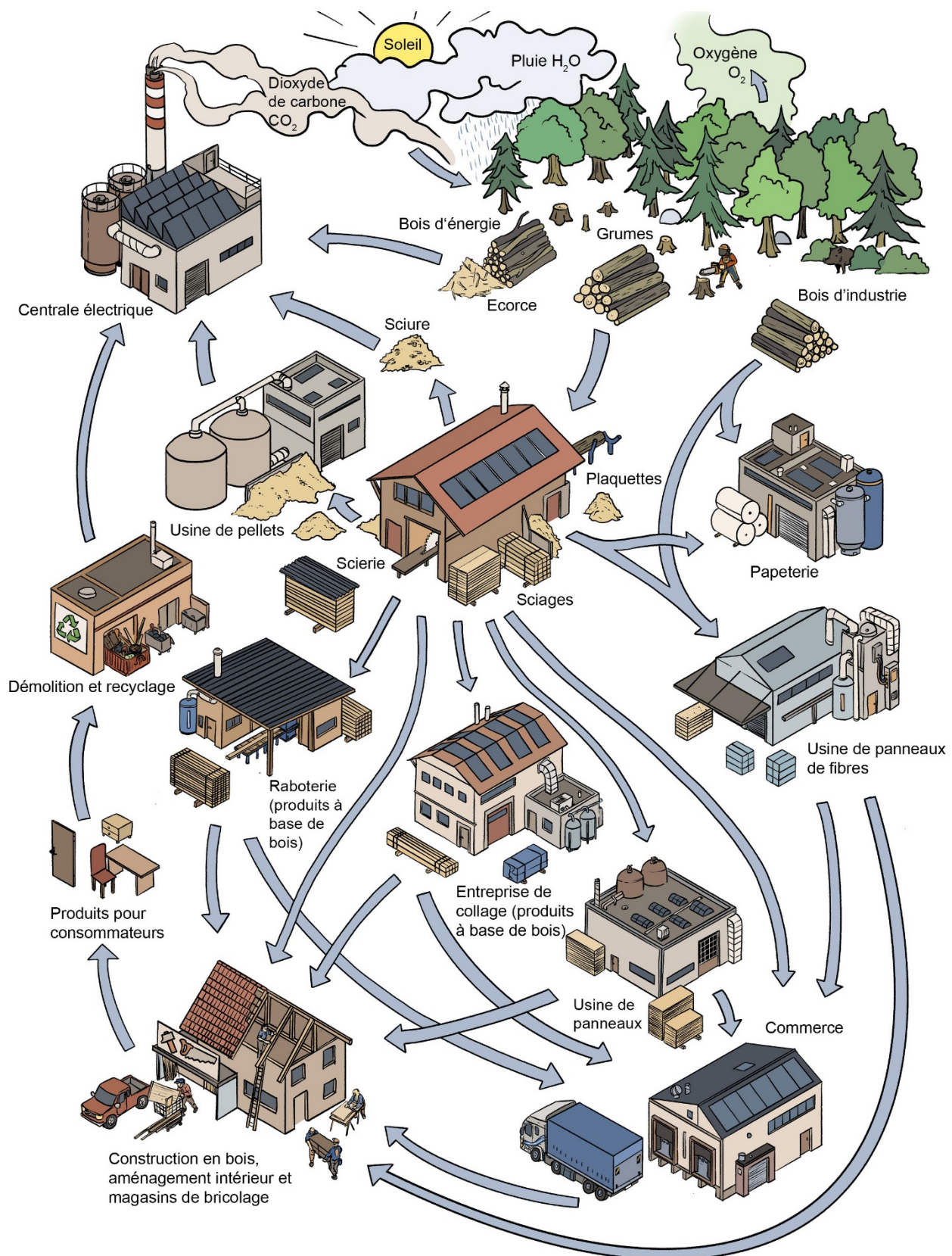
En remerciant le soutien de	Association Puits de CO ₂ bois suisse
-----------------------------	--

Edition	Août 2024 (version 1.0)
---------	-------------------------

© 2024 Industrie du bois Suisse	Tous droits réservés, y compris les droits de réimpression, de reproduction intégrale ou partielle, d'enregistrement dans des systèmes de traitement de données et de traduction.
------------------------------------	---

Remarque concernant l'écriture inclusive	Pour des raisons de lisibilité, nous utilisons par endroits le masculin générique dans ce support didactique. Celui-ci comprend expressément les identités de genre féminine et autres, dans la mesure de ce qui est nécessaire pour l'énoncé.
--	--

Le cycle du bois



Aperçu des chapitres

1. Traitement des clients et des réclamations (10 leçons)

Conseil à la clientèle – réclamations

2. Processus de commande et optimisation (35 leçons)

Économie du bois, filière bois – Offres, rendement – Faisabilité, processus de travail, variantes d'exécution, propositions d'optimisation – Documents de commande/de livraison

3. Logistique (35 leçons)

Stockage/gestion des stocks – Flux de marchandises, logistique d'exploitation, optimisation des trajets – SGQ – Prescriptions légales – Machines d'attache et d'emballage

4. Traitement de surface (20 leçons)

Avantages et systèmes planches / bois raboté (résineux) – Systèmes d'application / d'imprégnation, produits à appliquer – Structure enduction / traitement de surface, procédés d'application – Éléments de construction

5. Tronçonner et raboter (25 leçons)

Tronçonneuses, scie alternative à coupe fine, scie circulaire à tronçonner – Machines à raboter – Rabotage de sciages

6. Encollage (40 leçons)

Scies circulaires à onglets sous table - Machines à abouter – Paliers de durcissement – Rabotage – Collage du bois (différentes essences) – Presse à encoller – Contrôle de la qualité

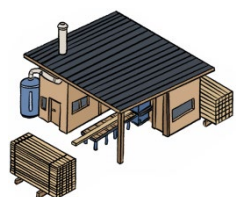
7. Valorisation des sous-produits du bois (15 leçons)

Canaux de vente – Bois laissé à l'état naturel, résidus de bois, bois pollué – Économie circulaire, bases légales – Installations de traitement, installations d'aspiration – Stockage, dangers, mesures de sécurité

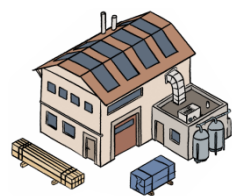
1. Traitement des clients et des réclamations



Scierie



Raboterie



Usine de collage

CO a1: Communiquer de manière adéquate avec les supérieurs, les collaborateurs·trices et les clients

Une communication adéquate au sein de l'entreprise est importante pour son succès à long terme et a des répercussions sur de nombreux domaines. Les entretiens de conseil doivent par conséquent être soigneusement préparés. Le processus de communication ne fonctionne pas toujours sans heurts. Il est donc important de connaître quelques trucs et astuces pour éviter qu'un désaccord dégénère.



Figure 1: réclamations non exclues: le bois est un produit naturel (source: mis à disposition)

Tâches pratiques dans l'entreprise

- Conseiller des clients (fournisseurs, professionnels et clients finaux)
- Réclamations: être présent, être présent, observer la réaction appropriée

Situations professionnelles

- Vous conseillez les clients en fonction de leurs besoins et compétences.
- Vous recevez et traitez une réclamation simple de clients/fournisseurs ou une réclamation/critique interne.

Objectifs d'apprentissage

- Vous maîtrisez les facteurs de succès pour une communication efficace et vous les appliquez.
- Vous recueillez sereinement les réclamations, vous les traitez de manière orientée solution et vous les documentez soigneusement.
- Vous élaborerez un guide succinct concernant la procédure en cas de réclamation au sein de l'entreprise.

1.1. L'entretien de conseil

Ce n'est un secret pour personne qu'en Suisse, les clientes et les clients font de plus en plus leurs achats en ligne. Selon [statista.com](https://www.statista.com), le chiffre d'affaires du commerce électronique représentait, en Suisse, un peu moins de 6,7 milliards de francs en 2014. En 2022, il dépassait déjà 15 milliards de francs. Malgré cela, les conseils personnels dans l'entreprise restent importants. Les clientes et les clients recherchent des informations compétentes. Cela est particulièrement vrai pour ce qui concerne

- des produits complexes
- des produits disponibles dans un vaste choix
- des produits aux caractéristiques différentes

Parallèlement, l'entretien de conseil personnel permet à la clientèle de préciser ses attentes personnelles et à l'entreprise de proposer des solutions taillées sur mesure.

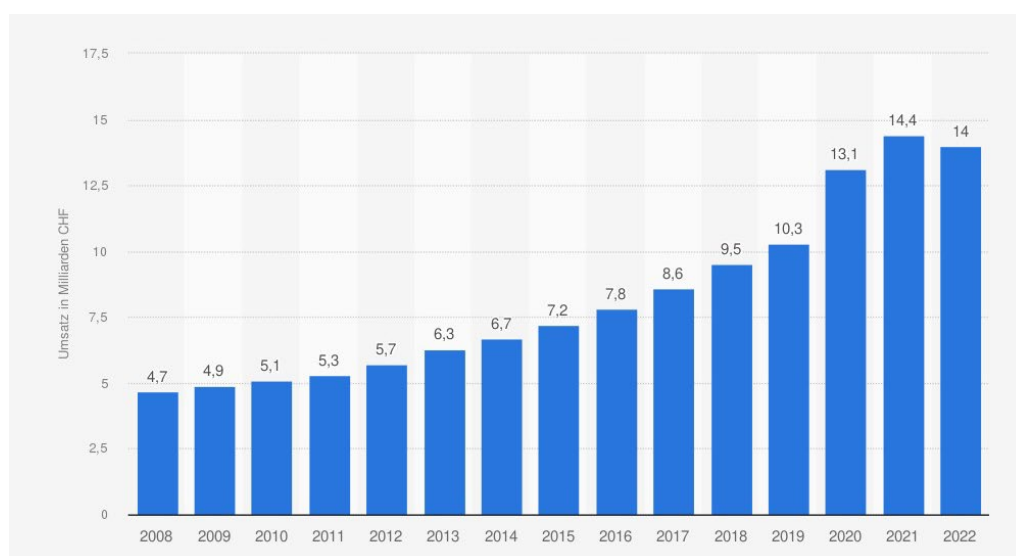


Figure 2: Evolution du chiffre d'affaires du commerce en ligne en Suisse. (source: [statista.com](https://www.statista.com), 2024)

1.2. Types d'entretiens et de clients

1.2.1. Types d'entretiens et guide d'entretien

Dans la pratique, on distingue les deux types d'entretiens suivants:

- Entretiens d'information
- Entretiens de conseil

Dans le cas des **entretiens d'information**, il s'agit de demandes de renseignement à court terme, le plus souvent par téléphone, par courriel ou au guichet. Dans ce cas, le client attend une réponse correcte à une question spécifique. Mieux le collaborateur ou la collaboratrice connaît l'entreprise, les produits et l'état actuel des stocks, plus il ou elle pourra répondre précisément et rapidement au client. Point important: les personnes fournissant des renseignements doivent toujours rester sincères et authentiques. Si on ne peut pas répondre à une question, on l'admettra

sans détour et on cherchera une personne compétente dans l'entreprise capable d'y répondre.

Les **entretiens de conseil** sont plus développés que les entretiens d'information, et il est recommandé de les préparer soigneusement. Pour cela, on pourra se baser sur le guide suivant (adapté selon Pätz, dmeco.com, 2023):

1. Préparation
2. Conduite de l'entretien – entrée en matière et aspects relationnels
3. Détermination des besoins
4. Argumentation
5. Conclusion de l'entretien – prise de congé
6. Traitement ultérieur

Préparation

Une préparation soigneuse est la clé de la réussite pour les entretiens de conseil. Informez-vous sur le client, ses besoins et son secteur. Assurez-vous d'avoir toutes les informations pertinentes et tous les matériaux sous la main, pour pouvoir conduire efficacement l'entretien. Veillez également à une tenue correcte et à une présentation soignée.

Réfléchissez à l'avance aux informations que vous souhaitez obtenir de la part du client. Définissez des objectifs clairs, afin de pouvoir demander ces informations de manière ciblée.

Informez-vous à l'avance sur le client et son entreprise. Consultez le site Internet de son entreprise, lisez ses développements récents et recherchez de possibles intérêts et défis communs. Mieux vous comprenez le client, mieux vous pourrez poser des questions ciblées et orienter l'entretien en fonction de ses besoins.

Réfléchissez à l'avance aux questions que pourrait poser le client, et préparez-vous à celles-ci. Réfléchissez à des réponses possibles et réunissez des informations pertinentes, que vous pourrez présenter au client.

Préparez tous les matériaux dont vous pourriez avoir besoin pendant l'entretien. Il pourra s'agir de présentations, d'informations sur les produits, d'échantillons ou de documentations susceptibles d'aider le client à mieux comprendre les informations.

Conduite de l'entretien – entrée en matière et aspects relationnels

Mettez en place une ambiance positive et constructive dès le début de l'entretien. Procédure possible:

Prise de contact par téléphone

- Présentez-vous, si le client ne vous connaît pas encore
- Remerciez-le de sa prise de contact
- Référez-vous à des entretiens antérieurs
- Intéressez-vous à la situation actuelle du client

Entretiens sur place

- Saluez le client personnellement à la réception
- Présentez-vous, si le client ne vous connaît pas encore
- Conduisez-le dans la salle de réunion, en passant par les salles d'exposition
- Proposez-lui une boisson
- En présence d'une délégation de plusieurs personnes, adressez-vous de manière équivalente à toutes les personnes (pas seulement au chef, également aux collaborateurs/collaboratrices; pas seulement aux hommes, aussi aux femmes)



Figure 3: Le client est roi – un entretien de conseil peut très bien se dérouler dans la salle d'exposition.
(source: Mivelaz Bois SA, 2023)

Détermination des besoins

Montrez de l'intérêt pour les attentes et les besoins du client en écoutant attentivement. Laissez le client parler et posez des questions ciblées pour approfondir la compréhension. Prenez des notes. Accordez une grande importance aux besoins du client et basez-vous sur ceux-ci pour ensuite convaincre le client de votre offre.

Argumentation

Communiquez clairement, de manière compréhensible, sincère et authentique. Cela contribue à éviter les malentendus et favorise la confiance. Employez un langage compréhensible pour le client. Proposez des solutions au client. Montrez comment votre produit ou votre prestation peut résoudre les problèmes du client. Présentez des exemples concrets. Renoncez à des détails techniques si ceux-ci ne sont pas pertinents pour le client. Argumentez à l'aide de faits importants pour le client.

Conclusion de l'entretien – prise de congé

Maintenez une ambiance positive et constructive. Résumez brièvement les enseignements de l'entretien, afin de vous assurer d'avoir tout bien compris. Informez

le client des prochaines démarches concernant ses attentes. Remerciez-le du temps qu'il vous a consacré et prenez congé de lui aimablement.

Traitement ultérieur

Veillez à un traitement ultérieur efficace, afin d'assurer la satisfaction du client et de développer des relations à long terme. Un bref courriel ou message de remerciement représente un geste de politesse et témoigne de votre estime pour le client. Maintenez des contacts réguliers, proposez un soutien pour des questions ou des problèmes, et montrez que vous vous souciez du succès du client.

Cette manière de procéder peut contribuer à mener des entretiens réussis avec les clients et à consolider les relations avec les clients. Il ne faut toutefois pas oublier que chaque client est différent. Il est donc important de faire preuve de souplesse et de s'adapter aux besoins particuliers et aux préférences spécifiques de chaque client.

1.2.2. Types de clients

Dans les années 1920, les psychologues William M. Marston et C.G. Jung ont développé un modèle comportemental permettant de définir plusieurs types de clients. C'est le modèle DISC, à savoir:

- D – dominant
- I – influent
- S – stable
- C – consciencieux

<p>Le type dominant</p> <p>Le type dominant est déterminé, orgueilleux et aime les défis. Il est très exigeant, directif et défiant. Il s'efforce volontiers de prendre la direction de l'entretien et a de la peine à s'accorder avec son interlocuteur en raison de son style impulsif et péremptoire. Dans le cas du type dominant, il s'agit avant tout de communiquer d'égal à égal et de présenter toutes les informations importantes rapidement, de manière compétente et structurée.</p>	<p>Le type influent</p> <p>Le type influent est nettement plus ouvert et fait preuve d'initiative. En tant que joyeux optimiste, il engage facilement la conversation, assure une ambiance positive et fait preuve de dynamisme et d'énergie. Il est très sociable, mais peut aussi être déconcentré et s'écarter facilement du sujet. Si l'on parvient à réorienter régulièrement l'enthousiasme de ce type de client vers l'objet de la vente, il y a de bonnes chances de conclure.</p>
<p>Le type stable</p> <p>Face au type stable, il s'agit avant tout d'établir la confiance. Il est généralement réservé, mais poli et aime être tout à fait sûr. Il mise sur des solutions éprouvées et sur la confiance, et a besoin de beaucoup d'informations pour prendre des décisions. Le vendeur doit par conséquent faire preuve de patience et de compréhension, pour enlever au type stable la peur du risque.</p>	<p>Le type consciencieux</p> <p>Le type consciencieux est presque aussi prudent que le type stable, mais est nettement plus rationnel et critique dans la discussion. Il se base avant tout sur des faits et sur le rapport prix/prestation. Afin de pouvoir peser les avantages et les inconvénients, il attend un conseil le plus complet et détaillé possible, pour lequel il faudra aussi faire preuve de patience et de sensibilité.</p>

Si l'on parvient à identifier le type de client dans le cadre d'un entretien, on pourra orienter la communication en conséquence et obtenir, au final, de meilleurs résultats – pour l'entreprise et pour le client.

1.2.3. Trucs et astuces

Une communication efficace comprend les trois niveaux verbal, paraverbal et non verbal, et assure que ces trois niveaux soient cohérents entre eux. L'interlocuteur identifie les déclarations non sincères lorsque les communications verbale, paraverbale et non verbal divergent.

Les comportements suivants peuvent s'avérer utiles, dans le cadre d'un entretien avec un client:

- Verbal – écouter activement, poser des questions, employer un langage précis, compréhensible, montrer un intérêt sincère
- Paraverbal – intonation amicale, ouverte, volume adéquat
- Non verbal – ouverture, contact visuel, position face au client, gestuelle compétente

1.3. Réclamations

«Il n'est bon maître qui ne faille.» Ce proverbe bien connu est parfaitement justifié et signifie simplement que tout le monde peut faire une erreur. Et lorsqu'on commet une erreur, les réclamations ne sont pas loin. Comme les entreprises visent des relations durables et régulières avec leurs clients, il est particulièrement important de réagir avec sagesse et de manière adéquate à la situation souvent tendue d'une réclamation.

1.3.1. Communication non violente

Fondamentalement, il est dans l'intérêt de tous les intervenants de ne pas laisser dégénérer un entretien – que ce soit pour une réclamation justifiée ou injustifiée. Le psychologue Marshall B. Rosenberg a développé une méthode pour cela: la communication non violente. Il fait l'hypothèse que tout être humain souhaite fondamentalement une relation positive avec ses prochains. Si, sur cette base, on identifie, dans une discussion conflictuelle, les sentiments et les besoins de l'autre partie, on pourra orienter la communication dans une direction constructive et marquée par l'estime. Point important: dans le cadre de la communication non violente, il ne s'agit pas d'éviter entièrement les conflits, mais de faire en sorte qu'ils ne s'enveniment pas. Rosenberg recommande par conséquent une procédure ciblée, dans le cas de discussions délicates:

- **Observer:** efforcez-vous d'observer la situation en prenant du recul. Abordez la situation conflictuelle, ce que vous percevez et ressentez. Écoutez, ne vous défendez pas.
- **Décrivez** à votre interlocuteur la situation actuelle de la discussion et les émotions qu'elle déclenche chez vous.
- **Tirer au clair** les besoins: quittez le plan émotionnel et allez au plan factuel. Efforcez-vous de montrer de manière factuelle les besoins fondamentaux en jeu.
- **Priez** votre interlocuteur de communiquer de manière factuelle et constructive ce qui a déclenché la situation conflictuelle.

Communication verbale possible face au client: «Je comprends votre mécontentement. A mon sens, la discussion prend toutefois une tournure difficile. Nous voulons tous une solution constructive et adéquate. Je constate que vous n'êtes pas satisfait du produit livré. Quels points précis ne correspondent-il pas à vos attentes?»

1.3.2. Recueillir des réclamations et les traiter

La communication non violente peut être soutenue à l'interne par la préparation de méthodes de communication et des formulaires correspondants. Des guides et des formulaires de saisie de réclamations peuvent représenter des aides précieuses.



- Qui est l'auteur de la réclamation? (Nom, entreprise, fonction, numéro de téléphone, courriel)
- Date?
- Quel est l'objet de la réclamation? A y-t-il des photos?
- Convenir d'une date pour notre réaction



- Que disent la confirmation de commande, le bulletin de livraison?
- A quel nom le bulletin de commande / la facture ont-ils été établis?
- Le destinataire de la facture est-il la personne qui présente la réclamation?
- L'auteur de la réclamation a-t-il une relation contractuelle avec nous? oui / non
(Non → l'auteur de la réclamation devrait s'adresser à son partenaire contractuel)



- Sur quel ensemble de dispositions, quelles conventions la livraison est-elle basée?
- Qu'est-ce qui a été vendu et qu'est-ce qui a été livré? Les deux correspondent-ils?
- Le produit a-t-il été réalisé pour l'application qui fait l'objet de la réclamation?
- Comment le client a-t-il été conseillé? Quelle documentation était-elle disponible?
- La réclamation est-elle couverte par l'obligation de garantie (garantie*)? oui / non



- La livraison faisant l'objet de la réclamation a-t-elle déjà été transformée? oui / non
(avec la transformation [p. ex. montagne], le client accepte fondamentalement la livraison – à l'exception des défauts cachés)
- Autres questions possibles, évent. visite sur place



- Des investigations supplémentaires sont-elles nécessaires?
- Le client applique-t-il éventuellement sur des critères erronés / ses propres critères?
- Evaluons-nous cette réclamation comme justifiée? oui / non
- Elaborer des propositions de solution
- Définir la stratégie de discussion



- Réagir dans le délai convenu
- Tirer au clair d'éventuelles questions en suspens
- Communiquer notre position à l'auteur de la réclamation
- Pourquoi nous ne pouvons pas être tenus responsables
(p. ex. pas partenaire contractuel, délai de garantie échu, pas de défaut)
- Réclamation non justifiée (le client applique des critères erronés, ne connaît pas les dispositions applicables, etc.)
- Réclamation «justifiée» ou geste de bonne volonté, proposition pour la suite des démarches



- Livraison supplémentaire / de remplacement / échange
- Dédommagement?
- Excuses



- Catégoriser la réclamation (p. ex. facturation erronée, commande erronée, livraison erronée, différence de qualité, geste commercial, etc.)
- Evaluation des notes de crédit, engager des améliorations, corrections dans les processus ou les documents de vente

* Vous trouverez les détails relatifs à l'obligation de garantie ici:

<https://www.frc.ch/dossiers/la-garantie-legale-pour-les-defauts/>

Formulaires de saisie de réclamations

Les formulaires de saisie de réclamations aident notamment à ne rien oublier, dans le cadre d'une discussion avec un client. Ci-après, un exemple d'un tel formulaire:

Formulaire de réclamation

Date	
Service interne Service externe	
Client/Objet	
Adresse	
Qui a fait la réclamation?	

Informations générales

Qui était le destinataire de la facture?	
Numéro et date de la facture	
Quel est le motif de la réclamation?	
Remarques	

Premier contact

Date	
Comment (par téléphone, mail, etc.)	

Personne de contact	
Comment est-on resté?	

Visite

Date	
Participants	
Photos	
Comment est-on resté?	

Autres remarques

Dates	Remarque

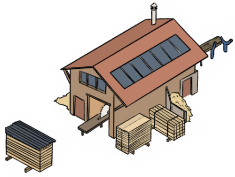
1.3.3. Trucs et astuces

Les réclamations devraient être traitées le plus rapidement possible. Car plus tôt une non-conformité est mise en évidence, moins le coût du traitement de la réclamation sera élevé (en temps et en argent) pour le département et les collaborateurs·trices concernés et, le cas échéant, pour la réparation. Et plus vite une réclamation est traitée, plus tôt tous les intervenants pourront à nouveau se consacrer à leurs tâches «productives».

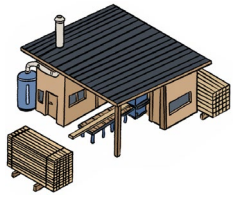
Le mandant est en droit d'attendre que le produit remplisse les caractéristiques / la qualité / et la classe d'aspect garanties. Si ce n'est pas le cas, le mandataire est tenu de réparer ou de remplacer le produit, ou de baisser son prix. Dans un tel cas, on se renseignera à l'interne sur les dispositions légales relatives à la garantie.

Si une entreprise et un client ne parviennent pas à s'entendre sur une réclamation, il existe la possibilité de demander une expertise externe. Un spécialiste indépendant se penche alors sur la réclamation et fournit une appréciation objective du cas.

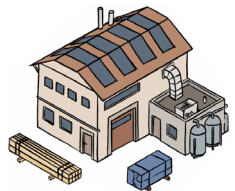
2. Processus de commande et optimisation



Scierie



Raboterie



Usine de collage

CO a2: Planifier et organiser la réalisation de produits en bois

CO a4: Documenter les commandes exécutées par les départements de production et de préparation des commandes de produits en bois

CO b2: Réceptionner, déplacer et stocker des sciages, des produits à base de bois, des matières auxiliaires et des consommables

Afin d'assurer le succès d'une entreprise sur le marché, il est indispensable de réaliser des produits de grande qualité et d'assurer une satisfaction élevée des clients.

Un processus de commande optimal joue un rôle important pour la satisfaction des clients. Cela commence par des conseils compétents et le choix du bois adéquat pour les commandes spécifiques. Un autre facteur important du processus est le calcul des coûts.

Mais cela ne suffit pas. Des processus de production efficaces et la recherche permanente de possibilités d'optimisation sont tout aussi déterminants. Dans une scierie, il est essentiel d'obtenir un rendement¹ maximum – aussi bien en produits principaux qu'en produits connexes.

Ces facteurs, qui contribuent au succès d'une entreprise, sont présentés et expliqués de manière détaillée dans ce qui suit.



Figure 4: Machine principale en fonctionnement (source: J. Thoma, schaerholzbau ag)

¹ Dans ce chapitre, le rendement concerne toujours le rendement matière.

Tâches pratiques dans l'entreprise

- Analyser une commande, afin de déterminer les étapes d'exécution et de production
- Calculer le rendement: comparer les résultats (quantités) aux exigences et aux chiffres clés, en déduire des optimisations possibles

Cours interentreprises 5

- Evaluer et calculer le rendement.

Situations professionnelles

- Vous planifiez et organisez une commande de produits simple: p. ex. réaliser des lames de terrasse à partir de sciages.
- Vous déterminez les matériaux bruts appropriés pour cette commande.

Objectifs d'apprentissage

- Vous citez des critères pour évaluer la faisabilité d'une commande, et vous évaluez des exemples de commandes.
- Vous décrivez des variantes possibles pour la réalisation d'une commande dans l'entreprise.
- Vous calculez, sur la base d'exemples, le rendement de commandes et vous évaluez le potentiel d'optimisation.
- Vous calculez les coûts de commandes simples.
- Vous décrivez les éléments et la structure des documents de commande et de livraison, ainsi que les exigences qui les concernent.
- Vous décrivez les développements centraux et les possibilités d'optimisation dans les entreprises de l'industrie du bois.

2.1. Transformation du bois

La production de sciages et de panneaux de particules augmente à nouveau depuis 2017.

Les scieries suisses ont ainsi débité environ 2,1 millions de mètres cubes de grumes, tous assortiments confondus, en 2022. Elles ont produit 1,25 million de mètres cubes de sciages de résineux et quelque 56'000 mètres cubes de sciages de feuillus, ce qui représente un rendement d'un peu plus de 60%.

Total 2,1 mio de m³ de bois rond

Sous-produits: 40%

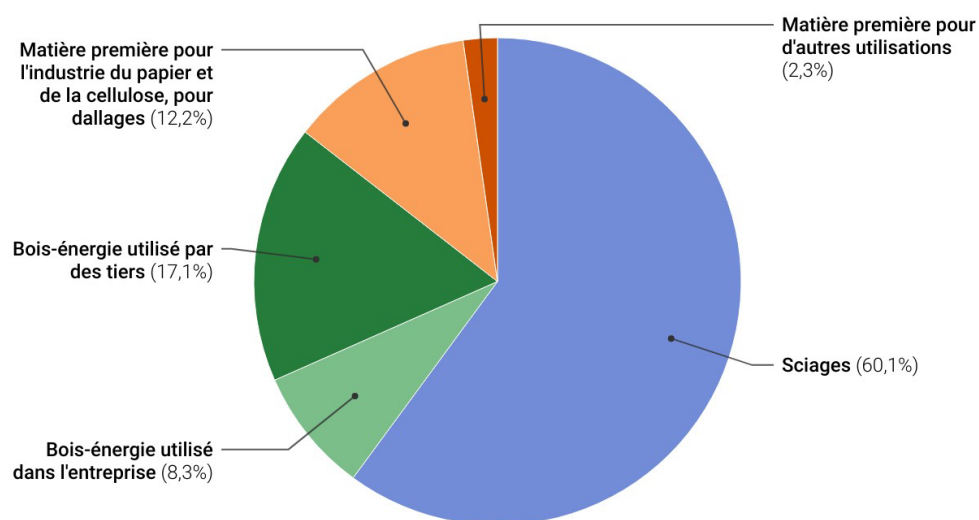


Figure 5: Transformation de bois en 2022 (source: Office fédéral de la statistique)

Cette évolution positive est due notamment à l'augmentation considérable de la demande de produits de qualité de l'industrie suisse du bois pour la construction. Cela tient également au fait que, grâce à de nouvelles dispositions en matière de protection incendie, il est désormais possible de construire des bâtiments en bois de plusieurs étages. Ceux-ci utilisent tellement de bois que le défi consiste à récolter suffisamment de bois.

Une autre raison réside dans la demande accrue de bois suisse. Cela, alors que les produits en bois suisse sont généralement un peu plus chers que les produits d'importation. Plusieurs arguments convainquent toutefois les client·e·s de miser malgré tout sur du bois suisse (cf. certificat Bois suisse, chapitre logistique):

- Renforcement de la place économique suisse, maintien d'emplois.
- Connaissance de la qualité suisse dans tous les processus de transformation.
- Bois garanti issu de forêts exploitées durablement. La loi suisse sur les forêts est l'une des plus sévères du monde!
- Plus écologique en raison de l'absence de transports depuis l'étranger.
- De la région pour la région: les maîtres d'ouvrage sont de plus en plus nombreux à demander non seulement du bois suisse, mais du bois de la région, voire de leur propre forêt.

Par ailleurs, les scieries suisses ont produit, en 2022, quelque 825'000 m³ de sous-produits (40% du débitage). En raison de l'augmentation de la demande, le «bois d'énergie à des tiers» représente aujourd'hui un débouché plus important que les sous-produits, qui sont livrés à l'industrie papetière et des panneaux.

Grâce à l'augmentation de la demande de produits en bois suisse, des investissements importants sont réalisés dans des constructions neuves et des agrandissements d'installations et de sites de production. Cela concerne aussi bien des grandes et moyennes scieries et entreprises de la deuxième transformation du bois que des entreprises du secteur du bois d'énergie.

Malgré cette situation favorable du marché – au moment de l'édition de ce moyen didactique – il faut toutefois relever que le marché du bois est soumis à de fortes fluctuations. Des crises politiques mondiales ou une mauvaise conjoncture de la construction peuvent influencer fortement le marché. Par ailleurs, une diminution de la disponibilité de matière première en raison du changement climatique aurait également d'importantes conséquences. C'est pourquoi une grande attention est accordée à une gestion économe de la ressource bois et à l'optimisation des coûts et des processus.

Dans ce qui suit, nous présentons et discutons les facteurs essentiels pour un processus de commande efficace, ainsi que les possibilités d'optimisation des coûts et du rendement, depuis la saisie des besoins des clients jusqu'à la confirmation de commande, le processus de production, la livraison et la facturation, en passant par l'élaboration de l'offre et l'évaluation des possibilités de réalisation – dont notamment la faisabilité technique, la disponibilité des marchandises et les capacités de production.

2.2. Réception de la commande

Une réception correcte de la commande aide à choisir la stratégie adéquate dans la production, afin d'obtenir le produit souhaité. Pour cela, il s'agit de tirer au clair les points suivants, lors de la réception de la commande:

- **La commande est-elle clairement établie?**
Comme nous avons de nombreux produits distincts et que nous n'avons pas toujours affaire à des spécialistes du côté des clients, nous devons nous assurer que les deux parties parlent de la même chose.
- **La commande correspond-elle à l'offre?**
Si une offre a été remise préalablement au client, il s'agit de comparer la commande à l'offre. Dans la pratique, la commande et l'offre présentent souvent des divergences, p. ex. parce qu'un ingénieur ou un maître d'ouvrage a modifié une section.
- **Y a-t-il des possibilités d'optimisation?**
La plupart des entreprises travaillent avec des assortiments standards, à partir desquels elles réalisent les commandes des clients. Selon les dimensions de ces produits, ceux-ci seront plus ou moins économiques pour la réalisation de la commande. Dans le cas de commandes sans offre préalable claire, nous devons souvent discuter avec le client pour évaluer s'il ne serait pas possible de modifier quelque peu les dimensions demandées, afin de pouvoir produire plus économiquement (et avantageusement pour lui).
- **Les matières premières sont-elles disponibles? Si ce n'est pas le cas, quelles sont les alternatives?**

Dans ce cas, on évaluera les possibilités de livraisons complémentaires. On pourra également évaluer si d'autres produits standards peuvent être transformés pour permettre la réalisation de la commande.

- **Avons-nous les capacités de production et les possibilités techniques pour réaliser la commande?**
Si ce n'est pas le cas, évaluer l'externalisation des pièces problématiques à des tiers. Face au client, nous restons toutefois responsables de la réalisation de la commande.
- **Avons-nous les capacités logistiques nécessaires?**
Cette question concerne le conditionnement, l'étiquetage et le transport.
- **Les délais de livraison peuvent-ils être respectés?**
Les délais de livraison doivent être calculés et clairement communiqués, et harmonisés avec les souhaits du client. Certains processus internes doivent éventuellement être accélérés.
- **Le prix est-il correct?**
Le calcul des coûts de production et la détermination de la marge sont essentiels pour la définition du prix. Selon le chiffre d'affaires du client, la fidélité du client et sa morale de paiement, ou accordera éventuellement un rabais.

2.3. Documentation de la commande

L'ensemble du processus de commande est accompagné par des documents correspondants.

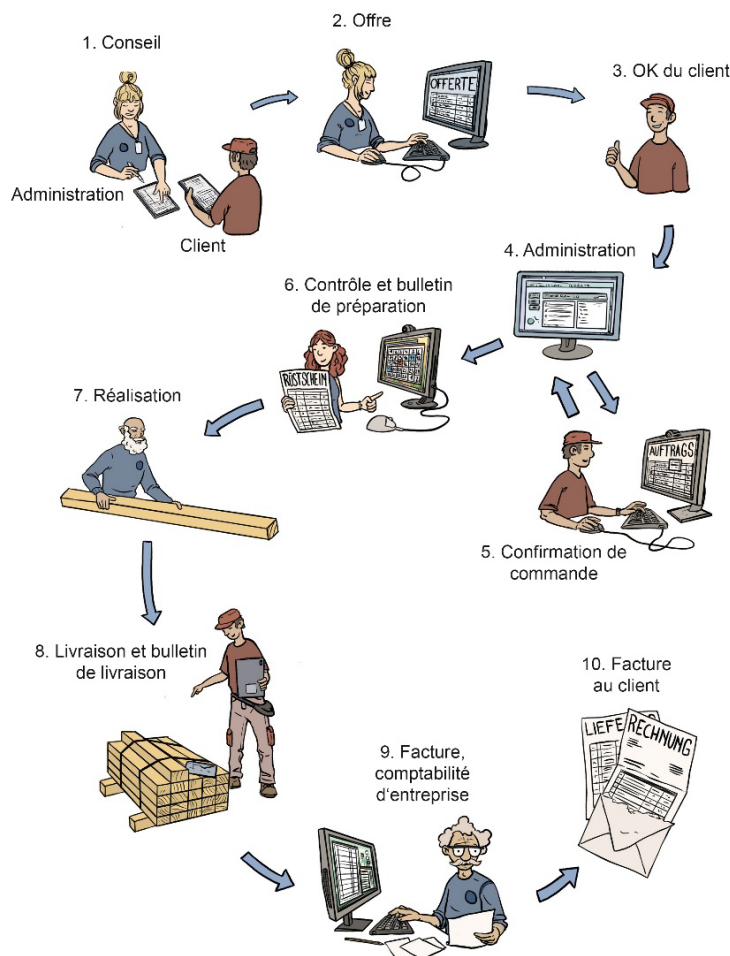


Figure 6: Processus de commande (source: IBS)

- En règle générale, le vendeur établit une offre. Pour des clients réguliers, il est également possible de travailler sans offre. Dans ce cas, le vendeur reçoit directement une liste de bois avec les longueurs, dimensions et nombres de pièces.
- Si l'offre est acceptée, chaque position est saisie dans le système informatique de l'entreprise. Ainsi, chaque personne participant à la réalisation de la commande peut voir ce que souhaite le client.
- Selon les entreprises, des bulletins de préparation sont émis à l'interne pour chaque département (raboterie, collage, panneaux, etc.) avec la commande correspondante. Le responsable de département donne un retour d'information quant à la faisabilité du délai demandé. Si ce n'est pas le cas, le vendeur doit négocier un nouveau délai de livraison avec le client.
- Une fois que tout est tiré au clair, une confirmation de commande est émise. Le vendeur contrôle encore une fois si elle correspond à la commande du client. Elle est ensuite remise au client pour contrôle. Le client doit confirmer l'exactitude de la commande.
- Avec le produit, le client reçoit un bulletin de livraison. Celui-ci récapitule encore une fois la commande, et le client peut contrôler le nombre de pièces.
- La facture, qui est établie après la livraison, est basée sur le bulletin de livraison.
- Le déroulement du paiement et, si nécessaire, le rappel, sont gérés par la comptabilité.

Tous les documents doivent répondre aux exigences légales et/ou usuelles du secteur.

Dispositions légales

Le commerce du bois et des dérivés du bois est fondamentalement soumis au code des obligations (CO, RS 220), en combinaison avec les règlements usuels du secteur. En Suisse, plusieurs points sont réglés dans la publication «Bois et panneaux à base de bois: critères de qualité dans la construction et l'aménagement intérieur – Usages du commerce en Suisse, édition 2021».

Ainsi, les définitions relatives au contrat de vente (quantités, délais, lieu de livraison, etc.) sont récapitulées au chapitre 6 de cette publication. Celles-ci s'appliquent aux produits selon les chapitres 2 à 4 (planches et carrelots, lames rabotées, bois de structure) et au chapitre 5 (panneaux à base de bois) entre le producteur ou le commerçant et son client direct.

Ces dispositions ne s'appliquent pas aux contrats d'entreprise².

Les points suivants sont notamment traités au chapitre 6 de cette publication:

- Contenu du contrat
- Confirmation du contrat
- Modification de contrat
- Indications de quantité
- Délais de livraison et de chargement
- Demeure de livraison et de prise de livraison
- Lieu de livraison et frais de transport

² Le contrat d'entre-prise est un contrat par lequel une des parties (l'entrepreneur) s'oblige à exécuter un ouvrage, moyennant un prix que l'autre partie (le maître) s'engage à lui payer. (art. 363 CO).

- Garantie (notification des défauts, délai de prescription, remplacement, rabais ou révocation)
- Conditions de paiement

Conditions générales (CG)

De nombreuses entreprises n'ont pas de conditions générales. Il n'est pas non plus nécessaire de formuler des conditions générales. En l'absence de conditions générales, ce sont les dispositions du Code des obligations qui s'appliquent.

Les CG ne servent pas seulement à la maîtrise des risques, elles contiennent également souvent des compléments et des modifications par rapport au droit dispositif (non contraignant). Les CG n'ont pas force de loi, mais sont importantes en cas de litige, si on peut montrer que l'acheteur avait connaissance des CG avant sa décision d'achat et qu'il les a approuvées. Pour que les CG fassent partie intégrante d'un contrat, le client doit pouvoir les approuver avant la conclusion du contrat. Dans le cas de commandes importantes, le vendeur doit par conséquent les livrer avec son offre ou les mettre à disposition sous une forme adéquate dès ce moment. Ainsi, de nombreuses entreprises ont publié leurs CG sur leur site Internet. Dans les contrats écrits (p. ex. offres et confirmations de commande), il faut explicitement attirer l'attention sur les CG de l'entreprise. Une confirmation de commande signée par le client, avec renvoi aux CG, est dans tous les cas recommandée, à des fins de preuve à futur.

2.4. Variantes d'exécution

Une fois la commande clairement établie, la meilleure variante pour la réalisation de celle-ci est déterminée par le département de production:

- Classiquement dans une scierie: il s'agit d'obtenir un rendement maximum en fonction du diamètre des grumes (différents diamètres et modes de débit pour un produit) ou en fonction de la qualité des grumes. Si, p. ex., on ne dispose pas assez de bois brut de qualité B, on pourra éventuellement aussi réaliser le produit avec du bois de qualité C, plus avantageux. On obtiendra simplement une quantité nettement moindre et davantage de produits connexes.
- Raboterie: on peut souvent utiliser plusieurs sections de lames rabotables pour un produit. Il est alors nécessaire de comparer le rendement global des différentes variantes. Il est souvent aussi possible de mettre en œuvre plusieurs variantes d'exécution. On peut par exemple commencer par réparer les lames rabotables (facteur de coûts collage des nœuds), afin d'avoir moins de rebut après le rabotage. Alternativement, on peut commencer par raboter (avec plus de rebut), puis réparer les produits finis. Là aussi, il convient d'évaluer les deux variantes.
- Usine de collage: le rendement dépend en premier lieu de la qualité des lames pour lamellé-collé. Plus la qualité est faible, plus le rendement sera faible et plus le rebut sera important

Tâche Compare les commandes et évalue les variantes d'exécution et la faisabilité de la commande dans ton entreprise:

Exemple: scierie

Exemple: il s'agit de produire du BLC N (apparent) à partir de lames rabotables de 46 x 175 mm.

Quelle variante d'exécution (V1 ou V2) produit le moins de chutes?

Simple

V1: 20 m³ dimension 160 x 225 mm, 10 m

V2: 20 m³ dimension 160 x 240 mm, 10 m

Moyen

V1: 20 m³ dimension 155 x 215 mm, 10 m

V2: 20 m³ dimension 160 x 235 mm, 10 m

Difficile

V1: 20 m³ dimension 155 x 205 mm, 10 m

V2: 20 m³ dimension 145 x 235 mm, 10 m

Exemple: scierie

Produit BLC N (apparent), perte d'aboutage 2%, rebut pour triage par qualité apparente 10%, unité de facturation des lames arrondie à 20 mm

Combien de m³ de lames (rabotées) faut-il débiter pour ces commandes et dans quelles dimensions?

Quelle commande (1 ou 2) produit le moins de chutes?

V1: 22 poutres, dimension 130 x 320 mm, 12 m = 10.9824 m³

V2: 12 poutres, dimension 160 x 380 mm, 14 m = 10.2144 m³

Exemple: usine de collage

20 m³ de poutres en lamellé-collé qualité apparente, dim. 160/240, 10 m de longueur, réalisées en lames rabotables 46 x 175 mm, perte d'aboutage 2%, rebut pour triage par qualité apparente 10%

De combien de m³ de lamelles a-t-on besoin par m³ de BLC fini raboté?

Exemple: raboterie

Bardage en épicéa suisse, qualité N2, dim. 136 x 20 mm en lames rabotables 50 x 150 mm à 400.-/m³; rendement N2 85%; qualité industrie à moitié prix 10%, rebut 5%

Quel est le coût de la part du bois N2 en fr./m²?

2.5. Calcul des coûts

Dans l'industrie du bois, le calcul des coûts joue un rôle central pour la fixation du prix. Le calcul des coûts sert à déterminer le prix de vente d'un produit. Dans ce cadre on distingue le calcul prévisionnel et le calcul rétrospectif.

Calcul prévisionnel

Coûts prévisionnels

Le calcul prévisionnel consiste à déterminer les coûts de production d'un produit avant sa production. Le but est de déterminer à l'avance les coûts des matériaux, de la main-d'œuvre, du stockage, de la gestion et d'autres postes pertinents. Un calcul précis des coûts requiert des données et des chiffres clés détaillées de l'entreprise, ainsi qu'une bonne connaissance de l'entreprise et une certaine expérience. Cela permet de planifier et d'optimiser le prix d'un produit de manière stratégique, afin de rester concurrentiel tout en dégagant un bénéfice.

Calcul rétrospectif

Coûts effectifs

Le calcul rétrospectif, en revanche, est réalisé après la réalisation du produit et sert à déterminer les coûts effectifs. Cette méthode permet d'évaluer la rentabilité d'une commande et de contrôler que les coûts effectifs correspondent aux montants du calcul prévisionnel. Le calcul rétrospectif fournit de précieux enseignements pour les futurs calculs prévisionnels, en mettant en évidence les divergences et les éventuels potentiels d'optimisation.

2.5.1. Types de coûts

Coûts des matériaux (coûts directs)

Coût des matières premières

Les coûts des matériaux concernent le prix payé pour les matériaux. Pour une scierie, ce seront des grumes, pour une usine de collage se seront les sciages et la colle, pour une raboterie, ce seront les sciages et les vernis ou peintures, pour ne citer que quelques matériaux. Ces coûts peuvent être attribués directement à la commande (généralement le produit principal).

Les prix des grumes varient en fonction de l'essence et de la qualité, et représentent l'un des postes les plus importants dans le calcul des coûts. C'est pourquoi il est très important d'acheter des matériaux à bon prix et dans la qualité correspondant à l'usage prévu. Les coûts des matériaux par mètre cube de sciages sont d'autant plus élevés que le rendement est faible.

Frais généraux liés aux matériaux (coûts indirects)

Stockage, achat, gestion

Les coûts liés à l'achat et au stockage des grumes ne peuvent pas être attribués directement à une commande. Ils sont répartis sur l'ensemble des grumes en tant que frais généraux, et ajoutés aux coûts directs sous forme de supplément.

Dans le cas des grumes, les coûts indirects sont généralement les frais d'achat, de traitement des grumes, de transport et de stockage. Les coûts indirects sont cumulés par année, puis répartis uniformément sur l'ensemble des sciages d'une année.

Coûts du débitage

Débitage, triage, empilement

Les coûts de débitage comprennent tous les coûts liés à production des sciages (débitage, triage, empilage, etc.). Ce sont notamment:

- Coûts de main-d'œuvre (salaires, vacances, prestations sociales, etc.)
- Coûts de chauffage, d'éclairage, d'assurance, de loyer, etc.
- Coûts de l'énergie pour actionner les machines
- Coûts pour l'achat, l'exploitation et la maintenance des machines et des outils
- Coûts de la préparation et du stockage des sous-produits
- ...

2.5.2. Autres notions

Risque et bénéfice

Les entreprises s'efforcent de dégager un bénéfice

Le bénéfice est l'argent qui reste à l'entreprise après avoir payé tous les coûts pour la production et la vente de ses produits. En économie, le bénéfice est l'excédent financier qui résulte lorsque les produits (c.-à-d. l'ensemble des recettes) dépassent les charges (c.-à-d. l'ensemble des dépenses pour les matières premières, la production, l'exploitation, la main-d'œuvre, etc.). Un bénéfice négatif est une perte.

$$\text{Recettes} - \text{dépenses} = \text{bénéfice ou perte}$$

Les risques peuvent menacer le succès de l'entreprise

Afin d'éviter des pertes, une entreprise doit pouvoir évaluer les risques de perte et les intégrer dans le prix de vente de ses produits. Les risques peuvent avoir des causes diverses, par exemple des arrêts de production, des fluctuations du marché, des modifications de la législation, des changements économiques, des catastrophes naturelles et bien d'autres encore.

Dans la pratique, on calcule souvent avec 5% de risque et 5% de bénéfice, soit au total 10% de risque et bénéfice. Cette valeur peut toutefois varier d'une entreprise à l'autre.

Rabais

Réduction sur le prix de vente

Un rabais est une réduction accordée sur le prix de vente initial d'un produit ou d'une prestation. Un rabais peut être accordé pour différentes raisons, par exemple pour une grosse commande (rabais de quantité), pour certains groupes de clients ou comme bonus de fidélité pour des clients de longue date. Le rabais est généralement calculé sous forme de pourcentage du prix catalogue et vise à promouvoir les ventes, à diminuer les stocks ou à récompenser des clients.

Escompte

Réduction pour paiement précoce

Un escompte est en revanche une réduction accordée sur le prix de vente en cas de paiement précoce d'une facture. Il vise à encourager l'acheteur à régler la facture avant l'échéance usuelle. L'escompte est typiquement indiqué en tant que pourcentage du prix facturé.

2.5.3. Calcul du prix de vente des sciages

Les scieries calculent généralement le prix de vente sur la base des coûts totaux. Le prix de vente des sciages (produits principaux) est calculé selon le schéma suivant:

Coûts	Remarques
Prix des grumes départ route forestière	
- Escompte	Habituellement 2% à 10 jours
- TVA (impôt préalable)	
Prix des grumes net départ route forestière	
+ Coûts annexes grumes	Achat, traitement, transport, fonds d'entraide
Grumes franco scierie	
+ Coûts chantier à grumes	Stockage, tronçonnage des grumes, écorçage, intérêts
Grumes avant débitage	
+ Coûts du débitage	
+ Coûts parc à sciages	Stockage, logistique, intérêts sciages
+ Vente et administration	
Total matériel et coûts de production	
+ Risque et bénéfice	
- Recettes assortiment de bord	
- Recettes sous-produits	Plaquettes, couenneaux, délignures
- Recettes sciure	
Valeur produit principal frais départ scierie	Conversion de fr./m3p en fr./m ³
+ Coûts de séchage (fr./m3)	
+ Coûts de rabotage (dr./m3)	
+ Coûts de transport (Fr./m3)	
+ Rabais et escompte	
Prix de vente minimum franco client	hors TVA

Tableau 1: Schéma pour le calcul du prix de vente des sciages (produits principaux)

La page suivante montre un exemple détaillé de calcul d'un prix de vente.

Dans les exercices ci-après, on ne tient compte, par simplification, que des coûts résultant dans la scierie. Ceux-ci commencent par le prix des grumes franco scierie.

Calcul du prix de vente				Carrelets, frais	
1. Coûts de matériel				fr./m3	fr./m3
Prix des grumes départ route forestière				90.00	
- moins escompte -2.00%				-1.80	
Résultat intermédiaire				88.20	
- moins TVA (impôt préalable) ² -2.60%				-2.29	
Prix des grumes net départ route forestière				85.91	85.91
Coûts annexes					
+ Frais d'achat				2.00	
+ Traitement des grumes				0.00	
+ Contribution FdB				1.00	
+ Coûts du transport des grumes				18.00	
Total coûts annexes				21.00	21.00
+ Coût du chantier à grumes y c. intérêts					24.00
Grumes avant débitage					130.91
2. Coûts de production				fr./m3	fr./m3
+ Coûts de débitage				80.00	
+ Coûts parc à sciages y c. intérêts				25.00	
+ Frais vente et administration				15.00	
Total coûts de production				120.00	120.00
3. Valeur des marchandises				fr./m3	fr./m3
Total coûts de matériel et de production					250.91
+ Risque et bénéfice 10.00%					25.09
Produit principal (rendement) 45.0%					
Part en pour-cent et valeur sur le marché des produits connexes					
Produits connexes	Part	Facteur	Valeur de marché		
- Assortiment de bord	25.0%	1.00	280.00 fr./m3	-70.00	
- Plaquettes	18.0%	2.80	15.00 fr./m3v	-7.56	
- Couenneaux / délignures	0.0%	1.67	18.00 fr./m3v	0.00	
- Sciure	12.0%	3.00	12.00 fr./m3v	-4.32	
- Perte de masse	0.0%				
Total produitss connexes: 55.0%				-81.88	-81.88
Valeur calculée des recettes départ scierie					194.12
4. Détermination du prix minimum				fr./m3	fr./m3
Produit principal (brut, frais, départ scierie) $194.15 \cdot 100 : 45 =$					431.37
Transport					20.00
Produit principal (brut, frais, franco client)					451.37
Rabais pour le client en % 2.00%					9.21
Résultat intermédiaire					460.58
Escompte pour le client en % 2.00%					9.40
Produit principal net franco client hors TVA					469.98

Tableau 2: Exemple de calcul du prix de vente

2.5.4. Conséquences des fluctuations des prix du marché

Les fluctuations des prix du marché sont un phénomène naturel de l'économie

Comme les prix des sciages et des produits semi-finis sont largement déterminés par le marché, le calcul des coûts sert non seulement à la détermination du prix de vente, mais aussi à la détermination des coûts de production et au contrôle des coûts (le produit peut-il être réalisé au prix du marché?). De plus, le calcul des coûts est un instrument efficace pour mettre en évidence et comprendre les liens économiques au sein d'une scierie.

Les graphiques ci-dessous illustrent les fluctuations des prix du marché de plusieurs produits.

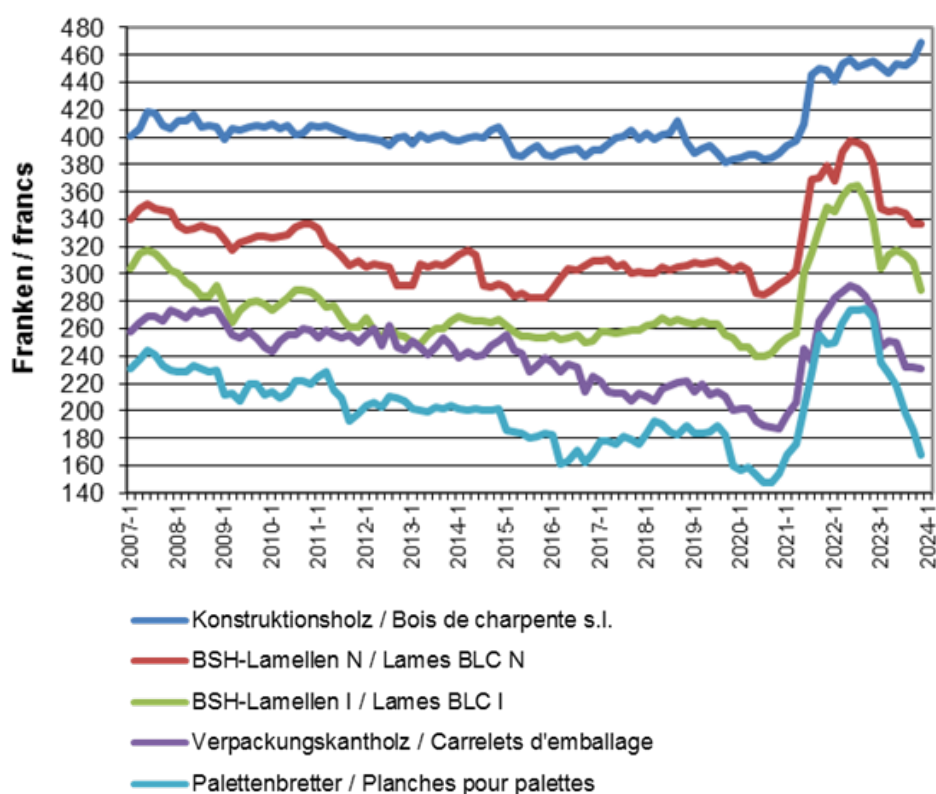


Figure 7: Evolution des prix des sciages 2007–2023 (source: IBS)

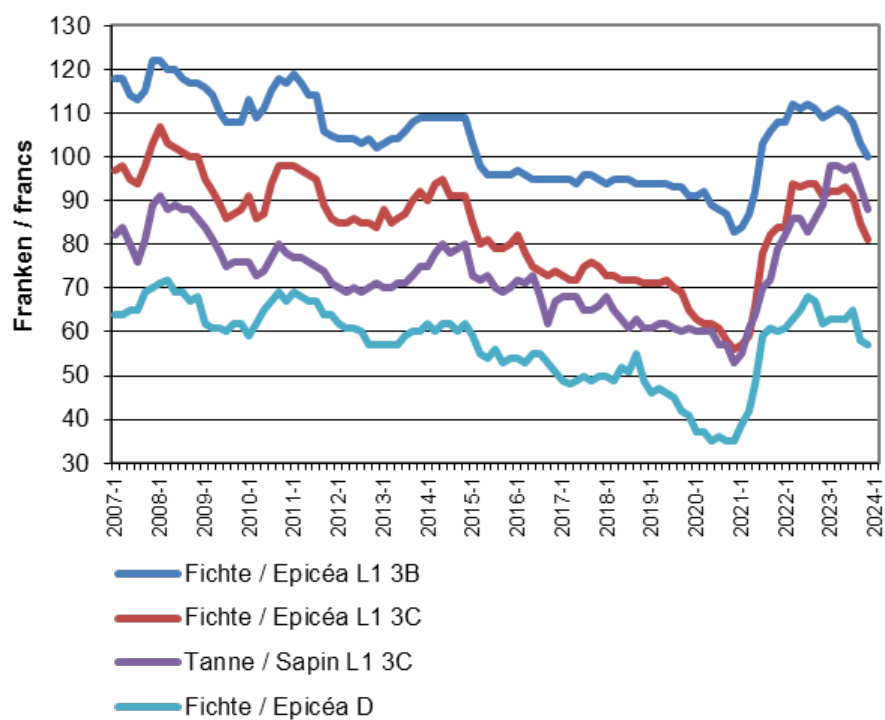


Figure 8: Evolution des prix des grumes 2007–2023 (source: IBS)

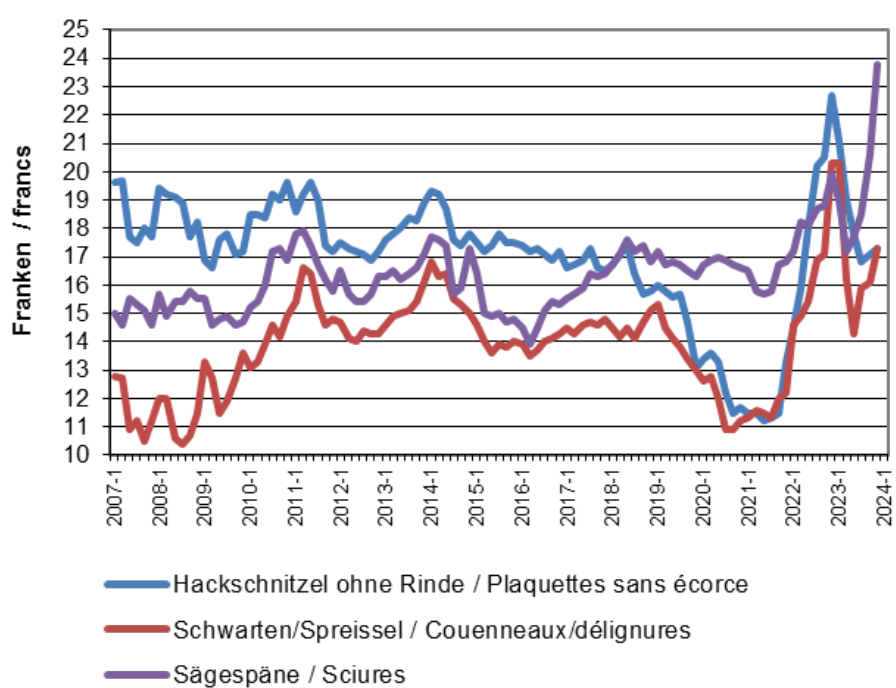


Figure 9: Evolution des prix des sous-produits 2007–2023 (source: IBS)

Exercice 1

Supposons qu'un client de longue date commande 100 mètres cubes de bois de structure, mais n'est prêt à payer que 440.00 fr./m³. Calculez les répercussions sur les coûts de production des carrelets d'un prix des grumes plus élevé de 10 francs par mètre cube. Utilisez pour votre calcul les mêmes paramètres que ceux de l'exemple précédent.

A combien se monterait la perte par mètre cube?

Que pouvez-vous faire afin de réaliser malgré tout cette commande pour le client?

Calcul du prix de vente				Carrelets, frais	
1. Coûts de matériel				fr./m3	fr./m3
Prix des grumes départ route forestière				100.00	
- moins escompte	-2.00%				
Résultat intermédiaire					
- moins TVA (impôt préalable) ²	-2.60%				
Prix des grumes net départ route forestière					
Coûts annexes					
+ Frais d'achat				2.00	
+ Traitement des grumes				0.00	
+ Contribution FdB				1.00	
+ Coûts du transport des grumes				18.00	
Total coûts annexes				21.00	21.00
+ Coût du chantier à grumes y c. intérêts					24.00
Grumes avant débitage					
2. Coûts de production				fr./m3	fr./m3
+ Coûts de débitage				80.00	
+ Coûts parc à sciages y c. intérêts				25.00	
+ Frais vente et administration				15.00	
Total coûts de production				120.00	120.00
3. Valeur des marchandises				fr./m3	fr./m3
Total coûts de matériel et de production					
+ Risque et bénéfice		10.00%			
Produit principal (rendement)	45.0%				
Part en pour-cent et valeur sur le marché des produits connexes					
Produits connexes	Part	Facteur	Valeur de marché		
- Assortiment de bord	25.0%	1.00	280.00 fr./m3	-70.00	
- Plaquettes	18.0%	2.80	15.00 fr./m3v	-7.56	
- Couenneaux / délignures	0.0%	1.67	18.00 fr./m3v	0.00	
- Sciure	12.0%	3.00	12.00 fr./m3v	-4.32	
- Perte de masse	0.0%				
Total produitss connexes:	55.0%			-81.88	-81.88
Valeur calculée des recettes départ scierie					
4. Détermination du prix minimum				fr./m3	fr./m3
Produit principal (brut, frais, départ scierie)		$194.15 \cdot 100 : 45 =$			
Transport					20.00
Produit principal (brut, frais, franco client)					
Rabais pour le client en %		2.00%			
Résultat intermédiaire					
Escompte pour le client en %		2.00%			
Produit principal net franco client hors TVA					

Tableau 3: Exercice 1

2.5.5. Calculez le prix maximum des grumes

Il est également possible d'effectuer le raisonnement à l'envers, en partant du prix des sciages, afin de calculer le prix maximum des grumes.

Le calcul du prix des grumes suit les étapes suivantes:

Coûts	Remarques
Prix de vente franco client	
- Escompte et rabais	Habituellement 2% à 10 jours
- Coûts de transport	
Prix de vente départ scierie	Conversion de fr./m ³ en fr./M3p
+ Recettes sciure	
+ Recettes sous-produits	Plaquettes, couenneaux, délignures
+ Recettes assortiment de bord	
Total recettes	
- Risque et bénéfice	
Coûts totaux maximum	
- Vente et administration	
- Coûts parc à sciages	Stockage, logistique
- Coûts de débitage	
Max. grumes avant débitage	
- Coûts chantier à grumes	Stockage, tronçonnage des grumes, écorçage, intérêts
Max. grumes franco scierie	
- Coûts annexes grumes	Achat plaquettes, couenneaux, délignures
Max. grumes net départ route forestière	
+ TVA (impôt préalable)	
+ Escompte	
Prix max. grumes départ route forestière	

Tableau 4: Schéma de calcul pour la détermination du prix des grumes

La page suivante montre un exemple détaillé de calcul du prix des grumes.

Calcul du prix des grumes				Carrelets, frais	
1. Calcul du prix brut départ scierie				fr./m3	fr./m3
Produit principal net franco client hors TVA					470.00
- Escompte client				-2.00%	-9.40
Résultat intermédiaire					460.60
- Rabais client				-2.00%	-9.21
Produit principal (brut, frais, franco client)					451.39
- moins transport					-20.00
Produit principal (brut, frais, départ scierie)					431.39
2. Détermination de la valeur des marchandises				fr./m3	fr./m3
Produit principal (rendement)				45.0%	194.12
Part en pour-cent et valeur sur le marché des produits connexes					
Produits connexes	Anteile	Faktor	Marktwert		
- Assortiment de bord	25.0%	1.00	280.00 Fr./m3	70.00	
- Plaquettes	18.0%	2.80	15.00 Fr./SRm	7.56	
- Couenneaux / délignures	0.0%	1.67	18.00 Fr./Rm	0.00	
- Sciure	12.0%	3.00	12.00 Fr./SRm	4.32	
- Perte de masse	0.0%				
Total produitss connexes:	55.0%			81.88	81.88
Total recettes					276.00
- Risque et bénéfice				10.00%	-25.09
Coût total maximum de matériel et de production					250.91
3. Déduction des coûts de production				fr./m3	fr./m3
- Frais vente et administration				-15.00	
- Coûts parc à sciages y c. intérêts				-25.00	
- Coûts de débitage				-80.00	
Total coûts de production				-120.00	-120.00
4. Détermination des coûts de matériel				fr./m3	fr./m3
Coût maximum des grumes avant débitage					130.91
- Coûts chantier à grumes y c. intérêts					-24.00
Grumes franco scierie y c. coûts annexes					106.91
Coûts annexes					
- Coûts de transport grumes				-18.00	
- Contribution FdB				-1.00	
- Frais d'achat				-2.00	
- Traitement des grumes				0.00	
Total coûts annexes				-21.00	-21.00
Prix d'achat maximum des grumes net					85.91
TVA (impôt préalable)				2.60%	2.29
Résultat intermédiaire					88.21
Escompte				2.00%	-1.80
Prix des grumes départ route forestière					90.01

Tableau 5: Calcul du prix des grumes

Exercice 2

Nous restons avec notre client de longue date. Comme il est lui-même mis sous pression par le maître de l'ouvrage, il doit répercuter cette pression sur ses fournisseurs et peut payer au maximum 430.00 fr./m³ pour les 100 mètres cubes de bois de structure. Vous aimeriez obtenir la commande et vous calculez le prix maximum des grumes. Utilisez pour votre calcul les mêmes paramètres que ceux de l'exemple précédent

Quel serait le prix d'achat maximum pour les grumes?

Que pouvez-vous faire afin de réaliser malgré tout cette commande pour le client?

Calcul du prix des grumes				carrelets, frais	
1. Calcul du prix brut départ scierie				Fr./m ³	Fr./m ³
Produit principal net franco client hors TVA					430.00
- Escompte client				-2.00%	
Résultat intermédiaire					
- Rabais client				-2.00%	
Produit principal (brut, frais, franco client)					
- moins transport					-20.00
Produit principal (brut, frais, départ scierie)					
2. Détermination de la valeur des marchandises				Fr./fm	Fr./fm
Produit principal (rendement)				45.0%	
Part en pour-cent et valeur sur le marché des produits connexes					
Produits connexes	Anteile	Faktor	Marktwert		
- Assortiment de bord	25.0%	1.00	280.00 Fr./m ³	70.00	
- Plaquettes	18.0%	2.80	15.00 Fr./SRm	7.56	
- Couenneaux / délignures	0.0%	1.67	18.00 Fr./Rm	0.00	
- Sciure	12.0%	3.00	12.00 Fr./SRm	4.32	
- Perte de masse	0.0%				
Total produits connexes:	55.0%			81.88	
Total recettes					
- Risque et bénéfice				10.00%	
Coût total maximum de matériel et de production					
3. Déduction des coûts de production				Fr./fm	Fr./fm
- Frais vente et administration				-15.00	
- Coûts parc à sciages y c. intérêts				-25.00	
- Coûts de débitage				-80.00	
Total coûts de production				-120.00	-120.00
4. Détermination des coûts de matériel				Fr./fm	Fr./fm
Coût maximum des grumes avant débitage					
- Coûts chantier à grumes y c. intérêts					-24.00
Grumes franco scierie y c. coûts annexes					
Coûts annexes					
- Coûts de transport grumes				-18.00	
- Contribution FdB				-1.00	
- Frais d'achat				-2.00	
- Traitement des grumes				0.00	
Total coûts annexes				-21.00	-21.00
Prix d'achat maximum des grumes net					
TVA (impôt préalable)				2.60%	
Résultat intermédiaire					
Escompte				2.00%	
Prix des grumes départ route forestière					

Tableau 6: Exemple 2

2.5.6. Tableau de répartition des coûts

Le tableau de répartition des coûts sert de schéma de calcul pour la répartition des coûts. Il permet de ventiler les coûts individuels et les frais généraux sur les différents centres de coûts. Cela permet à l'entreprise de mettre en évidence l'origine des différents coûts.

Les centres de coûts sont répartis dans les groupes suivants:

- Frais généraux (p. ex. chauffage)
- Coûts auxiliaires (p. ex. affûtage)
- Coûts principaux (p. ex. scie multiple)

Exemple: la somme du centre de coûts transport des sciages se monte à 300'000 francs. Le volume de sciages transportés par an s'élève à 12'000 m³. Le coût moyen du transport des sciages s'élève par conséquent à:

$$\frac{300'000 \text{ fr.}}{12'000 \text{ m}^3} = 25,00 \text{ fr./m}^3$$

2.6. Le rendement sous l'angle des coûts

Le rendement joue un rôle central sous l'angle des coûts. A partir d'un mètre cube de bois brut, le scieur produit env. 0,6 m³ de sciages ou, inversement, pour la production de 1,0 m³ de sciages, le scieur a besoin d'env. 1,67 m³ de bois brut. A côté des prix des sciages, les prix des sous-produits jouent bien entendu également un rôle. Ce sont finalement les recettes totales par mètre cube de bois brut qui sont déterminantes.

Un exemple chiffré illustre cela pour une scierie: le tableau ci-dessous montre des produits pouvant être obtenus à partir d'un mètre cube de bois brut d'épicéa.

Produit	Part	
Lames pour lamellé-collé (qualité N)	30.0%	} Part des sciages total env. 55%
Lames pour lamellé-collé (qualité I)	10.0%	
Planches pour palettes	15.0%	
Plaquettes	30.0%	} Part des sous-produits total env. 45%
Sciure	15.0%	

A partir des parts et des prix des différents produits, il est possible de calculer les recettes totales par mètre cube de bois brut. La figure ci-après montre l'évolution des recettes pour les différents sciages.

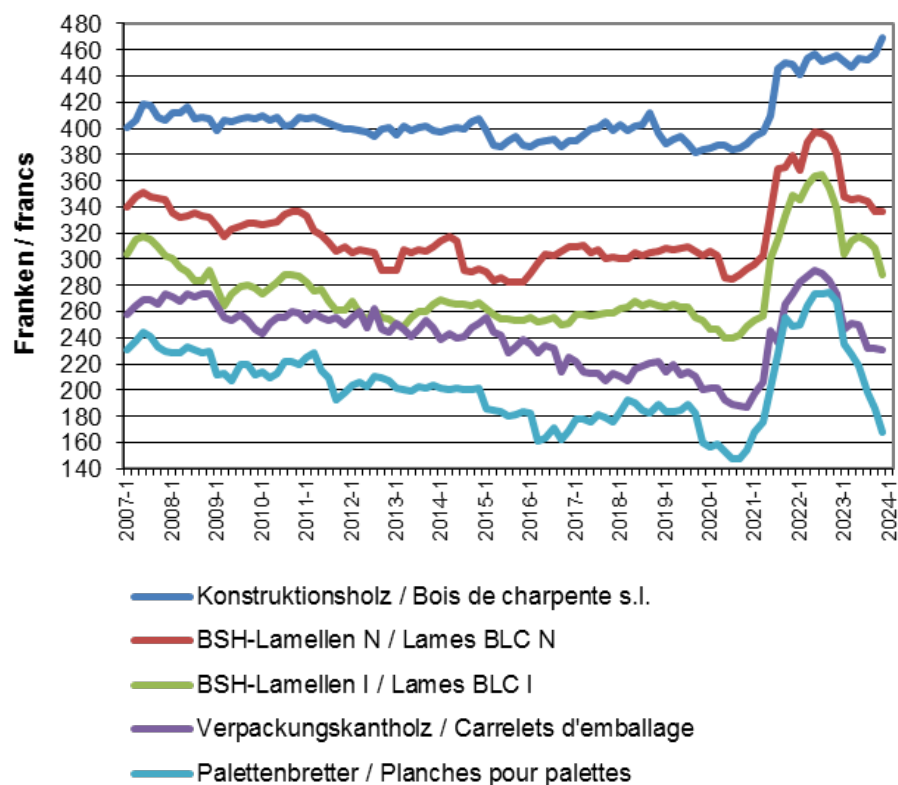


Figure 10: Evolution du prix des sciages 2007–2023 (source: IBS)

Le marché des sciages dépend de plusieurs facteurs (pression des importations, activité de construction en bois, concurrence nationale, etc.). Il arrive fréquemment qu'une entreprise ne soit pas en mesure d'appliquer les prix de vente souhaités. Supposons que l'entreprise applique les prix suivants:

Exemple chiffre non optimisé

	Part %	Facteur	Prix CHF/m ³	Valeur CHF/m ³
Coûts pour l'achat des grumes	100.0%	1.0	110.0	-110.0
Lames pour BLC (qualité N)	30.0%	1.0	340.0	102.0
Lames pour BLC (qualité I)	10.0%	1.0	310.0	31.0
Planches pour palettes	15.0%	1.0	180.0	27.0
Plaquettes	30.0%	2.7	16.0	13.0
Sciure	15.0%	3.0	10.0	4.5
Total recettes	100.0%			177.5
Bénéfice brut				67.5

Exemple chiffre optimisé

	Part %	Facteur	Prix CHF/m ³	Valeur CHF/m ³
Coûts pour l'achat des grumes	100.0%	1.0	110.0	-110.0
Lames pour BLC (qualité N)	32.0%	1.0	340.0	108.8
Lames pour BLC (qualité I)	13.0%	1.0	310.0	40.3
Planches pour palettes	15.0%	1.0	180.0	27.0
Plaquettes	28.0%	2.7	16.0	12.1
Sciure	12.0%	3.0	10.0	3.6
Total recettes	100.0%			191.8
Bénéfice brut				81.8

La différence entre le total des recettes et le prix des grumes utilisées est appelée bénéfice brut. Le scieur dispose de ce montant pour la réalisation de ses produits.

Comme il ressort des deux tableaux 2 et 3, une optimisation du rendement de 5% fait une énorme différence. Dans notre exemple, le bénéfice brut passe finalement de fr. 67.50 à fr. 81.80, soit une augmentation de plus de 21%. Ce montant doit couvrir les prestations suivantes (appelées coûts variables):

- Transport du chantier à grumes vers la scierie
- Contribution au fonds d'entraide
- Stockage, tronçonnage et écorçage des grumes
- Réalisation des sciages (débitage, triage, empilage)
- Préparation et stockage des sous-produits
- Séchage des lames pour bois lamellé-collé
- Entreposage et transbordement vers le parc à sciages
- Publicité, vente et administration

Par ailleurs, les coûts fixes (p. ex. loyer, assurances, abonnements téléphone/Internet, amortissements, etc.) doivent être répartis sur le volume annuel de sciages. Si la production d'une scierie diminue, cela renchérit les sciages qu'elle produit.

Conclusion: les fluctuations des prix des grumes ont une forte influence sur les marges. Lors de la production, une grande attention doit être accordée à l'optimisation du rendement et au maintien d'un taux d'occupation le plus élevé possible.

2.7. Autres possibilités d'optimisation

2.7.1. Numérisation

Réseautage, automatisation, analyse des données

La numérisation de la production et de la gestion des marchandises soulève de nouvelles questions pour les entreprises de transformation du bois. La numérisation entraîne des changements non seulement technologiques, mais aussi culturels, du fait qu'elle modifie la manière dont les personnes travaillent et communiquent. Elle exige souvent une réorientation de la stratégie commerciale et une adaptation de la culture d'entreprise.

E-commerce et services en ligne

Plates-formes numériques et méthodes de paiement

L'e-commerce et les services en ligne désignent le commerce et la réalisation de prestations sur Internet. Cette forme numérique du commerce a énormément gagné en importance dans l'industrie du bois et modifie continuellement la manière de commercer entre les entreprises et les consommateurs. L'e-commerce permet aux entreprises de vendre des produits et des prestations sur leurs propres sites Internet à travers des boutiques en ligne ou par le biais de plates-formes de tiers comme Ricardo ou eBay. L'e-commerce mise sur des méthodes de paiement numériques comme les cartes de crédit, PayPal, Apple Pay, Google Pay ou d'autres systèmes de paiement. Ces méthodes rendent le processus d'achat plus commode et plus rapide pour les clients.

Logiciels ERP

Tout mettre en réseau, planifier les ressources, garder la vue d'ensemble

Une grande entreprise de l'industrie du bois ne saurait guère plus se passer d'un logiciel ERP. Celui-ci constitue une base importante pour de nombreuses entreprises et est au cœur des processus administratifs.

ERP est le sigle d'Enterprise Resource Planning (= planification des ressources de l'entreprise). Un logiciel ERP sert à planifier, piloter et gérer les ressources de l'entreprise. Il soutient l'automatisation et les processus dans les domaines des finances, de la gestion du personnel, de la chaîne logistique, des prestations, des achats et bien plus encore. Chaque entreprise de l'industrie du bois est différente, tant en ce qui concerne le nombre de collaborateurs·trices, les produits proposés et le parc de machines. Dans le domaine informatique, il faut par conséquent des solutions individuelles, pour gérer et piloter les ressources et les processus. On trouve sur le marché des logiciels pour la gestion classique des commandes, avec les données de contact, des outils de calcul et des systèmes de facturation et de comptabilité, y compris la saisie des temps de travail ainsi que des modules spécifiques au secteur, par exemple pour les grumes, les sciages et la coupe à façon.

BIM – Building Information Modeling

Conception numérique des ouvrages, amélioration de la collaboration

Le Building Information Modeling ou BIM est une technologie révolutionnaire du secteur de la construction, qui va bien au-delà des traditionnels plans en 2D. Elle utilise un modèle en 3D qui intègre de manière détaillée tous les aspects d'un ouvrage. Ce modèle représente une source d'information complète, utilisée par les architectes, les ingénieurs et les entreprises de construction conventionnelles ou en bois. Elle permet une planification et une coordination plus précise pendant tout le processus de construction. Le BIM n'est pas seulement utile pendant la phase de construction, mais accompagne l'ouvrage sur l'ensemble de son cycle de vie. Il apporte un soutien pendant la conception, la construction, l'exploitation et la

maintenance de l'ouvrage. L'utilisation du BIM permet de réaliser un projet plus efficacement, dans la mesure où il permet de réduire les erreurs et d'améliorer la communication entre tous les intervenants. Ce modèle offre également la possibilité de visualiser l'ouvrage prévu de manière virtuelle avant le début des travaux. Cela facilite la compréhension du projet et améliore la prise de décision. Le BIM contribue également à un mode de construction respectueux de l'environnement en permettant des analyses de l'efficacité énergétique et de la durabilité directement dans le modèle.

En résumé, le BIM est une approche novatrice dans le secteur de la construction, qui augmente l'efficacité, abaisse les coûts et améliore la qualité de l'ouvrage fini. C'est un progrès décisif dans le secteur de la construction, qui modifie la manière de concevoir et de construire un ouvrage.

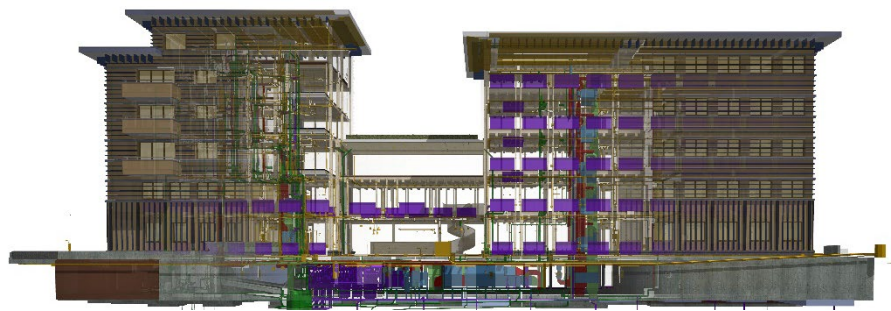


Figure 11: Haus des Holzes, PIRMIN JUNG Schweiz AG (source: cadwork)

L'utilisation de modèles BIM dans la construction en bois est actuellement largement répandue et montre de nets avantages. Cette approche progressiste permet à l'entreprise de construction en bois d'offrir une meilleure qualité d'exécution à ses clients. Les projets sont réalisés non seulement plus rapidement, mais aussi de manière plus avantageuse, du fait que la planification précise et le préconfectionnement permettent d'économiser du temps et des ressources. Globalement, cette combinaison d'expérience et de technologie moderne permet de réaliser des ouvrages plus efficacement et de meilleure qualité.

Cybersécurité

Parer les attaques, protéger les données, surfer en sécurité

Avec l'augmentation des données numériques, la nécessité de protéger ces données augmente, elle aussi. Les entreprises doivent investir dans des technologies et des pratiques de sécurité, afin d'éviter des fuites de données et des cyberattaques. Les entreprises de l'industrie du bois sont, elles aussi, de plus en plus souvent victimes de criminalité informatique. Les conséquences peuvent aller jusqu'à la faillite de l'entreprise. Les collaborateurs·trices jouent un rôle déterminant pour la cybersécurité dans l'entreprise. Une attention particulière sera notamment portée aux points ci-après, dans le cadre du travail quotidien.

Utiliser des mots de passe robustes. Les collaborateurs·trices devraient utiliser des mots de passe originaux pour tous les comptes et changer régulièrement ces mots de passe. Des mots de passe robustes comptent au moins 12 caractères, dont des majuscules et des minuscules, des signes spéciaux et des chiffres. L'utilisation d'un gestionnaire de mots de passe peut s'avérer utile pour garder la vue d'ensemble.

Authentification à deux facteurs (2FA). Dans toute la mesure du possible, on activera l'authentification à deux facteurs. Cela apporte un niveau de sécurité supplémentaire, du fait que l'accès n'est pas seulement protégé par un mot de passe.

Actualiser régulièrement les logiciels. Il est important d'actualiser régulièrement tous les logiciels, y compris les systèmes d'exploitation et les logiciels antivirus, afin de combler les lacunes de sécurité.

Identifier les attaques par hameçonnage (phishing). Vous ne devriez pas ouvrir des liens ou des fichiers attachés suspects dans les courriels, notamment s'ils viennent d'une adresse inconnue, ni partager des informations personnelles ou de l'entreprise.

Surfer en sécurité. Les collaborateurs·trices devraient faire preuve de prudence lorsqu'ils surfent sur Internet, et toujours utiliser un logiciel antivirus. De plus, on évitera d'utiliser des WiFi publics pour des usages professionnels, à moins d'utiliser une connexion VPN sécurisée.

Sauvegarde des données (backup). Cela comprend la réalisation de copies des données importantes, afin de pouvoir les récupérer en cas de perte de données, que ce soit suite à un problème de matériel ou de logiciel, à une cyberattaque, à des virus, à des erreurs humaines ou à des catastrophes naturelles. Une stratégie de sauvegarde efficace réduit le risque de perte de données et assure que les fonctions critiques de l'entreprise puissent être maintenues, y compris en cas d'événement imprévu.

2.7.2. Automatisation et utilisation de technologies

Simplifier les déroulements, piloter des machines, améliorer l'efficacité

Les scieries modernes utilisent des technologies progressistes et des automatisations, afin d'améliorer l'efficacité. Cela comprend des systèmes pilotés par ordinateur, des machines de triage et d'empilement automatisées et des techniques de mesurage et de pilotage progressistes. Un grand nombre de ces éléments ont déjà été traités au cours du dernier semestre. Dans ce chapitre, nous proposons quelques perspectives d'avenir.

Tomographie par ordinateur

La médecine moderne ne saurait plus se passer de la tomographie par ordinateur, et cette technologie est actuellement utilisée dans de nombreux autres domaines. Dans la mesure où le bois est constitué, comme les tissus humains, de chaînes de carbone, il convient particulièrement bien pour cette technologie. La tomographie par ordinateur permet de reconstituer l'intérieur d'une grume avec une résolution pouvant aller jusqu'à 1 mm. Des singularités du bois comme des poches de résine, des fentes, des roulures ou de la pourriture, qui n'apparaissent jusqu'ici qu'après le débitage, peuvent être mise en évidence et localisées dans la grume entière.

La tomographie par ordinateur permet de reconstituer entièrement les singularités internes d'une grume, de manière à trier les grumes par qualité et à optimiser le mode de débit en temps réel. Cela permet bien entendu aussi de détecter des corps étrangers (métal, pierres, etc.)

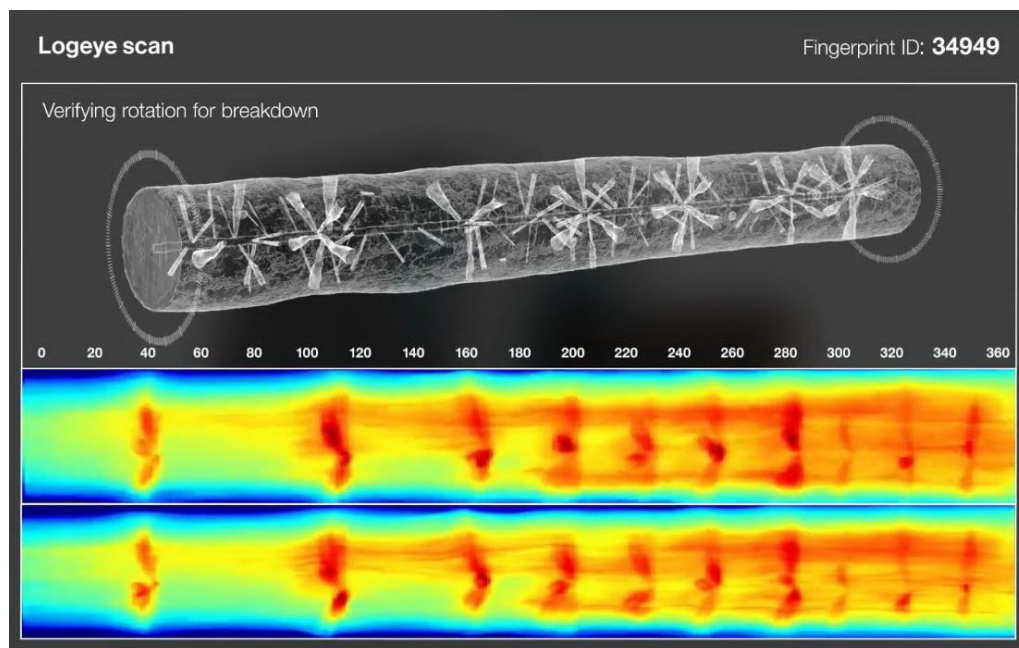


Figure 12: Copie d'écran de la tomographie par ordinateur d'une grume (source: Microtec)

L'appareil de tomographie utilisé pour la figure ci-dessus utilise des canaux laser, de lumière visible et de rayons X afin d'obtenir des données précises pour le triage des grumes et l'optimisation du mode de débit sur la base du diamètre, de la longueur, de la courbure et de la conicité, ainsi que des singularités internes. On peut s'attendre à ce que cette technologie soit de plus en plus utilisée, notamment dans des scieries.

Intelligence artificielle

Les machines apprennent, prennent des décisions et s'adaptent

Dans l'industrie du bois, l'utilisation de l'intelligence artificielle (AI) n'en est encore qu'à ses débuts. L'Empa, à Dübendorf, mène toutefois déjà les premières expériences en utilisant l'IA pour l'analyse d'images et le classement des lames de bois selon la résistance ainsi que pour le triage des grumes et le pilotage de processus dans la production de panneaux de fibres.

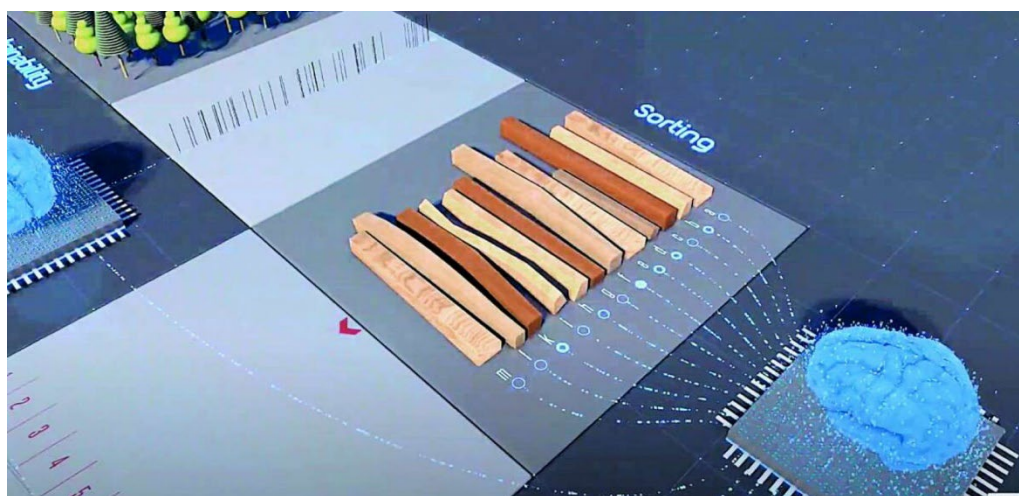


Figure 13: L'IA dans l'industrie du bois (source: Empa)

Par ailleurs, l'adaptation d'applications d'IA provenant d'autres secteurs représente également un grand potentiel pour l'industrie du bois. Un exemple de ces applications est la reconnaissance vocale basée sur l'IA, qui gagne de plus en plus en importance dans le service à la clientèle à travers des systèmes de dialogue techniques comme les chatbots et la génération automatique de descriptions de produits. De tels systèmes peuvent également s'avérer utiles pour les plateformes de vente en ligne de produits à base de bois. Les outils de traduction basés sur l'IA permettent également de réaliser des plateformes multilingues.

L'IA peut également apporter une précieuse contribution pour l'optimisation des processus, par exemple sous la forme de procédures automatisées dans la comptabilité. Aujourd'hui déjà, l'IA peut estimer l'état des installations dans le cadre d'une maintenance prévisionnelle, ce qui permet d'éviter des pannes, tout en prolongeant la durée de vie des installations grâce à des stratégies de maintenance intelligentes.

En Finlande, les premières grues à grumes autonomes du monde, avec entraînement électrique, ont été mises en service fin 2022. L'IA assure les fonctions du grutier en utilisant notamment la vision par ordinateur, des réseaux neuronaux et différents capteurs. Elle est responsable de l'ensemble de la logistique du chantier à grumes et planifie les cycles de travail de la grue. Le rôle du grutier se limite à surveiller l'IA.

2.7.3. Logistique et gestion de la chaîne logistique

Une logistique efficace et une gestion bien organisée de la chaîne logistique sont déterminantes pour la mise à disposition des grumes en temps utile et la distribution efficace des produits finis. Il s'agit d'assurer que l'entreprise dispose des bons matériaux, au bon moment, dans les bonnes quantités et au bon endroit. Dans le cadre de votre formation, vous avez déjà appris à:

- réceptionner et contrôler les marchandises
- stocker, déplacer et déstocker correctement des marchandises
- commander et maintenir des dispositifs et des installations techniques
- déterminer les conditions de stockage adéquates en fonction des caractéristiques des produits à stocker
- gérer et surveiller l'état des stocks, et prendre les mesures nécessaires en cas de besoin
- préparer et expédier des marchandises
- participer à l'élaboration de concepts de logistique de stockage de l'entreprise

Dans le chapitre suivant, nous allons un peu plus loin, afin de rechercher des potentiels d'optimisation.



Figure 14: Halle de stockage de bois pour des utilisations extérieures (source: Pletscher + Co. AG)

Gestion de la chaîne logistique

Optimiser le flux de marchandises,
organiser les transports efficacement,
réduire les délais de livraison

La gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management – SCM – en anglais) désigne une approche intégrée pour la planification, la gestion et l'optimisation de tous les processus le long de la chaîne de valeur ou de la chaîne logistique. Une chaîne de valeur comprend toutes les étapes, depuis l'achat des matières premières auprès du fournisseur jusqu'à la livraison du produit fini au client. Le but de la gestion de la chaîne logistique est d'organiser ces processus de manière la plus efficace possible, afin de réduire les coûts, de maximiser la qualité et d'augmenter la satisfaction des clients.

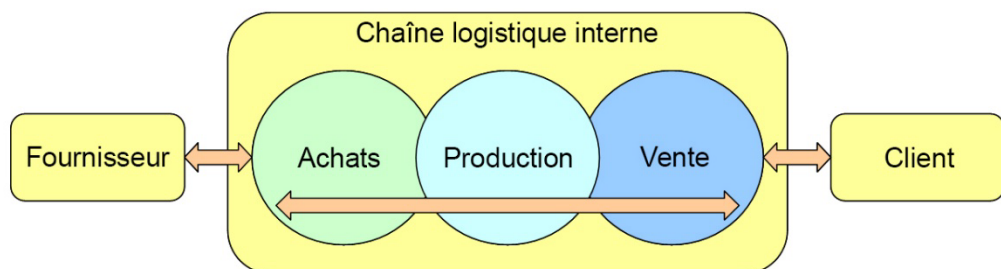


Figure 15: Chaîne logistique (source: Wikipedia)

Une bonne coordination de tous les fournisseurs et processus est essentielle pour l'efficacité du système de management de la chaîne logistique. Car le succès d'une entreprise dépend en grande partie de la qualité de sa gestion de la chaîne logistique. Ce système de management peut être subdivisé en trois domaines:

1. Flux de marchandises: Dans ce domaine, il s'agit d'assurer un flux de marchandises efficace entre les fournisseurs des matières premières et les clients finaux. Une production efficace requiert une collaboration transparente avec tous les partenaires et sous-traitants.

2. Flux d'informations: Le flux d'information dans les deux directions, au sein d'une entreprise, est très important. D'un côté, il s'agit de transmettre les informations sur les différentes livraisons, aussi bien concernant l'arrivée des matières premières que la livraison des produits finis aux clients finaux. L'intégration d'informations sur le comportement des clients est un exemple de gestion de la chaîne logistique orienté en fonction des besoins des clients. Des informations sur la fréquence d'achat d'un certain produit, de la satisfaction des clients avec ce produit ou des principaux besoins concernant ce produit peuvent contribuer grandement au succès de l'entreprise.

3. Flux de valeurs: Les déroulements financiers forment le troisième domaine de la gestion de la chaîne logistique et sont intégrés dans chaque processus. Le long de l'ensemble de la chaîne de valeur apparaissent plusieurs recettes et dépenses, qui doivent être gérées en accord avec les entreprises partenaires et les clients.

Un système de management efficace de la chaîne logistique permet à l'entreprise d'utiliser ses ressources de manière efficace, d'abaisser les coûts et d'augmenter la satisfaction des clients.

Exemple concret: expédition

Les courses à vide représentent l'un des plus grands défis dans le secteur de l'expédition, notamment dans le transport de grumes. Ces courses à vide apparaissent lorsque, après avoir déchargé les marchandises, le camion continue à vide vers la prochaine commande ou retourne à vide à l'entreprise. Les courses à vide entraînent des coûts et une pollution inutiles. Comment optimiser les processus logistiques tout en tenant compte d'aspects économiques et écologiques?

Amorce de solution:

En étroite collaboration avec l'entreprise de transport des grumes, on travaille en permanence à l'optimisation de la logistique. L'objectif est de réduire les courses à vide. Dans ce but, sur le chemin de retour, l'entreprise de transport charge des grumes mises à disposition par l'entreprise forestière. Cette procédure économise non seulement du temps en évitant des courses à vide, mais participe également à la protection de l'environnement en réduisant la consommation de carburant et les émissions de CO₂. Parallèlement, cette méthode assure un flux permanent de matières premières de qualité pour la transformation, ce qui améliore l'efficacité de l'ensemble du processus.

Cette approche montre comment une planification logistique intelligente apporte des avantages à la fois économiques et écologiques.

Analyse ABC des stocks

Evaluer l'importance des produits, piloter la gestion des stocks

L'analyse ABC est basée sur le principe de Pareto, autrement dit, de la règle 80/20, qui postule que 20% des efforts donnent 80% des résultats. Nos stocks contiennent-ils des produits qui sont réellement vendus ou produisons-nous seulement des invendus? L'analyse ABC est une méthode utile pour améliorer l'efficacité et la rentabilité de la gestion des stocks, et assurer que l'entreprise dispose des bons matériaux au bon moment et dans les bonnes quantités.

Comment établit-on une analyse ABC?

Une entreprise de l'industrie du bois a un grand nombre de produits en stock, qui sont associés à différents coûts et valeurs. L'analyse ABC aide à identifier les marchandises les plus importantes et à les gérer en conséquence.

Les différentes marchandises sont attribuées à trois classes:

Marchandises A (articles de grande valeur)

Les marchandises A sont les articles les plus importants du stock. Bien qu'elles ne représentent que 20% du stock, elles sont très importantes, parce qu'elles sont souvent achetées et qu'elles génèrent beaucoup de chiffre d'affaires. L'entreprise a investi beaucoup d'argent dans ces marchandises, et celles-ci contribuent grandement au bénéfice de l'entreprise. Il est très important d'assurer que ces marchandises ne soient jamais en rupture de stock. Elles sont placées dans les zones facilement accessibles des stocks, afin que les collaborateurs·trices puissent y accéder rapidement.

Marchandises B (articles de valeur moyenne)

Les marchandises B sont les articles de valeur moyenne du stock. Elles représentent environ 30% de l'inventaire et ne sont pas aussi souvent vendues que les marchandises A. Elles n'ont donc pas besoin d'être contrôlées aussi strictement. On les surveille malgré tout, parce qu'elles peuvent évoluer en marchandises A ou en marchandises C. Les commandes de marchandises B se font sur la base de niveaux minimum et maximum des stocks. Ces marchandises sont placées à mi-hauteur.

Marchandises C (article de faible valeur)

Les marchandises C sont les articles ayant le moins de valeur mais représentant la moitié de l'inventaire. Elles sont rarement vendues et n'ont pas d'importance stratégique. Elles sont donc gérées avec moins de moyens. Les commandes sont normalement déclenchées par un niveau de sécurité. Il est important de les surveiller pour s'assurer qu'elles n'évoluent pas en invendus. Pour les marchandises C, la question se pose souvent de savoir s'il est vraiment judicieux de dépenser beaucoup d'argent pour leur gestion. Ces marchandises sont normalement placées tout en haut ou dans des zones difficilement accessibles des stocks, et loin des places de transbordement.

Pour résumer, l'analyse ABC aide à classer des groupes de produits en catégories A, B ou C, en fonction de leur part au chiffre d'affaires. Ce qui permet à l'entreprise de mieux gérer leurs stocks et l'allocation des ressources.

Cas particulier des entreprises commerciales. Dans les entreprises commerciales, les produits sont classés en fonction de leur fréquence de rotation en produits à forte rotation (produits A), produits à rotation modérée (produits B) et produits à faible rotation (produits C).

Exemple concret: analyse ABC

Une scierie prévoit de classer ses produits sur la base du chiffre d'affaires qu'ils dégagent, au moyen d'une analyse ABC. Dans cette analyse, les produits générant un chiffre d'affaires important sont classés dans la catégorie A, les produits générant un chiffre d'affaires modéré dans la catégorie B et ceux dégageant un faible chiffre d'affaires dans la catégorie C. La scierie dispose de données détaillées sur les différents groupes de produits et les chiffres d'affaires annuels correspondants.

Amorce de solution:

Afin d'effectuer une analyse ABC, on commence par calculer, pour chaque groupe de produits, leur part au chiffre d'affaires annuel. Ces groupes de produits sont ensuite classés en fonction de leur part au chiffre d'affaires. Après cela, on calcule la somme des parts au chiffre d'affaires, en commençant par les parts les plus importantes. Dans une analyse ABC typique, les catégories A, B et C sont définies avec des parts respectives de 75%, 20% et 5%.

En cumulant ces parts, la limite entre les catégories A et B se situe à 75% du chiffre d'affaires, tandis que la limite entre les catégories B et C se situe à 95% du chiffre d'affaires. En comparant les parts cumulées du chiffre d'affaires, il est possible d'attribuer des produits aux catégories A, B ou C.

Bien/produit	Prix de vente [fr./m3]	Quantité [m3/an]	Ch. d'aff. [fr./an]	Part [%]	Catégorie	
Bois massif	450	2'000	900'000	37.5%	A	
Lattes à tuiles	410	1'500	615'000	25.6%	A	73.5%
Carrelets de vantail Ep	1'000	250	250'000	10.4%	A	
Lattes doubles	390	450	175'500	7.3%	B	
Planches en plots Sa	850	150	127'500	5.3%	B	21.0%
Planches en plots Ep	850	120	102'000	4.3%	B	
Carrelets de cadre Ep	990	100	99'000	4.1%	B	
Planches de caisses	250	162	40'500	1.7%	C	
Carrelets d'emballage	230	150	34'500	1.4%	C	
Lames pour BLC	330	50	16'500	0.7%	C	
Carrelets de coffrage	290	50	14'500	0.6%	C	5.5%
Planches d'échafaudage	320	30	9'600	0.4%	C	
Planches de palettes EURO	180	40	7'200	0.3%	C	
Planches de coffrage	270	20	5'400	0.2%	C	
Carrelets de palettes	280	10	2'800	0.1%	C	
Total		5'082	2'400'000	100%		

Tableau 7: Exemple d'analyse ABC (source: IBS)

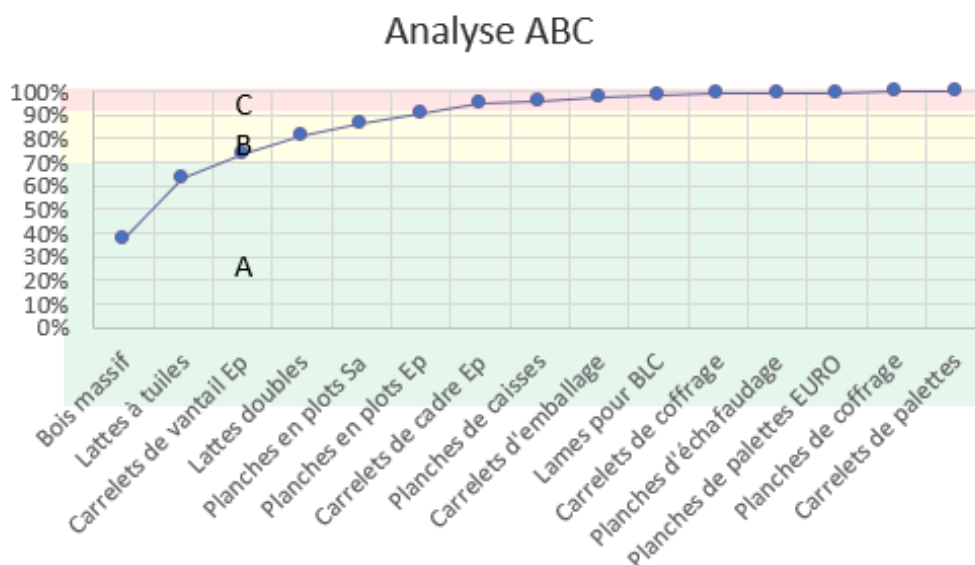


Figure 16: Graphique résultant de l'analyse ABC (source: IBS)

L'analyse ABC peut également être représentée sous forme de graphique, comme dans la figure ci-dessus. Les champs de couleur représentent les trois classes A, B et C. Les superficies de ces trois champs illustrent leurs parts relatives au chiffre d'affaires total.



Figure 17: Halle de stockage avec différents produits d'une entreprise de l'industrie du bois (source: Gebr. Eisenring AG)

2.7.4. Stratégies clés pour améliorer l'efficacité

Ce chapitre propose un aperçu non exhaustif des techniques de gestion modernes telles que Kanban, le Lean management, la simplification des processus et des déroulements, le contrôle qualité et la gestion de la main-d'œuvre. Il montre l'interaction de ces méthodes afin de rendre les organisations plus agiles, plus efficaces et plus réactives dans un monde économique en constante évolution.

Kanban

Flexibilité de la production, réduction des stocks

Kanban est une méthode de gestion agile, développée initialement dans le secteur manufacturier japonais et visant à optimiser les processus de travail et à augmenter la flexibilité dans la production ou les projets. Au cœur de cette méthode, il y a le tableau Kanban, un outil de visualisation qui découpe les tâches en différentes phases allant de «à faire» à «terminé» en passant par «en cours». Cette méthode permet aux équipes d'identifier facilement les goulots d'étranglement et de gérer les tâches en fonction des priorités et des capacités. Kanban favorise l'amélioration continue, réduit la surcharge grâce à la délimitation des tâches en cours et améliore la transparence et la communication au sein de l'équipe. Cela augmente la flexibilité, améliore la réactivité et augmente l'efficacité globale des processus de travail.

Configuration efficace des postes de travail

Les collaborateurs·trices travaillent souvent dans des situations inconfortables, les postes de travail ne sont pas ergonomiques et il faut un deuxième collègue pour mettre en place un outil, les matériaux ne sont jamais où on en a besoin et les déplacements sont trop importants.

Lean management

Réduire le gaspillage, améliorer l'efficacité des processus, maximiser la valeur pour le client, amélioration continue

Souvent, le stock est simplement un mal nécessaire pour entreposer des produits, des matières premières, des pièces de rechange ou autres jusqu'à leur utilisation. Cela requiert bien entendu non seulement de la place, mais aussi du temps et de l'argent pour la gestion des stocks. Dans les entreprises de l'industrie du bois, le Lean management est également devenu une thématique importante. Il s'agit de simplifier les processus et d'améliorer l'efficacité des découlements.

Le Lean management est une philosophie de gestion qui vise à réduire le gaspillage et à améliorer l'efficacité des processus dans l'entreprise. L'accent est mis sur la création de valeur ajoutée pour le client, tout en réduisant autant que possible les ressources, le temps et les coûts inutiles. Cela est obtenu au moyen de plusieurs principes et techniques tels que l'amélioration continue (Kaizen), la production à flux tendus, le management de la qualité et l'intégration des collaborateurs·trices dans le processus d'amélioration. Le Lean management favorise une culture de contrôles et d'optimisations permanents des déroulements de travail, afin de rendre les processus plus sveltes («lean») et efficaces, et d'améliorer ainsi l'efficacité globale de l'entreprise.

Simplification des processus et des déroulements

Réduire le gaspillage, augmenter l'efficacité des processus, maximiser la valeur pour le client, amélioration permanente

L'analyse et l'amélioration continues des processus de production sont décisives pour l'amélioration de l'efficacité et la réduction des coûts dans l'entreprise. Dans ce cadre, l'accent est mis sur l'optimisation des flux de matériaux en améliorant l'efficacité du transport, du stockage et des mouvements des matières premières et des produits finis. La réduction des temps morts joue également un rôle important, en réduisant au minimum les arrêts de production grâce à une maintenance préventive et à une élimination rapide des pannes. L'amélioration des pratiques de maintenance comprend le contrôle et l'entretien régulier des machines et des installations, afin de prolonger leur durée de vie et d'éviter les pannes inopinées. Cette approche comprend également la standardisation des déroulements de travail et la formation des collaborateurs·trices afin d'augmenter encore l'efficacité des processus et d'assurer une qualité toujours élevée des produits. L'amélioration permanente des processus qui en résulte augmente finalement la productivité et la compétitivité de l'entreprise.

Contrôle qualité

Augmenter la satisfaction des clients

Le maintien de standards de qualité élevés est essentiel pour le succès d'une entreprise de l'industrie du bois. Cela commence par une surveillance étroite de la qualité du bois, avec une attention particulière pour la structure, l'humidité et l'absence de défauts tels que fentes ou déformations. La précision de l'opération de sciage est également déterminante pour assurer que les coupes sont réalisées précisément et selon les spécifications, ce qui permet un rendement optimal et la réduction des pertes de matériaux. Le contrôle des produits finis comprend une inspection détaillée des produits finis en bois quant à la précision dimensionnelle, à la qualité de surface, à l'humidité du bois, etc. Le contrôle qualité comprend également l'étalonnage régulier et la maintenance des machines de sciage et de transformation du bois, afin d'assurer une qualité de finition élevée. Ces procédures de contrôle sévères permettent à une entreprise de l'industrie du bois d'améliorer la satisfaction des clients, de réduire les réclamations et de consolider sa position sur le marché.

Gestion de la main-d'œuvre

Promouvoir les compétences, améliorer la satisfaction, maximiser la productivité

Un personnel qualifié est essentiel pour l'exploitation efficace d'une entreprise de l'industrie du bois. Cela comprend non seulement l'opération correcte des machines, mais aussi la faculté d'identifier rapidement des problèmes et de les résoudre efficacement. La formation et la formation continue des collaborateurs·trices dans les nouvelles technologies et méthodes de travail est par conséquent indispensable. Cela comprend aussi bien des connaissances théoriques que des capacités pratiques, afin d'assurer la sécurité de fonctionnement et une qualité élevée des produits. Par ailleurs, la promotion du travail d'équipe et des capacités de communication est importante pour assurer une collaboration sans heurts et un flux d'informations efficace à l'intérieur de la scierie. Le développement de compétences de direction chez les responsables d'équipes contribue aussi à améliorer la conscience professionnelle et à créer un environnement de travail motivant. Une gestion efficace de la main-d'œuvre permet à une entreprise de l'industrie du bois d'augmenter non seulement la productivité et l'efficacité, mais aussi la satisfaction des collaborateurs·trices et de prévenir une pénurie de main-d'œuvre.

2.7.5. Gestion durable des matières premières et optimisation des déchets

Utilisation efficace
des matières pre-
mières

Comme vous l'avez déjà appris au cours des semestres précédents, l'industrie de transformation du bois est très performante pour la réduction des quantités de déchets en utilisant au mieux la matière première qu'est le bois. Cela est obtenu principalement par le recyclage des déchets industriels (aussi appelés «déchets pré-consommation»). Concrètement, tous les déchets de bois résultant du processus de production ne sont pas jetés, mais sont recyclés pour la réalisation d'autres produits ou utilisés sur place pour la production d'énergie. Les produits comprenant une part importante de déchets industriels sont par exemple les panneaux de particules, les panneaux de fibres et les panneaux OSB. Après ces efforts couronnés de succès pour l'évitement de déchets, l'industrie se concentre désormais sur la réduction des déchets des consommateurs (aussi appelés «déchets post-consommation»). Il s'agit alors de recycler les matériaux et les biens de consommation éliminés par les ménages et les acteurs commerciaux, industriels ou étatiques à la fin de leur durée d'utilisation.

Economie circulaire dans la construction en bois

Utiliser les
déchets en tant
que ressource

Le bois n'est pas recyclé de la même manière que beaucoup d'autres matériaux recyclables (p. ex. papier, canettes en aluminium ou bouteilles en verre), qui sont généralement utilisés comme matières secondaires pour la production de biens de consommation similaires. Lors de la démolition ordonnée de bâtiments, le bois est en revanche réutilisé sous d'autres formes. Ce bois de récupération est une matière secondaire utilisé dans la construction et a son propre marché de niche. Du bois massif récupéré de bâtiments historiques est par exemple souvent transformé en parquets, en habillages ou en lambris.

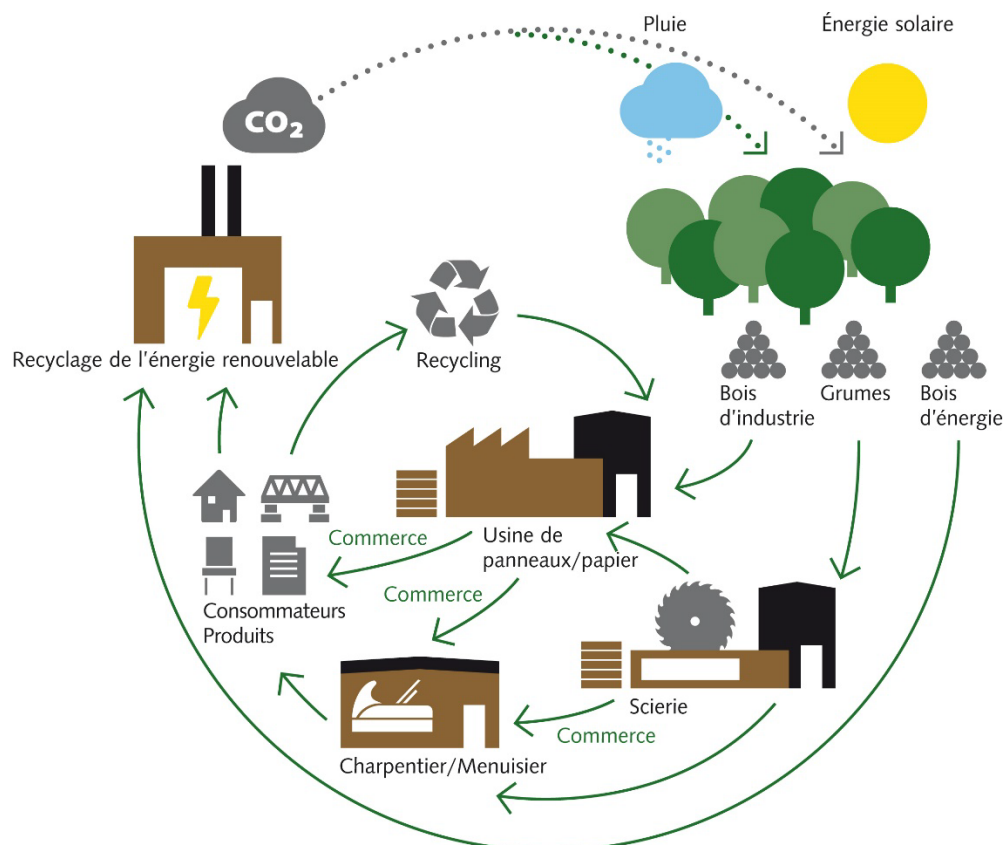


Figure 18: Economie circulaire dans la construction en bois (source: Lignum)

Le bois recyclé utilisé pour de nouveaux produits en bois a souvent été abattu il y a plusieurs siècles dans des forêts primaires. Ce bois est particulièrement apprécié en raison de son aspect unique et de sa résistance, de sa stabilité et de sa durabilité plus élevée, par rapport à du bois provenant d'abattages récents. La réutilisation de bois provenant de forêts primaires permet de revaloriser un matériau de grande valeur, de réduire la quantité de déchets, de prolonger la séquestration de CO₂ et de réduire l'impact sur l'environnement lié à l'achat et à la transformation de matières premières pour la réalisation de nouveaux produits.

Du berceau au berceau

Recyclage des matériaux

Aussi connu sous le nom de «cradle to cradle», ce principe vise à utiliser dans la construction des matériaux pouvant être recyclés à plusieurs reprises, au lieu de les jeter après utilisation. A l'avenir, des matériaux et des éléments de construction de maisons pourraient être utilisés plusieurs fois. Le recyclage systématique de ces matériaux permet d'économiser de l'énergie et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui est particulièrement pertinent dans le secteur de la construction, grand consommateur de ressources. Le secteur de la construction s'efforce par conséquent de développer des constructions réutilisables, dans le sens de l'économie circulaire. En tant que matière première renouvelée naturellement, le bois est particulièrement indiqué pour le principe du berceau au berceau.

Utilisations en cascade

Prolonger le cycle de vie

Le bois récolté peut avoir plusieurs vies. Idéalement, on visera des utilisations en cascade, allant de produits de grande valeur à des produits de faible valeur, puis finir par une utilisation comme bois d'énergie. Si le bois récolté dans une forêt gérée de manière durable – dans laquelle la récolte équivaut au renouvellement naturel – est d'abord utilisé principalement comme bois de sciage pour des produits à longue durée de vie tels que des maisons, des aménagements intérieurs et des meubles, le CO₂ atmosphérique séquestré dans celui-ci y reste pendant des dizaines d'années. Durant cette période, la forêt continue d'absorber du CO₂ à travers le renouvellement naturel, et ce nouveau bois peut à nouveau être récolté. Dans une deuxième étape, les vieux meubles, poutres, etc. peuvent être **recyclés**, par exemple pour la production de panneaux de particules. Le bois de construction peut ainsi être **réutilisé** en tant que tel. Un autre usage très apprécié est la transformation du vieux bois de construction en meubles de qualité, parquets, etc. Ce n'est que lorsqu'aucune autre utilisation matière ne peut être envisagée que le bois est utilisé comme source d'énergie.

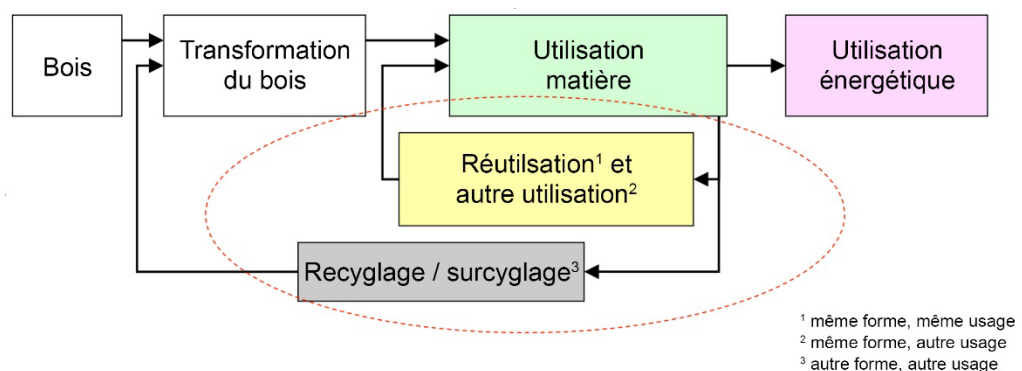


Figure 19: Utilisation du bois en cascade (source: A. Kammerhofer OFEV)

Idéalement, le bois doit être utilisé le plus souvent et le plus efficacement possible sous forme de matière, et n'être utilisé comme bois d'énergie qu'après plusieurs cycles en tant que produits. Avantage: le CO₂ séquestré dans le bois reste ainsi dans des produits en bois dont la durée de vie correspond à celle d'un arbre – et donc au renouvellement de la forêt. Cela contribue aussi bien à la sécurité d'approvisionnement et à l'utilisation économe des ressources qu'à la protection du climat et de l'environnement et à la création de valeur ajoutée dans l'économie de la forêt et du bois.

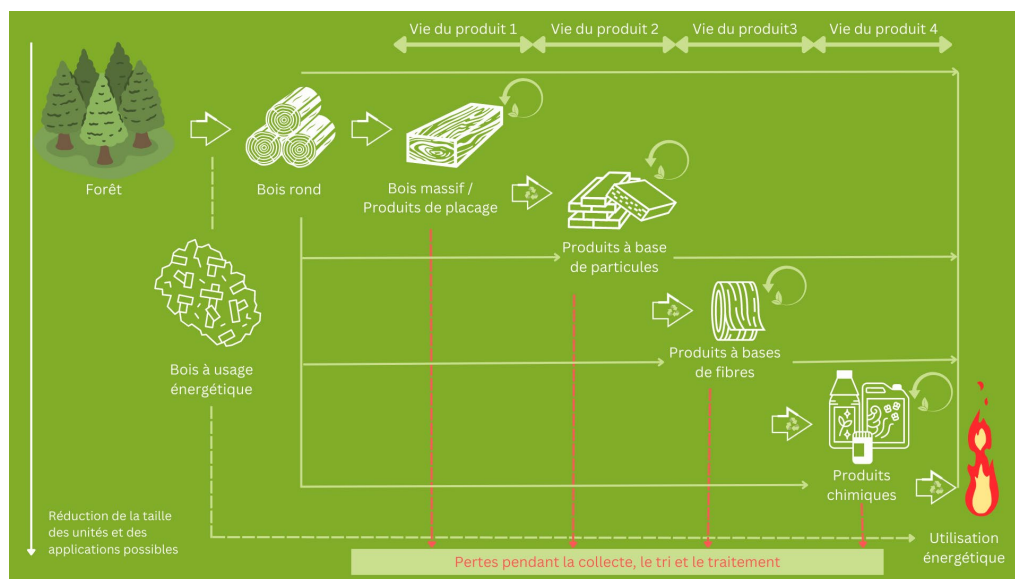


Figure 20: Utilisation en cascade d'après Höglmeier (source: ForêtSuisse)

Un reportage vidéo de l'agence allemande Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe intitulé «Holz mehrfach verwenden – Kaskadennutzung von Holz» (*Utilisation répétée du bois – utilisation en cascade du bois*) montre le fonctionnement d'une utilisation durable et efficace du bois et comment elle contribue à la protection du climat. Cette vidéo de 45 minutes est un projet de la Charte allemand pour le bois 2.0.

2.7.6. Efficacité énergétique et durabilité dans l'entreprise

Durabilité dans l'entreprise

La prise en compte de l'efficacité énergétique sous l'angle économique et écologique est essentielle, aussi bien pour les entreprises que pour la société dans son ensemble. Afin d'optimiser l'efficacité énergétique, on s'efforce d'obtenir davantage avec moins d'énergie. Au plan économique, cela permet de réduire les coûts, ce qui représente un avantage important dans une industrie où les marges sont souvent faibles et où la concurrence est vive. C'est notamment le cas dans des domaines comme la production et les transports, dans lesquels la consommation d'énergie représente une part importante des coûts d'exploitation.

Au plan écologique, l'efficacité énergétique est tout aussi importante: la réduction de la consommation d'énergie réduit la dépendance aux énergies fossiles et diminue les émissions de gaz à effet de serre, responsables du changement climatique. A une époque de préoccupations écologiques et d'exigences réglementaires

croissantes concernant la protection de l'environnement, l'efficacité énergétique joue un rôle clé pour l'élaboration de pratiques commerciales durables.

Les exemples suivants illustrent l'importance de l'efficacité énergétique, aussi bien au plan économique qu'au plan écologique. Ils montrent qu'une économie durable est non seulement respectueuse de l'environnement, mais peut aussi être rentable économiquement. Ce double avantage souligne le rôle central de l'efficacité énergétique dans l'économie actuelle.

Exemple: LED

Au cours de ces dernières années, les coûts de l'électricité n'ont cessé d'augmenter dans les entreprises de production. L'ancien éclairage à halogène est encore fonctionnel, de sorte que votre chef n'est pas convaincu d'investir dans ce domaine. Vous savez que les LED sont utilisées en standard dans de nombreuses entreprises. Avec quels arguments allez-vous convaincre votre chef pour passer aux LED?

Amorce de solution:

Le remplacement des ampoules halogène par des LED offre plusieurs avantages. Premièrement, les LED présentent une meilleure efficacité énergétique, ce qui permet d'abaisser sensiblement la facture d'électricité. Deuxièmement, les LED ont une plus grande durée de vie, ce qui signifie qu'elles doivent être remplacées moins souvent. Troisièmement, les LED dégagent moins de chaleur, ce qui améliore la sécurité. De plus, les LED offrent une meilleure qualité de lumière, ce qui améliore les conditions de travail et permet de réduire le taux d'erreur, ce qui améliore à son tour la qualité des produits. Dans cet exemple, le passage aux LED permet donc non seulement de réduire les coûts, mais aussi d'améliorer les conditions de travail et la sécurité, tout en réduisant l'impact sur l'environnement de l'entreprise.

Exemple: air comprimé

Le soir, vous êtes le dernier à quitter l'entreprise, et les installations sont arrêtées. Bizarrement, vous entendez malgré tout des sifflements le long des conduites d'air comprimé. Le lendemain, vous faites part de votre observation à un collègue, qui vous répond que ce n'est que de l'air et que l'air est de toute façon gratuit. Pourquoi a-t-il tort et que devriez-vous faire?

Amorce de solution:

L'air est «gratuit», mais la production d'air comprimé ne l'est pas. Elle requiert de l'énergie électrique onéreuse.

Le sifflement provenant des conduites d'air comprimé, le soir, lorsque toutes les installations sont arrêtées, révèle des fuites dans le système. Ces fuites sont problématiques car elles signifient que le compresseur doit travailler inutilement pour maintenir la pression. Cela entraîne une consommation d'énergie accrue, avec des coûts correspondants, même en l'absence de production.

Il est important d'identifier et d'éliminer ces fuites au plus vite. Un système d'air comprimé étanche est non seulement plus efficace et plus économique, mais améliore aussi la fiabilité et la sécurité de l'installation. Une maintenance et un contrôle réguliers des systèmes d'air comprimé sont par conséquent essentiels pour éviter ces problèmes et maintenir les frais d'exploitation bas. En supprimant ces fuites, vous pouvez économiser des coûts importants à long terme et améliorer l'efficacité de l'entreprise.

Les plus grandes économies sont réalisées en mettant à profit la chaleur produite de toute manière par les compresseurs: cette chaleur est généralement utilisée pour le chauffage ou la production d'eau chaude, parfois aussi pour des processus, par exemple le chauffage de pièces à usiner ou des usages similaires.

Exemple: consommation de carburant des chariots élévateurs

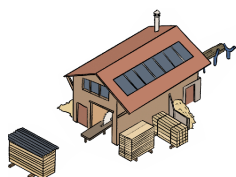
Votre entreprise utilise des chariots élévateurs à moteurs thermiques. Que pouvez-vous faire, dans votre travail quotidien, pour améliorer l'efficacité et la performance de ces véhicules?

Amorce de solution:

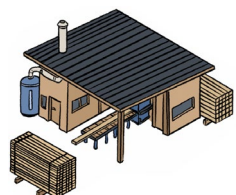
Tout d'abord, il est important de conduire les chariots élévateurs avec soin. Accélérer et freiner doucement permet d'éviter un fonctionnement à vide inutile des véhicules, et un déplacement à vitesse constante permet de réduire la consommation de carburant. Une conduite agressive augmente la consommation de carburant et accélère l'usure des véhicules.

Veillez également à la pression des pneus des chariots élévateurs. Même si vous n'êtes pas mécanicien, il n'est pas compliqué de contrôler régulièrement la pression des pneus et de vous assurer qu'elle correspond aux indications du constructeur. Une pression des pneus correcte améliore l'efficacité énergétique et la sécurité, ainsi que la maniabilité des véhicules.

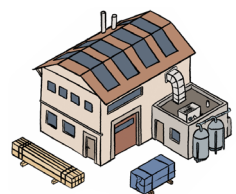
3. Logistique



Scierie



Raboterie



Usine de collage



Commerce

CO b3: Préparer les livraisons de produits semi-finis et de produits en bois

CO b4: Gérer les stocks de sciages, de produits en bois, de matières auxiliaires et de consommables, saisir les données et les informations correspondantes et les transmettre

Une fois les produits en bois produits, ils sont mis à disposition des clients et livrés ou pris en charge à la scierie. Dans ce cadre, on veillera non seulement au respect des délais, mais aussi à ce que les marchandises soient livrées dans la qualité et la quantité adéquates. Le stockage et la logistique font par conséquent l'objet de processus harmonisés.



Figure 21: Le stockage est un facteur de réussite dans l'entreprise. (source: deligno ag)

Tâches pratiques dans l'entreprise

Stades de production 1 et 2:

- Stocker les marchandises de manière économique et sûre
- Stocker les sciages et les produits à base de bois en préservant leur valeur
- Tenir la comptabilité du stock et l'inventaire; définir les emplacements de stockage (conditions d'air, propreté, etc.)
- Gérer l'entrepôt / le chantier à grumes
- Préparer les sciages et les produits à base de bois pour la livraison selon les indications spécifiques du client.
- Emballer les produits conformément à la commande ou aux instructions de l'entreprise: Eviter les dommages de transport, étiqueter l'emballage
- Déplacer les marchandises en respectant l'environnement
- Réceptionner et stocker les moyens auxiliaires, les matières consommables

Cours interentreprises 7

- Commissionner des produits à base de bois

Situations professionnelles

- Vous stockez les produits en bois de manière correcte, efficace et en préservant leur valeur.
- Vous donnez des informations sur l'état des commandes et les temps de processus sur la base d'informations sur les stocks de marchandises (quantités livrées, qualités).
- Vous étiquetez les paquets pour le stockage interne ou l'expédition.
- Vous préparez les commandes des clients et les liez à l'aide de machines de cerclage.

Objectifs d'apprentissage

Flux des marchandises et logistique:

- Vous décrivez les flux de marchandises et la logistique de votre entreprise.
- Vous réalisez une esquisse des flux de marchandises dans votre entreprise – de la réception des matières premières à la livraison des produits finis aux clients.
- Vous décrivez l'importance de la logistique de l'entreprise et vous définissez des critères pour son évaluation, vous identifiez des possibilités d'optimisation sur la base de cas concrets et vous proposez des mesures correspondantes.
- Vous expliquez l'importance de l'inventaire des stocks et de sa tenue à jour pour la disponibilité en matière de production et de livraison. Vous décrivez les moyens auxiliaires conventionnels et numériques pour la saisie des données.

Préparation et conditionnement des commandes:

- Vous expliquez différentes techniques de préparation des commandes, ainsi que leurs avantages et désavantages.
- Vous expliquez les moyens auxiliaires pour le conditionnement en fonction des domaines d'utilisation, ainsi que leurs avantages et désavantages.

Étiquetage des marchandises:

- Vous décrivez les moyens auxiliaires conventionnels et numériques pour la saisie et la transmissions d'informations sur la livraison des marchandises, ainsi que leurs avantages et désavantages.
- Vous identifiez les labels de qualité des produits en bois.

Enlèvement et livraison:

- Vous vous chargez de la remise des marchandises aux clients et vous connaissez le transfert des profits et risques.

3.1. Flux des marchandises et logistique

De nos jours, la logistique est définie comme suit: «La logistique est l'ensemble des activités qui permettent de gérer et d'optimiser les flux de marchandises depuis le fournisseur jusqu'au client final. Elle englobe la planification, la mise en œuvre et le contrôle des opérations de la chaîne d'approvisionnement.» (<https://infonet.fr/lexique/definitions/logistique/>, 16.05.2023)

Les chapitres suivent concernant pour l'essentiel la logistique des stocks. Les domaines voisins sont toutefois également abordés.

3.1.1. Importance de la logistique d'entreprise

Dans toute entreprise de production ou de commerce, un flux de marchandises optimisé est essentiel. Chaque étape de processus coûte de l'argent et mobilise du personnel, des machines et des moyens de transport. De plus, et malgré tous les développements positifs de ces dernières décennies, le bois et les produits en bois sont encore considérés comme des matériaux de construction avantageux. Parallèlement, les produits en bois sont volumineux, ce qui fait que les installations et les engins pour le transport des marchandises au sein de l'entreprise sont relativement onéreux, tant à l'achat et qu'au fonctionnement. La part des coûts de logistique dans la valeur des marchandises est par conséquent plus élevée dans le secteur du bois que dans d'autres secteurs traitant des produits de plus grande valeur. Une attention particulière sera par conséquent accordée à la logistique interne, dans les entreprises du secteur du bois. L'objectif est de réduire les coûts de la logistique en optimisant son organisation.

Demandez-vous: comment fonctionne le flux des marchandises au sein de votre entreprise? Esquissez le cheminement du bois depuis la réception des produits bruts jusqu'à l'expédition, en passant par la production et le stockage.

Représentation simplifiée du flux de marchandises dans une raboterie.

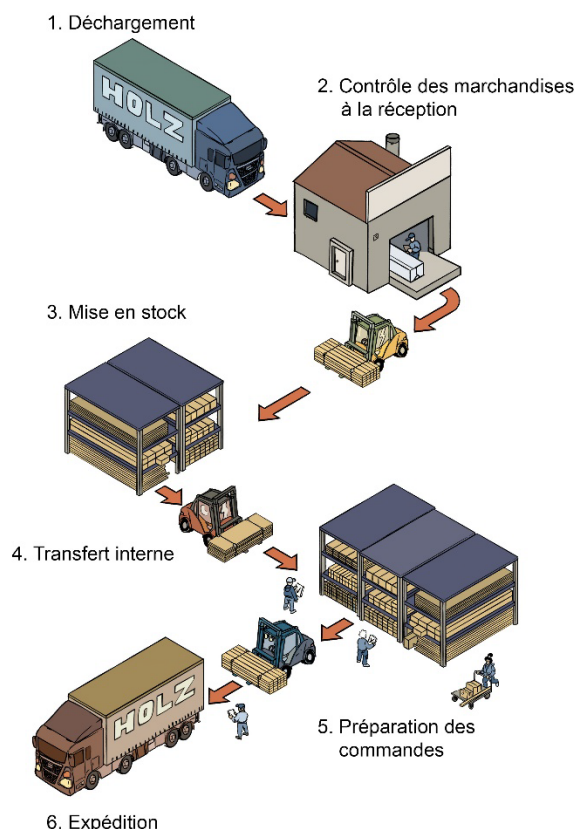


Figure 22: Flux de marchandises simplifié (source: IBS)

Explication des différentes étapes de processus de la logistique interne:

<i>Etape de processus</i>	<i>Activité du magasinier</i>
Déchargement	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle visuel quant à d'éventuels dégâts extérieurs • Contrôle des informations du bulletin de livraison quant à la marchandise commandée (quantité, dimensions, désignation) • Signature du bulletin de livraison ou inscription d'écarts • Déchargement soigneux vers le dépôt intermédiaire • Joindre le bulletin de livraison à la marchandise
Contrôle des marchandises à la réception Production	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle détaillé / échantillon de la marchandise livrée • Contrôle des caractéristiques demandées et du nombre de pièces • Visa du contrôle à la réception • Les marchandises défectueuses sont bloquées Celles-ci ne vont pas dans le stock disponible → Stock réclamations • Transmission du bulletin de livraison au bureau d'expédition • Production / fabrication de l'article
Mise en stock	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en stock à l'emplacement prévu • Veiller à une mise en stock dans les règles de l'art • Noter / scanner l'emplacement de stockage • Scanner l'article et le relier à l'emplacement de stockage
Transfert interne	<ul style="list-style-type: none"> • Changement d'emplacement en raison de goulet d'étranglement, de dommages dans l'entrepôt ou de réorganisation de l'entrepôt • Noter la sortie de l'ancien emplacement et l'entrée dans le nouvel emplacement
Préparation des commandes (déstockage partiel)	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation • Contrôle des articles et du nombre de pièces, noter la sortie du stock • Noter / scanner le solde du stock • Envoyer le bulletin de préparation avec visa au bureau d'expédition
Expédition	<ul style="list-style-type: none"> • Sortir du stock et mettre à disposition pour l'expédition (stock des commandes préparées) ou chargement directement en camion • Contrôle des articles et du nombre de pièces, noter / scanner la sortie du stock • Apporter le bulletin de préparation avec visa au bureau d'expédition

3.1.2. Critères pour l'évaluation des possibilités d'optimisation

Les principaux critères pour l'évaluation de l'efficacité de la logistique interne sont les temps de travail et de chargement nécessaires pour chaque étape de processus le long de la chaîne de création de valeur ajoutée.

Exemple concret 1 – production

Un paquet de sciages est amené vers la raboteuse et raboté. Après la sortie de la dernière lame, il faut 15 minutes jusqu'à ce que le prochain paquet soit prêt à être raboté: le machiniste met 5 minutes pour cercler le paquet de lames rabotées et y fixer l'étiquette correspondante, puis il attend 10 minutes. La raboteuse ne produit donc pas (tourne à vide) pendant 15 minutes. Comment optimiser le processus?

Amorce de solution:

Prévoir un stock tampon avant et après la raboteuse, permettant d'y placer un deuxième paquet. Les lames brutes sont amenées par le cariste pendant la production du premier paquet. Une fois le premier paquet raboté, il est enlevé par le cariste et amené dans l'entrepôt. Le machiniste dispose de nouveau d'un emplacement vide derrière la machine et peut continuer à produire. Il est ainsi possible de produire en continu et d'optimiser la capacité de production.

Exemple concret 2 – chargement d'un camion

Le camion est sur la place de chargement, prêt à charger. Le cariste a besoin d'environ 6 minutes pour sortir chaque paquet du stock. Le processus de chargement pour 8 paquets prend ainsi 48 minutes et le camion a un long temps d'attente.

Amorce de solution:

A des moments moins chargés, le jour de l'expédition ou avant, les 8 paquets sont regroupés près de la place de chargement. La durée de cycle par paquet peut ainsi être réduite à 3 minutes et le camion peut être chargé en 24 minutes.

Exemple concret 3 – préparation de plusieurs livraisons

La commande d'un client comprend trois différents articles en petites quantités. L'article A est placé tout en bas du stock; trois autres paquets doivent être déplacés pour pouvoir y accéder. Pour l'article B, le magasinier doit parcourir tout l'entrepôt avant de le trouver. Pour l'article C, il n'y a que 60 pièces en stock, alors que la commande porte sur 80 pièces.

Amorce de solution:

Le stockage d'articles fréquemment commandés dans un rayonnage à bras en porte-à-faux permet d'accéder directement à ces articles. La définition des emplacements de stockage pour chaque article évite de devoir chercher longtemps. Une gestion des stocks tenue à jour évite de donner au client un délai de livraison qu'on ne pourra pas tenir.

3.2. Etiquetage des marchandises

Afin de tenir et de gérer correctement les stocks, les marchandises doivent être étiquetées clairement et précisément. L'étiquetage correspond aux informations contenues dans la documentation de vente et les bulletins de préparation, et comprend au moins les informations suivantes:

- Nom du produit
- Essence
- Qualité
- Humidité du bois
- Dimensions
- Nombre de pièces

En raison des exigences légales, il faut également indiquer la provenance du bois (obligation de déclarer). Pour la désignation correcte des produits en bois, il est utile de se baser sur le document Bois et panneaux à base de bois: critères de qualité dans la construction et l'aménagement intérieur (Usages du commerce en Suisse). Des désignations propres à l'entreprise sont fondamentalement également permises. Elles compliquent toutefois la communication avec le marché et les clients.

L'étiquetage doit être fixé sur le produit de manière durable et solide, afin qu'il ne puisse pas être endommagé par le vent, les intempéries, le rayonnement UV ou de légers contacts mécaniques. Il est recommandé d'utiliser des étiquettes pouvant être lues de loin, ce qui facilite le contrôle des stocks.



Figure 23: Etiquetage de marchandises dans une raboterie. Les détails peuvent être consultés au moyen d'un code QR. (source: deligno ag)

3.2.1. Autres moyens de marquage

Certaines petites entreprises marquent encore les produits à la craie ou au feutre. Cela présente l'inconvénient que le marquage des produits comprend rarement la désignation complète du produit et que la qualité des données n'est pas assurée. Lors du processus de préparation des commandes, le marquage à la craie est encore en usage; au-delà, l'étiquette complète est fixée sur le paquet.

Les marquages usuels dans le secteur sont des étiquettes de paquet avec la désignation du produit. L'étiquette de paquet est constituée d'un matériau résistant imprimable (p. ex. papier Kraft, Tyvek ou similaire) et est fixée directement sur le bois au moyen d'agrafes. Point important: les étiquettes de paquet devraient être fixées au moyen d'agrafes en matière plastique, afin d'éviter des dégâts aux machines lors des prochaines étapes de travail. Les agrafes métalliques sont à éviter.

Les systèmes de gestion modernes impriment, en plus, un code à barres sur l'étiquette, afin que la désignation du produit puisse être lue par une machine.

Dans la deuxième transformation industrielle, les produits de construction (p. ex. bois collés) sont de plus en plus identifiés individuellement au moyen d'une imprimante intégrée dans la ligne de production. Malgré cela, le paquet représentant une unité de livraison est toujours muni d'une étiquette de paquet.

Il est aujourd'hui techniquement possible d'enregistrer les caractéristiques du produit dans une puce et de fixer cette puce sur le bois. Ce système ne s'est pas encore imposé pour les produits de construction. Il est en revanche utilisé sous forme de puces RFID p. ex. sur des conteneurs, pour le fret maritime. Ces puces peuvent également être lues à distance, afin de pouvoir connaître l'emplacement des produits à tout moment.

3.2.2. Exigences relatives à l'étiquetage

Dans la construction, l'étiquetage dépend en grande partie de l'usage prévu pour le produit et des exigences auxquelles il doit répondre. Il n'y a pas de dispositions unifiées pour l'étiquetage de tous les produits à base de bois. Il y a toutefois certaines dispositions à respecter.

Loi sur les produits de construction Fondamentalement, la loi sur les produits de construction prescrit comment un produit peut être mis sur le marché en Suisse. Ces dispositions sont présentées de manière détaillée dans ce qu'on appelle les normes techniques. Citons à titre d'exemple la norme pour les portes avec des spécifications en matière de résistance au feu SN EN 14351-1. Sur la base des dispositions légales, les produits de construction harmonisés doivent être munis d'une déclaration de performance décrivant les performances du produit (dans la construction en bois, par exemple: résistance à la flexion et résistance à la traction). Dans tous les cas, un produit de construction ne doit pas présenter de risques pour la sécurité.

Marquage CE Sur la base de la déclaration de performance, la plupart des produits sont marqués avec le sigle CE pour «conformité européenne». Ce sigle signifie que le produit peut être commercialisé sans restriction en Suisse et dans l'UE, parce qu'il répond à toutes les exigences en termes de sécurité, de protection de la santé et de protection de l'environnement (SNV, 2023). En Europe, le marquage CE est obligatoire, en Suisse seulement si la législation le demande explicitement ou si un produit est exporté vers le marché européen ou l'EEE. Dans de nombreux cas, le marquage CE peut être réalisé par le producteur lui-même.



Si un produit ne répond pas aux exigences ou si le marquage CE est utilisé de manière frauduleuse, des mesures sont prises par les autorités des Etats membres. Cela peut entraîner un rappel des produits, voire leur destruction. Les

auteurs de telles fraudes peuvent faire l'objet d'amendes, voire de peines privatives de liberté dans les cas graves. Dans les cas moins graves, le producteur fautif écope d'un avertissement.

Usages du commerce du bois En plus des dispositions légales, le secteur a élaboré des dispositions supplémentaires pour les produits à base de bois. Les usages du commerce du bois (cf. www.lignum.ch) définissent notamment les critères de qualité et les classes d'aspect pour le bois et les panneaux à base de bois dans la construction et l'aménagement intérieur. L'Association suisse des raboteries (ASR) développe les possibilités et les limites des produits en bois dans ses propres fiches techniques, afin de proposer des informations transparentes au marché (cf. www.vsh.ch). Par ailleurs, certains produits font l'objet, en Suisse, d'une obligation de déclarer.

Obligation de déclarer Depuis 2012, nous avons en Suisse une ordonnance sur la déclaration concernant le bois et les produits en bois (www.konsum.admin.ch, 2023). Cette ordonnance s'appuie sur la loi sur l'information des consommatrices et des consommateurs et règle l'obligation de déclarer concernant l'essence et l'origine des bois ronds et du bois brut, ainsi que de certains produits en bois massif. Une liste détaillée est disponible sur le site Internet www.konsum.admin.ch du Bureau fédéral de la consommation. L'objectif de l'obligation de déclarer est d'améliorer la transparence pour les consommateurs, afin qu'ils puissent prendre leurs décisions d'achat en parfaite connaissance de cause. Les personnes qui remettent du bois et des produits en bois à des consommateurs sont tenues de déclarer l'essence et l'origine du bois (le pays où le bois a été abattu) et d'étiqueter les produits en conséquence.

RBUE/RDUE En vertu de la nouvelle ordonnance sur le commerce du bois, les importateurs de bois doivent également, depuis 2022, assurer que le bois importé a été abattu légalement (www.bafu.admin.ch, 2022). Et à partir de 2024, le nouveau Règlement européen contre la déforestation et la dégradation des forêts (RDUE) vise à s'assurer que les produits importés dans l'UE et exportés depuis l'UE n'ont pas engendré de déforestation ou de dégradation des forêts. La Suisse applique cette réglementation, mais connaît déjà, pour ses propres forêts, une loi sur les forêts plus sévère, en comparaison internationale.

3.2.3. Labels de qualité

Les entreprises réalisant des produits de construction s'efforcent naturellement de souligner et de certifier tous les avantages de leurs produits. Des labels de qualité permettent de souligner ces avantages sur le marché, et même de les renforcer. Les principaux labels de qualité pour le secteur du bois sont les suivants:

Label Bois Suisse

Le label Bois Suisse a été créé en 2009 par Lignum Economie suisse du bois, l'organisation faîtière de l'économie suisse de la forêt et du bois, et revu en 2022. Ce label peut être porté par le bois abattu et transformé en Suisse. Si un produit est constitué de plusieurs bois différents, au moins 80% de son bois doit provenir de Suisse pour que le produit puisse porter le label Bois Suisse. Le solde doit provenir de pays ou de régions avec des conditions de production comparables. Ce label rouge est délivré par Lignum et est apposé sur les produits eux-mêmes, sur les bâtiments ou sur les factures et les offres (www.holz-bois-legno.ch).



Label PEFC

Ce système de certification remonte à la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement de Rio de Janeiro et repose sur les décisions votées par 37 pays lors des conférences ministérielles pour la protection des forêts en Europe, (Helsinki 1993, Lisbonne 1998). Des organismes de certification indépendants assurent que les forêts dont provient du bois PEFC sont exploitées de manière durable, selon des standards écologiques, économiques et sociaux (www.pefc.ch).



Label FSC

Le label FSC est délivré par le Conseil international de gestion forestière FSC (Forest Stewardship Council). Le FSC a fixé des principes et des critères portant sur l'exploitation des forêts suivant des critères écologiques et sociaux. Ces standards doivent être respectés dans les forêts du monde entier portant le label FSC. Le label FSC doit attester que le bois provient de forêts exploitées de manière respectueuse de l'environnement et socialement supportable. Un produit en bois ne peut porter le label FSC que si le bois provient bien d'une forêt FSC (www.fsc-schweiz.ch).



Label de qualité Lignum «imprégnation en autoclave»

Le label de qualité Lignum «imprégnation en autoclave» fait partie d'un concept global de protection du bois contre les attaques de champignons et d'insectes. Ce concept dépend de la commission de la préservation du bois (HSK). Il vise la promotion d'éléments de construction appropriés et de qualité, imprégnés en autoclave, pour les classes d'emploi 3 (à l'extérieur, exposé aux intempéries) et 4 (à l'extérieur, en contact avec le sol ou l'eau douce). Ce label de qualité Lignum est attribué à des produits en bois qui présentent une imprégnation techniquement irréprochable et appropriée, selon les dispositions du règlement correspondant.



Label de qualité «Revêtements de façades en bois»

Ce label a été créé en 2011 par Lignum, avec des partenaires du secteur (entreprises de rabotage et fabricants de fenêtres). Ses exigences portent en premier lieu sur la durabilité du système de façade. Ce label atteste la durabilité des produits, comprenant le matériau raboté lui-même et le traitement de surface appliqué sur celui-ci. En 2022, Lignum a décidé d'abandonner ce label. L'Association suisse des raboteries le maintien sous une nouvelle forme (www.vsh.ch).

3.3. Conditionnement des produits

3.3.1. Moyens auxiliaires pour le conditionnement

Types de moyens auxiliaires et description

Le conditionnement de produits en bois vise en premier lieu à les protéger de l'eau pendant le transport (pluie, eau projetée), de l'humidité en cas de stockage en conditions atmosphériques, de salissures ou du rayonnement UV. Les conditionnements actuellement les plus utilisés sont des films plastiques. Comme conditionnement destiné uniquement pour le transport, on peut utiliser des simples films minces ou des films plastiques étirables à enrouler autour des marchandises. Pour les paquets de sciages stockés un certain temps à l'extérieur, on utilise des films renforcés, avec une protection UV.

Pour les produits finis industriels de grande longueur (poutres en lamellé-collé), des enrouleuses automatiques sont généralement intégrées directement dans le processus de production. Ces machines utilisent généralement des films noirs, du fait que les films blancs ne protègent pas suffisamment des UV, et qu'une durée de stockage prolongée peut entraîner une altération de la teinte de la surface du bois.

Important: les films plastiques ne sont pas toujours durablement étanches à l'eau. L'eau peut pénétrer entre les différents tours d'un film enroulé et entraîner des dégâts dus à l'humidité. Un contrôle périodique est par conséquent recommandé, et des mesures supplémentaires doivent être prises, si nécessaire. On évitera également un emballage complet avec un film plastique, car l'humidité résiduelle du bois ne pourra alors pas s'évacuer sous l'effet d'un rayonnement solaire direct, ce qui peut entraîner une attaque de champignons.

Lors du conditionnement de produits de grande qualité, il est particulièrement recommandé d'imprimer des avertissements correspondants sur l'emballage.

Comme pour les étiquettes de paquet, il est important de ne pas fixer l'emballage sur le bois au moyen d'agrafes métalliques, mais d'agrafes en matière plastique, afin d'éviter des dégâts aux machines.

Le volume croissant de déchets plastiques entraîne un rejet toujours plus important des matériaux d'emballage à usage unique. C'est pourquoi on observe toujours plus de transports de paquets non protégés dans des véhicules fermés ou simplement recouverts de films de protection légers sur la face supérieure du paquet. De nos jours, les produits en bois séchés au four sont majoritairement stockés dans des halles fermées.

Ici et là, on utilise aussi du papier kraft à base de carton. Son utilisation est toutefois techniquement plus difficile et les coûts du matériel d'emballage sont plus élevés.

Dans les raboteries, les produits dont les surfaces ont été traitées avec des produits formant un film doivent être séparés par des bandes séparatrices, afin d'éviter que la pression ou les frottements entraînent un collage pendant le stockage ou lors du transport.

La recherche développe régulièrement de nouveaux matériaux d'emballage écologiques. A ce jour, ils ne se sont toutefois pas encore imposés en grandes quantités.

3.3.2. Cercleuses et enrouleuses

Une cercleuse est une machine utilisée pour munir des paquets, des cartons ou des palettes d'une bande de cerclage. Cette bande de cerclage est placée autour de l'objet, puis serrée et fermée par la machine. Il existe différents types de cercleuses, dont des manuelles, des semi-automatiques et des automatiques (www.hagenauer-denk.de, 2023). Le mode de fonctionnement exact peut varier selon le type de machine, mais en règle générale, le cerclage comprend les étapes suivantes:



Figure 24: Cercleuse en cours d'utilisation. (source: OLWO AG)

1. Préparation: la banque de cerclage est chargée dans la machine, et la machine est réglée pour assurer la tension et la longueur nécessaires de la bande.
2. Placement de l'objet: l'objet à cercler est placé sur la machine, sur une palette ou directement sur la bande transporteuse.
3. Placement de la bande autour de l'objet: la bande de cerclage est passée autour de l'objet et mise en place.
4. Mise en tension de la bande: la machine tire la bande et assure une fixation sûre de l'objet. Sur les machines manuelles, la bande est souvent tendue à la main.
5. Fermeture de la bande: la bande de cerclage est fermée, pour la fixer sûrement. Cela peut se faire par soudure, au moyen d'agrafes métalliques ou par une autre méthode, selon le type de machine.
6. Coupure de la bande: le surplus de bande est coupé, afin d'obtenir un cerclage propre.

Une enrouleuse est utilisée pour envelopper des objets tels qu'une palette ou des câbles dans un film de protection. Cette machine peut également être manuelle ou automatique. Le mode de fonctionnement exact peut varier selon le type de machine, mais en règle générale, le processus comprend les étapes suivantes (www.grasshoff.de, 2023):

1. Préparation: l'objet à envelopper est placé sur la machine et le film plastique est préparé.
2. Aménage du film: le film de protection est déroulé par la machine et mis en position.
3. Enveloppement: la machine tourne l'objet lentement et régulièrement, pendant que le film de protection est enroulé autour de lui. Cela peut se faire au moyen de rouleaux ou d'autres mécanismes.
4. Mise en tension et étirement: dans certains cas, le film de protection est mis sous tension et étiré pendant l'enveloppement, afin d'assurer un enveloppement ferme et sûr.
5. Fixation: à la fin de la procédure d'enveloppement, le film de protection est coupé et fixé, manuellement ou automatiquement.

Le mode de fonctionnement exact d'une cerceuse et d'une enrouleuse peut varier suivant le fabricant et le modèle. Il est important de suivre les instructions du fabricant et d'opérer la machine correctement, afin d'obtenir un enveloppement sûr et efficace.

Parallèlement ou en plus du cerclage ou de l'enveloppement, on veillera également à la protection des arêtes. Notamment lors du conditionnement de palettes, une bonne protection des arêtes est un moyen important pour bien protéger les marchandises.

3.4. Stockage des produits

3.4.1. Principes de base

Stockage

Les entreprises de l'industrie du bois tiennent généralement un stock avec divers produits semi-finis ou finis. Les raisons de ce stock sont liées au souhait d'une disponibilité élevée, du fait qu'un grand nombre de produits requièrent un temps de production relativement long. D'un autre côté, la constitution de stocks est inhérente à l'industrie du bois. En effet, la production de sciages dans la scierie est une production couplée: lors de la réalisation d'un produit principal destiné à un client, il y a toujours des sous-produits qui ne peuvent pas être vendus immédiatement et qui doivent être stockés. De plus, en raison du triage en fonction des classes de qualité spécifiques aux clients, les scieries et les raboteries produisent toujours une part de marchandises de moindre qualité (rebut de triage), qui doivent également être stockées et pour lesquelles il faut trouver des canaux de vente spécifiques.



Code QR: vidéo YouTube: «Stockage avec transport automatique». (source: OLWO AG)

Les produits invendus en stock immobilisent du capital et peuvent, selon les circonstances, réduire sensiblement la liquidité d'une entreprise. La quantité de produits en stock ne doit par conséquent pas augmenter de manière incontrôlée. Un stock doit être planifié, tenu, entretenu et géré. La taille effective et la nature du stock sont définies par la stratégie de produit, de marché et de clients de l'entreprise. Une entreprise qui tient un stock important de produits en bois doit réfléchir à l'emplacement, aux exigences de qualité (bâtiment) aux technologies et au taux de rotation des différents produits en stock.

Les produits en bois peuvent subir des déformations ou des dommages en raison d'un stockage inadéquat (p. ex. points de compression). De l'humidité indésirable peut entraîner une perte de qualité, voire une attaque de champignons. Un rayonnement solaire excessif peut entraîner la formation de fentes ou une altération de la teinte. Tous ces dégâts dus au stockage réduisent la valeur des produits en bois stockés et entraînent finalement des pertes financières pour l'entreprise. Il faut par conséquent impérativement stocker correctement les produits en fonction de leur qualité et prendre les mesures de protection nécessaires.



Figure 25: La manipulation soigneuse des produits dans l'entrepôt est déterminante. (source: OLWO AG).

3.4.2. Possibilités et techniques de stockage

Qualité du stockage

Selon la qualité et l'emploi prévu des produits en bois, ceux-ci peuvent être stockés comme suit:

A l'extérieur sans protection	Sciages frais, peu avant leur chargement
A l'extérieur sous une tôle	Sciages frais et en début de séchage
Emballés dans un film, à l'extérieur	Sciages séchés humidité <15%, bois collé
Dans une halle ouverte	Sciages séchés à l'air (lutro), produits finis avantageux, emploi extérieur
Dans une halle fermée	Sciages séchés au four, produits finis pour la construction
Dans une halle climatisée	Bois de qualité, bois d'ébénisterie, bois pour lambris intérieurs

Dans le cas de lieux de stockage près d'une source d'humidité (rivière, lac) ou dans des régions à brouillard fréquent, des halles fermées sont recommandées. On évitera un fort rayonnement solaire direct. Le lieu de stockage est déterminant pour la qualité des produits en bois stockés.

Mode de stockage pour paquets

Stockage par blocs

Le mode de stockage le plus simple et le plus avantageux pour des paquets est le stockage par blocs et un transbordement des marchandises par chariot élévateur à fourche frontale. Ce mode de stockage convient pour des produits de masse et lorsque des paquets de produits identiques ou échangeables sont stockés sur le même emplacement. Le chariot élévateur à fourche frontale exige toutefois de grandes surfaces de roulement pour tourner et, en cas de stockage sous couvert, des halles avec de grandes portées.

Le désavantage du stockage par blocs est que le premier paquet mis en stock est recouvert par les paquets suivants, et reste donc souvent longtemps en stock. Dans le cas du stockage par blocs, une rotation régulière des paquets n'est assurée qu'au moyen d'une organisation relativement complexe.



Figure 26: Stockage par blocs. (source: deligno ag)

Stockage sur rayonnages en allées

Avec l'arrivée, à partir des années 1970, des chariots élévateurs à fourche latérale, les stocks avec des rayonnages à gauche et à droite des allées se sont développés. Dans les halles de stockage usuelles en Suisse, avec des portées réduites, ce mode de stockage est particulièrement avantageux. Comme les paquets peuvent être superposés jusqu'à environ cinq mètres de hauteur, ils doivent, là aussi, être homogènes. L'accès aux paquets du dessous n'est possible qu'au prix de manipulations complexes. Les paquets d'environ 1,20 mètres de largeur et jusqu'à cinq mètres de hauteur ne sont pas sans danger, du fait qu'ils ne sont pas très stables.



Figure 27: Stockage sur rayonnages en allées. (source: deligno ag)

Rayonnage à bras en porte-à-faux

Dans l'industrie suisse du bois, les systèmes de stockage avec rayonnage à bras en porte-à-faux et desserte par chariot élévateur à fourche latérale se sont également imposés, notamment en raison de l'économie de place qu'ils permettent. Le système à bras en porte-à-faux permet une manutention par paquets et une grande flexibilité, ainsi qu'un accès à différents assortiments et longueurs, mais présente une densité de stockage moindre que le stockage par blocs en raison des bras en porte-à-faux et des espaces libres entre les rayonnages. Grâce aux développements techniques des chariots élévateurs à fourche latérale, à partir des années 80, il est également possible de stocker et de manutentionner deux paquets l'un derrière l'autre par côté d'allée, ce qui permet une densité de stockage par m² de surface au sol nettement plus élevée.

La hauteur usuelle des rayonnages à bras en porte-à-faux desservis par des chariots élévateurs sur pneus à fourche latérale est d'env. 6 m.

Pour des hauteurs de stockage jusqu'à dix mètres, on utilise des rayonnages à bras en porte-à-faux avec des chariots élévateurs à quatre voies. Ces engins requièrent des allées larges et un radier en béton, afin d'assurer la stabilité et la sécurité de la manutention en hauteur. Des systèmes d'aide électroniques (caméra et laser) sont recommandés pour la manutention à des hauteurs supérieures à six mètres.

Tous les modes de stockage peuvent être mis en place aussi bien à l'extérieur qu'en halle. Les rayonnages à bras en porte-à-faux présentent l'avantage que les montants peuvent également servir de support à un toit de halle, s'ils sont dimensionnés en conséquence.



Figure 28: Rayonnage à bras en porte-à-faux. (source: OLWO AG)

3.4.3. L'inventaire du stock

En vertu de l'art. 958c, al. 2 du code suisse des obligations, les entreprises tenues d'établir des comptes doivent justifier par un inventaire ou d'une autre manière le montant de chaque poste présenté dans le bilan et dans l'annexe (www.mm-logistik.vogel.de, 2023). Mais un tel inventaire n'est pas seulement important pour ces entreprises. La connaissance précise de toutes les marchandises et de tous les produits en stock permet d'assurer un service efficace et fiable à la clientèle, évite les goulots d'étranglement, les stocks excédentaires et les pertes, et permet d'optimiser les coûts de stockage (www.mm-logistik.vogel.de, 2023). L'inventaire est généralement réalisé à la fin d'un exercice. Dans ce cadre, tous les stocks sont comptés, saisis et évalués quant à la valeur des marchandises.

Il existe plusieurs méthodes pour saisir le stock de marchandises et de produits. Voici quelques méthodes usuelles:

- **Inventaire physique.** Dans le cas de l'inventaire physique, les marchandises et les produits sont comptés manuellement dans l'entrepôt et comparés aux données du système de comptabilité. Cette méthode convient pour les petites entreprises avec un stock limité.
- **Inventaire par échantillonnage.** Dans le cas de l'inventaire par échantillonnage, seule une partie du stock est comptée physiquement. Le reste est estimé sur la base d'échantillonnages. Cette méthode permet un gain de temps, mais est moins précise qu'un inventaire complet.
- **Inventaire comptable.** Dans le cas de l'inventaire comptable, l'inventaire est déterminé sur la base des documents comptables. Pour cela, les entrées et les sorties de marchandises sont saisies dans le système de comptabilité, et le stock est actualisé en conséquence. Cette méthode convient principalement pour les entreprises avec un grand volume de marchandises et une comptabilité bien tenue.
- **Inventaire permanent.** Dans le cas de l'inventaire permanent, le stock est saisi et actualisé en continu. Pour cela, on effectue des inventaires réguliers, afin de déterminer l'état actuel des stocks. Cette méthode exige une bonne organisation de la gestion des stocks et un système d'inventaire efficace.

Divers outils peuvent être utilisés pour améliorer l'efficacité et la précision de l'inventaire. Les outils les plus courants sont les suivants:

- Un **lecteur de code-barres** permet une saisie rapide et précise des stocks. Chaque article est muni d'un code-barres, qui est scanné pour effectuer l'inventaire et le comparer avec les données du système de comptabilité.
- Des tags **RFID** (Radio-Frequency Identification) permettent une identification et un suivi à distance des marchandises. Les marchandises munies de tags RFID peuvent être saisies au moyen d'un lecteur RFID tenu à proximité. Cette technologie permet un inventaire rapide et efficace.
- Des **balances d'inventaire** sont utilisées pour déterminer le poids des marchandises et d'actualiser ainsi les stocks. Ces balances peuvent être reliées au système de gestion des stocks, afin de calculer automatiquement le nombre de pièces, sur la base de leur poids unitaire.
- Des **appareils mobiles** tels que les tablettes ou les smartphones peuvent être utilisés pour saisir les données d'inventaire. Des applis spécifiques permettent aux collaborateurs-trices de saisir l'inventaire directement sur place et de le synchroniser avec le système de gestion des stocks.

Le choix des outils dépend des exigences spécifiques et des ressources de l'entreprise. Il est important de choisir les outils adéquats pour optimiser le processus d'inventaire et obtenir des données d'inventaire précises.

3.4.4. Systèmes informatiques

Des logiciels d'inventaire spécifiques peuvent simplifier et automatiser le processus d'inventaire. Ces logiciels permettent la saisie des données d'inventaire, la synchronisation avec le système de gestion des stocks et la génération de rapports d'inventaire. Actuellement, un système ERP (Enterprise Resource Planning), aussi appelé PGI (Progiciel de gestion intégré), est indispensable pour la tenue précise d'un inventaire. De nos jours, les clients souhaitent savoir directement, lorsqu'ils appellent, si un article est en stock et disponible. La compétence de répondre à cette demande et la capacité de livrer rapidement sont souvent déterminantes pour conclure une commande. En outre, de plus en plus de clients souhaitent des inventaires électroniques pouvant être directement consultés, p. ex. dans une boutique Internet.

Les systèmes ERP courants, permettant la gestion des commandes au sein d'une entreprise, disposent d'une gestion des stocks intégrée, qui permet de tenir un inventaire. Celui-ci est tenu par article.

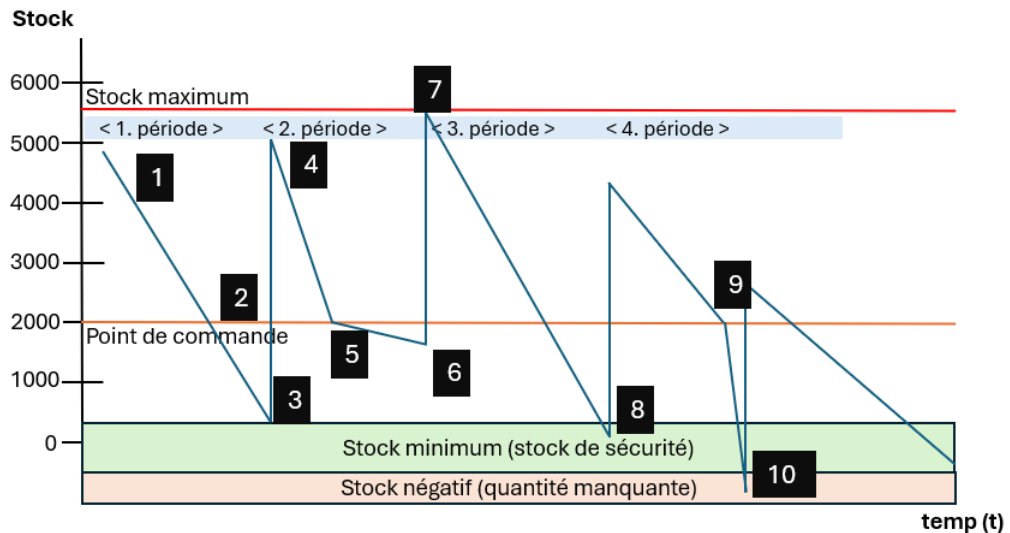
Un article est un produit identifiable de manière univoque, avec des caractéristiques physiques clairement définies telles que l'essence, la qualité, l'humidité du bois, la largeur, l'épaisseur, la longueur et l'état de surface. Chaque article a son propre numéro dans la base de données. Ainsi, les lattes à tuiles en sapin/épicéa séchées à l'air, calibrées, 30x50 mm en quatre ou cinq mètres de longueur représentent deux articles dans le système informatique, ces deux articles devant être gérés indépendamment dans l'inventaire.

Afin que l'inventaire soit correct, les informations relatives à l'inventaire doivent être saisies à chaque étape du processus et être transmises au service responsable de l'inventaire. Cela représente une exigence élevée pour les magasiniers en matière de qualité et de soin dans les processus.

Types de systèmes de gestion des stocks

Dans le cas d'une gestion simple des stocks, l'entrée des marchandises est saisie manuellement, et il n'y a pas d'information sur l'emplacement des marchandises. Lors de la commande au moyen d'un bulletin de préparation, les marchandises sont réservées et saisies comme sorties lors de l'établissement du bulletin de livraison.

Les systèmes modernes de gestion des stocks gèrent, pour chaque article, des données relatives à l'acquisition telles que le point de commande (lorsqu'une commande doit être déclenchée), le stock minimum (qui ne doit jamais être dépassé vers le bas) et la durée de réapprovisionnement (temps nécessaire entre la commande et la livraison), afin qu'ils puissent fournir au département de vente les données utiles pour les commandes à effectuer et que ce département puisse ainsi optimiser le processus d'achat.



Graphique 1: Ce graphique montre l'évolution des stocks. (graphique: Sarina Widmer, 2023)

1	Durant la 1 ^{ère} période d'évolution du stock, la courbe diminue régulièrement jusque peu avant le stock minimum.
2	Dès que le stock atteint le point de commande de 2000 pièces, le réapprovisionnement est déclenché.
3	Pendant le réapprovisionnement, le stock continue de diminuer et atteint tout juste le stock minimum.
4	Grâce à une nouvelle livraison, le stock augmente. Le stock maximum n'est toutefois pas atteint.
5	La consommation durant les deux premiers jours de la 2 ^e période réduit le stock jusqu'au point de commande.
6	La consommation durant les deux jours suivants est nettement plus faible. Au moment de la réception la nouvelle livraison, le stock est 1000 unités plus élevé que durant la période précédente.
7	La nouvelle livraison fait remonter le stock jusqu'au maximum.
8	Durant la 3 ^e période, la consommation augmente fortement. Malgré une commande passée à temps, le stock minimum de 1000 pièces est dépassé vers le bas. Grâce au stock de sécurité, l'entreprise peut continuer à livrer.
9	Durant la 4 ^e période, la consommation est «normale» jusqu'au point de commande, puis augmente fortement. La nouvelle commande est déjà déclenchée et le gérant du stock ne peut plus réagir.
10	Le stock descend en dessous de zéro, il est donc négatif. Jusqu'à l'arrivée de la nouvelle livraison, l'entreprise est en incapacité de livrer.

Des systèmes entièrement intégrés disposent, en plus, d'un système de gestion des stocks, qui gère individuellement les différents emplacements de stockage. Lors du processus de mise en stock, les marchandises sont associées à l'emplacement de stockage. Avec le bulletin de préparation, le magasinier reçoit l'information relative à l'allée et à l'emplacement, en plus du numéro d'article et de la quantité à préparer. Pour que ce système fonctionne, l'emplacement doit être scanné en même temps que l'article lui-même, lors de la mise en stock et de la préparation des commandes.

Actuellement, des systèmes entièrement intégrés sont utilisés dans les grandes industries du bois et, de plus en plus, dans le commerce de dérivés du bois. Ils sont indispensables avec des systèmes de stockage automatisés (mise en stock avec des grues automatiques ou des robots, des transstockeurs, etc.).

La technologie évolue très rapidement dans ce domaine. Des secteurs comme les grands distributeurs de biens de consommation ou les stocks du commerce en ligne travaillent déjà depuis longtemps avec ces techniques. Dans les entreprises de l'industrie du bois, la tendance va également vers des procédures où les magasiniers sont de plus en plus assistés par des systèmes informatiques et où ils sont en premier lieu responsables de saisir et de transmettre les données correctes concernant les produits, les quantités et les emplacements de stockage.

3.5. Techniques et principes de stockage

3.5.1. Technique de stockage pour la préparation des commandes

La préparation des commandes spécifiques aux clients est le processus le plus complexe dans la gestion des stocks. Cela se fait, aujourd'hui encore, principalement à la main. Souvent, cela requiert deux magasiniers, ce qui peut entraîner des coûts de personnel élevés et des problèmes de capacité dans l'entrepôt. Une analyse approfondie des coûts et des processus, ainsi qu'une évaluation des avantages et des inconvénients des différentes approches sont dans tous les cas indiqués. Souvent, les coûts d'investissement plus élevés sont rapidement compensés par des gains d'efficacité.

Deux procédures peuvent être appliquées pour la préparation des commandes: De la personne vers la marchandise et de la marchandise vers la personne

De la personne vers la marchandise – a) Chariot élévateur à fourche latérale

Avec cette procédure, la personne chargée de la préparation des commandes se rend à l'emplacement de stockage, prend la quantité souhaitée avec son engin de transport, puis se rend dans le dépôt intermédiaire. C'est la procédure la plus logique dans la pratique, et elle peut être mise en œuvre sans grands frais. Elle convient avant tout pour les petites quantités et requiert un engin de transport (chariot élévateur) par collaborateur·trice. Sans chariot de préparation des commandes, les paquets au-delà d'une hauteur d'homme doivent être déplacés avec le chariot élévateur vers un emplacement libre pour la préparation de la commande, puis être remis dans le rayonnage après la préparation de la commande. Pendant la préparation de la commande, l'allée est occupée.



Figure 29: Préparation d'une commande de marchandises. (source: deligno ag)

De la personne vers la marchandise – b) Chariot de préparation des commandes

Les chariots de préparation des commandes sont des chariots spéciaux, conçus spécifiquement pour cet usage dans des systèmes de rayonnages de grandes dimensions. Un opérateur commande le chariot depuis une plate-forme munie d'un dispositif antichute, située sur le mât de levage, et se rend directement à l'emplacement de stockage. La procédure de préparation des commandes se fait à la hauteur du rayonnage, directement sur la plate-forme de l'engin. La commande préparée est ensuite déposée sur un rayonnage central. Une nouvelle procédure peut alors commencer. L'engin est guidé à travers les allées par un système auxiliaire (boucles d'induction, laser). Les chariots de préparation des commandes sont nettement plus onéreux que les chariots classiques, mais présentent une efficacité plus élevée et sont rentables pour des stocks importants, avec des produits de géométries similaires.



Figure 30: Chariot de préparation des commandes. (source: OLWO AG)

De la marchandise vers la personne

Avec cette procédure, le paquet est amené vers le lieu de préparation des commandes, généralement situé en dehors de la zone de stockage, où la commande est préparée par une autre équipe de magasiniers, pendant que le chariot ramène un précédent paquet résiduel dans l'entrepôt et va chercher un nouveau paquet. Avec cette procédure, il est possible de diviser le travail en transport et préparation des commandes. De plus, le taux d'occupation du chariot est meilleur. Le lieu de préparation des commandes dispose d'au moins deux emplacements. Il peut être équipé de dispositifs annexes (grues, palonnier à ventouse, cerceuse, etc.), afin de permettre un travail rapide, efficace et ménageant les efforts.

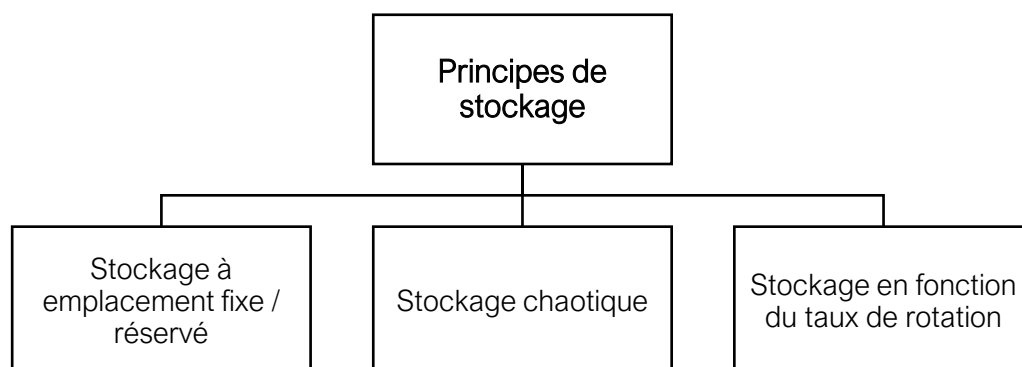
Dans la pratique, on utilise souvent une combinaison de ces procédures de base. Selon les produits, l'une ou l'autre variante conviendra mieux.

A côté de la technologie de préparation des commandes, le magasinier doit surtout connaître les critères de qualité pour le produit à préparer pour la commande. Pour cela on s'appuiera sur les usages du commerce de bois en Suisse. Le processus de préparation des commandes représente un contrôle supplémentaire important, pour s'assurer que les marchandises préparées correspondent à la qualité demandée. L'entreprise peut ainsi corriger avant la livraison d'éventuelles erreurs de triage ou des défauts passés inaperçus lors des contrôles par pointage usuels à la réception des marchandises. Dans le cadre du processus de préparation des commandes, il est également important de préparer le bon nombre de pièces et de saisir les données correctes dans le système de gestion des stocks. Un comptage erroné des pièces lors de la préparation des commandes représente l'une des principales sources d'erreur concernant l'état des stocks. Il est recommandé de compter deux fois.

Si, lors de la préparation des commandes, des écarts sont constatés, par rapport à la qualité définie dans les usages du commerce, le paquet doit immédiatement être bloqué dans le stock jusqu'à ce qu'une décision soit prise, d'entente avec le supérieur, concernant les mesures à prendre. Les marchandises bloquées ne peuvent plus être utilisées jusqu'à leur libération.

3.5.2. Principes de stockage

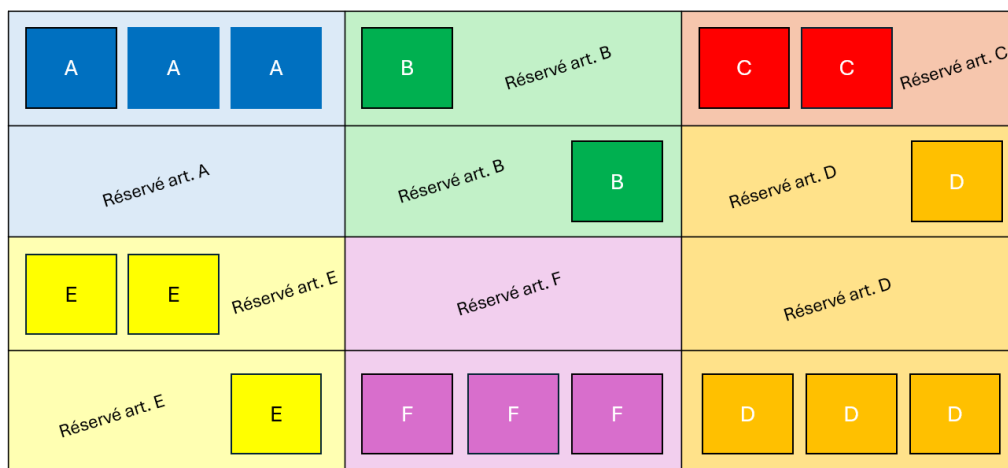
Il existe, dans la pratique, plusieurs principes de gestion des stocks. Ci-après, nous décrivons brièvement les principes les plus courants dans le secteur du bois.



Stockage à emplacement fixe / réservé

Dans le cas du stockage à emplacement fixe, chaque article est attribué à un emplacement fixe. Le nombre de paquets à stocker par article définit le volume du stock. Lorsqu'un emplacement est vide, il reste réservé jusqu'à une nouvelle livraison ou production de l'article. Ce système est appliqué pour des stocks simples sans assistance informatique.

L'avantage de ce principe de stockage réside dans la simplicité de l'organisation et la possibilité de s'informer rapidement sur l'état des stocks. Le désavantage est qu'en cas de faibles stocks ou de fortes fluctuations des stocks, plusieurs emplacements restent vides et ne peuvent pas être utilisés pour d'autres articles. La place disponible est mal utilisée, en moyenne. Le volume total du stock est basé sur la quantité maximale à stocker. Le stockage à emplacement fixe fonctionne aussi bien pour le stockage par blocs que pour les rayonnages à bras en porte-à-faux.



Graphique 2: Ce graphique illustre la structure d'un stockage à emplacement fixe / réservé. Les différents carrés symbolisent les différents articles. (graphique: Sarina Widmer, 2023)

Stockage chaotique

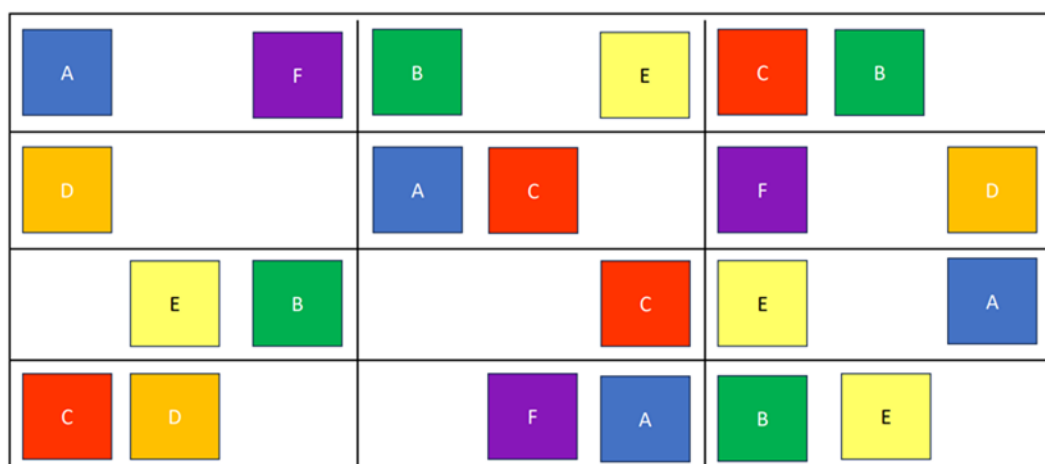
Dans le cas du stockage chaotique, l'entreprise stocke ses produits **à tous les emplacements libres disponibles**. Il n'y a pas d'emplacement fixe. Dans ce cadre, le moment où les produits arrivent dans la halle, la valeur des produits et l'existence d'une éventuelle date de péremption ne jouent aucun rôle. L'avantage du stockage chaotique réside dans la flexibilité de la mise en stock et d'une meilleure utilisation de la place disponible, du fait que les emplacements vides peuvent être occupés. Le désavantage est en revanche qu'il est difficile d'avoir une vue d'ensemble.

Un stockage chaotique planifié requiert notamment un système informatique, afin d'assurer un processus de stockage rationnel. Dans ce cadre, il est important que les emplacements libres choisis soient notés et qu'ils soient enregistrés avec le produit dans le système informatique. Cela permet de retrouver rapidement les produits, lors de commandes. Les produits et les emplacements sont généralement dotés de codes à barres, et peuvent ainsi être scannés et mis en relation.

Désavantage: un stockage chaotique non planifié ne peut pas être exploité rationnellement et représente une mauvaise carte de visite pour l'entreprise. Il

occasionne des coûts importants lors de la préparation des commandes, du fait que le temps de recherche sans aide informatique est considérable.

En général, on utilise des systèmes de stockage à rayonnages hauts, avec des engins de transports partiellement automatisés, pour des stocks chaotiques de grand volume.



Graphique 3: Ce graphique illustre la structure d'un stockage chaotique. Les différents carrés symbolisent les différents articles (graphique: Sarina Widmer, 2023)

Stockage en fonction du taux de rotation

Le taux de rotation désigne la fréquence à laquelle les marchandises sont échangées dans l'entrepôt. Ce paramètre est très important pour la gestion des stocks. Le taux de rotation est calculé comme suit:

$$\text{Taux de rotation (TR)} = \frac{\text{ventes moyennes par période}}{\text{volume moyen du stock}}$$

Exemple:

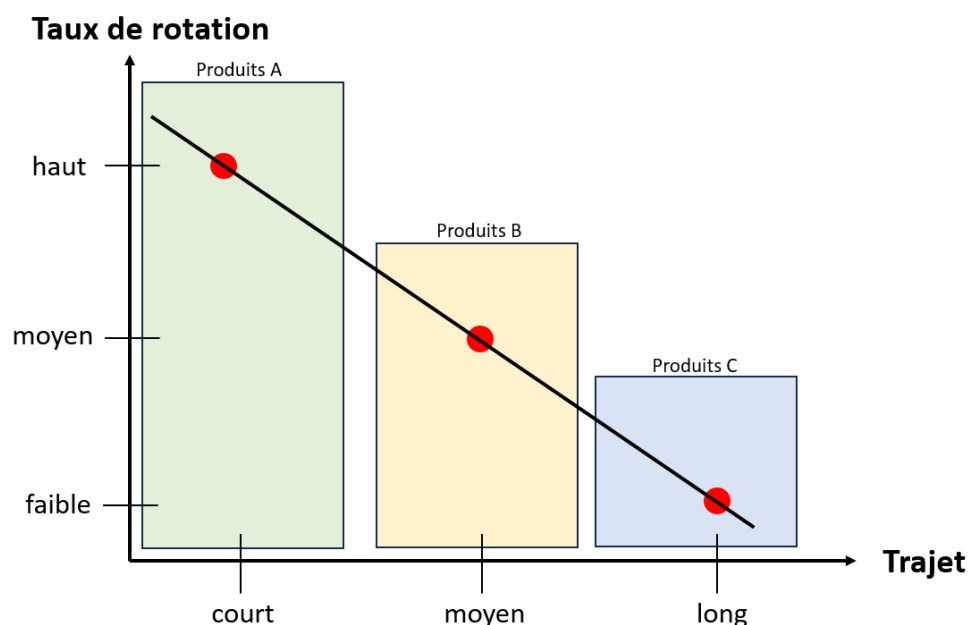
Ventes annuelles de lattes à tuiles de 5 mètres: 300 m³

Volume moyen du stock: 40 m³ (env. 10 paquets)

Taux de rotation = 300 : 40 = 7,5

Pour des marchandises standard, on vise un taux de rotation > 6 dans le secteur du bois.

Pour des raisons économiques, il est judicieux de placer les articles avec le taux de rotation le plus élevé (produits A) de manière à assurer les trajets les plus courts et les durées de manutention les plus courtes. Les articles avec le taux de rotation le plus faible seront stockés aux emplacements les plus éloignés.



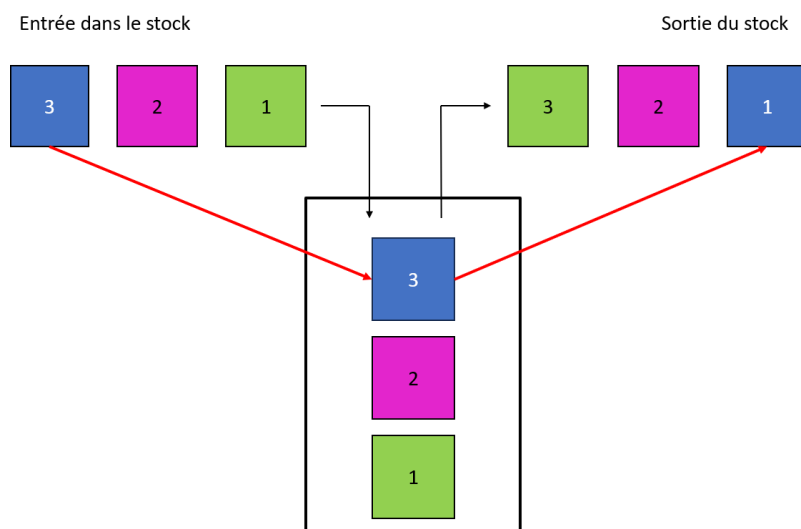
Graphique 4: Pour des raisons d'efficacité, les articles avec un taux de rotation élevé doivent être accessibles rapidement avec le chariot élévateur. (source: Sarina Widmer, 2023)

Des bonnes statistiques des ventes permettent de contrôler régulièrement le taux de rotation des différents articles. Si des produits tombent nettement en dessous d'un TR de 6, il est recommandé de réduire leur stock ou de se demander si on veut maintenir cet article en stock. La plupart des stocks professionnels sont organisés par secteurs pour les articles A, B et C.

3.5.3. Principes de gestion

Dernier entré, premier sorti (DEPS)

Dans le cadre d'un déroulement standard sans planification préalable, le principe DEPS s'applique le plus souvent naturellement, du fait que les nouvelles marchandises sont placées sur le haut ou à l'avant de la pile. Ces articles seront les premiers à ressortir à la prochaine commande.

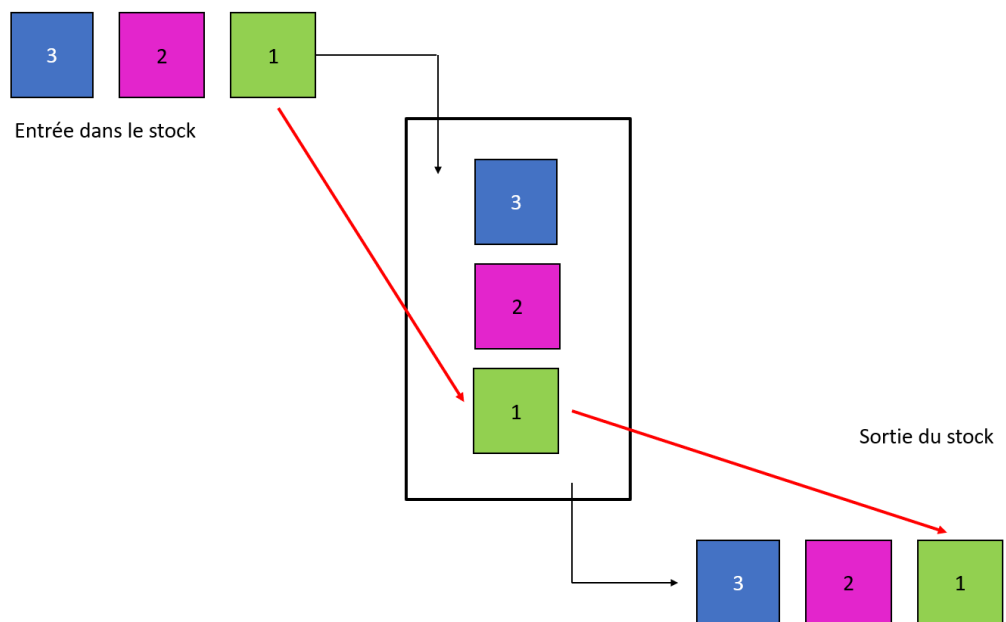


Graphique 5: Les chiffres illustrent l'ordre dans lequel les articles sont mis en stock, puis sortis du stock, selon le principe DEPS. (graphique: Sarina Widmer, 2023)

Ce principe présente l'inconvénient que les articles les plus anciens, dans le fond du stock, ne connaissent pas de rotation et risquent de finir comme invendus.

Premier entré – premier sorti (PEPS)

Avec ce principe, on s'assure que ce sont les articles depuis le plus longtemps en stock qui sortent en premier. Cette procédure est impérative pour les articles avec une date de péremption (p. ex. produits alimentaires, produits chimiques, peintures, etc.). Dans l'industrie du bois, on s'efforcera d'appliquer le principe PEPS car, avec le temps, les produits en bois subissent une altération de la teinte sous l'effet du rayonnement UV et peuvent absorber de l'humidité en cas de stockage inadéquat. Pour que le principe PEPS fonctionne, la date de mise en stock doit être notée sur le paquet ou être gérée dans un système informatique.



Graphique 6: Les chiffres illustrent l'ordre dans lequel les articles sont mis en stock, puis sortis du stock, selon le principe PEPS. (graphique: Sarina Widmer, 2023)



Figure 31: Rayonnage dynamique (source: OLWO AG)

Le principe PEPS peut être assuré mécaniquement avec un rayonnage à bras en porte-à-faux ou un rayonnage dynamique. Un rayonnage dynamique est un système de rayonnages dans lequel les articles sont déposés d'un côté et prélevés de l'autre côté. Le nombre de paquets pouvant être déposé sur le rayonnage est déterminé par la profondeur du rayonnage. Les paquets sont souvent placés sur des plans légèrement inclinés, munis de rouleaux et d'un arrêt mécanique. Cette inclinaison facilite la traversée des paquets. Ce système est souvent utilisé pour des marchandises placées sur des supports (palettes, conteneurs).

3.6. Prise en charge et livraison

3.6.1. Processus de remise de marchandises

On distingue les types de remise de marchandises suivants:

- Prise en charge spontanée à l'entreprise par le client
- Commande préalable et prise en charge à l'entreprise
- Livraison chez le client (ou sur le chantier)

La prise en charge spontanée est le type de remise de marchandises le moins économique, du fait qu'il ne peut pas être planifié et que les collaborateurs·trices doivent interrompre leur travail en cours pour servir le client. Les entreprises de l'industrie du bois ne sont pas orientées vers le libre service comme les magasins de bricolage. Bien qu'il s'agisse d'une variante très conviviale pour les clients, elle devrait être réduite au minimum, pour des raisons économiques, à moins que l'entreprise organise une équipe spécialement dédiée aux clients venant prendre en charge les marchandises.

La prise en charge avec commande préalable peut être très intéressante, si ce principe est organisé de manière professionnelle. Autrement dit, avec des délais clairement établis pour la préparation des commandes, une zone clairement définie pour la prise en charge et des rayonnages pour les commandes préparées, afin que le chargement puisse se faire très rapidement. Ce principe n'engendre pas de coûts de transport pour l'entreprise, et avec un délai approprié, le processus de préparation des commandes peut facilement être intégré dans le travail quotidien.

La livraison chez le client est coûteuse et occasionne des coûts supplémentaires pour les véhicules et la planification du transport. Pour cette raison, les livraisons ne devraient si possibles pas être réalisées franco, mais être au moins partiellement payantes. L'avantage de la livraison réside dans la planification. Un transport peut être planifié de telle manière qu'il s'intègre au mieux dans l'ensemble des processus d'exploitation.

Avec tous les types de remise de marchandises, les marchandises doivent être contrôlées lors de la mise à disposition et être correctement conditionnée pour le transport, les documents de livraison doivent être correctement et entièrement complétés et le destinataire doit confirmer par sa signature la prise en charge ou la réception des marchandises. La signature du client est un document justificatif important en cas de réclamation.

Concernant les dispositions légales dans le commerce de bois et de dérivés du bois, nous renvoyons aux usages du commerce du bois en Suisse, chapitre 6.

3.7. Transfert des profits et des risques

Dans le droit suisse, le transfert des profits et des risques dans le cadre de l'achat de marchandises est régi par le code suisse des obligations (CO) (Heinzelmann, 2022). En vertu de l'article 185 CO, le risque de perte fortuite ou de dégradation d'une chose passe fondamentalement à l'acheteur, lors de la remise de la chose. Dans le cas d'un achat à distance – c'est-à-dire lorsqu'une marchandise doit être livrée ou envoyée – l'acheteur supporte le risque de perte ou de dégradation de la chose pendant le transport ou le stockage. Le transfert des profits a lieu, en règle générale, au moment de la remise de la chose. Cela signifie que l'acheteur a le droit, à partir de ce moment, d'utiliser la chose et d'en disposer.

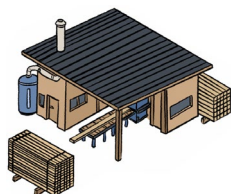
Les parties à un contrat peuvent toutefois convenir de dispositions contraires. Dans les contrats de vente de produits en bois, il est par exemple possible de convenir des dispositions spécifiques concernant le transfert des profits et des risques. Il est par exemple possible de fixer le moment du transfert, les responsabilités durant le transport ou le stockage, ainsi que les responsabilités en cas de dommages.

3.8. Mesures pour l'optimisation

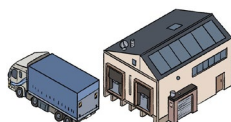
Les facteurs suivants sont déterminants pour l'optimisation du processus de stockage:

- Assurer un stockage approprié des marchandises afin d'éviter des dommages dus au stockage ou une perte de valeur due à des facteurs climatiques
- Contrôle et surveillance des stocks et du taux de rotation, afin d'éviter une immobilisation inutile de capital et d'éviter des dommages liés au vieillissement
- Surveillance de la disposition dans les stocks par articles A, B et C
- Surveillance des prix du marché et de l'inventaire, et réagir de manière adéquate afin de réduire au minimum les pertes financières liées au stockage (déstockage en cas d'effondrement des prix, restockage en cas de hausse des prix)
- Adaptation de l'infrastructure de stockage en fonction de l'évolution technique des moyens de transport et des systèmes informatiques
- Optimisation des trajets dans l'entrepôt
- Utilisation de moyens de transport électriques

4. Traitement de surface



Raboterie



Commerce

CO d3: Traitement de surface des produits à base de bois

Le bois est un matériau naturel. L'aspect des surfaces de bois non traitées change par conséquent avec le temps. Afin de protéger les produits contre les influences extérieures, mais aussi pour augmenter leur valeur, il est possible de réaliser des traitements de surface.

Dans ce cadre, on veillera à la préparation correcte des produits en bois ainsi qu'au bon choix du produit de revêtement et du procédé d'application.



Figure 32: Traitement de surface manuel (source: Mivelaz Bois SA)

Tâches pratiques dans l'entreprise

Stade de production 2:

- Opérer des installations de pulvérisation industrielles et des machines auxiliaires (1^e AA, 2^e AA)
- Mesurer et contrôler la qualité des peintures, effectuer des mesures conformément aux exigences de qualité, les documenter, fabriquer des échantillons de réserve (2^e AA, 3^e AA)
- Éliminer les restes et les emballages (1^e AA)

Cours interentreprises 6

- Evaluer des surfaces de bois
- Stocker et éliminer des produits de revêtement

Situations professionnelles

- Vous préparez les marchandises qui doivent être traitées par une entreprise partenaire externe.
- Vous effectuez le contrôle d'entrée après le traitement de surface par une entreprise partenaire et faites procéder à un post-séchage si nécessaire.
- Vous conseillez un client sur le traitement de surface.

Objectifs d'apprentissage

- Vous expliquez les avantages et les systèmes de traitement de surface de planches / produits rabotés en résineux: produits de revêtement aqueux, à base d'huile ou avec solvants.
- Vous décrivez les systèmes d'application et d'imprégnation pour la protection du bois contre l'humidité et les organismes ravageurs, pour l'application d'une couche de fond, pour la protection UV et pour répondre à des exigences architecturales (adéquation, avantages, inconvénients).
- Vous expliquez le toucher, la mise en œuvre, la capacité d'absorption et la consommation des produits de revêtement ainsi que leurs effets sur la santé et l'environnement (imprégnations, lasures, vernis, huiles).
- Vous expliquez à titre d'exemple une fiche de données techniques concernant le stockage, l'élimination et les exigences légales.
- Vous expliquez l'utilisation des listes de contrôle de la Suva «Substances nocives utilisées en entreprise» et «Substances dangereuses».
- Vous identifiez la structure standard d'un produit de revêtement / traitement de surface et vous pouvez la décrire.
- Vous distinguez les divers procédés d'application. Manuels: pinceau, rouleau, immersion; et industriels: imprégnation sous pression, installations à brosses et à rouleaux, imprégnation sous vide, imprégnation par aspersion.
- Vous distinguez les procédés d'imprégnation pour le bois humide et le bois sec, ainsi que le top coat.
- Vous décrivez la protection du bois en fonction du lieu d'utilisation et des éléments de construction – classe d'emploi: exposé aux intempéries / protégé.

4.1. Éléments de bases du traitement de surface du bois

« On peut faire beaucoup de choses, mais tout n'est pas judicieux »

Lignum Compact: revêtement de façade en bois

Les produits de revêtement, vernis et peintures ont une longue tradition dans l'histoire de l'humanité. Il y a des dizaines de milliers d'années, les hommes ont déjà utilisé des peintures et des vernis. On connaît les peintures rupestres de Lascaux et d'Altamira, l'utilisation de la chaux pour blanchir des maisons, ainsi que du bitume ou de résines naturelles pour les bateaux et des objets usuels. Il y a environ 2000 ans, les Japonais et les Chinois ont développé des vernis brillants à partir de la sève de l'Arbre à laque (gomme-laque). A partir de l'an 1100, on connaît les premières recettes et produits de peintures à l'huile. Les premiers bouilleurs de laques ont vu le jour en Europe. En 1680, on découvre le procédé de cuisson de la laque, et dès 1800, on voit apparaître les premières fabriques de laque et les premières matières synthétiques. Aujourd'hui, on produit env. 45 millions de tonnes de produits de revêtement par an, à l'échelle mondiale.

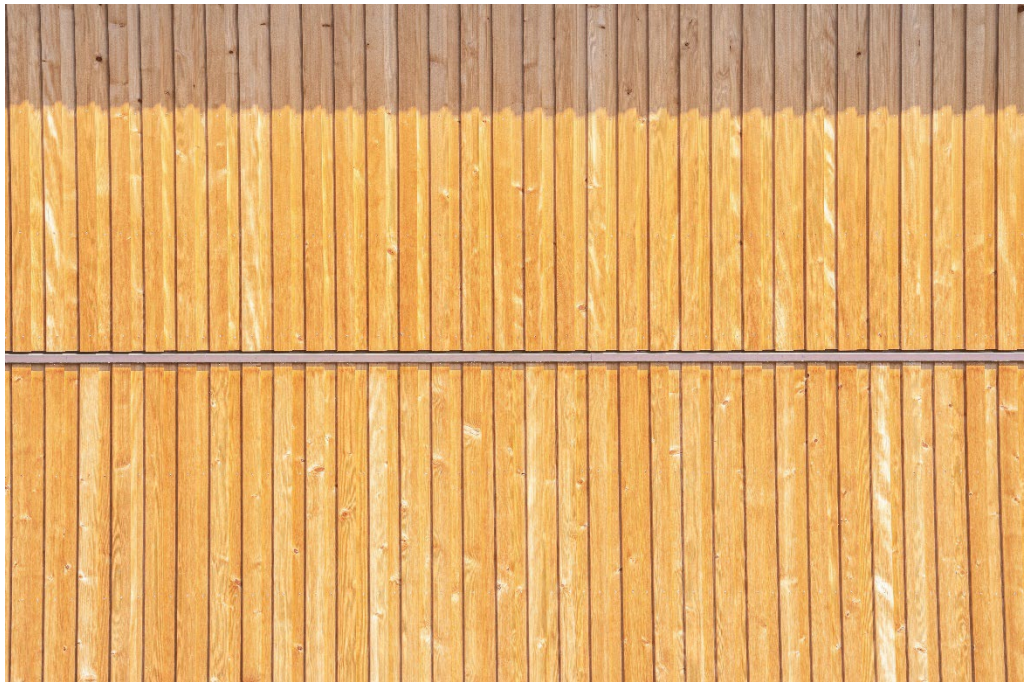


Figure 33: Un traitement de surface correct est essentiel pour maintenir un bel aspect d'une façade en bois. (source: Ruedersäge AG)

La protection du bois est particulièrement importante dans le secteur de la construction. Le matériau doit remplir durablement ses fonctions. Sans protection efficace, la surface du bois peut se détériorer et perdre son éclat, et des constructions complexes en bois peuvent subir une perte de résistance.

A l'extérieur, le bois est fondamentalement protégé par les mesures suivantes:

- Protection constructive (p. ex. façades ventilées)
- Protection chimique (p. ex. produits chimiques contre les ravageurs)
- Protection physique (p. ex. traitement de surface)

- Le traitement de surface a de nombreuses fonctions:
- Décorer et structurer la surface (teinte, brillance, signalisation)
- Protection contre l'humidité (gonflement, retrait et pourriture)
- Réduire les influences de la lumière, de l'humidité et des changements de température, réduire la formation de fentes, le grisaillement, le gauchissement, la courbure
- Protéger contre les attaques d'algues, de champignons et d'insectes
- Empêcher la migration des substances contenues dans le bois
- Protéger contre les actions mécaniques et chimiques

La réalisation de ces tâches dépend à son tour de nombreux facteurs, dont l'essence, ses propriétés et l'état de surface des lames, du système de traitement de surface choisi, de l'application du traitement de surface, du montage ainsi que de l'entretien et de la maintenance.

A l'**extérieur**, le bois est exposé à un grand nombre d'influences, qui peuvent être maîtrisés par des systèmes de traitement de surface correctement coordonnés. Ces traitements de surface doivent être correctement choisis et appliqués.

La durabilité du bois dépend non seulement du traitement de surface, mais aussi de l'exposition aux intempéries. En façade nord, l'exposition aux intempéries est considérée comme relativement faible, alors qu'elle est plus importante dans une orientation au sud-ouest. Le risque d'attaque microbienne est en revanche plus élevé dans une orientation au nord et, d'une manière générale, dans les zones ombragées.

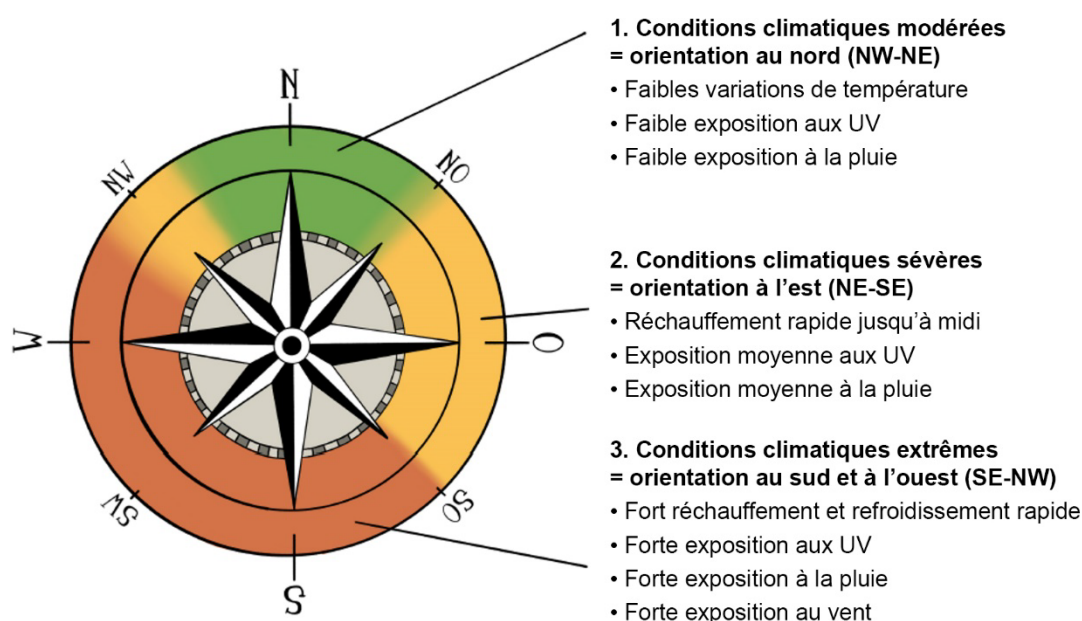


Figure 34: Les conditions climatiques sont très importantes pour le choix du système de revêtement adéquat.
(source: IBS)

Selon la norme DIN EN 927, les conditions climatiques (microclimat et macroclimat) et le mode de construction des éléments de construction en bois sont déterminants pour la sollicitation du revêtement. Par analogie à la norme DIN EN 927-1, on distingue les trois conditions climatiques «modérées», «sévères» et «extrêmes», qui résultent de l'orientation (Oeggerli, 2023).

A l'intérieur, l'accent est mis sur les aspects décoratifs des traitements de surface. Ces traitements permettent d'embellir les lambris intérieurs et les panneaux en dérivés du bois. En outre, des traitements de surface fonctionnels permettent de ralentir ou d'empêcher le jaunissement du bois. Les parquets et les meubles sont protégés par des revêtements de surface contre les actions mécaniques et chimiques, tout en étant embellis.

A l'intérieur, le bois est protégé contre l'action des intempéries, ce qui permet d'utiliser des traitements de surface qui ne pourraient pas l'être, p. ex. à l'extérieur. Dans les pièces d'eau (salles de bains), on choisira des produits adaptés.

Que ce soit pour des applications à l'intérieur ou à l'extérieur, il est très important que tous les intervenants de l'industrie du bois et de l'architecture disposent des connaissances nécessaires pour conseiller le maître de l'ouvrage de manière optimale.

L'aspect de surface du bois change avec le temps



Figure 35: A l'extérieur, le bois est soumis à de nombreuses influences environnementales et peut subir des dommages (source: Kálin & Co. AG)

Fondamentalement, le bois peut être utilisé sans traitement de surface. Il faut toutefois connaître les caractéristiques et le comportement du matériau, lorsqu'on utilise du bois.

A l'intérieur, la couleur d'origine, notamment des résineux, change avec le temps, le bois jaunissant, puis brunissant. Les meubles et les parquets sans traitement de surface sont sensibles à l'humidité, aux salissures et aux actions mécaniques. Les lambris et dérivés du bois utilisés dans l'aménagement intérieur sont protégés et embellis par des traitements de surface. Aujourd'hui, il existe même des traitements de surface fonctionnels. Selon l'ASR (Association suisse des raboteries), plus de 70% des lambris intérieurs sont livrés avec un traitement de surface.

A l'extérieur, le bois sans traitement de surface exposé aux intempéries subit rapidement une altération de la teinte et de la structure de surface. La teinte naturelle change, quelle que soit l'essence. Le pire «ennemi» du bois est une humidité permanente. Celle-ci favorise la pourriture, qui entraîne la destruction du bois. Avec un mode de construction adéquat, la fonctionnalité du bois n'est généralement pas menacée, et on observe uniquement un changement de l'aspect de surface du bois.

Les causes suivantes peuvent être à l'origine de processus de changement et d'altération du bois à l'extérieur:

- Le rayonnement UV entraîne une dégradation de la lignine et un brunissement
- L'humidité et les précipitations lessivent les produits de décomposition de la lignine. Il reste les fibres de cellulose blanches
- Des salissures et des microorganismes colorent la surface du bois
- Les attaques de guêpes entraînent une altération esthétique
- Les actions mécaniques telles que la grêle endommagent la surface
- L'alternance des conditions climatiques – humides et sèches – entraîne la formation de fentes
- Au fil des ans, les intempéries provoquent une érosion de la surface

Les changements irréguliers de l'aspect de surface des façades en bois non traité dérangent de nombreux architectes et maîtres d'ouvrage. C'est pourquoi, selon l'ASR, plus de 60% des façades en bois sont actuellement réalisées avec un traitement de surface, afin d'harmoniser les changements d'aspect. Ce qui vaut pour le bois non traité vaut également pour les traitements de surface: ces derniers subissent également un processus de vieillissement et doivent par conséquent être régulièrement contrôlés et entretenus. Les traitements de maintenance augmentent la durée de vie des façades en bois. Les façades en bois ayant fortement souffert des intempéries peuvent être remises en état au moyen de traitements de rénovation.

Le traitement de surface ciblé du bois et des dérivés du bois est une technologie orientée vers l'avenir.



Code QR: informations complémentaires concernant la classe d'exposition pour la protection chimique du bois.

4.2. Produits pour le traitement de surface

Un spécialiste peut avoir une vue d'ensemble de l'offre actuelle des traitements de surface et des systèmes de revêtement pour bois. Les revêtements peuvent faire l'objet de nombreux systèmes de classement. Certains spécialistes préfèrent le classement par liant (voir chapitre 1.2.2), d'autres utilisent un classement par pigments ou par propriété filmogène. Par ailleurs, il existe également des traitements tels que l'hydrophobisation, l'imprégnation, le prégrisaillement physique ou chimique, le lasurage et la saturation (approfondis dans le chapitre 1.3).

Il existe de nombreuses possibilités de combinaison, allant de systèmes monocouches à des systèmes multicouches. Et aujourd'hui, tous les utilisateurs doivent également tenir compte de la durabilité du système de traitement choisi.

4.2.1. Produits de revêtement

Dans la norme DIN EN ISO 4618 et la norme complémentaire DIN 55 945, les peintures, vernis et matières premières pour peintures et vernis sont réunis sous le terme de **produits de peinture**. Ce sont des mélanges de substances (préparations) **liquides, pâteux** ou sous **forme de poudre**, pouvant être appliqués par pulvérisation, au pinceau, au rouleau, par coulée, par immersion ou par aspersion (chapitre 1.5.3). Le revêtement fini est ensuite obtenu par séchage ou durcissement. Les produits de revêtement sont par conséquent des produits semi-finis.

Le revêtement de produits en bois représente un traitement de surface, appliqué sous forme liquide comme apprêt, lasure, peinture couvrante ou vernis.

Les produits de revêtement peuvent être classés selon les critères suivants:

- **Transparence** lasurant, couvrant ou incolore
- **Effet de surface** vernis métallique, vernis brillant, vernis mat, vernis structuré
- **Fonction du vernis** couche de fond, saturation, couche de finition, imprégnation
- **Usage** vernis pour bois, vernis pour parquet, vernis pour voiture, vernis pour peintre, vernis industriel
- **Environnement** vernis aqueux, vernis high-solid, vernis durcissant par rayonnement, vernis en poudre
- **Liant** huiles et cires, vernis à base de résine alkyde, vernis à base de résine acrylique, vernis nitrocellulosique, vernis à base de polyuréthane, etc.
- **Type de séchage** séchage physique ou chimique (durcissement)
- **Types d'application** par pulvérisation, au pinceau, au rouleau, par coulée, par immersion, etc.
- **Propriétés fonctionnelles** vernis de protection UV, revêtement antibactérien, etc.

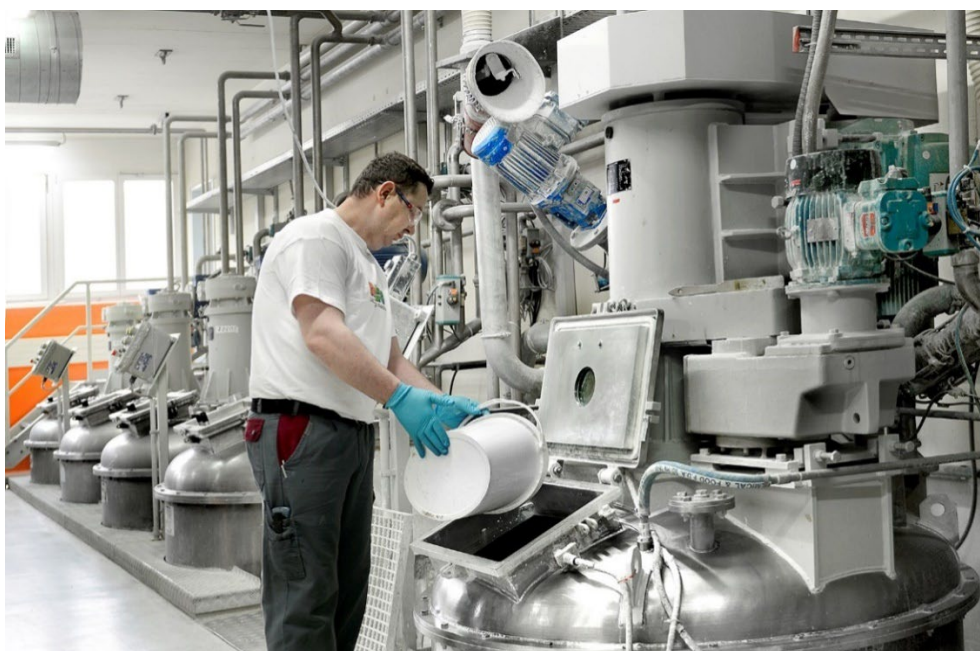


Figure 36: La fabrication de peintures est une science. (source: Rupf & Co. AG)

Dans la pratique, on utilise divers produits de revêtement. Ce sont notamment:

- Vernis incolores ou pigmentés
- Vernis pour peintres en bâtiment / l'industrie / l'industrie automobile
- Vernis en poudre
- Apprêts de protection pour bois, peintures pour bois, lasures pour bois
- Peintures à l'huile
- Dispersions pour l'intérieur et l'extérieur
- Peintures à la chaux
- Peintures aux silicates
- Enduits pâteux et mastics
- Revêtements de sols
- Revêtements spéciaux
- Encres d'imprimerie
- Peintures suédoises
- Saturateurs pour bois

4.2.2. Composition des produits de revêtement

Les produits de revêtement sont fondamentalement constitués de cinq composants. Ceux-ci sont décrits ci-après.

Composants des produits de revêtement

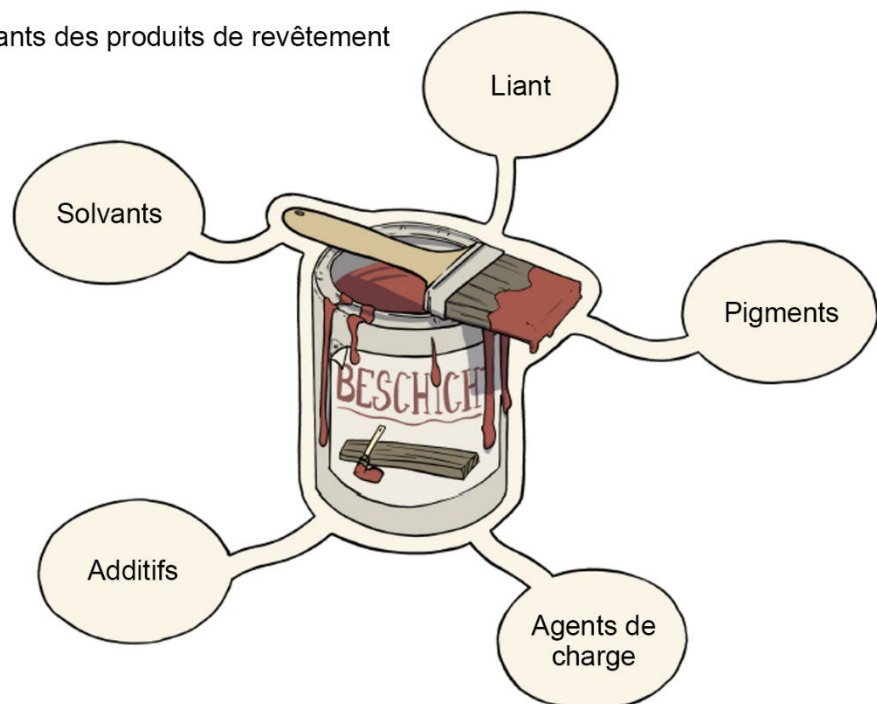


Figure 37: Cinq composants sont nécessaires pour réaliser des produits de revêtement.
(source: SMGV, 2023 / IBS)

Liant

Le liant détermine les principales caractéristiques d'un produit de revêtement. Il assure la formation d'un film, la résistance, la liaison et l'adhérence sur le support. Sans liant, il ne peut pas se former de film. Aujourd'hui, on utilise de plus en plus

de liants à base de matières premières renouvelables, à côté de polymères à base de pétrole. Ces liants se présentent sous forme solide ou liquide. A côté des pigments, le liant et la teneur en liant du produit de revêtement sont également responsables de l'épaisseur de la couche de revêtement. Plus cette couche est mince, plus vite le revêtement sera dégradé.

Voici une **vue d'ensemble des liants pour produits de revêtement**. Les liants inorganiques sont réalisés à partir de matières premières métalliques ou minérales.

Liants organiques à base d'huile	Liants organiques à base de résines	Liants organiques aqueux	Liants inorganiques aqueux
Huile de lin Vernis d'huile de lin Huile de bois Huile de ricin (diénol) Huile de soja Huile de tall Huile de pavot Standolie Huiles soufflées Huile de carthame	Résines balsamiques Colophane Résine à la chaux Résines d'éther Dammar Gomme-laque Copal Nitrocellulose Caoutchouc chloré Résines polymères Résines à l'urée /mélamine Résines alkydes Résines polyuréthanes Résines époxydes Résines siliconées Liants bitumineux	Colle de peau Colle d'os Caséine Amidon Méthylcellulose Gomme arabique Emulsion Dispersion Latex	Chaux Ciment Silicates de sodium Silice colloïdale

Tableau 8: source: ASEPP Association Suisse des Entreprises en Plâtrerie Peinture; auteur: Wolfram Selter

Solvants

Les solvants font partie des composants des produits de revêtement liquides. Ils dissolvent et diffusent les composants de la recette, régulent la viscosité et les propriétés de séchage, et assurent ainsi une application optimale du produit de revêtement. Dans un revêtement entièrement séché, il n'y a plus de solvants. Nous distinguons les solvants organiques et l'eau. La grande majorité des produits de revêtement pour le bois sont à base d'eau et sont donc respectueux de l'environnement.

Additifs

Des additives (adjuvants) sont ajoutés en petite quantité, afin d'ajuster plus précisément certaines caractéristiques. Ils assurent un séchage chimique rapide, permettent p. ex. l'application de lasures sans formation de mousse par des machines de vernissage ou assurent un mouillage régulier du support et une répartition régulière des produits de revêtement.

Agents de charge

Les agents de charge améliorent le remplissage, l'adhérence, l'aspect mat, l'épaisseur de séchage et l'aptitude au ponçage, régulent la perméabilité à la vapeur d'eau et renforcent le film du revêtement.

Pigments

Ils donnent au revêtement sa couleur, son pouvoir couvrant, sa protection contre la lumière et les UV, ainsi que ses effets (vernis métalliques). Les lasures contiennent des pigments spéciaux, extrêmement fins et transparents. Ces pigments spéciaux absorbent les rayonnements UV nocifs. Les peintures couvrantes contiennent des pigments spéciaux couvrants, inorganiques et/ou organiques. Ils protègent également contre le rayonnement UV et permettent de former un plus grand choix de teintes.

4.2.3. Mécanismes de séchage et de durcissement des produits de revêtement

Par séchage, le revêtement liquide devient le revêtement fini. Il convient de distinguer plusieurs types de séchages.

Séchage physique

Le solvant s'évapore et le produit de revêtement forme un film (par exemple: vernis nitrocellulosiques, vernis acryliques). Le liant présent sous forme de solution, d'émulsion ou de dispersion possède toutes les caractéristiques nécessaires pour cela. Après l'évaporation du solvant, un vernis nitrocellulosique forme le film de liant fini. Aucune réaction chimique n'est nécessaire. Le film de liant peut être dissout au moyen d'un solvant (réversible).

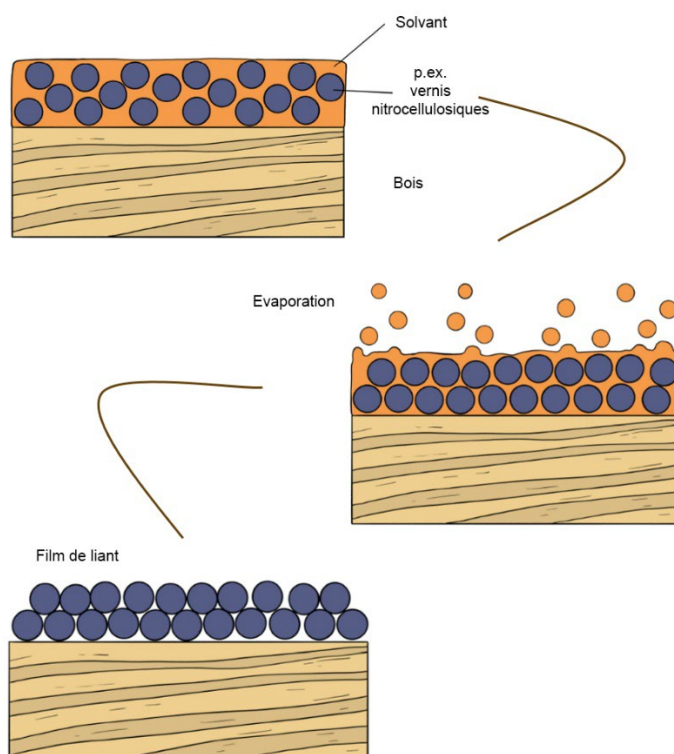


Figure 38: Séchage physique (source: IBS)

Lors du séchage d'un vernis aqueux à base de dispersion, nous parlons de coalescence (fusion à froid). Les particules de dispersion dans l'eau constituent le liant. Avec l'évaporation de l'eau, ces particules se compactent lentement et fusionnent. Ce processus est aussi appelé formation d'un film. Contrairement aux vernis nitrocellulosiques, les vernis aqueux ne sont pas réversibles. La dissolution détruit le film.

Le séchage physique est toujours lié à une **réduction de volume**.

Séchage chimique (durcissement)

Certains produits de revêtement contiennent des composés chimiques qui réagissent pour former un polymère. Ce processus est appelé séchage chimique ou polymérisation. Dans le cas du séchage oxydatif à l'**oxygène** (huiles, résines alkydes), ce sont d'abord les solvants qui s'évaporent (étape 1). Le liant encore liquide reste en surface et réagit avec l'oxygène de l'air. Le poids moléculaire augmente par polymérisation. Le revêtement durci n'est plus soluble (irréversible)

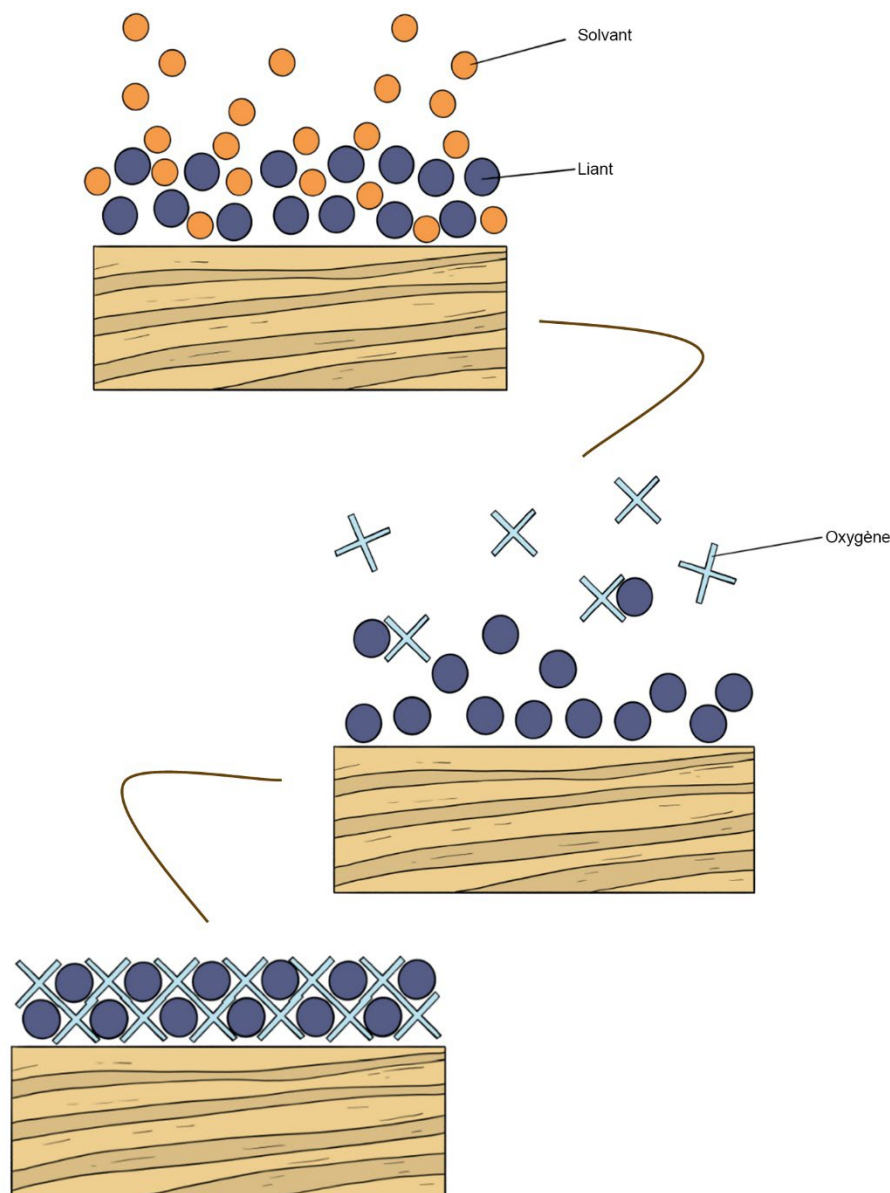


Figure 39: Séchage chimique (source: IBS)

Dans le cas du séchage par **apport de chaleur** (vernis au four, thermolaques), le produit de revêtement contient déjà tous les composants pour un durcissement chimique. Ce durcissement ne se produit toutefois qu'à température élevée (cuisson).

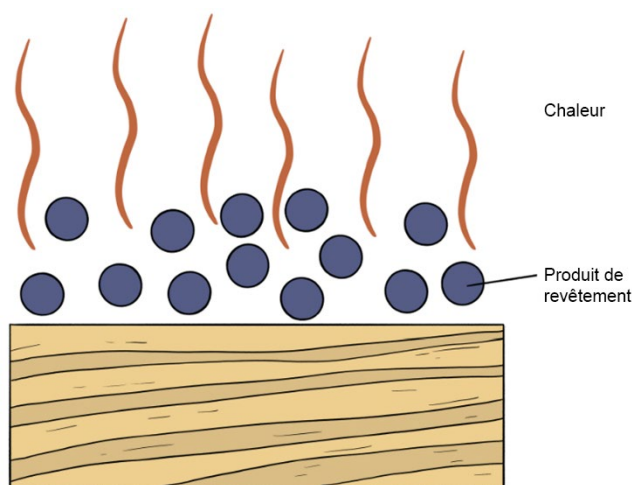


Figure 40: Séchage par apport de chaleur (source: IBS)

Dans le cas du séchage avec un **durcisseur** (vernis à base de polyuréthane, vernis à base de résine époxyde), le vernis de base est mélangé à un durcisseur avant d'être appliqué. Après évaporation du solvant (p. ex. eau), les composés réagissent chimiquement entre eux pour former un nouveau polymère.

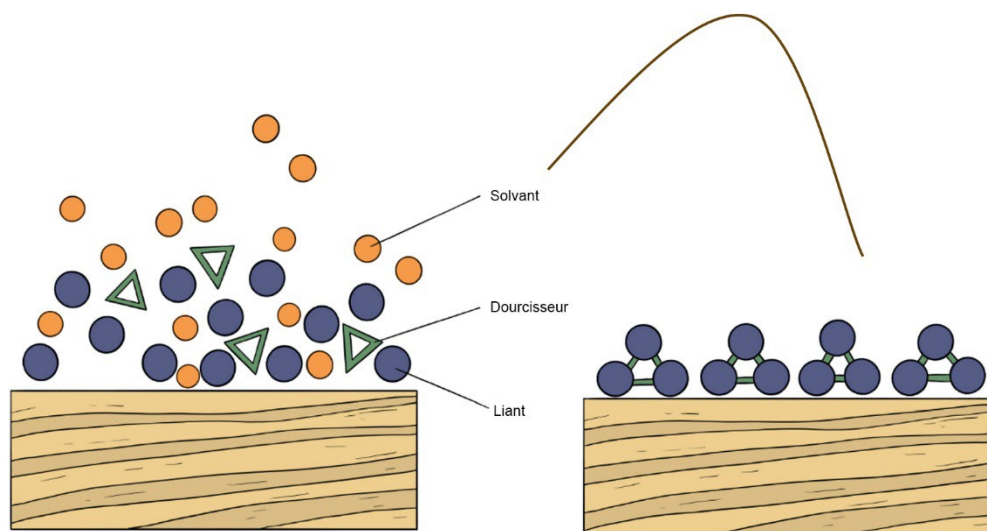


Figure 41: Séchage avec un durcisseur (source: IBS)

Dans le cas du **séchage par rayonnement** (UV / vernis EBC), le produit de revêtement contient des liants réactifs tels que des acrylates, des photo-initiateurs et des adjuvants. Lorsqu'ils sont exposés à un rayonnement UV, les photo-initiateurs forment des radicaux et déclenchent une réaction de polymérisation. Ces vernis durcissent en quelques fractions de seconde.

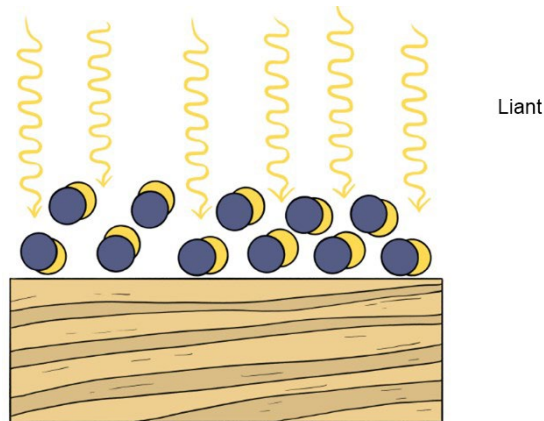


Figure 42: Séchage par rayonnement (source: IBS)

Les produits de revêtement à séchage oxydatif tels que les peintures à l'huile **augmentent en volume** lors du séchage (formation de rides avec les peintures à l'huile). De nombreux systèmes de revêtement ont une première phase de séchage physique (évaporation du solvant), puis une phase de durcissement chimique.

4.2.4. Produits de revêtement respectueux de l'environnement

Ces dernières années, la prise en compte de l'impact écologique des produits de revêtement est devenue toujours plus importante. Aujourd'hui, on utilise des produits de revêtement diluables à l'eau, pour presque toutes les applications. Ils sont considérés comme respectueux de l'environnement, s'ils sont correctement utilisés. A la place de solvants organiques défavorable pour l'environnement, ces produits contiennent principalement de l'eau comme solvant. Ce sont actuellement les produits de revêtement les plus utilisés pour le traitement de surface du bois.

Les produits de revêtement diluables à l'eau présentent plusieurs avantages:

- Exempts ou pauvres en COV (composés organiques volatiles)
- Pas de risque d'incendie ou d'explosion lors de la mise en œuvre
- Faible odeur
- Disponibles en produits de revêtement monocomposant ou bi-composant (différentes caractéristiques de séchage)
- Eau comme solvant et dilutif
- Insensibles à la lumière et ne jaunissant pratiquement pas
- Séchage rapide avec diverses techniques de séchage
- Ne sont pas des marchandises dangereuses (transport et stockage)
- Nombreuses structures de revêtement possibles

Aujourd'hui, il est également possible de réaliser des lasures et des peintures à base de matières premières renouvelables. L'utilisation de matières premières renouvelables représente une contribution importante à la protection de l'environnement et du climat, au ménagement de ressources fossiles et à l'utilisation de

matières premières locales. Dans le cadre du développement de ce type de peintures, il est important de veiller non seulement aux aspects écologiques, mais aussi à l'absence de substances nocives.

4.2.5. Nanotechnologies

Les nanotechnologies permettent de développer de nouveaux produits de revêtement, qui ouvrent également de nouvelles perspectives en matière de durabilité. L'industrie n'est qu'au début d'un développement passionnant de nouveaux revêtements. Aujourd'hui, des nanoparticules sont utilisées dans des revêtements. Des couches plus minces avec une meilleure fonctionnalité ménagent les ressources et réduisent les émissions, et cela aussi bien lors de la fabrication que lors de leur mise en œuvre.



Code QR: Pour en savoir plus sur les nanotechnologies.

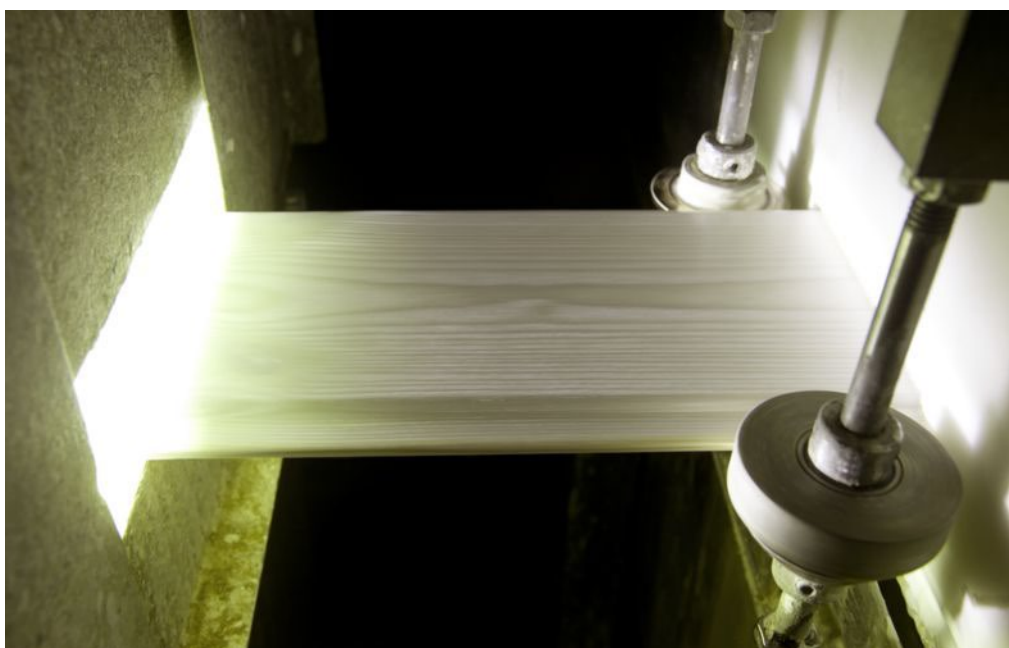


Figure 43: Le traitement de surface exige une grande précision (source: Eisenring AG)

4.3. Choix du traitement de surface adéquat

Le choix du traitement de surface adéquat est déterminant pour la satisfaction des clients. Comme ceux-ci ne connaissent souvent pas les possibilités susceptibles de répondre à leurs besoins, il est important de s'enquérir des critères de sélection, lors d'un entretien de conseil. Le bon choix est déterminant pour la fonctionnalité d'un traitement de surface, notamment à l'extérieur, pour des façades en bois.

Les points suivants sont des critères de sélection importants pour les traitements de surface:

- **Domaine d'emploi** à l'intérieur ou à l'extérieur
- **Attentes** posées au traitement (avantages, coûts, coûts consécutifs pour le contrôle, l'entretien et la maintenance, intervalle de remise en état)
- **Essence / dérivé du bois** surface rabotée, poncée, brut de sciage, sciage fin, surface rabotée structurée
- **Performance du revêtement** ou du système – pouvoir pénétrant, adhérence, protection contre l'humidité, procédé d'application, pigmentation, résistance aux intempéries
- **Type de sollicitation** à l'intérieur et, notamment, à l'extérieur (protection constructive du bois, protection chimique, exposition aux intempéries)
- **Teinte** bois naturel, prégrisaillement, lasure, peinture couvrante
- **Valeur de clarté relative** de la teinte
- **Caractéristiques de l'ouvrage** altitude, exposition, environnement (lisière de forêt / voie ferrée / route à grand trafic)

Pour les revêtements destinés à du bois, il faut également tenir compte des spécifications de performance selon la norme EN 927, afin de déterminer la solution adéquate. Dans ce cadre, les critères pour les revêtements destinés à du bois sont basés sur la tolérance dimensionnelle. Ce critère définit le retrait et le gonflement admissibles des éléments de construction en bois. Dans ce cadre, il y a lieu de distinguer les éléments:

Stables

Éléments de construction en bois pour lesquels de très faibles variations dimensionnelles sont tolérées. En font partie les fenêtres, les portes extérieures et les volets chevillés et collés.

Moyennement stables

Éléments de construction en bois pour lesquels des variations dimensionnelles limitées sont tolérées. En font partie les lamages rainés-crêtés, les avant-toits et les encadrements de fenêtre ainsi que les portails extérieurs et les volets (pour autant qu'ils ne soient pas définis comme stables) ainsi que les bardages.

Peu stables

Éléments de construction en bois pour lesquels les variations dimensionnelles ne sont pas limitées. Cela comprend les revêtements de façade à joints ouverts, les bardages à clin, les bardages à recouvrement, les bardeaux, les terrasses en bois, les clôtures et les palissades. (Bosshard, 2023)

Enfin, toutes les teintes ne conviennent pas non plus pour un traitement de surface. Il existe des centaines de nuanciers et des milliers de teintes. Celles-ci peuvent

varier sous certaines conditions climatiques. Pour l'extérieur, on utilisera par exemple des teintes réalisées à partir de pigments inorganiques.

La valeur de clarté relative détermine la clarté relative d'une couleur et indique la quantité d'énergie reflétée par une façade dans le domaine de la lumière visible. Le noir a une valeur de 0, le blanc une valeur de 100. En raison de l'alternance de réchauffement (la journée) et de refroidissement (la nuit) qu'elles subissent, les surfaces foncées sont soumises à des fluctuations thermiques plus importantes que les surfaces claires, ce qui se répercute sur leur vieillissement (Fössle, 2023).

Le système de classement ci-après est utile pour prendre une décision et conseiller les clients. La fiche d'information n° 26 «Farbveränderungen von Beschichtungen im Aussenbereich» publiée en juin 2007 par le Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz (BFS) allemand informe sur les altérations de la teinte en fonction du temps, de l'utilisation et des influences extérieures sur le revêtement. Il décrit le système de classement pouvant être utilisé pour la prévision de la fonctionnalité. Cette fiche d'information a été réalisée avec la participation de spécialistes de l'Association Suisse des Entreprises en Plâtrerie Peinture et est par conséquent parfaitement valable pour la Suisse.

Altérations de la teinte de revêtements extérieurs

		1 Pigments inorganiques avec une très bonne stabilité à la lumière	2 Pigments organiques et/ou inorganiques avec une bonne stabilité à la lumière	3 Pigments organiques et/ou inorganiques avec une stabilité limitée à la lumière
A Peinture silicate, dispersion avec une proportion importante de liant	Vernis acrylique Vernis PUR	A1	A2	A3
B Dispersion mate, peinture à la résine silicone, dispersion silicate	Vernis à base de résine alkyde	B1	B2	B3
C Dispersion de remplissage peinture à la chaux teintée	Vernis à base de résine de copolymère Résines époxydes	C1	C2	C3

Tableau 9: Altération de la teinte à l'extérieur (source: BFS fiche d'information n° 26)

4.3.1. Comparaison des différents produits de revêtement

Les systèmes de revêtement filmogènes tels que les lasures et les peintures couvrantes sont bien réglés par des normes, concernant leurs propriétés qualitatives et les exigences qui leur sont posées. Cela permet une assurance qualité. Les traitements de surface non filmogènes ne sont pas réglés par des normes, l'assurance qualité est difficile et devrait par conséquent être convenue avec le fournisseur du système.

Dans le cas des produits filmogènes, il est particulièrement important de veiller à ce que le système à appliquer (couche de fond plus couche de finition) reste respirant et permette la diffusion de vapeur d'eau. Un système complètement étanche peut menacer la durabilité du bois, du fait que de l'eau peut pénétrer dans le bois par de petites fentes et rester dans le bois. Le bois va rapidement pourrir et se désagréger, sans possibilité d'intervention ou de correction.

Ci-après, nous décrivons de manière détaillée les différents systèmes de revêtement.

Imprégnations

Ce sont généralement des produits incolores contenant des solvants ou diluables à l'eau, avec ou sans substances actives, avec une faible teneur en éléments solides (part non volatile). Ils pénètrent bien à très bien dans le bois et transportent les substances actives profondément dans le bois. Des additifs spéciaux peuvent protéger la lignine. Dans des façades, ils augmentent la protection contre l'humidité.

Apprêts

Les apprêts sont utilisés comme couche de fond et assurent une bonne adhérence des lasures ou des peintures couvrantes sur le bois. Les apprêts peuvent être incolores ou pigmentés, contenir des solvants ou être diluables à l'eau. Les apprêts peuvent aussi contenir des biocides. Certains apprêts spéciaux contiennent des composés qui empêchent la mobilisation de substances du bois solubles à l'eau par le revêtement.

Lasures

Elles soulignent la texture naturelle du bois et offrent une protection limitée dans le temps contre les intempéries. A l'extérieur, les lasures laissent passer une partie des rayons UV nocifs vers la surface du bois. Cela endommage la surface du bois (dégradation de la lignine). Il existe sur le marché des lasures pour imprégnation, à couche mince, à couche moyenne ou à couche épaisse. Celles-ci peuvent être très peu filmogènes ou filmogènes. Il existe des produits diluables à l'eau et des produits contenant des solvants. Les lasures de teinte moyenne à foncée sont plus durables que les claires. Au soleil, les lasures foncées réchauffent le bois jusqu'à 80°C. Sur les bois résinifères, cela entraîne un écoulement résine, qui peut à son tour endommager le revêtement de surface. Cette chaleur provoque un séchage et un retrait du bois, qui peut aller jusqu'à la formation de fentes. Il est par conséquent recommandé de procéder à des contrôles tous les 2 à 7 ans, et d'effectuer un traitement complémentaire, si nécessaire. Les lasures à couche épaisse pour des éléments de construction stables ne sont généralement pas utilisées pour des façades. Pour ces dernières, on pourra utiliser des lasures à base d'huile.

Lasures / imprégnations à couche mince

Ces revêtements contiennent une proportion d'éléments solides pouvant aller jusqu'à 30%. En règle générale, ils pénètrent bien dans le bois et assurent une bonne protection physique du bois. Si on utilise comme liant des résines alkydes dans un solvant organique ou sous forme aqueuse, on obtient une altération météorique «contrôlée». La lasure est progressivement lessivée de la surface du bois, mais ne s'arrache pas et ne s'écaille généralement pas.

Les lasures acryliques à base aqueuses restent plus longtemps «brillantes» que les vernis à base de résine alkyde, mais tendent à se fissurer et à s'écailler sous l'effet de l'altération météorique. Le coût d'une rénovation est généralement élevé. Les lasures à couche mince sont appliquées préférentiellement sur des surfaces extérieures peu stables telles que des avant-toits et des façades. Pour les applications industrielles, il existe des produits spécifiques, conçus en fonction des installations. Ces lasures sèchent rapidement et ne s'écaillent pas.

Lasures à couche moyenne

Elles combinent les avantages des lasures à couche mince et des lasures à couche épaisse, pénètrent bien dans le bois et sont fréquemment filmogènes. Il existe des lasures à couche moyenne pour éléments de construction stables et pour éléments de construction peu stables.

Lasures à couche épaisse

Les lasures à couche épaisse ont une teneur en éléments solides de 30 à 60% et sont utilisées principalement pour le traitement de portes et de fenêtres. Elles répondent aux exigences élevées en matière de protection contre l'humidité et donc de stabilité. Attention, lors d'application de lasures épaisses sur des façades: on n'utilisera que des produits spécialement validés par le fabricant. À côté des lasures à couche épaisse classiques, avec solvants, il existe également des lasures à couche épaisse de qualité diluables à l'eau, à base de liants acryliques ou hybrides.

Revêtements de bois couvrants

Ces revêtements offrent une bonne à très bonne protection contre les intempéries, avec de nombreuses possibilités de mise en œuvre et un grand choix de teintes, un aspect régulier et une bonne à très bonne durabilité avec un entretien et une maintenance adéquate. Elles se laissent généralement bien rénover. On trouve sur le marché des produits diluables à l'eau et des produits contenant des solvants. Les revêtements couvrants offrent une protection UV pratiquement totale, mais couvrent souvent la structure du bois. Ils présentent une teneur en éléments solides de 40–70%, avec une bonne protection contre l'humidité. De nos jours, des revêtements couvrants peuvent aussi être réalisés avec des produits d'imprégnation huileux.

4.3.2. Lasures d'altération et de prégrisaillement

Les lasures d'altération et de prégrisaillement sont des traitements spéciaux du bois, qui accélèrent l'altération superficielle du bois. En règle générale, il s'agit de produits non filmogènes. Ils contribuent à assurer un aspect homogène. Ils offrent ainsi un aspect grisé aux surfaces non exposées aux intempéries comme l'intrados des avant-toits, les banquettes de fenêtre et d'autres éléments de construction. Ils

ne nécessitent en principe pas d'entretien. En vieillissant, les façades en bois non traitées subissent généralement une altération irrégulière de la teinte. A l'extérieur, la teinte naturelle du bois n'est pas conservée. Cela vaut pour toutes les essences, sans exception. L'altération naturelle produit des teintes allant du gris clair au noir.

4.3.3. Protection UV technique dans les lasures

Dans toutes les lasures, la protection UV technique est très importante. Car, de par leur nature, les lasures laissent toujours passer une partie de la lumière visible et du rayonnement UV nocif vers la surface du bois. Cela réduit fortement la durabilité, notamment avec des lasures claires.

Il existe trois protections UV techniques pour les lasures:

- Pigments d'oxyde de fer transparents: le grand classique parmi les additifs de protection UV. Ils donnent sa couleur à la lasure, tout en absorbant le rayonnement UV nocif.
- Agents d'absorption des UV: ils absorbent la partie nocive du rayonnement solaire et la transforment en chaleur. Les agents d'absorption UV fonctionnent selon le principe de l'absorption de la lumière.
- Les fixateurs de radicaux (inhibiteurs) n'absorbent pas le rayonnement UV, mais agissent à l'endroit de la dégradation en tant que donneurs d'hydrogène. Ils protègent le liant, qui se dégraderait sans fixateurs de radicaux.

4.3.4. Revêtements / traitements spéciaux

A côté des produits les plus courants, il existe également des revêtements spéciaux.

Huiles

Produits lasurants ou couvrants à base d'huile. Très bonne pénétration. Il existe des produits diluables à l'eau ou contenant des solvants, très peu filmogènes à filmogènes, teintés ou non, ainsi qu'un choix de teintes à base de pigments inorganiques. Ce type de revêtement exige un entretien et une maintenance périodiques.

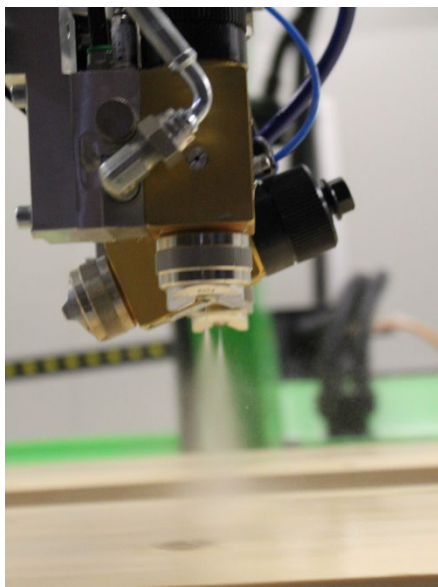


Figure 44: Le choix du système de revêtement adéquat est déterminant. (source: Mivelaz SA)

Peintures suédoises

Peintures couvrantes diluables à l'eau, microporeuses à haute teneur en pigments. Ces peintures sont généralement très peu filmogènes. Ce type de revêtement exige un entretien et une maintenance périodiques.

4.3.5. Entretien et maintenance

Chaque produit demande un entretien spécifique. À l'intérieur, il y a avant tout des huiles, qui exigent un entretien régulier. Les produits filmogènes se contentent de peu d'entretien. Pour les parquets, il est important de tenir compte des données techniques du fabricant.

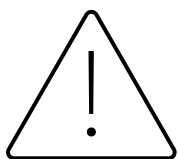
Pour les façades extérieures, l'entretien est un élément très important. Le plus important est de contrôler régulièrement l'état de la façade, afin de pouvoir intervenir au bon moment. Un entretien tardif requiert un ponçage complet ou un sablage de la façade, alors qu'un entretien au bon moment ne demande que des réparations ponctuelles ou un traitement complémentaire. La maintenance est souvent réalisée aux endroits les plus fortement exposés aux intempéries (figure 3) et sans protection constructive.

Dans le cadre de l'entretien, il est important de s'en tenir aux recommandations du fabricant. Un peintre doit connaître le produit utilisé pour le revêtement en place. Dans tous les cas, on veillera à ne pas utiliser de produit permettant la diffusion de vapeur d'eau. Sinon, il y a un risque de pourriture.

Traitement de surface pour l'extérieur (façades en bois)

Traitement fonctionnel (hydrophobisation)	Prégrisaillement	Lasures d'imprégnation	Peintures pour bois d'imprégnation et couvrantes	Lasures filmogènes	Revêtements couvrants filmogènes
Epaisseur de la couche 0- <20 µm	Epaisseur de la couche <20 µm	Epaisseur de la couche <20 µm	Epaisseur de la couche <20 µm	Epaisseur de la couche 30-60 µm	Epaisseur de la couche 60-100 µm
Non filmogène	Non filmogène	Non filmogène	Non filmogène	Filmogène	Filmogène
Très bonne protection contre l'humidité	Faible protection contre l'humidité	Faible protection contre l'humidité	Protection contre l'humidité moyenne à bonne	Bonne protection contre l'humidité	Très bonne protection contre l'humidité
En règle générale pas de protection UV	Faible protection UV	Faible à très bonne protection UV	Très bonne protection UV	Bonne protection UV	Très bonne protection UV
Dégradation lente	Dégradation voulue	Dégradation rapide	Dégradation moyenne à faible	Dégradation moyenne	Faible dégradation
Entretien et maintenance possibles	Sans entretien	Coût d'entretien et de maintenance élevé	Coût d'entretien et de maintenance moyen	Coût d'entretien et de maintenance moyen	Coût d'entretien et de maintenance moyen
Coût de rénovation moyen à élevé	Coût élevé en cas de rénovation	Coût de rénovation moyen	Coût de rénovation moyen	Ecaillage possible Coût de rénovation accru	Ecaillage possible Coût de rénovation accru
Bonne durabilité	Doit se dégrader	Faible durabilité	Durabilité bonne à élevée	Bonne durabilité	Durabilité élevée

4.4. Risques lors de l'utilisation de produits de revêtement



Certaines dispositions doivent être observées lors de l'utilisation de produits de revêtement. Des liquides facilement inflammables ne peuvent être conservés sur le lieu de travail que dans les quantités nécessaires au processus de travail. Pour des raisons de sécurité au travail et de protection de la santé, l'application par pulvérisation, p. ex., exige une aspiration continue. Des dispositions spéciales concernant les installations doivent être observées. Les sources de danger sont les installations électriques et les installations pouvant devenir des sources d'inflammation dangereuses. Les radios, radiateurs infrarouges et les lampes halogène sont interdits dans la zone de pulvérisation

Protection individuelle

Afin de ne pas se mettre en danger, il est important de connaître la fiche de sécurité du produit. Celle-ci contient toutes les informations relatives aux dangers et aux mesures de protection nécessaires. L'équipement de protection individuelle (EPI), notamment la protection respiratoire nécessaire, dépend du produit de revêtement utilisé. En cas d'urgence, il est important que tous les collaborateurs sachent quoi faire. Des postes d'extinction doivent être installés et signalés à proximité de la zone de danger, en tant que mesure de protection contre l'incendie.

Les vernis aqueux ne sont pas sans danger non plus. Les risques pour la santé sont liés à l'inhalation des aérosols et au contact avec les yeux et la peau. Les dispositions relatives à la protection de l'environnement et de la santé doivent impérativement être respectées.

Classes de danger

Les classes de danger définissent le type de danger lié à une substance. Dans ce cadre, le SGH distingue 28 classes de danger, réparties en trois groupes de danger:

- **Dangers physiques.** Les dangers physiques comprennent 16 classes de danger (2.1 à 2.16).
- **Dangers pour la santé.** Ce groupe comprend dix classes de danger (3.1 à 3.10)
- **Dangers pour l'environnement.** Deux classes de danger concernent l'environnement (4.1 et 5.1).

Les différentes classes de danger sont subdivisées en catégories, selon la gravité du danger. Chaque entreprise devrait disposer d'une vue d'ensemble des dispositions légales. Celles-ci doivent être régulièrement actualisées. Les collaborateurs doivent suivre des formations régulières.



Code QR: Protection de la santé lors de l'utilisation de produits chimiques dans l'entreprise.

Une attention particulière sera accordée aux fiches techniques des fabricants ainsi qu'aux fiches de données de sécurité (FDS), qui renseignent sur les caractéristiques des produits de revêtement et leur manipulation.

4.5. Mise en œuvre des produits de revêtement

Nous distinguons les types de mise en œuvre suivants:

- **Manuelle.** Mise en œuvre dans l'entreprise ou sur un ouvrage/chantier: pour les éléments de construction qui ne peuvent pas être revêtus de manière industrielle. Pour l'éventuelle couche de finition nécessaire après le montage. Pour les travaux d'entretien et de rénovation sur l'ouvrage.
- **Industrielle / mécanique.** Mise en œuvre dans l'entreprise: ce mode de mise en œuvre présente de nombreux avantages. Les quantités à appliquer peuvent être réglées et respectées précisément. La mise en œuvre se fait dans des conditions climatiques constantes. Le séchage ou le durcissement peuvent être forcés au moyen de rayons UV ou autres. Il est possible de mettre en œuvre presque tous les types de revêtement. La mise en œuvre est sûre et plus respectueuse de l'environnement.

4.5.1. Préparation de la surface du bois

La surface du bois doit être adaptée au revêtement prévu. Concernant la technique de production, on distinguera entre produits destinés à l'intérieur et produits destinés à l'extérieur (exigences plus élevées). De plus, pour tous les profils, une grande attention sera accordée à l'exécution des arêtes et aux dimensions. Pour les façades en bois avec une protection de surface filmogène, toutes les arêtes doivent être arrondies avec un rayon de courbure d'au moins 2,50 mm. Pour les baguettes, on recommande un profil incliné de 15°, afin de faciliter l'évacuation de l'eau. Les revêtements de surface adhèrent mieux sur des surfaces poncées ou brutes de sciage que sur des surfaces rabotées.

Surfaces rabotées / poncées

Les surfaces rabotées doivent être poncées avant de recevoir un revêtement. Le ponçage doit être soigneux et régulier (voir 1.5.2). De cette manière, on obtient une surface pouvant recevoir différents produits de revêtement. Ces surfaces sont idéales pour de futures rénovations, du fait que la structure de surface est conservée.

Surfaces brutes de sciage

Les surfaces brutes de sciage ont fait leurs preuves pour les bardages extérieurs. Des fibres levées et des éclats peuvent toutefois accumuler des salissures, et une usure mécanique peut entraîner des lacunes dans le revêtement et favoriser la pénétration d'humidité. Les couteaux des rabots peuvent comprimer légèrement les fibres et recouper les fibres du bois. Au contact de l'eau, ces fibres gonflent et absorbent davantage d'humidité.

La surface brute de sciage optimale est obtenue avec des scies à ruban munies de lames spéciales. Les surfaces brutes de sciage représentent un support optimal pour des traitements de surface ultérieurs. Les surfaces ainsi structurées présentent une plus grande superficie et absorbent davantage de produit de revêtement. Des contrôles réguliers et l'application en temps utile de revêtements

complémentaires permettent de prolonger sensiblement la durée de vie. Pour des rénovations complètes, cette méthode est plus complexe, du fait que la surface doit être préparée par sablage ou ponçage.

Surface rabotée structurée

Le rabotage structuré est une alternative qui a fait ses preuves, par rapport au sciage à la scie à ruban, et est idéal pour des traitements de surface. Le rabotage structuré permet le fraisage de lames sur plusieurs faces avec un ajustement parfait. La surface ainsi rendue rugueuse permet une bonne adhérence du traitement de surface.

Brossage, grenailage

Ces techniques offrent des possibilités de structuration visuellement intéressantes. Leur emploi pour des façades exposées aux intempéries demande toutefois des études complémentaires.

4.5.2. Ponçage

L'un des procédés les plus importants pour la préparation de surfaces est le ponçage. Celui-ci nettoie la surface du bois et élimine p. ex. les dépôts. Il élimine des structures indésirables, calibre et structure. Le ponçage influence la rugosité de la surface, augmente ou réduit la capacité d'absorption et assure ou améliore l'adhérence du revêtement.

Dans le cadre du ponçage, du bois est enlevé. Plus le moyen de ponçage est fin, plus la surface sera lisse/fine. Fondamentalement, on commence par des papiers de verre avec un grain grossier (chiffre bas) et on termine avec un papier de verre à grain fin (chiffre élevé). On distingue les ponçages suivants:

- **Ponçage du bois brut:** papier à gros grain. Nettoie la surface du bois
- **Ponçage de vernis:** papier à grain moyen à fin
- **Ponçage d'adhérence:** papier à grain fin

A côté des paramètres susdits (moyen de ponçage, finesse du grain), la direction du ponçage, la vitesse de ponçage, la vitesse de coupe et la pression de ponçage influencent également le résultat. Concernant la direction de ponçage, on distingue:

- **Ponçage dans le fil:** dans la direction des fibres du bois. Moins de griffures, le bois tendre est plus rapidement enlevé, à utiliser toujours pour le dernier passage.
- **Ponçage contre le fil:** transversalement à la direction des fibres. Convient mieux pour le ponçage plan, les fibres sont mieux coupées.

Le matériau abrasif devrait toujours être ouvert, pas usé ni à surface fermée. Sinon, les fibres du bois sont écrasées ou pressées, et elles se redresseront en cas d'apport d'humidité.

Il existe plusieurs outils et méthodes de ponçage:

- **Ponçage manuel:** avec une éponge ou un bloc de bois, une ponceuse vibrante ou excentrique.

- **Ponçage mécanique:** ponceuses automatiques avec bande transversale ou longitudinale ou en 3D, ponceuse à longue bande, ponceuse de chants, brosses abrasives
- **Brosses:** servent au nettoyage, au lissage, à la structuration ou au polissage.



Figure 45: La préparation de la surface est essentielle pour le succès ultérieur. (source: Schärer Holz AG)

4.5.3. Application des produits de revêtement

Les produits de revêtement doivent être adaptés au procédé d'application. Pour cela, on ajuste généralement la viscosité en fonction du procédé d'application. Les procédés les plus importantes sont les suivantes:

Application au pinceau

C'est le procédé d'application le plus ancien. Les produits de revêtement sont appliqués au pinceau, au rouleau ou à la brosse. Cela reste un des procédés d'application les plus importants.

Avantages	Inconvénients
Outils avantageux	Prend beaucoup de temps pour de grandes surfaces
Utilisable partout	L'épaisseur de la couche peut varier
Convient également pour des surfaces complexes	Les défauts du travail artisanal sont visibles
Faibles pertes de produit	
Nettoyage simple des outils	

Application au rouleau

Développement et alternative à l'application au pinceau. Il existe un grand nombre de rouleaux. Il existe des rouleaux spéciaux pour les produits de revêtement aqueux ou avec des solvants.

Avantages	Inconvénients
Permet un revêtement régulier de grandes surfaces	Principalement pour des surfaces planes Le produit peut gicler Travaux de protection nécessaires

Application au pistolet

Le travail au pistolet permet une application rapide et un résultat précis. Le principe de base est la pulvérisation.

Avantages	Inconvénients
Permet un revêtement régulier Convient également pour des surfaces complexes Le meilleur procédé pour des revêtements métallisés	Brouillard de pulvérisation Pertes de produit possibles (overspray) Matériel de protection nécessaire Investissement dans des cabines et des dispositifs d'aspiration

Application au pistolet airless/airmix

Le produit de revêtement est mis sous haute pression au moyen de pompes à piston ou à membrane. La pulvérisation se fait à l'extrémité de la buse du pistolet.

Avantages	Inconvénients
Permet de grandes épaisseurs de revêtement Moins d'overspray / brouillard de pulvérisation Peut-être pompé et giclé à partir du conteneur d'origine Avec airmix, il est possible d'utiliser de l'air pour pulvériser Permet une meilleure finition visuelle des surfaces	Mesures de sécurité nécessaires Le revêtement est moins régulier

Autres procédés de pulvérisation: à basse pression, à chaud, pulvérisation 2 composants, pulvérisation électrostatique, automates et robots de pulvérisation – disponibles comme machines de pulvérisation manuelles ou automatiques, robots de pulvérisation horizontale, machines de pulvérisation rotative ou excentrique, robots de pulvérisation 3D ou sur chariot.

Application au cylindre

Des appareils à cylindre sont fréquemment utilisés pour des revêtements de protection UV.

Avantages	Inconvénients
Application rapide sur des surfaces planes Grande largeur d'application Couche d'épaisseur constante Faibles pertes de produit	Coûts d'investissement élevés Seulement pour surfaces planes Risque de défauts récurrents dus à des dépôts sur le cylindre

Application par coulée

L'application se fait au moyen d'une machine à couler.

Avantages	Inconvénients
Épaisseurs possibles entre 50 et 400 µm La surface n'a pas besoin d'être totalement plane.	Ne convient pas pour de faibles épaisseurs Difficile à réguler

Application par aspersion

Le produit de revêtement est aspergé sur les pièces de bois.

Avantages	Inconvénients
Faibles coûts d'investissement Application manuelle à entièrement automatisée Faibles pertes de produit	Ne convient pas pour toutes les pièces de bois

Application par immersion

L'immersion fait partie des procédés d'application les plus anciens.

Avantages	Inconvénients
Faibles coûts d'investissement Faibles pertes de produit	Revêtement régulier seulement sur des pièces de forme adéquate

Imprégnation sous vide

L'imprégnation sous vide est réalisée au moyen d'installations spéciales. Ce procédé convient pour des lames rabotées allongées de forme régulière, des listes, etc. Les pièces passent par une chambre sous vide, dans laquelle le revêtement est appliqué. L'entrée et la sortie de la chambre sous vide doivent être adaptées aux pièces à traiter. De l'air extérieur est aspiré dans la chambre à travers une mince fente. Cet air assure une imprégnation régulière de toutes les surfaces.

Procédé d'application électrostatique

Pour des vernis liquides. Le produit de revêtement est chargé électriquement en passant dans le dispositif d'application électrostatique, puis est attiré par la pièce mise à terre. Ce procédé offre une efficacité élevée.

Pour des vernis en poudre. Même principe que pour les vernis liquides. La poudre tombant à côté de la pièce à traiter peut-être récupérée et réutilisée.

Thermolaquage de bois. Procédé novateur, actuellement pas utilisable pour tous les dérivés du bois ni pour tous les revêtements de surface. La poudre utilisée est constituée à 100% d'éléments solides. Ce procédé n'utilise ni eau, ni solvant, et ne produit pratiquement pas de déchets.

4.5.4. Séchage et durcissement

Après l'application, le produit de revêtement doit se transformer en revêtement, autrement dit, il doit sécher et durcir.

Le séchage

Il s'agit d'un processus physique. Tous les éléments volatiles du produit de revêtement sont évaporés. Ce processus ne change pas la composition chimique du revêtement (vernis nitrocellulosiques, vernis acryliques, vernis aqueux monocomposant). Le solvant s'évapore et il ne reste que le revêtement sec.

Un séchage industriel offre plusieurs avantages. Il permet d'accélérer le processus et d'assurer une bonne qualité de surface, ainsi qu'une disposition rationnelle des pièces à sécher. On utilise pour cela des installations de séchage spéciales. Celles-ci permettent de régler et de maintenir constantes la température, la vitesse de l'air, la surpression et la qualité de l'air.

Les pièces à sécher peuvent également rester dans des locaux de séchage. En raison de l'ouverture et de la fermeture de ces locaux, les paramètres du processus de séchage ne sont toutefois pas constants.



Figure 46: Séchage à l'air libre (source: Eisenring AG)

Il est également possible d'utiliser des tunnels de séchage (horizontaux ou verticaux). Dans ce cas, les pièces sont placées sur un tapis roulant, et le dispositif assure des conditions de séchage constantes.

Il existe encore de nombreux autres procédés de séchage: séchoir à tuyères, séchoir paternoster, séchoir à IR, séchoir à micro-ondes, etc.

Pour les produits de revêtement diluables à l'eau, on tiendra compte du fait que l'air ne peut contenir et absorber qu'une quantité limitée de vapeur d'eau. Le

processus de séchage sera donc plus lent, si l'air est humide. Si l'air est sec, le processus de séchage sera au contraire accéléré. Le séchage peut également être amélioré par rayonnement. On utilise pour cela des séchoirs à infrarouge ou à micro-ondes. Contrairement à l'infrarouge, les micro-ondes ne produisent pas de chaleur par rayonnement. Elles font vibrer les molécules d'eau dans le substrat, et c'est cette vibration qui produit de la chaleur. Pour les vernis, les micro-ondes sont destinées à amener l'eau à la surface du revêtement, où elle est évacuée par un séchoir à tuyères. Un apport d'énergie trop important ou des couches de revêtement trop épaisses provoquent une fissuration du vernis.

Le durcissement

Il s'agit d'un processus chimique. Celui-ci commence en présence d'oxygène (huiles, lasures à base de résine alkyde), d'un durcisseur (vernis 2 composants), à partir d'une certaine température (vernis au four, thermolaques), lors de l'ajout d'un catalyseur (mastic ou vernis polyester) ou lorsqu'un photo-initiateur est activé (produits de revêtement durcissant sous UV).

Dans le cadre des procédés de durcissement industriels, on utilise les technologies suivantes, toutefois pratiquement uniquement pour des traitements de surface d'éléments de bois destinés à l'aménagement intérieur.

- **Durcissement sous UV.** Les vernis UV durcissent sous l'effet d'un rayonnement UV. On utilise un rayonnement de 200–440 nm, produit par des lampes à vapeur de mercure ou des lampes au gallium. Ce processus est rapide et ne dure que quelques secondes. L'ozone produit lors de ce processus doit toutefois être évacué dans l'environnement.
- **Durcissement par LED.** De ce fait, on utilise de plus en plus des lampes LED pour le durcissement UV. Celles-ci ont une efficacité énergétique élevée et ne produisent pas d'ozone. Ces installations sont toutefois encore relativement chères.
- **Durcissement ESH (durcissement à faisceau d'électrons).** Avec ce procédé, un faisceau d'électrons est envoyé sur le revêtement. Les doubles liaisons insaturées polymérisent et durcissent le vernis. Cela permet d'obtenir une meilleure résistance. Ce procédé convient également pour des revêtements fortement couvrants – par exemple pour des portes ou des parquets.

4.5.5. Contrôle des produits et contrôle qualité

Certaines entreprises avec des installations de traitement de surface disposent d'un grand assortiment de produits de protection du bois et de produits de revêtement. Le processus de revêtement comprend plusieurs étapes et est par conséquent complexe. Une assurance qualité, depuis le contrôle à la réception jusqu'à la livraison, est par conséquent judicieux, afin d'éviter des erreurs et des réclamations.

1. Dans le cadre du contrôle à la réception des produits de revêtement, des check-lists permettent de noter et d'enregistrer toutes les informations relatives aux produits pertinentes pour le processus de production.
2. Les produits de revêtement doivent être préparés avant leur mise en œuvre. Cela comprend le contrôle de la teinte. Lors de commandes complémentaires, il est important de comparer les teintes à l'aide d'échantillons témoins.

Si des écarts de teintes ne sont constatés qu'après la production ou le montage, cela peut entraîner des coûts importants. Des archives de teintes bien organisées et entretenues facilitent le contrôle et l'archivage.

3. Après avoir bien mélangé le produit de revêtement, on peut contrôler sa viscosité. Pour certains procédés d'application, celle-ci doit se trouver dans une certaine fourchette. Pour de nombreux produits, elle peut être déterminée et ajustée au moyen d'une coupe de viscosité à écoulement. Pour les produits à 2 composants, le durcisseur doit être ajouté avant la mise en œuvre. Dans ce cadre, on ne préparera que la quantité qu'on pourra mettre en œuvre dans la durée d'emploi indiquée. En hiver, on contrôlera la température pour les produits de revêtement aqueux. Ni le produit de revêtement, ni les pièces à traiter ne doivent être à une température inférieure à 15°C.
4. Pour chaque produit et chaque étape de travail, on respectera les conditions d'application données. Le respect des quantités à appliquer est extrêmement important. Celles-ci sont généralement données en g/m². Après le séchage ou le durcissement, on obtient l'épaisseur voulue en µm. La température et l'humidité de l'air doivent être adaptées aux surfaces à traiter et être maintenues les plus constantes possibles.
5. La quantité à appliquer est surveillée au moyen d'une balance de contrôle.
6. L'épaisseur de la couche humide est déterminée au moyen d'un peigne de mesure. L'épaisseur de la couche sèche/durcie est déterminée au moyen d'un microscope de mesure. Dans le cas de traitements de surface par imprégnation, la détermination de l'épaisseur de la couche n'a pas d'intérêt. Dans le cas de traitements de surface filmogène, la précision de mesure dépend de la structure de surface.
7. A la fin, on procède au contrôle du traitement de surface séché et durci.
 - La régularité est évaluée visuellement.
 - On évaluera les questions suivantes: la pièce traitée est-elle exempte de coulures/gouttes, est-elle entièrement couverte, est-elle exempte de reprises visibles, y a-t-il des différences de brillance?
 - La lasure et la teinte sont-elles régulières? Il vaut la peine de comparer à la lumière du jour la pièce traitée avec un échantillon témoin. On peut bien entendu également utiliser des colorimètres peu coûteux. Le degré de brillance peut être mesuré au moyen d'un brillancemètre.
 - Lors du contrôle de l'adhérence, on veillera à ce que le revêtement soit entièrement sec et durci.

Les pièces ayant reçu un traitement de surface ne doivent être empilées qu'après le temps de séchage indiqué. Ces informations sont généralement fournies par le fabricant. On peut également les déterminer au moyen de tests dans l'entreprise. Si on ne respecte pas les temps de séchage, les pièces peuvent se coller entre elles et ne peuvent plus être séparées sans dommages. Un simple test au serre-joint offre une sécurité supplémentaire.

Il existe plus d'une centaine d'autres tests pour les produits de revêtement. Un grand nombre d'entre eux ont été développés pour des exigences spéciales.

Certains clients peuvent exiger des contrôles spécifiques. Ceux-ci peuvent également être réalisés par des instituts et des laboratoires spécialisés.

De nombreuses raboteries disposent, en plus, d'un présentoir extérieur, afin de tester et de contrôler les produits de revêtement pour l'extérieur.



Figure 47: Un présentoir extérieur permet d'évaluer le comportement des produits de revêtement.
(source: Mivelaz SA)

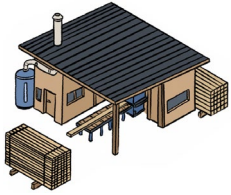
4.5.6. Exigences légales

Les produits de revêtement doivent répondre à de nombreuses exigences légales en matière de protection de la santé et de l'environnement. Par ailleurs, les produits de revêtement peuvent représenter des risques, depuis la logistique jusqu'à la mise en œuvre en passant par le stockage. En respectant toutes les prescriptions de sécurité, on réduit ces risques au minimum. Les personnes chargées de la mise en œuvre doivent connaître les dangers d'incendie et d'explosion ainsi que les dispositions relatives à la protection de l'environnement et de la santé.

Des mesures de sécurité doivent être prises lors de l'utilisation de produits de revêtement. Les aide-mémoires de la Suva représentent des références utiles:

Téléchargements et commandes: suva.ch/fr-ch/download

5. Dédoubler et raboter



Raboterie

CO d2: Réaliser des produits à base de bois

Chaque fois que des pièces en bois doivent être dotées d'une surface lisse et précise ou être dégauchies, on utilise une raboteuse. Ce type d'outil est utilisé depuis plus de 3000 ans et a connu d'importants développements, depuis le rabot manuel à la raboteuse mécanique moderne.

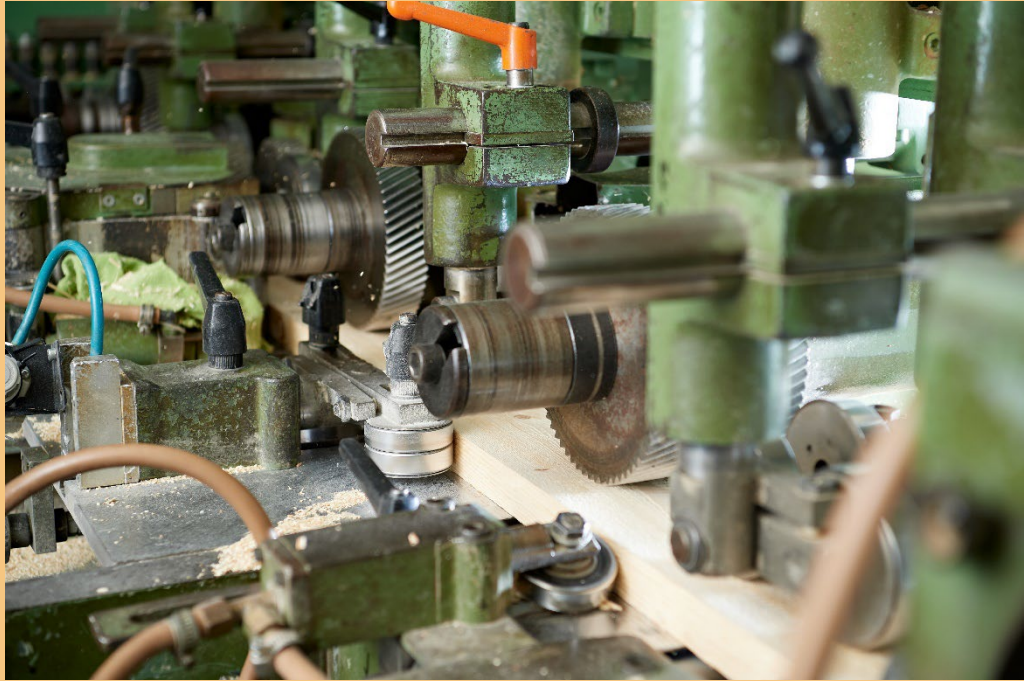


Figure 48: Raboteuse en fonctionnement (source: OLWO AG)

Tâches pratiques dans l'entreprise

Stade de production 2:

- Réaliser des profilés simples (poutres rabotées 4 faces, profilés rainés-crêtés simples)
- Régler et opérer une machine à dédoubler de manière autonome
- Régler et opérer une raboteuse de manière autonome
- Contrôler des produits sous supervision
- Mesurer des profilés, des sections et des profilés complexes
- Valoriser les rebuts et les sous-produits

Stage pratique stade de production 2 (sous supervision):

- Réaliser des profilés simples
- Contrôler les produits

Cours interentreprises 6

- Réaliser de poutres rabotées et des lames de plancher rainées-crêtées pour l'aménagement intérieur
- Préparer les machines selon instructions
- Transformer du bois massif avec la machine à dédoubler
- Transformer du bois massif avec la raboteuse

Situations professionnelles

- Vous dédoublez des lames rabotables pour en faire des produits semi-finis ou des produits finis.
- Vous dégauchissez et rabotez en épaisseur de sciages selon instructions.
- Vous rabotez des lattes et des poutres aux dimensions voulues.
- Vous réalisez des produits profilés selon commande, p. ex. des lames pour bardages.

Objectifs d'apprentissage

- Vous décrivez la construction et le fonctionnement des machines à dédoubler ainsi que les prescriptions de sécurité pour leur utilisation.
- Vous décrivez le déroulement du processus de dédoubleage.
- Vous identifiez les potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique des machines à dédoubler, des scies multiples à fin trait de scie et des scies circulaires à refendre, et vous en déduisez des possibilités concrètes, dans votre domaine de compétence, pour l'optimisation et la réduction de la consommation d'énergie dans votre entreprise.
- Vous décrivez la construction et le fonctionnement de la raboteuse ainsi que les prescriptions de sécurité pour son utilisation.
- Vous décrivez le rabotage de sciages.
- Vous décrivez le fonctionnement et l'utilisation d'outils typiques, vous expliquez les relations entre vitesse d'avancement et vitesse de rotation / de coupe, et vous effectuez les calculs correspondants.
- Vous identifiez les potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique lors de la réalisation de produits à base de bois et vous en déduisez des possibilités concrètes, dans votre domaine de compétence, pour l'optimisation et la réduction de la consommation d'énergie dans votre entreprise.

5.1. Principaux processus dans la raboterie

La plupart des produits réalisés dans l'industrie du bois passent par plusieurs processus lors de la première et de la deuxième transformation, avant d'être vendus comme produits finis. Dans la scierie, on produit ce qu'on appelle des lames rabotables pour la deuxième transformation dans la raboterie (voir également Usages du commerce des bois UCB, chapitre 2.5). Ces lames sont séchées puis livrées à la raboterie. La raboterie achète généralement les lames rabotables dans des sections standardisées (UCB 2.5.2.2 et 2.5.2.3) et dans des qualités et des humidités du bois standardisées. Elle les transforme selon les spécifications du produit fini. Les étapes de transformation les plus courantes dans une raboterie sont les suivantes:

- Dédoublage des lames rabotables à la dimension brute de rabotage
- Collage des nœuds, réparation des poches de résine ou des nœuds
- Rabotage et profilage
- Triage selon la classe d'aspect selon les UCB chapitre 3
- Optimisation du rendement par tronçonnage des défauts / réalisation de courtes longueurs

Dans ce qui suit, nous allons étudier le dédoublage et le rabotage.

5.2. Dédoublage

Dans la raboterie, on produit majoritairement des lames profilées prêtes à être montées pour des applications à l'intérieure et à l'extérieure, des sciages de dimensions précises (p. ex. lattes) pour le commerce ainsi que des lames calibrées pour une prochaine transformation industrielle (p. ex. usines de collage). Les scieries ne sont souvent pas en mesure de réaliser la grande diversité de dimensions demandées par le marché ou obtiendraient un rendement insuffisant, en raison des besoins importants de lames minces et des chemins de scie liés au processus de sciage. Les scieries produisent par conséquent principalement des lames rabotables de dimensions et de qualités standard, qui peuvent ensuite être transformées en fonction de la demande du marché.

Les raboteries achètent ces produits standard, gèrent des stocks des assortiments les plus courants d'essences, de longueurs et de dimensions, et les dédoublent aux dimensions brutes individuelles, avant le processus de rabotage. Pour des raisons de tolérance dimensionnelle, les lames rabotables sont dédoublées dans la raboterie dans l'humidité requise pour l'usage prévu (UCB 1.2.2, basés sur la norme SIA 265). De nos jours, les produits réalisés par les raboteries sont en grande majorité séchés au séchoir. Le processus de séchage peut se dérouler aussi bien dans la scierie que dans la raboterie. Comme les raboteries réalisent souvent des spécialités individuelles en petites à moyennes quantités, en fonction de la demande des clients ou de la demande locale, un grand nombre d'entre elles possèdent leurs propres installations de séchage, qui leur permettent un séchage plus précis que dans une scierie, grâce à de grands séchoirs et à un roulement important.

Les lames rabotables sont dédoublées aussi bien en hauteur (on parle alors de «refente») qu'en largeur. Des lames rabotables dédoublées par le milieu pour des

bardages avec un aspect de faux quartier sont souvent dédoublées en deux étapes, avec sciage sur quartier.

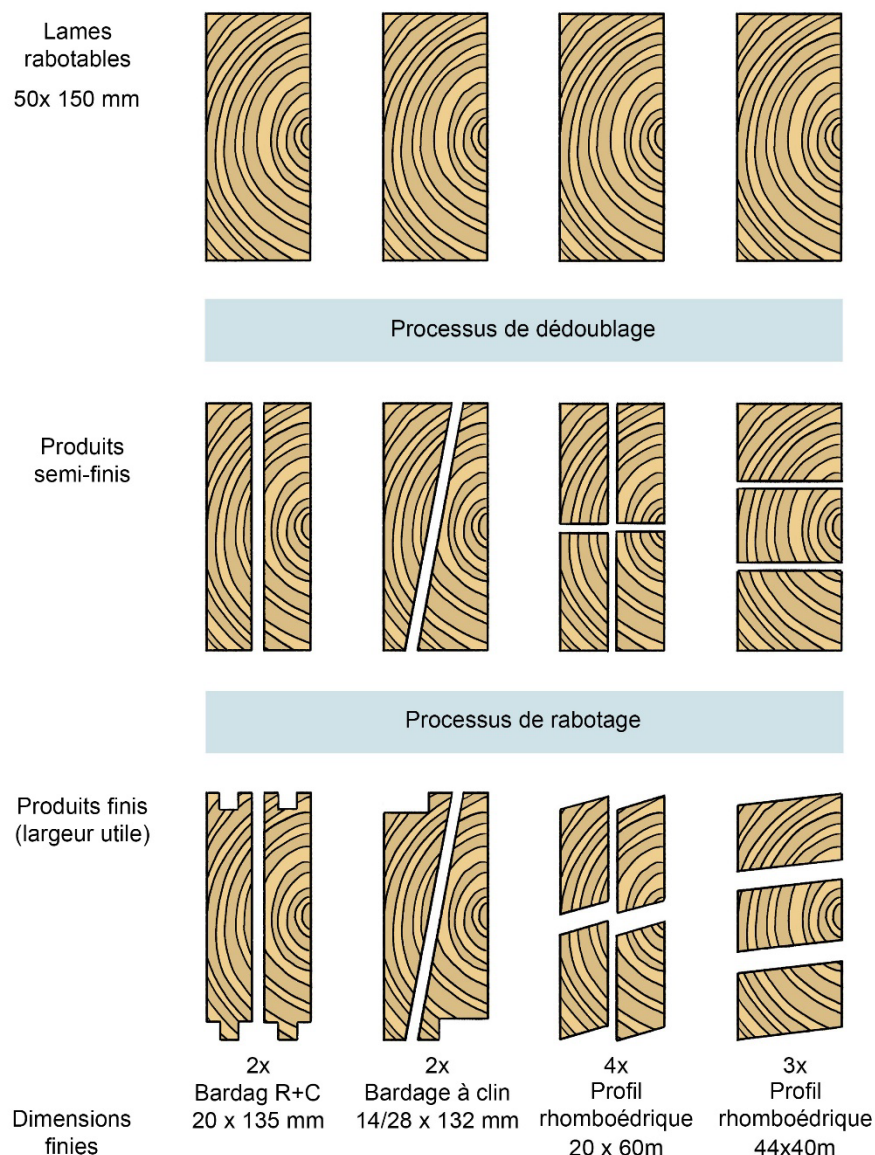


Figure 49: Représentation graphique du processus de dédoubleage et de rabotage (source: IBS)

Le dédoubleage définit également l'orientation des fibres dans les produits finis (Voir fiche d'information ASR 1-4-21 Bois rabotés Séparation centrale / Rift/demi-rift (10/2021) www.vsh.ch)

Exemple de calcul du rendement (voir également 1^{ère} année d'apprentissage)

Exemple correspondant à la Figure 49

A partir d'une lame rabotable de 50 X 200 mm, tu produis par sciage sur quartier un profil rhomboédrique avec une épaisseur finale de 20 mm.

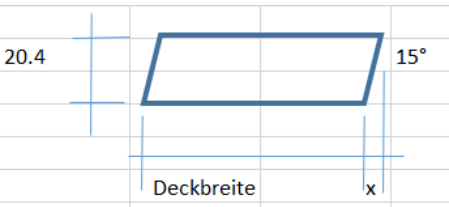
L'angle de la face inclinée est de 15°.

1. Quels paramètres de production dois-tu connaître pour calculer le produit?
2. Quelle est la largeur utile maximale du profilé (pas d'arête à arête)?
3. Quel est le rendement du bois en pour-cent?

Réponse à la question 1

Réponse	Hypothèse
1) Epaisseur de la lame de la machine à dédoubler	3.2 mm
2) Perte d'épaisseur due au rabotage (dégauchissage) en bas	1.8 mm
3) Perte de rabotage pour le calibrage en haut	0.8 mm
4) Perte de largeur due au rabotage côté butée	2.5 mm
5) Perte de largeur due au rabotage côté crête	1.5 mm

Réponse à la question 2

	Calcul	Résultat
Epaisseur brute après 1 x dédoubleage	$(50 \text{ mm} - 3.2 \text{ mm}) : 2$	23.4 mm
Epaisseur après 2 x dédoubleage	$(200 \text{ mm} - 3.2 \text{ mm}) : 2$	98.4 mm
Dimensions brutes avant rabotage - Dégauchissage (1): -1.8 mm - Calibrage (3): -0.8 mm - Perte en largeur (4+5): -4 mm Rabotage 4 faces	$23.4 \text{ mm} \times 98.4 \text{ mm}$ $23.4 \text{ mm} - 1.8 \text{ mm} = 21.6 \text{ mm}$ $21.6 \text{ mm} - 0.8 \text{ mm} = 20.4 \text{ mm}$ $98.4 \text{ mm} - 4.0 \text{ mm} = 94.4 \text{ mm}$ $20.4 \text{ mm} \times 94.4 \text{ mm}$	
Largeur utile 	$x = 20.4 \text{ mm} \times \tan 15^\circ = 1.1 \text{ mm}$ $94.4 \text{ mm} - 1.1 \text{ mm}$	93.3 mm

Le profilé rhomboédrique a une épaisseur maximale de 20.4 mm et une largeur utile de 93.3 mm. Dans la pratique, on proposerait 20 x 93 mm.

Réponse à la question 3

Le rendement théorique par rapport à la largeur de la lame rabotable est calculé comme suit:

	Calcul	Résultat
Largeur utile sur largeur de la lame rabotable en %	$93.3 : (200:2)$	93.3%

Réalisation de surfaces planes par la coupe de dédoubleage

Réalisation de surfaces brutes de sciage

5.2.1. Caractéristiques du processus de dédoubleage

Après séchage, toutes les lames rabotables présentent un léger gauchissement, ce qui complique le calcul de la perte d'épaisseur due au dégauchissage. Les surfaces dégagées par le dédoubleage sont planes et permettent un rabotage minimum et une meilleure précision du produit fini.

Les surfaces brutes de sciage recherchées pour les bardages sont produites par la lame de la machine à dédoubler. La qualité des surfaces brutes de sciage dépend de la qualité de la lame de scie, de la voie, du nombre de dents et de la vitesse d'avancement du processus de dédoubleage. Chaque raboterie a sa propre définition de la qualité.

5.2.2. La machine à dédoubler

Domaine d'utilisation (voir également 1^{ère} année d'apprentissage, chapitre 5.7.3)

La machine la plus utilisée dans une raboterie est le ruban dédoubleur.

Comme les lames rabotables usuelles ont une largeur pouvant aller jusqu'à 225 mm environ, (exceptionnellement jusqu'à 300 mm), ces machines sont généralement plus petites qu'une scie à ruban de scierie. Les poulies ont habituellement 800 à 1200 mm de diamètre. Les lames rabotables à dédoubler sont amenées vers la lame de scie par des paires de rouleaux, et extraites à la sortie de la scie par d'autres rouleaux. De cette manière, le bois est conduit précisément à travers la scie, ce qui permet une grande précision dans l'épaisseur des lames dédoubleées.

Pour des raisons de rendement, les rubans dédoubleurs d'une raboterie présentent des lames les plus minces possibles. Dans la pratique, on trouve des épaisseurs de 1,8 à 2,5 mm. Le guidage des pièces et l'épaisseur de la lame de scie sont les principales différences, par rapport aux scies à rubans utilisées dans une scierie.

Comme une raboterie dédouble généralement des paquets de mêmes dimensions, les rubans dédoubleurs peuvent être mécanisés aussi bien du côté entrée que du côté sortie et pour la formation des paquets, ou être intégrés directement dans la ligne de production, en amont du processus de rabotage. Les vitesses d'avancement pour le dédoubleage dans une raboterie sont généralement de 15 à 60 m/min.



Figure 50: Ligne de scie à ruban mécanisée avec, au premier plan, le désempilage avec dispositif de levage à vide et, au second plan, la séparation, l'amenage à la scie à ruban, l'extraction et la station de triage et de paquettisation. (source: OLWO AG)

Spécialité ruban dédoubleur double

Avec l'arrivée de lames pour lambris en sciages nordiques, dans les années 1960, des rubans dédoubleurs doubles provenant de Scandinavie ont été introduits dans les raboteries. Il s'agit de deux scies à ruban montées face à face et décalées. Cela permet de fendre des lames rabotables en trois parties en un seul passage (p. ex. 3 x 19 mm d'épaisseur brute à partir de lames rabotables de 63 mm). Il est aussi possible de n'utiliser que l'un des deux rubans. Cette souplesse d'utilisation en fait la machine standard pour les raboteries.

Fonctionnement

Les principales fonctions ont déjà été décrites ci-dessus. L'une des fonctions particulières de la mécanisation est la séparation après le dédoubleage. Les deux lames dédoubleées sont extraites ensemble de la scie et doivent d'abord être tournées horizontalement et séparées, pour le contrôle qualité et l'empilage qui suit. Dans la pratique, on utilise pour cela des chaînes de transport transversales avec limiteurs en hauteur ou des dispositifs de levage à vide. Contrairement aux scieries, qui produisent du bois frais destiné au séchage, c'est ici qu'intervient une première évaluation de la qualité et un triage par classes, pour le rabotage ultérieur. Après le dédoubleage, on intègre de plus en plus souvent un autre processus destiné à améliorer la qualité, à savoir le collage des nœuds. Le collage avant le processus de rabotage permet d'éviter dans une grande mesure l'arrachement de nœuds lors du rabotage, ce qui augmente le rendement de produits de qualité, sur l'ensemble du lot.

Ligne ou installation indépendante?

Dans les raboteries, les rubans dédoubleurs sont utilisés aussi bien comme élément intégré dans une ligne de production, en amont de l'installation de rabotage, que comme installation indépendante.

Le principal avantage de l'intégration dans une ligne est économique, du fait que cela évite une manipulation des pièces et que les lames séparées sont amenées directement dans l'installation de rabotage. Dans le cas d'une production très diversifiée et de vitesses d'avancement différentes pour les divers produits lors du rabotage, cela requiert toutefois un tampon important entre les deux machines. Sinon, elles ne peuvent pas travailler avec la vitesse d'avancement optimale pour chacune.

L'option d'une machine indépendante offre une plus grande souplesse dans le processus de production et une optimisation individuelle des différents processus de travail. Une installation indépendante est notamment avantageuse pour le triage après le dédoubleage et pour le traitement des lames rabotables (collage des nœuds avant le rabotage). Ce concept requiert toutefois davantage de place dans la halle de production et requiert un stock supplémentaire pour les lames rabotables dédoublées, triées et prêtes à être rabotées.

Prescriptions de sécurité

Il n'y a pas de prescriptions de sécurité générales pour les rubans dédoubleurs dans les raboteries. Le secteur se base sur la liste de contrôle de la Suva: «Travailler le bois avec une scie à ruban, mais en sécurité», qui a toutefois été élaborée en premier lieu pour de petites scies à ruban mobiles, dans lesquelles l'opérateur amène manuellement le bois vers la scie. La plupart des lignes mécanisées de rubans dédoubleurs dans les raboteries sont adaptées individuellement aux conditions locales et doivent présenter un concept de sécurité pour l'obtention de l'autorisation d'exploiter. Les concepts de sécurité actuels séparent l'opérateur des outils en fonctionnement ou des risques d'écrasement au moyen de barrières de sécurité ou de barrières photoélectriques. En cas d'interruption des barrières photoélectriques, la commande arrête la ligne mécanisée et le moteur de la scie. Le plus grand risque est lié à des interventions dans le domaine de l'outil lorsque le ruban tourne encore par inertie, après l'arrêt du moteur.

Les concepts de sécurité doivent dans tous les cas être respectés, et le bon fonctionnement des barrières mécaniques et photoélectriques doit être contrôlé périodiquement.

5.2.3. Scie multiple à fin trait de scie

Domaine d'utilisation

Cette machine a été développée dans les années 1970 pour l'industrie du ski, et a trouvé des applications dans l'industrie des panneaux en bois massif et l'industrie du parquet. Le principe de fonctionnement est basé sur la scie multiple, bien connue dans les scieries, les bois à scier étant toutefois constitués de sciages séchés, avivés parallèlement et calibrés de plus petites dimensions (hauteur de coupe max. < 260 mm), ce qui permet de réduire tous les éléments techniques et d'assurer un fonctionnement plus précis.

Lors la réalisation de lames de bois de 2 – 6 mm d'épaisseur pour des parquets ou des panneaux multicouches, la perte de matière due à l'épaisseur des lames de scie représente un facteur déterminant. Les scies multiples à fin trait de scie peuvent être munies de lames à partir de 1,1 mm d'épaisseur. Les vitesses d'avancement usuelles pour produire ces lames de bois de qualité se situent entre 0,2 et 1,7 m/min (source: www.wintersteiger.com). Pour des raisons de capacité, les entreprises de l'industrie du bois utilisent le plus souvent plusieurs scies multiples à fin trait de scie en parallèle ou en série.

5.2.4. Scie à ruban de réduction à fin trait de scie

Domaine d'utilisation

Pour la production moderne de panneaux trois plis avec un volume de production élevé, les lames pour les différentes couches des panneaux sont produites avec une scie à ruban de réduction à fin trait de scie. Comme pour la scie multiple à fin trait de scie, les carrelets préalablement calibrés 4 faces sont passés par plusieurs scies à ruban de réduction horizontales placées en série, où chaque scie coupe une lame. L'avancement se fait par des cylindres de pression. A la fin du processus, les lames séparées et superposées sont extraites en bloc, puis séparées mécaniquement. (source: www.fill.co.at; disponible en allemand ou anglais).

Ces deux types de machines ne sont guère représentés dans les raboteries suisses.

5.2.5. Scie circulaire à refendre

Domaine d'utilisation

Ce type de machine n'est guère utilisé dans les raboteries. La scie circulaire à refendre est traitée au cours de la 1^{ère} année d'apprentissage, chapitre 5.7.1, en tant que machine à deux ou plusieurs lames.

Sur certaines raboteuses, il est possible de monter des lames de scie circulaire sur les broches, mais seulement à un emplacement fixe. Cela permet par exemple de réaliser des produits de construction simples comme des lattes à tuiles ou des lattes doubles à partir de planches parallèles. Le diamètre des lames de scie circulaire est toutefois limité, sur la raboteuse: des hauteurs de coupe de plus de 65 mm ne sont guère possibles.

5.2.6. Potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique

Machines à dédoubler

Le ruban dédoubleur est une machine compacte, commandée depuis une armoire de commande, et qui peut être «enclenchée» ou «arrêtée» dans le processus de production. Si la desserte du ruban dédoubler est mécanisée, cette desserte est commandée depuis une deuxième armoire de commande. La vitesse d'avancement optimale est déterminée par l'essence, l'épaisseur du bois et les caractéristiques des outils. Dans la pratique, cette vitesse d'avancement est déterminée en collaboration avec le fournisseur de la machine et des outils.

Les machines modernes avec un moteur commandé en fréquence présentent la meilleure efficacité énergétique. Sur les installations plus anciennes, il convient donc d'évaluer si une transformation vaudrait la peine.

Sur les machines modernes commandées en fréquence, la réduction de la vitesse d'avancement permet de diminuer la consommation d'énergie, ce qui se répercute toutefois négativement sur la capacité de production.

Dans la pratique, des mesures organisationnelles telles qu'une préparation judicieuse du travail, le regroupement de grandes séries avec un minimum de changements de sections et un aménagement et une extraction continues des pièces doivent permettre de réduire autant que possible les temps morts et les dérangements, lorsque les moteurs tournent. La thématique de l'élimination des dérangements est traitée succinctement dans le chapitre installations de rabotage.

5.3. Rabotage

Le rabot est un instrument d'enlèvement de copeaux et a été inventé vers 1200 av. J.-C. (source: Wikipedia). Le principe de fonctionnement est resté inchangé: des copeaux enlèvent des copeaux sur la pièce à raboter, afin de donner à celle-ci la forme ou l'épaisseur voulues.

Alors qu'il existe de nombreux rabots manuels pour diverses applications, qui sont encore fréquemment utilisés dans l'artisanat classique, les premières raboteuses mécaniques à broches rotatives, permettant d'obtenir des surfaces, des formes et des dimensions régulières, sont apparues avec l'industrialisation. C'était le début de la fabrication en série. Au cours des développements technologiques, peu de choses ont changé dans le processus de rabotage. Les machines sont devenues plus sûres et plus précises, présentent des commandes numériques et disposent de moteurs électriques commandés en fréquence et de dispositifs antibruit intégrés. Les développements de ces dernières années visaient principalement l'augmentation de la vitesse d'avancement. Le record mondial des vitesses d'avancement dans la grande industrie est actuellement de 1200 m/min.

Les progrès les plus importants ont été réalisés au niveau des outils, afin d'optimiser la qualité de la surface rabotée et la longévité des outils.

Dans la transformation du bois, on connaît actuellement quatre types de machines:

- La raboteuse manuelle, qui est utilisée dans l'atelier ou sur le chantier, pour des adaptations.
- La dégauchisseuse, pour dégauchir et lisser des planches rugueuses et des carrelots, pour réaliser des cornières et préparer des carrelots pour collage en largeur
- La tireuse d'épaisseur, pour réduire les pièces dégauchies à l'épaisseur voulue
- Les corroyeuses, permettant d'usiner simultanément 4 faces d'une pièce; les corroyeuses-moulurières permettent également d'usiner des profils

Dans l'industrie du bois, on utilise principalement des corroyeuses. Nous allons donc accorder une attention particulière à ce type de machine.

5.3.1. Raboteuses

Domaine d'utilisation

Les raboteuses sont abondamment utilisées dans l'industrie du bois:

Scieries

- Calibrage de planches de coffrage
- Rabotage de poutres
- Profilage de madriers (carrelets > lames rabotables)
- Réalisation de lames rainées-crêtées (planches profilées > rainées-crêtées)

Usines de collage

- Précalibrage de lames avant le triage/scannage/tronçonnage des défauts
- Calibrage des lames aboutées avant leur collage
- Rabotage final des poutres collées

Raboteries

- Calibrage de planches, lattes, lames pour bardage à recouvrement
- Profilage de bardages et de planchers pour terrasses
- Profilage de lambris
- Réalisation de baguettes profilées

Plus les exigences posées au produit en matière de précision et de complexité du profil sont élevées, plus la raboteuse sera également complexe. De plus, les raboteuses pour la production de grandes séries et des vitesses d'avancement élevées sont dotées d'un bâti plus robuste que les raboteuses pour petites séries.

Les principaux constructeurs de corroyeuses-moulurières proposent des machines selon un système modulables, qui permet au client de choisir le nombre et la disposition des broches de rabotage, et d'allonger ainsi la machine de façon modulable.

Construction et outils

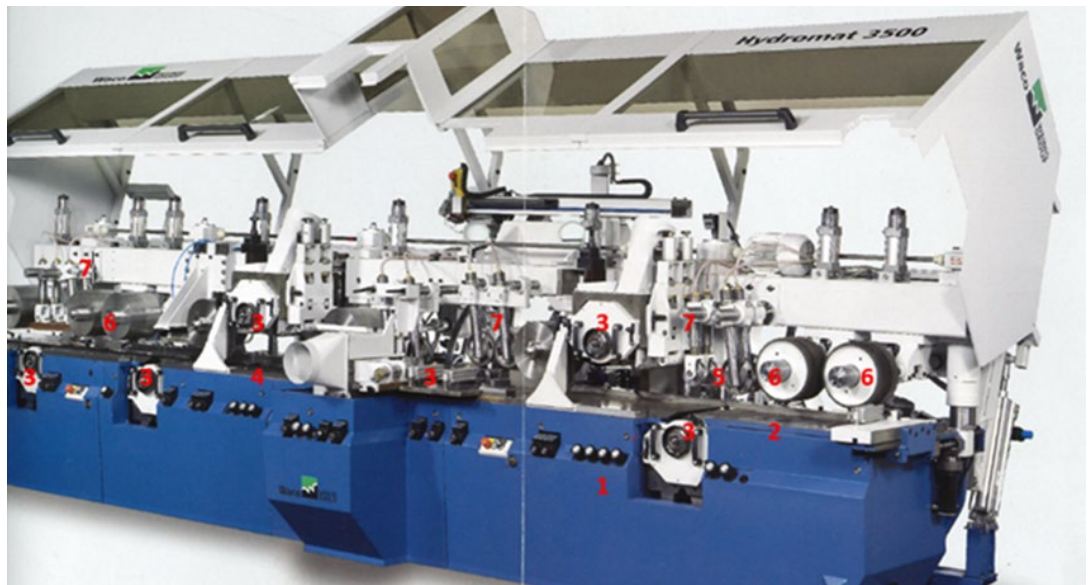


Figure 51: Corroyeuse-moulurière avec neuf broches, entrée des pièces à usiner à droite (source: Weinig)

Légende:

- 1 Bâti de la machine
- 2 Table de dégauchissage, règle l'enlèvement de copeaux
- 3 Broches
- 4 La table de la machine est toujours fixe
- 5 Règle de dressage, règle l'enlèvement de copeaux
- 6 Rouleaux d'entraînement
- 7 Eléments de pression

La pièce à usiner est amené dans la machine par des rouleaux d'entraînement rainurés et passe sous les outils montés sur les broches.

Disposition des outils: les dispositions des broches les plus usuelles dans la pratique sont illustrées par les figures ci-dessous (avancement de droite à gauche).



Figure 52: Disposition 1 avec 5 broches: en bas – à droite – à gauche – en haut – en bas (source: Weinig)



Figure 53: Disposition 2 avec 6 broches: en bas – à droite – à gauche – à droite – en haut – en bas (source: Weinig)



Figure 54: Disposition 3 avec 7 broches: en bas – à droite – à gauche – à droite – à gauche – en haut – en bas (source: Weinig)



Figure 55: Disposition 4 avec 7 broches: en bas – à gauche – à droite – en haut – en bas – en haut – en bas (source: Weinig)



Figure 56: Disposition 5 avec 8 broches: en bas – à droite – à gauche – à droite – en haut – en bas – en haut – en bas (source: Weinig)



Figure 57: Disposition 6 avec 9 broches: en bas – à droite – à gauche – à droite – à gauche – en haut – en bas – en haut – en bas (source: Weinig)



Figure 58: Disposition 7 avec 9 broches et une broche universelle (source: Weinig)

La disposition 1 est celle d'une corroyeuse simple classique, telle qu'elle est fréquemment utilisée dans les scieries ou les charpenteries. Les raboteries ont le plus souvent des machines avec sept axes ou plus (2 paires de broches de profilage verticales) et au moins une machine avec une broche universelle orientable à la fin de la machine, permettant également de raboter des surfaces inclinées.

Fonctionnement



Figure 59: Tête de rabotage (outil hydraulique) pour l'arbre de dégauchissage inférieur avec des lames de rabot classiques.
(source: OLWO AG)



Figure 60: Tête de rabotage avec couteaux en spirale. Peu bruyant et à haute efficacité énergétique.
(source: OLWO AG)

Les broches horizontales servent à raboter les faces et sont munies de têtes de rabotage. Les profils sont réalisés par les broches verticales munies de fraises. Sur les machines à sept broches, les deux premières broches verticales sont également munies de têtes de rabotage, afin de calibrer plus précisément et de moins solliciter les fraises placées en aval.

La première broche en bas sert à dégauchir la pièce à usiner, afin qu'elle repose bien à plat sur la table de la machine. Elle règle l'enlèvement de copeaux.

La première broche verticale sert également à dégauchir la pièce à usiner du côté contre la machine, généralement le côté droit.

Après le passage à travers les deux premières broches, la pièce à usiner présente deux faces de référence dans la machine. La dimension de la pièce et la géométrie du profil sont basées sur ces faces de référence. Les fraises qui suivent sont réglées de manière réduire le moins possible la largeur (optimisation du rendement). Les broches de dégauchissage doivent par conséquent produire des surfaces dégauchies sur toute la longueur de la pièce. Si les broches de dégauchissage ne produisent pas des surfaces de référence propres, les fraises en aval ou les broches de nettoyage inférieures ne peuvent plus corriger le défaut, et on produit du rebut.

Comme la face de référence inférieure est la plus précise, la plupart des produits rabotés sont réalisés avec la face apparente en bas. Cela requiert un tourne-lame automatique après le rabotage, afin de pouvoir procéder au contrôle qualité. Seules les pièces brutes de sciage sont rabotées avec la face apparente en haut, afin que le frottement sur la table ne détruise pas la structure. Cela requiert toutefois le remplacement des rouleaux d'entraînement rainurés par des rouleaux caoutchoutés, ménageant la structure de surface.

Les anciennes machines à plusieurs broches avec une vitesse d'avancement jusqu'à 60 m/min présentent une unité de ponçage, afin de pouvoir réaliser une surface rabotée et poncée directement dans la machine. Plus récemment, les ponceuses sont intégrées dans les lignes de production indépendamment des la raboteuse.

Dédoublage dans la raboteuse

De nombreuses raboteries utilisent également la corroyeuse pour dédoubler des lames rabotables en lattes ou en lames minces pour l'aménagement intérieur. L'avantage de la raboteuse par rapport à un ruban dédoubleur réside dans la possibilité de calibrer en épaisseur, tout en obtenant une surface de coupe propre, avec des lames de scie précises. La hauteur de coupe des lames de scie est limitée par l'ouverture dans la table pour les broches et la puissance du moteur électrique. En règle générale, il est possible de dédoubler des lames rabotables jusqu'à env. 65 mm.



Figure 61: Dédoublage sur une raboteuse (source: OLWO AG)

Profils de rabotage

La géométrie des profils peut être obtenue de deux manières.

Ensemble de fraises combinées (requiert au moins sept broches)

- La première paire de broches verticales réalise un profil rainé-crêté anguleux standard
- La paire suivante de broches verticales reprend le profil anguleux et réalise la feuillure, le chanfrein ou l'arrondi voulus

Garniture fixe

- Le profil complet est assemblé sur une broche et fraise le profil avec une paire de broches verticales, après les broches de dégauchissage.



Figure 62: Outils de profilage (garnitures fixes) pour une raboteuse avec une vitesse d'avancement de 140 m/min (source: OLWO AG)

L'avantage des fraises combinées réside dans la plus grande souplesse et la plus grande diversité de profils réalisables. Pour réaliser, par exemple, un bardage avec un faible chanfrein, il suffit d'acheter une nouvelle fraise à chanfreiner. L'outil pour rainer et crêter reste inchangé. Les coûts d'outillage sont moins élevés.

Le désavantage des fraises combinées réside dans la précision nécessaire au niveau du réglage des outils. Les deux paires de broches peuvent être distantes de jusqu'à 1 m dans la longueur de la pièce à usiner et doivent être parfaitement ajustées entre elles. Par ailleurs, en cas de réglage imprécis des dispositifs de pression, la pièce à usiner peut également gauchir entre les deux paires de broches, en raison de tensions intérieures. Des escaliers de seulement 1/10 mm sont déjà visibles et conduisent à un rebut. Cette combinaison d'outils exige une grande expérience de la part du machiniste.

Les garnitures fixes garantissent un profil précis, du fait qu'elles fraisent la pièce face à face. Il suffit de s'assurer que le réglage en hauteur soit correct et que les fraises soient bien affûtées. Le désavantage de cette solution réside toutefois dans le coût élevé des outils. Chaque nouveau profil requiert un nouvel outil, ce qui peut rapidement s'avérer coûteux.

Les raboteuses avec une vitesse d'avancement élevée, à partir d'env. 100 m/min, utilisent généralement une garniture fixe. Leurs outils présentent un plus grand diamètre et un diamètre de broche de 60 mm, et ne peuvent pas être utilisés sur des machines avec des broches de 50 mm.



Figure 63: Atelier d'outillage d'une raboterie (source: OLWO AG)

Importance des éléments de pression, de l'aspiration et de la surveillance

La pièce à usiner est guidée à travers la raboteuse par les paires de rouleaux supérieurs. Entre les rouleaux, il y a souvent des cylindres de pression ou des sabots presseurs. Les tensions internes des pièces à usiner ne doivent pas être négligées. Des faibles distances entre les éléments de pression peuvent suffire pour que la

pièce se soulève de la table, ce qui entraîne des défauts dans les profils. Le réglage correct et la surveillance de l'affichage de la pression sont essentiels pour la réalisation de profils de qualité.

Les copeaux et les nœuds arrachés sont aspirés le plus près possible des outils. Malgré cela, il arrive régulièrement que des copeaux ou des esquilles restent sur la table et se coincent entre la table et la règle ou vers les cylindres de guidage. Lorsqu'une pièce à usiner bute sur une résistance dans la raboteuse, cela peut soulever brièvement l'unité de pression et entraîner des défauts dans les profils.

Importance de la vitesse d'avancement et de la vitesse de rotation / de coupe

La vitesse d'avancement dans la raboteuse, la vitesse de rotation des broches et le cercle de coupe (diamètre) doivent être accordés entre eux. Il s'agit, d'une part, d'assurer une qualité acceptable de la surface rabotée et, d'autre part, d'optimiser la capacité de coupe des coupeaux utilisés. Chaque outil utilise plusieurs coupeaux.

L'avance par coupeau

Le rabotage avec des outils rotatifs produit une surface avec un relief ondulé. La distance entre les crêtes des ondulations correspond à la distance entre l'entrée et la sortie de chaque coupeau de l'outil. Cette distance est appelée avance par coupeau.

Plus l'avance par coupeau est importante, plus les ondulations sont visibles sur la surface rabotée. Plus l'avance par coupeau est réduite, plus la surface rabotée est lisse et de qualité.

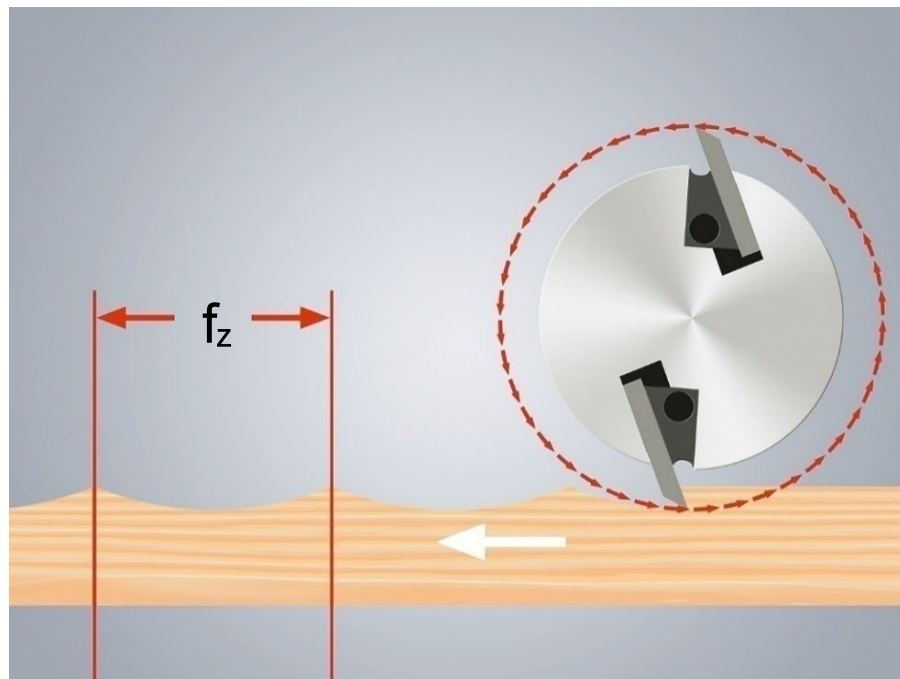


Figure 64: Les coupeaux (à droite) tournent. f_z désigne l'avance par coupeau (source: Weinig)

L'avance par coupeau f_z dépend de la vitesse d'avancement v , de la vitesse de rotation n de la broche et du nombre de coupeaux z de l'outil.

L'avance par couteau peut être calculée selon la formule suivante:

$$f_z = \frac{v \times 1000}{n \times z}$$

Une avance par couteau plus faible augmente la qualité de surface, mais diminue l'intervalle entre les affûtages. Cela est illustré par le graphique suivant.

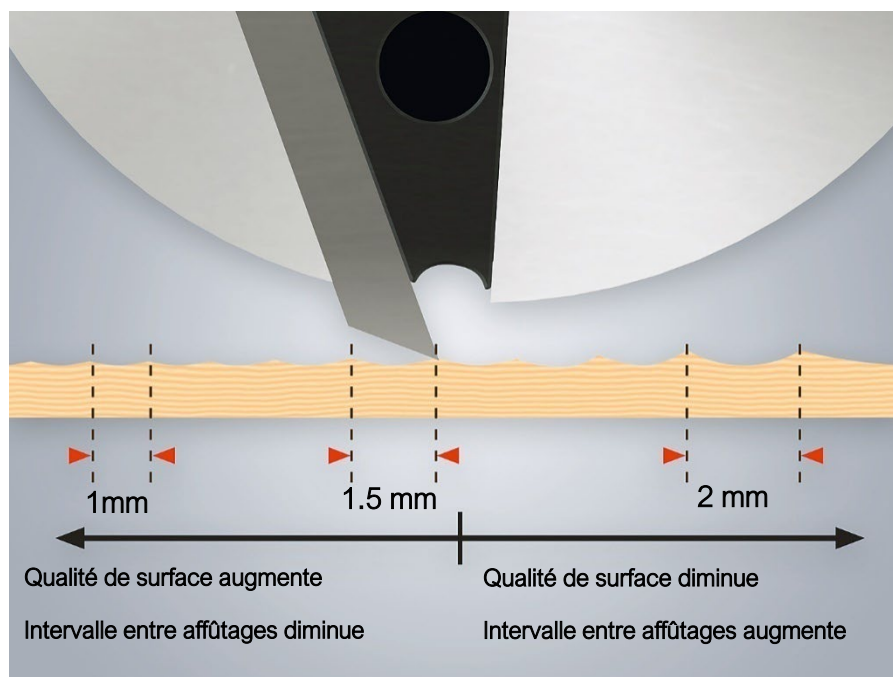


Figure 65: Relations entre l'avance par couteau, la qualité de surface et l'intervalle entre affûtages. (source: Weinig)

Exemple de calcul

Tu as raboté un profil de plancher en épicéa avec une vitesse d'avancement de la raboteuse de 60 m/min. Le résultat est insatisfaisant et montre, sur la face apparente, 12 ondulations sur une longueur de 20 mm.

La broche de la raboteuse a $z = 6$ (6 couteaux), le cercle de coupe est de 200 mm et la broche tourne à 6000 t/min.

L'échantillon du client est beaucoup plus fin et présente 20 avances par couteau sur 2 cm. Que peux-tu améliorer?

1. Quels paramètres dois-tu connaître pour résoudre ce problème?
2. Dois-tu augmenter ou réduire la vitesse d'avancement?
3. Avec quelle vitesse d'avancement dois-tu travailler pour obtenir une avance par couteau de 1 mm?

Réponse à la question 1 Vitesse d'avancement, nombre de couteaux, vitesse de rotation de la broche

Réponse à la question 2 Réduire

Réponse à la question 3 Avance par couteau tolérée = 20 mm : 20 = 1 mm

Calcul: résoudre avec la formule selon v:

$$V = (fz \times n \times z) / 1000 = 1 \text{ mm} \times 6000 \text{ m/min} \times 6 / 1000 = 36 \text{ m/min}$$

La vitesse d'avancement doit être réduite à 36 m/min

Jointage

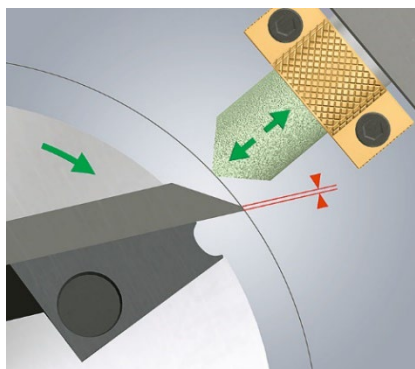


Figure 66: Jointage
(source: Weinig)

Dans le cadre du jointage, les différents couteaux d'une broche sont ajustés ou affûtés au moyen d'une pierre à jointer, afin de décrire un cercle parfaitement identique. Pour cela, les couteaux doivent déjà être très bien affûtés, et le système de fixation des outils doit présenter une très faible tolérance d'excentricité.

Afin d'obtenir une surface de qualité de la pièce à usiner, le tranchant de la lame ne doit dépasser une certaine largeur. Pour des bois tendres, elle ne devrait pas dépasser 0,5 mm, pour des bois durs, pas plus de 0,7 mm.

Dans le cadre du travail quotidien, ce n'est pas aux apprentis, mais à des spécialistes expérimentés de l'entreprise ou externes d'effectuer ce réglage important. Les constructeurs de machines proposent le plus souvent leur propre système d'outils. Les fournisseurs d'outils sont des partenaires importants pour les conseils, lorsqu'il s'agit d'assurer la qualité du rabotage.

Dans la littérature spécialisée, on trouve toutefois de nombreux documents sur ce thème, par exemple:

- Weinig: tout sur l'outillage
(<https://www.weinig.com/fr/bois-massif/outils.html>)
- Encyclopédie Leitz 7 – rabotage et profilage
(<https://www.leitz.org/fr-fr/actualites-telechargements/encyclopedia-leitz>)

Processus de triage dans la production

A la sortie de la raboteuse, les lames profilées sont évacuées latéralement et tournées de telle manière que l'opérateur puisse voir la face apparente. C'est là qu'intervient le contrôle qualité et le triage selon l'aspect (voir UCB chapitre 3.1). Le triage a été traité de manière détaillée au cours de la 1^{ère} année d'apprentissage. Nous n'abordons, ici, que le processus dans le cadre de la production.

Le principal défi pour l'opérateur est le court laps de temps dont il dispose pour le contrôle qualité. Avec une vitesse d'avancement usuelle de 60 m/min et des lames de 5 m, il voit passer 12 lames par minute, qu'il doit trier. Avec une vitesse d'avancement de 100 m/min, ce sont 20 lames par minute. L'opérateur a donc 3 à 5 secondes pour prendre une décision concernant la qualité et rejeter mécaniquement d'éventuelles lames défectueuses.

Lors du contrôle visuel de produits complexes, le contrôle est souvent effectué par deux personnes, chacune placée à une extrémité de la lame, de manière à ne devoir évaluer, chacune, que la moitié de la lame.

La raboterie doit s'efforcer d'acquérir des lames brutes de bonne qualité, correspondant à la qualité du produit fini à réaliser. Après le dédoubleage, on procédera à un tri préliminaire, afin de limiter le taux de rebut et que l'opérateur n'ait à contrôler que les défauts majeurs sur la face apparente (arrachement de nœuds, fentes, entre-écorce, bois rouge). La qualité de surface, la tolérance dimensionnelle et le profil sont contrôlés périodiquement, par mesurage, pendant le rabotage. Pour cela, on peut soit dévier une lame vers la station de mesure, soit arrêter l'avancement pour effectuer la mesure. Si des écarts sont constatés, le réglage de la raboteuse doit immédiatement être corrigé.CO



Figure 67: Scanner WoodEye
(source: OLWO AG)

Avec les développements technologiques, on utilise de plus en plus des scanners pour l'évaluation de la qualité. La génération actuelle de scanners en couleur, avec des capteurs des quatre côtés, permet d'évaluer de manière fiable les singularités des pièces en épicéa et en sapin, pour le classement selon l'aspect selon les UCB. Pour le mélèze et le bois rétifé, ce système présente encore des faiblesses. L'avantage du scanner est une évaluation stable et la possibilité de documenter le résultat du triage. Les usages internes à l'entreprise concernant le triage (les UCB admettent des tolérances) doivent être paramétrés dans le scanner individuellement pour les différents produits, ce qui représente une charge initiale non négligeable, mais s'avère rentable à long terme en raison de moindres coûts de personnel et d'une meilleure fiabilité du triage.

Le coût d'un scanner a sensiblement diminué, ces dernières années, et un tel système devient actuellement également intéressant pour une entreprise de taille moyenne. L'un des défis réside dans les interfaces d'un scanner moderne avec la mécanisation existante de la raboterie ainsi que, souvent, dans les possibilités d'intégration dans la mécanisation existante, où la place est généralement comptée. L'acquisition d'un scanner se fait par conséquent le plus souvent dans le cadre de la réalisation d'une nouvelle installation.

Défauts dans la qualité de surface: recherche des causes

Afin d'obtenir une qualité de surface optimale, une attention particulière doit être portée aux défauts dans les lames rabotables. Le tableau ci-après récapitule quelques défauts dans la qualité de surface ainsi que les mesures correctives possibles (non exhaustif).

Problème / défaut	Cause	Mesure
Ondulations / coups sur la face apparente	Vitesse d'avancement trop élevée	Réduire la vitesse d'avancement
	Couteaux mal jointés	Aligner / jointer les couteaux
	Pression insuffisance des éléments de pression	Augmenter / régler la pression
Endroits rugueux sur la face apparente	Enlèvement de copaux insuffisant	Augmenter l'enlèvement de copaux
	Dégauchissage excessif	Réduire la hauteur de dégauchissage

Griffures sur la face apparente	Nœud sur les cylindres de guidage inférieurs Crasses sur les rouleaux d'entraînement	Nettoyer la machine Nettoyer les rouleaux
Coups en bas, au début / à la fin de la lame	L'outil sur la broche de dégauchissage est trop haut	Régler l'outil par rapport à la table
Coups en haut, au début / à la fin de la lame	Pression du ressort trop faible Sabot presseur trop haut	Augmenter la pression du ressort Régler le sabot presseur
Fibres relevées	Vitesse d'avancement trop élevée Outil émoussé	Réduire la vitesse d'avancement Affûter l'outil
Brûlures sur les arêtes	Angle de dépouille insuffisant Vitesse d'avancement trop faible	Augmenter l'angle de dépouille (agrandir l'angle et affûter l'outil) Augmenter la vitesse d'avancement

Prescriptions de sécurité

L'opération d'une raboteuse n'est pas sans danger. La plus petite inattention peut avoir de graves conséquences. Cela peut aller de simples coupures jusqu'au sectionnement de membres, principalement doigts/main. Comme les collaborateurs-trices doivent travailler sur la machine ouverte pour le réglage des outils et des profils (mode réglage), l'opérateur doit être particulièrement attentif.

Après l'arrêt de la raboteuse (que ce soit en raison d'un dérangement, du déclenchement d'un dispositif de sécurité ou de l'arrêt volontaire de la machine), les outils continuent de tourner par inertie et ralentissement lentement jusqu'à l'arrêt complet. A 6000 à 8000 tours par minute, cela peut prendre relativement longtemps. Durant cette phase, il est absolument interdit et extrêmement dangereux de s'approcher des outils. Ce n'est que lorsque les outils sont complètement arrêtés que l'on peut intervenir. Les machines modernes sont de plus en plus nombreuses à être équipées de dispositifs de freinage électromagnétiques des outils tournants, mais ce n'est de loin pas encore la norme.

Les raboteries peuvent se baser sur la liste de contrôle de la Suva: «Dégauchisseuses-raboteuses». Les principales règles de sécurité sont récapitulées ci-après:

- Nous travaillons toujours en nous basant sur la liste de contrôle «Dégauchisseuses raboteuses» et les films «Travailler le bois en sécurité et efficacement».
- Nous ne travaillons jamais sans dispositif de protection et nous portons toujours des protecteurs d'ouïe.

- Nous ne portons pas de vêtements flottants.
- Lors du dressage, nous poussons toujours le dispositif de protection sur la pièce à travailler.
- Lors du dressage, nous pressons et dégageons la pièce avec les doigts des mains repliés.
- Lorsque nous évidons une pièce, nous l'engageons en la maintenant de façon à ce que les deux mains se trouvent au-dessus de la table d'amenée.
- Nous laissons la place de travail en ordre et la machine en état de sécurité.

Potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique

Les raboteuses sont des machines gourmandes en énergie. Chaque broche ainsi que les unités d'avancement ont leur propre moteur. De nos jours, ceux-ci sont généralement commandés en fréquence, mais présentent malgré tout des puissances de 8 à 20 kW par moteur. La puissance raccordée d'une raboteuse à neuf broches atteint facilement 200 kW.

Comment économiser malgré tout de l'énergie?

- Moteurs commandés en fréquence
- Les outils récents sont optimisés en matière de consommation d'énergie. Leur géométrie est différente de celle des outils classiques.
- Lors d'une nouvelle acquisition, il est possible de commander des broches de dégauchissage disposées en biais, qui consomment moins d'énergie grâce à une coupe tirante.
- Aspiration commandée en fréquence et programmée en fonction des produits usinés (pas toujours à puissance maximale).
- Arrêter les broches non utilisées.
- Régler la vitesse d'avancement de manière à optimiser le rapport entre quantité de production / consommation de courant / qualité des produits.
- Utiliser éventuellement des lames brutes précalibrées (de grandes différences dimensionnelles peuvent surcharger les broches).
- Éviter les fonctionnements à vide.
- Assurer un flux de matériaux continu grâce à des tampons avant et après la raboteuse, et en maintenant suffisamment de place pour l'évacuation des lames déclassées.
- Assurer l'évacuation des produits finis par le conducteur du chariot élévateur.
- Réaliser de grandes séries, limiter les changements de dimensions et de profils.
- Lors de changements des réglages, arrêter la mécanisation et les appareils périphériques.

Éviter les dérangements

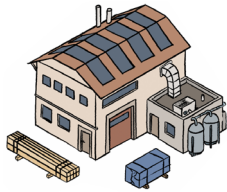
Dans la pratique, les moteurs continuent fréquemment à tourner à vide dans la machine ou dans la mécanisation, lors de dérangements. Il vaut donc mieux réduire le risque de pannes au moyen de mesures préventives. Les dérangements sont souvent causés par:

- Une maintenance déficiente
- Des dispositifs de sécurité, capteurs, etc. défectueux ou mal fixés
- L'utilisation de bois de mauvaise qualité

- De grandes différences dimensionnelles des lames brutes
- Des personnes non formées dans l'entreprise, entrant dans les périmètres de sécurité

Sur le site Internet de l'Association suisse des raboteries www.vsh.ch, on trouvera des documents complémentaires sur les produits de rabotage, sous la rubrique documents techniques.

6. Collage



Usine de collage

CO d1: Préparer la fabrication des produits à base de bois

CO d2: Fabriquer des produits à base de bois

De nos jours, le bois collé joue un rôle important dans la construction en bois. Les avantages du bois collé sont mis à profit dans des maisons d'un à plusieurs étages, dans des halles ainsi que dans des ponts.

Des planches et des madriers peuvent être séchés précisément et relativement rapidement. En assemblant ces planches et madriers par collage, il est possible d'obtenir de grandes sections avec une humidité homogène, alors que des sections équivalentes en bois massif seraient difficiles à sécher. De plus, la structure de ces grandes sections composées de planches et de madriers avec différentes positions des cernes offre une meilleure stabilité dimensionnelle, un moindre risque de fissuration et des caractéristiques plus homogènes. La technologie de collage permet également de réaliser des éléments de construction cintrés selon un axe. Actuellement, des entreprises spécialisées réalisent même des éléments de coffrage cintrés en bois lamellé-croisé.



Figure 68: Cette tour panoramique de 22 m de haut est réalisée en éléments cintrés de bois lamellé-croisé. Le revêtement extérieur ventilé est composé de panneaux en mélèze massif de 20 mm d'épaisseur posés verticalement. (source: Blumer Lehmann)

Tâches pratiques dans l'entreprise

Stade de production 2:

- Préparer les commandes de produits à base de bois, trier selon la qualité et mettre à disposition
- Réparer le bois selon la classe d'aspect (qualité)
- Contrôler, sous supervision, les produits fabriqués après chaque étape de travail

Stage pratique en stade de production 2 (sous supervision):

- Préparer les commandes de produits à base de bois, trier selon qualité industrie, supérieure, N1 et N2 et mettre à disposition
- Réparer le bois selon la classe d'aspect
- Contrôler les produits fabriqués après chaque étape de travail

Cours interentreprises 6 & 7

- Evaluer la qualité selon les usages du commerce des bois
- Humidité du bois selon les usages prévus
- Classement selon la résistance et l'aspect
- Assurance qualité, essais de flexion des aboutages, essais de cisaillement (essai de délamination)
- Contrôle de qualité, préparation des commandes, composition des livraisons, contrôle final
- Compléter des listes de produits et documenter les livraisons

Situations professionnelles

- A la station de tronçonnage dans la production, vous évaluez les lames brutes et marquez les endroits à tronçonner en fonction du classement selon la résistance.
- Vous réglez la scie à tronçonner et l'installation d'aboutage, et vous surveillez le processus. Vous prélevez sporadiquement des éprouvettes de la production selon le CPU/manuel MQ.
- Vous préparez et commandez l'installation d'application de la colle et la presse à coller, et vous surveillez le processus.
- Vous réalisez des bois collés selon commande.

Objectifs d'apprentissage

- Vous décrivez les grandes lignes du développement historique du bois collé.
- Vous expliquez les principes de base et la terminologie des liaisons collées.
- Vous décrivez le processus de production des produits en bois collé.
- Vous décrivez la structure, le fonctionnement et les mesures de sécurité des installations de production.
- Vous expliquez les mesures prescrites pour l'assurance qualité / le contrôle de la production en usine.

6.1. Produits en bois collé

Processus de
production

Bien que les usines de collage utilisent différentes installations pour la réalisation de produits en bois collé, le processus fondamental est toujours le même, et suit les exigences de la norme relative aux produits. Ce chapitre vous présente les connaissances de base relatives au bois collé. Les exigences spécifiques sont contenues dans les instructions de travail de l'entreprise pour sa propre production (CPU/manuel MQ).

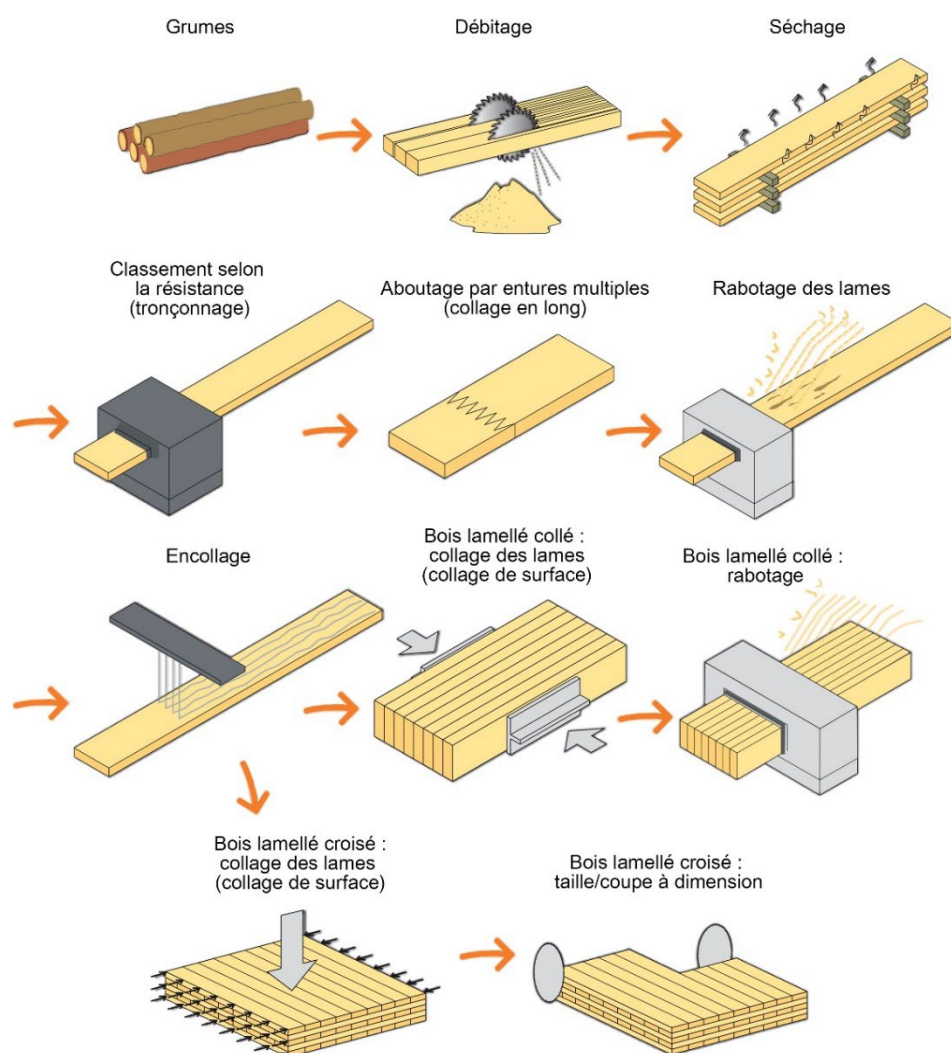


Figure 69: Processus de production (schématique) de bois lamellé-collé droit et de bois lamellé-croisé, esquisses. (source: Svenskt Trä)

Produits en bois
collé

Comme base pour votre activité dans l'usine de bois collé, vous avez déjà eu, au cours de la 2^e année d'apprentissage, un aperçu de la fabrication et de la certification des produits en bois collé normés, avec leurs classes d'aspect et leurs classes de résistance, ainsi que des règles et des usages les concernant.

6.2. Développement historique

Le diamètre et la longueur des grumes limitent les dimensions des éléments de construction réalisables. Les anciens bâtisseurs et charpentiers se sont penchés sur les moyens de dépasser cette limitation naturelle en assemblant des planches, des madriers et des carrelots pour obtenir des éléments de construction de plus grande section et/ou longueur. Le développement conduisant au bois lamellé-collé a plus plusieurs siècles. Avec la technique de l'endement, on a réalisé, au XVIII^e siècle, des poutres arquées constituées de plusieurs couches de madriers.

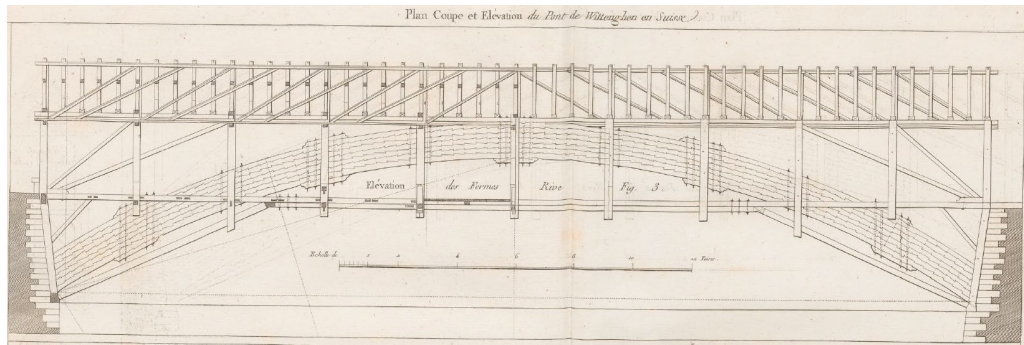


Figure 70: Vue de la poutre cintrée réalisée à partir de madriers endentés, pour le pont sur la Limmat à Wetztingen, construit en 1765/66 par Hans Ulrich Grubenmann. (source: Krafft, 1805)

Les premières poutres cintrées collées ont été réalisées en 1809 pour la construction d'un pont en Bavière. Plus tard, au XIX^e siècle, d'autres poutres cintrées collées ont été utilisées pour des ponts et des charpentes en Grande-Bretagne.

Brevet d'Otto
Hetzer

En 1906, Otto Hetzer a fait breveter un «élément de construction en bois cintré pour poteaux et chevrons de toit combinés, constitué de plusieurs longues lames de bois cintrées dans la forme voulue et pressées ensemble avec adjonction d'un liant non soluble à l'humidité», voir Figure 71. Par ignorance des développements antérieurs dans ce domaine, Otto Hetzer est de ce fait souvent considéré comme l'inventeur du bois lamellé-collé. C'est ce qui a donné la désignation, longtemps utilisée dans la pratique, de «poutres Hetzer».

Les lames étaient encore assemblées bout à bout avec de la colle de caséine pour fabriquer des «poutres Hetzer». Du fait que la colle de caséine est sensible à l'humidité, les lames étaient localement clouées, en plus d'être collées, afin d'éviter une défaillance en cas d'altération des joints de colle.

Technique de construction
Hetzer en
Suisse

Les ingénieurs Turner et Chopard, de Zurich, ont considérablement contribué à la diffusion et au développement de la technique de construction Hetzer. De nombreuses charpentes utilisant cette technique ont rapidement été réalisées, par exemple la remise de locomotives des CFF à Berne, en 1912 (voir Figure 72).

Développement
des colles à base
de résines synthé-
tiques

A partir des années 1930, de nouvelles colles à base de résines synthétiques sont développées et remplacent les colles de caséine au cours des décennies suivantes. L'avantage des colles à base de résines synthétiques, par rapport aux colles de caséine, réside avant tout dans leur résistance à l'eau et aux moisissures.

Développement de
l'aboutage à en-
tures multiples

L'aboutage à entures multiples a été développé à partir de la fin des années 1930. Son introduction dans la production de bois lamellé-collé a suivi quelques années plus tard. Le développement et l'optimisation des installations de production pour

la fabrication d'aboutages à entures multiples se poursuit encore de nos jours, notamment pour les feuillus.

Bois lamellé-croisé

A partir du milieu des années 1990, de panneaux grand format sont réalisés en couches croisées de lames collées. Ils sont désignés de bois lamellé-collé ou simplement CLT (sigle de l'anglais Cross Laminated Timber).



Figure 71: Brevet d'Otto Hetzer de 1906 (source: Rug 2006)

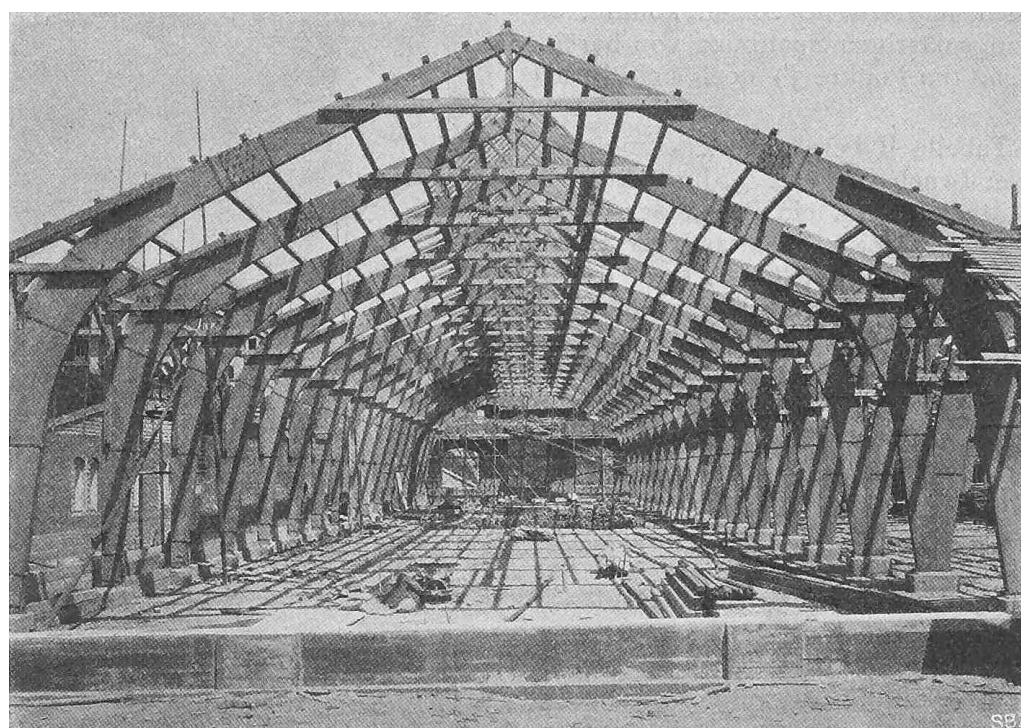


Figure 72: Vue de la halle 1 de la remise de locomotives Aebigut, à Berne, en cours de construction. (source: Chopard 1913)

6.3. Notions de bases de la fabrication de bois lamellé-collé

Les produits en bois lamellé-collé sont utilisés pour des éléments porteurs, pour lesquels la fonction portante doit être garantie sur le long terme. L'une des qualités essentielles pour votre travail dans la fabrication de bois collé est par conséquent la compétence nécessaire pour réaliser des liaisons collées stables sur le long terme. Cela requiert des connaissances spécifiques des liaisons collées et de leur réalisation, ainsi qu'une conscience de la sensibilité de ce processus de fabrication. De faibles écarts par rapport aux indications des fabricants des colles peuvent déjà entraîner des défauts dans les liaisons collées, voire une défaillance avec le temps.

Ci-après, nous voyons les principales notions relatives au principe du collage et à la réalisation de collages.

6.3.1. Principe du collage

Liaison collée

Dans le cadre du collage, des pièces sont assemblées par collage. Les colles se distinguent par le fait qu'elles sont liquides lors de leur application sur les pièces à coller, ce qui leur permet de bien se répartir sur la surface (rugueuse) des pièces. Après cela, elles durcissent toutefois pour former une couche de colle solide. La colle lie ainsi les pièces grâce à sa force d'adhésion (adhérence) et à sa solidité interne (cohésion). Les forces d'adhésion interviennent dans les couches limites, tandis que les forces de cohésion interviennent à l'intérieur de la couche de colle elle-même, voir Figure 73.

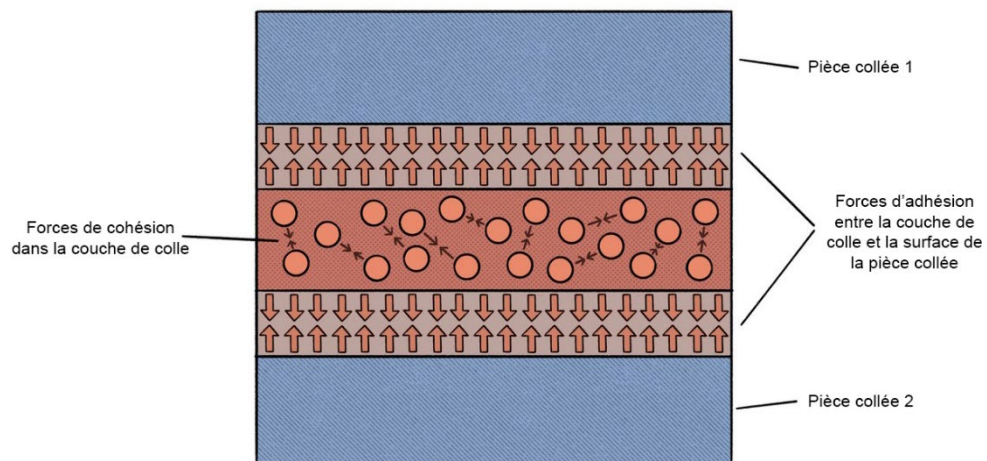


Figure 73: Forces d'adhésion et de cohésion dans une couche de colle (schématique)
(source: IBS selon Habenicht)

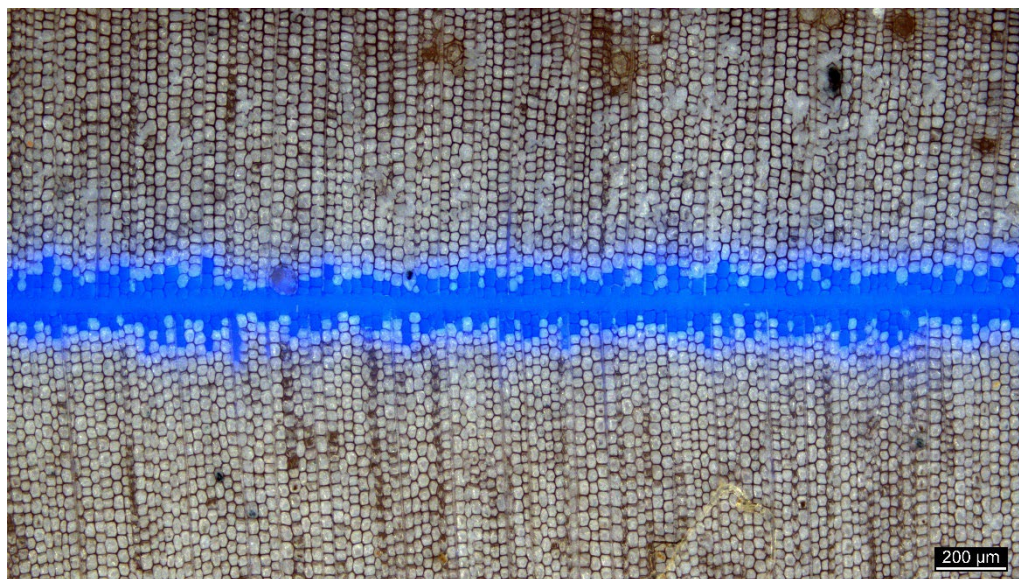


Figure 74: Prise de vue au microscope d'un joint de colle (PUR monocomposant) de bois lamellé-collé d'épicea. (source: Adrian Wick, BFH-AHB)

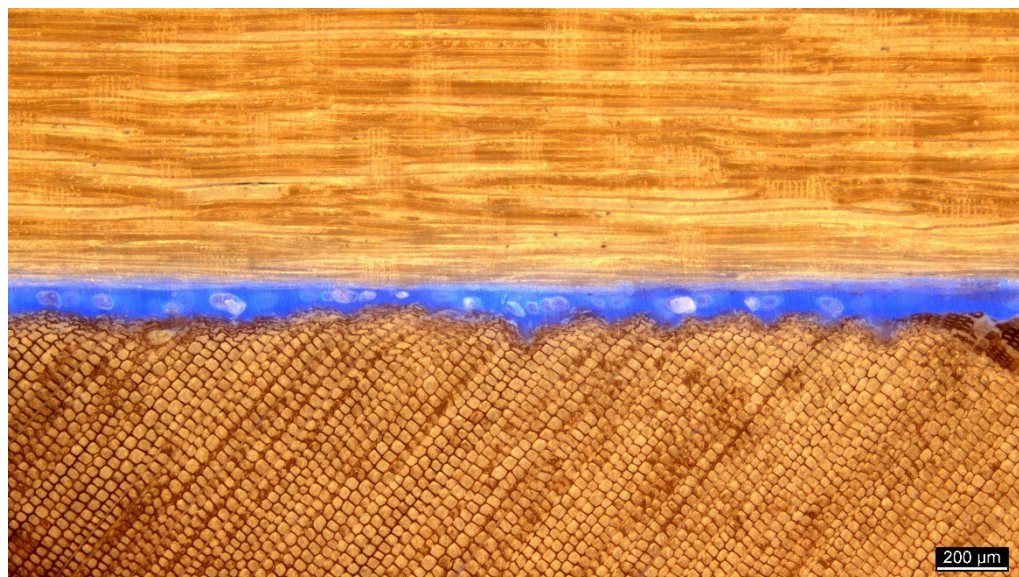


Figure 75: Prise de vue au microscope d'un joint de colle (PUR monocomposant) de bois lamellé-croisé d'épicea. (source: Adrian Wick, BFH-AHB)

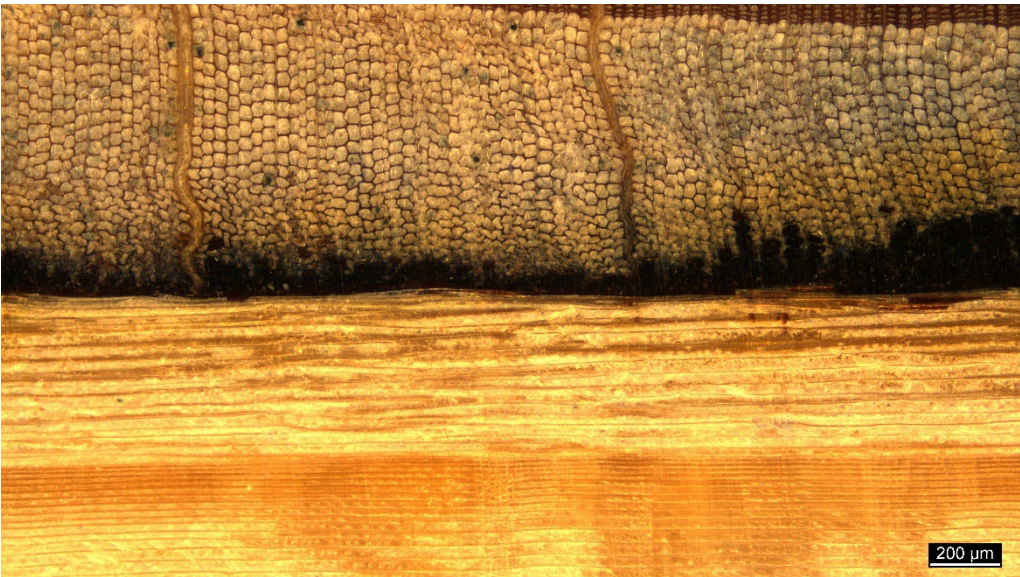


Figure 76: Prise de vue au microscope d'un joint de colle (PRF) de lamibois d'épicéa.
(source: Adrian Wick, BFH-AHB)

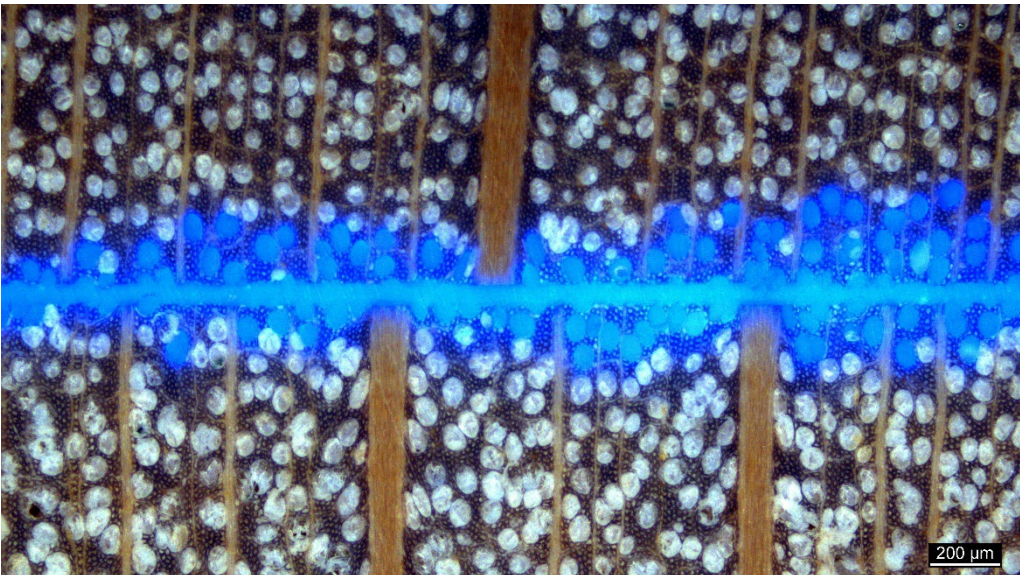


Figure 77: Prise de vue au microscope d'un joint de colle (PUR monocomposant) de bois lamellé-collé de hêtre.
(source: Adrian Wick, BFH-AHB)

Colle ou adhésif

Dans le secteur du bois, on utilise généralement le terme de «colle» et non d'«adhésif». Cette habitude vient des premières colles, qui étaient à base d'eau, mais ne correspond plus aux colles utilisées de nos jours. Certaines normes utilisent malgré tout majoritairement le terme d'«adhésif».

La terminologie relative au collage est fixée comme suit dans la norme SN EN 923:2016:

ADHÉSIF	Substance non métallique capable de joindre des matériaux par collage des surfaces (adhésion), le joint de colle ayant une résistance interne adéquate (cohésion).
COLLE	Adhésif aqueux spécifiquement conçu pour coller du bois ainsi que d'autres substrats poreux.

ADHÉSION	Etat dans lequel deux surfaces sont maintenues ensemble par des jonctions interfaciales.
COHÉSION	Etat dans lequel les particules d'une seule substance sont maintenues ensemble par des forces intermoléculaires.

Tableau 10: Terminologie relative au collage (SIA, 2016)

Adhésion

Le terme d'adhésion vient du latin «adhaerere» (adhérer). L'adhésion peut concerner des objets de même nature ou de natures différentes. Les forces d'adhésion résultent de plusieurs phénomènes. Lors d'un contact entre deux objets, il y a des interactions physiques entre les molécules et les atomes à la surface des deux matériaux. Ces forces sont toutefois très faibles. L'adhésion mécanique due à la structure fibreuse et poreuse du bois est par conséquent nettement plus élevée. La colle forme alors un endentement parfait à l'échelle microscopique entre les pores et les irrégularités des surfaces des deux pièces de bois. Dans certains cas, il peut aussi y avoir une liaison chimique entre le bois et la colle, par exemple entre le polyuréthane et le bois. Cela donne généralement des liaisons particulièrement solides et durables.

Cohésion

Le terme de cohésion vient du latin «cohaerere » (être lié) et décrit les forces de cohésion à l'intérieur d'un matériau. Les forces de cohésion dans la couche de colle résultent des liaisons chimiques au sein des molécules (entre les différents atomes) ainsi que des interactions physiques entre les molécules de la colle. De plus, les longues molécules de la colle peuvent s'imbriquer entre elles, ce qui a un effet de blocage mécanique.

Les solides possèdent une cohésion nettement plus importante que les liquides, tandis que les gaz n'ont aucune cohésion. Presque toutes les colles sont liquides lors de l'application et durcissent pendant la prise. La cohésion augmente par conséquent avec la prise.

Dans la colle durcie, ce sont les forces de cohésion qui déterminent le fluage. Cette propriété est très importante pour la mise en œuvre.

Solidité de la liaison collée

Avec le collage, on obtient un système composite constitué par les pièces collées et la colle. La solidité de l'ensemble est déterminée par le maillon faible du système. Dans le détail, ce sont les solidités suivantes qui interviennent, voir Figure 78:

- Solidité des pièces collées 1 et 2
- Solidité des couches limites 1 et 2
- Résistance de la couche de colle

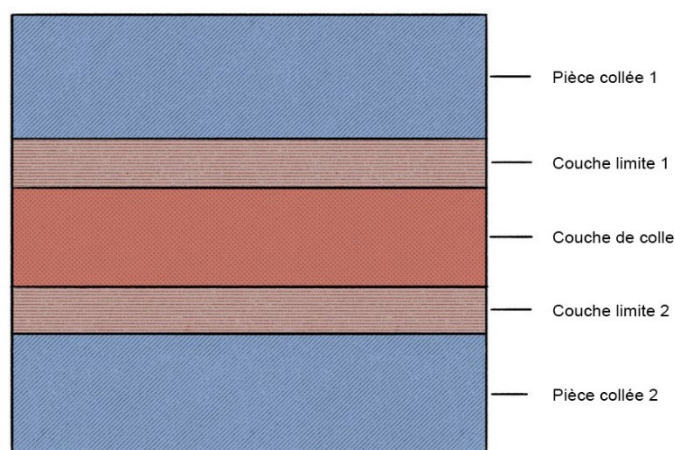


Figure 78: Structure d'un collage (schématique) (source: IBS selon Habenicht)

Dans le cadre de la fabrication d'éléments porteurs en bois collé, on vise une rupture dans les pièces collées, c'est-à-dire dans le bois. Cet objectif ne peut être atteint qu'avec un processus de collage irréprochable.

La terminologie relative aux ruptures ou défaillances du collage est fixée comme suit dans la norme SN EN 923:2016:

FACIÈS DE RUPTURE	Aspect des surfaces de rupture produites par la rupture d'un joint de colle Note 1 à l'article: Le faciès peut être classé en fonction de la valeur (ou du pourcentage) de la rupture d'adhésion ou de cohésion (EN ISO 10365)
RUPTURE DU SUPPORT	Rupture d'un joint dans le corps du support
RUPTURE ADHÉSIVE	Rupture d'un joint de colle, telle que la séparation semble coïncider avec l'interface adhésif/support
RUPTURE COHÉSIVE	Rupture qui se situe dans le corps de l'adhésif, et non au niveau de l'interface
DÉLAMINAGE	Séparation des couches dans un stratifié. Note 1 à l'article: Le délaminage est le résultat d'une rupture du joint de colle, dans l'adhésif lui-même ou au niveau de l'interface du support.

Tableau 11: Terminologie relative au collage (SIA, 2016)

6.3.2. Adhésifs

Dans le chapitre 6.14, vous trouverez quelques notions de base sur les colles utilisées dans la construction en bois lamellé-collé.

Contrôle à la réception des colles

Un contrôle à la réception doit être réalisé lors de la livraison des colles. Dans ce cadre, le responsable contrôle que la marchandise correspond bien au bulletin de livraison. Son attention porte notamment sur les points suivants:

- Type de colle
- Quantité
- Lot
- Date de péremption sur l'étiquette de la colle livrée.
(La date de péremption doit figurer sur le bulletin de livraison).

Pour les colles sensibles au froid, un autocollant indicateur irréversible est généralement fixé sur le conteneur de transport. Cet autocollant permet de constater si la colle a été exposée à des températures trop basses pendant le transport.

Si la marchandise correspond au bulletin de livraison, le responsable le confirme par son visa sur le bulletin de livraison et remet celui-ci au bureau du responsable de la production.

Si la marchandise ne correspond pas au bulletin de livraison, le responsable de la production doit immédiatement en être informé. Celui-ci décide de l'acceptation des marchandises et de la suite de la procédure de réclamation à l'encontre du fournisseur. Les marchandises acceptées, mais qui ne répondent pas aux exigences de qualité, doivent être marquées selon les dispositions de l'entreprise (p. ex. au spray rouge).

Une gestion continue des stocks de colle permet d'associer le lot de colle au produit fini, et assure que les colles sont utilisées avant leur date de péremption.

Lors de l'utilisation de la colle (ou de ses composants), les prescriptions du fabricant doivent impérativement être observées. Cela vaut également pour l'élimination des colles (ou de leurs composants) et d'objets contaminés. Les mesures de protection prévues dans la fiche de données de sécurité de la colle doivent impérativement être observées.

Quelle colle utilisez-vous dans votre entreprise formatrice? Si vous ne produisez pas de bois collé: recherchez sur Internet auprès des producteurs de colles (p. ex. Henkel, Jowat, Türmelerleim, etc.). Lisez la fiche de données de sécurité et la fiche des données du produit dans votre entreprise formatrice ou d'une colle pour la construction bois lamellé-collé.

Collage

Exigences des normes de produits

Afin de réaliser des collages irréprochables, les normes de produits posent de nombreuses exigences au personnel, à l'équipement et à la réalisation du collage.

L'entreprise devrait disposer des équipements nécessaires pour:

- mesurer et documenter en continu la température et l'humidité relative de l'air dans les halles de fabrication et de durcissement
- mesurer la température du bois

- humidifier l'air, si nécessaire
- mesurer l'humidité du bois
- peser la résine et le durcisseur et les mélanger dans les bonnes proportions (le cas échéant)
- appliquer régulièrement la quantité de colle nécessaire
- appliquer et piloter la pression nécessaire sur le joint de colle (pression d'assemblage)
- atteindre la température et l'humidité relative de l'air nécessaires pendant le durcissement de la colle
- mesurer l'épaisseur du joint de colle

Le personnel doit disposer des connaissances spécialisées nécessaires et de la formation correspondante.

Pour la fabrication, il faut, entre autres:

- des espaces de stockage climatisés, afin d'atteindre la température du bois nécessaire pour les différentes étapes de fabrication
- des espaces de stockage climatisés appropriés pour les composants des colles (résine et durcisseur)
- que la température et l'humidité relative de l'air dans les halles de fabrication et de durcissement permettent d'atteindre la température nécessaire dans le joint de colle et qu'il n'y ait pas de modification inadmissible de l'humidité des pièces collées avant le durcissement de la colle.

Pour cela, la température de l'air dans les halles de fabrication doit être d'au moins 15°C et l'humidité relative de l'air entre 40% et 75%, sauf indication contraire du fabricant de la colle.

Pendant le durcissement de la colle dans le joint sous pression ainsi que pendant le post-durcissement, la température de l'air doit être d'au moins 18°C et l'humidité relative de l'air d'au moins 30%. Si le joint de colle est chauffé directement, p. ex. au moyen d'un équipement à haute fréquence, une température d'au moins 15°C est suffisante.

La terminologie relative au collage est fixée comme suit dans la norme SN EN 923:2016:

DURÉE DE CONSERVATION DURÉE DE STOCKAGE	Temps de stockage, dans des conditions données, pendant lequel un adhésif est censé conserver ses propriétés de mise en œuvre.
VISCOSITÉ	Rapport entre la contrainte au cisaillement et la vitesse de cisaillement dans un écoulement simple et régulier de cisaillement. Note 1 à l'article: D'un point de vue qualitatif, cette propriété est définie comme la viscosité dynamique ou le coefficient de viscosité et elle est souvent utilisée comme synonyme de la viscosité apparente.
VIE EN POT DURÉE D'UTILISATION	Période maximale pendant laquelle un adhésif multi-composants peut être utilisé après mélange des composants.
MOUILLABILITÉ	Capacité d'un liquide (adhésif) à s'étaler sur une surface solide spécifique.

	Note 1 à l'article: Le degré avec lequel un liquide mouille un solide peut être mesuré par l'angle de contact. Lorsqu'un liquide entre en contact avec une surface solide, le liquide présente une forme de bord caractéristique. L'angle de contact correspond à l'angle entre la tangente au liquide au point de contact solide-liquide-air et la surface solide située sous le liquide. Un angle de contact aigu indique un bon potentiel de mouillabilité du solide.
APPLICATION DU PRIMAIRE	Application d'un revêtement (primaire) à la surface d'un support, avant d'appliquer l'adhésif, en vue d'améliorer l'adhésion et/ou la durabilité de la jonction.
BOUCHE PORAGE APPRÊTAGE	Application d'un matériau (bouche-pores, apprêt) à la surface d'un support avant d'appliquer l'adhésif, en vue de diminuer le pouvoir absorbant du support.
PLAGE DE COLLAGE DURÉE DE COLLAGE	Période pendant laquelle une couche adhésive est capable de former une jonction dans des conditions spécifiées. Note 1 à l'article: La plage de collage caractérise l'intervalle de temps écoulé entre les temps d'assemblage ouvert minimal et maximal d'un adhésif donné.
TEMPS D'ASSEMBLAGE	Intervalle de temps compris entre l'application de l'adhésif sur les supports et le début du processus de prise avec apport de chaleur et/ou pression au niveau du joint de colle.
TEMPS D'ASSEMBLAGE OUVERT TEMPS OUVERT	Intervalle de temps maximal compris entre l'application de l'adhésif sur les supports et l'assemblage du joint de colle, sans perte de résistance à la rupture d'un joint.
TEMPS OUVERT MAXIMAL	Intervalle de temps maximal après lequel une couche adhésive appliquée perd son aptitude à coller.
TEMPS D'ASSEMBLAGE FERMÉ	Intervalle de temps compris entre l'assemblage du joint de colle et le début du processus de prise avec apport de chaleur et/ou pression au niveau du joint de colle.
PRESSER	Maintenir sous pression un joint de colle dans une presse pendant la période de prise de l'adhésif.
TEMPS DE PRESSAGE	Durée pendant laquelle un joint de colle est pressé.
PRISE	Processus au cours duquel l'adhésif développe sa force de cohésion et donc les propriétés physiques et chimiques de sa jonction.
TEMPS DE PRISE	Durée nécessaire à la prise de l'adhésif dans les conditions spécifiées.
TEMPS DE CONDITIONNEMENT	Intervalle de temps compris entre la fin de l'application de la chaleur, de la pression, de la radiation, etc. sur une jonction et l'obtention des propriétés adhésives souhaitées.

Tableau 12: Terminologie relative au collage (SIA, 2016)

Viscosité

La viscosité décrit le comportement d'un liquide en écoulement («épais» ou au contraire «fluide»). On distingue les degrés de viscosité suivants:

- Liquide fluide – faiblement visqueux
- Liquide moyennement visqueux
- Liquide épais – fortement visqueux

Pour la mesure de la viscosité, on utilise par exemple un viscosimètre à écoulement libre. C'est une sorte de gobelet percé. On mesure le temps que met le liquide pour s'écouler entièrement du gobelet initialement rempli d'une quantité donnée de liquide. Les liquides fluides s'écoulent en peu de temps, ils ont donc une faible viscosité.

Mouillabilité

La mouillabilité désigne la capacité d'un liquide à s'étaler sur une surface donnée. Pour assurer un bon collage, le liquide doit mouiller entièrement et régulièrement la surface à coller. La viscosité d'une colle influence la mouillabilité, voir Figure 79. La viscosité et la mouillabilité de la colle déterminent la forme que va prendre une goutte de liquide sur une surface donnée. L'angle α entre le liquide et la surface est caractéristique. Plus cet angle est faible, plus la mouillabilité est élevée.

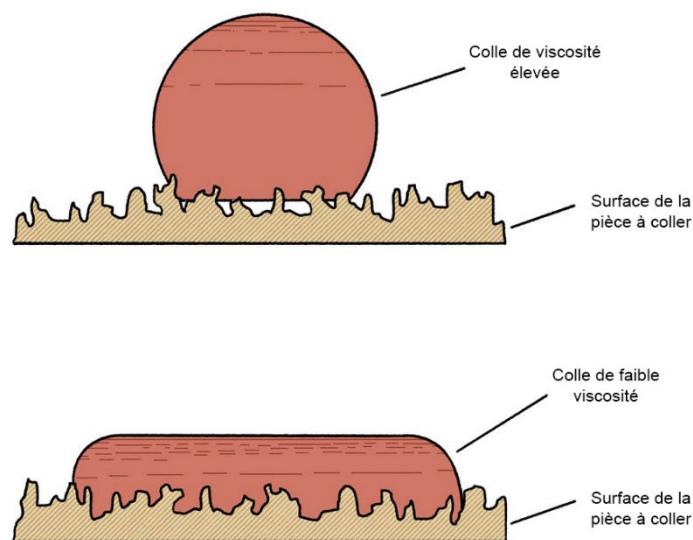


Figure 79: Comportements de colles de différentes viscosités (source: IBS selon Habenicht)

La forme d'une goutte sur une surface donnée dépend de la viscosité du liquide et de la mouillabilité de la surface. L'angle α entre le liquide et la surface est caractéristique. Plus cet angle est faible, plus la mouillabilité est élevée, voir Figure 80.

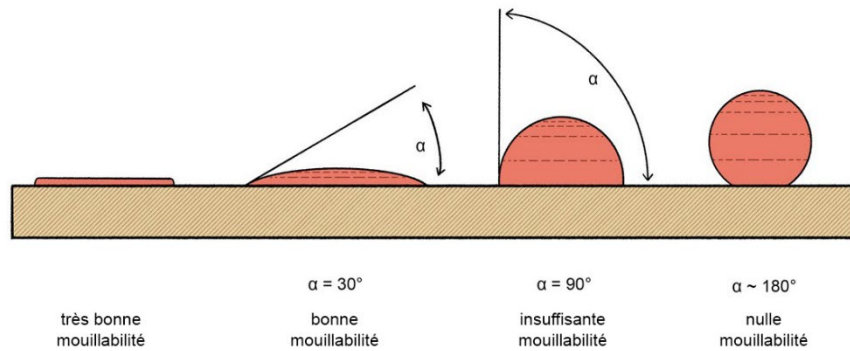
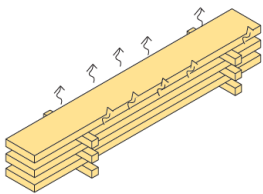


Figure 80: Mouillabilité de liquides sur une surface (source: IBS selon Habenicht)

6.4. Matériaux bruts

Produits de base



Les produits de base pour la fabrication de bois collé sont des bois massifs (planches, madriers et carrelots), voir le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année, et notamment des lames pour lamellé-collé. Celles-ci doivent répondre au minimum aux exigences de base de la classe de résistance convenue, de manière à ce que ces exigences soient entièrement remplies au moyen du tronçonnage usuel de perturbations structurales ponctuelles (singularités du bois, p. ex. nœuds) lors de la production de bois lamellé-collé.

La largeur standard des poutres en lamellé-collé va de 100 à 280 mm, par pas de 20 mm. Le processus de fabrication requiert toutefois une surmesure de 15 mm. La largeur brute des lames va donc de 115 à 295 mm, par pas de 20 mm.

Pour le bois lamellé-collé, on utilise en standard des lames d'une épaisseur brute de 46 mm. Dans le cadre du processus de fabrication, celles-ci sont rabotées à une épaisseur finie de 40 mm. La hauteur standard d'une poutre en lamellé-collé est par conséquent un multiple de 40 mm (80 mm, 120 mm, 160 mm, 200 mm, etc.). Pour des éléments de construction cintrés, on utilise également, selon le rayon de courbure de la pièce, des lames plus minces. L'épaisseur finie des lames ne doit pas dépasser 1/200 du rayon de courbure.

Contrôle à la réception des sciages

Un contrôle à la réception doit être réalisé lors de la livraison des sciages. Pour cela, la personne responsable contrôle le bois livré visuellement (paquets non ouverts depuis l'extérieur) et mesure l'humidité du bois par pointage. Dans ce cadre, on contrôlera que la marchandise correspond bien au bulletin de livraison, avec une attention particulière pour les points suivants:

1. Contrôle des dimensions de la section et de la longueur, ainsi que des quantités (m³ ou pièces)
2. Contrôle de la classe de triage (résistance et aspect) visuellement sur la base des caractéristiques suivantes: flache, nodosité, épaisseur des cernes, fentes, altération de la teinte, etc.
3. Contrôle de l'humidité par pointage par paquet/dimension au moyen d'un appareil manuel. Les valeurs mesurées seront notées sur le bulletin de livraison.

Si la marchandise correspond au bulletin de livraison, le responsable le confirme par son visa sur le bulletin de livraison et remet celui-ci au bureau du responsable

de la production. Une éventuelle différence concernant la quantité livrée doit être notée sur le bulletin de livraison et communiquée au responsable de la production.

Si la marchandise ne correspond pas au bulletin de livraison, le responsable de la production doit immédiatement en être informé. Celui-ci décide de l'acceptation des marchandises et de la suite de la procédure de réclamation à l'encontre du fournisseur. Les marchandises acceptées, mais qui ne répondent pas aux exigences de qualité (classe de résistance ou d'aspect, humidité du bois) doivent être marquées selon les dispositions de l'entreprises (p. ex. au spray rouge).

Séchage des
produits de base

Avant la transformation en bois collé, les produits de base doivent être séchés. Si le fabricant du bois collé effectue lui-même le séchage, il doit disposer pour cela d'installations de séchage de dimensions suffisantes. Pour le séchage du bois, voir le chapitre «Séchage», traité en 2^e année.

Entreposage des
produits de base
séchés

Après le séchage et jusqu'à la transformation, le bois doit être maintenu à l'humidité adéquate. A côté de l'humidité du bois, la température du bois est également importante pour la qualité du collage. Le fabricant de produits en bois collé doit par conséquent disposer du volume de stockage nécessaire, afin de maintenir ou d'atteindre l'humidité et la température du bois adéquates pour chaque étape de fabrication. La norme prescrit une température de l'air d'au moins 15°C et une humidité relative entre 40% et 75% dans les halles de fabrication. Afin d'assurer cela, la température et l'humidité relative de l'air dans les zones de stockage et de fabrication doivent être surveillées en permanence (p. ex. thermo-hygrographe ou système de mesure avec acquiiseurs de données). Si nécessaire, l'air doit être humidifié. Si les exigences concernant la température ou l'humidité relative de l'air ne sont pas remplies, le responsable de production doit habituellement en être immédiatement informé.

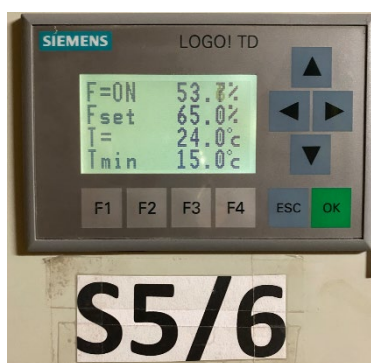


Figure 81: Commande de l'humidification et du chauffage dans la zone de fabrication.
(source: Roth Burgdorf AG)

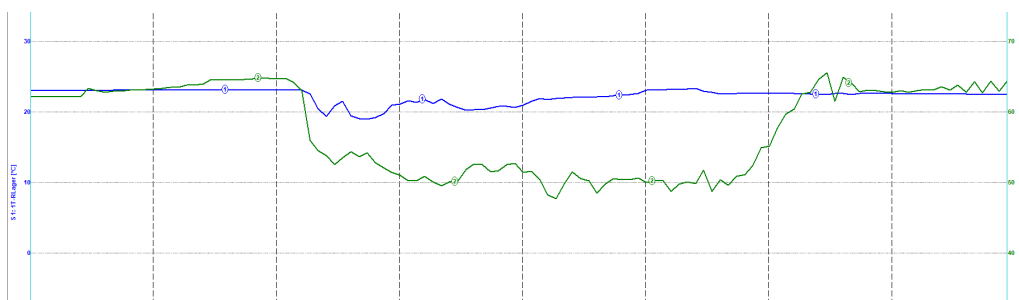


Figure 82: Exemple de chronique de température et d'humidité dans un dépôt de lames.
(source: Roth Burgdorf AG)

Station de marquage / tronçonnage, classement selon la résistance

Dans la production de bois collé, le classement des lames selon la résistance et selon l'aspect est habituellement réalisé dans la station de marquage/tronçonnage. Lors du triage visuel, le collaborateur devant la fraise à tronçonner marque les endroits qui ne remplissent pas les critères de la classe nécessaire et qui doivent par conséquent être tronçonnés (autrement dit, éliminés). Aux endroits tronçonnés, les lamelles ou les carrelets sont ensuite aboutés par entures multiples. Dans le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année, vous avez déjà appris les règles pour le tronçonnage en fonction de la classe de résistance spécifique des planches, des madriers et des carrelets dans la production de bois collé. Les bases pour le classement selon la résistance et l'assurance qualité correspondante sont également présentées dans le chapitre «Produits à base de bois».

Classement selon l'aspect

A côté des critères de résistance des lames, les critères liés à l'aspect doivent également être remplis. On distingue fondamentalement si un élément est destiné à rester apparent (qualité normale) ou non (qualité industrie) une fois mis en œuvre, voir le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année. Les exigences posées aux lames en matière d'aspect sont définies dans le document «Bois et panneaux à base de bois: critères de qualité dans la construction et l'aménagement intérieur» de Lignum/SIA.



Figure 83: Station de marquage/tronçonnage (source: Roth Burgdorf AG)

Mesure de l'humidité du bois

Selon la norme, l'humidité de chaque planche (ou madrier, ou carrelet) doit être mesurée. A moment du collage, l'humidité doit être entre 6% et 15% (ou entre 11% et 18% pour le bois traité avec des produits de protection). En outre, les instructions du fabricant de la colle doivent être respectées. La différence d'humidité entre deux planches (ou madriers ou carrelets) devant être collées ensemble ne doit pas dépasser 5 points de pourcentage.

Habituellement, le collaborateur à la station de marquage est responsable de la mesure de l'humidité du bois. La station de marquage mesure l'humidité de chaque planche (ou madrier ou carrelet) ainsi que la température du bois et affiche les valeurs à l'écran. Si la planche (ou le madrier ou le carrelet) ne remplit pas les exigences, elle est rejetée.

La mesure doit être réalisée comme suit:

- L'appareil doit être réglé pour chaque groupe de produits en fonction des exigences correspondantes. Les planches, madriers et carrelots avec une humidité du bois ou une température du bois hors de la fourchette admise doivent être rejetés.
- Les planches, madriers et carrelots rejetés en raison d'une humidité excessive (mouillés) ou insuffisante (secs) doivent être traités selon les instructions de travail de l'entreprise (CPU).

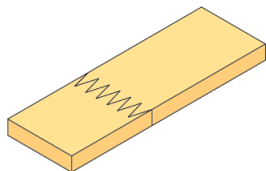
Si de grandes quantités de planches, madriers ou carrelots sont rejetées, on contrôlera l'humidité du bois avec l'appareil manuel et informera le responsable de la production.

La station de mesure enregistre les valeurs mesurées. Ces valeurs sont enregistrées et archivées selon les instructions de travail (CPU/manuel MQ). L'humidité moyenne actuelle du bois est notée dans le mandat d'aboutage par entures multiples (livre de collage).

La station de mesure doit être contrôlée une fois par mois au moyen de la méthode de séchage ou de la baguette d'étalonnage, selon les instructions de travail (CPU/manuel MQ).

6.5. Aboutage de lames par entures multiples

Aboutage par entures multiples



Après élimination par tronçonnage des parties qui ne répondent pas aux critères de la classe de résistance exigée, les morceaux de lames présentent des longueurs variables. Ces morceaux sont maintenant réassemblés au moyen d'aboutages par entures multiples afin de reconstituer des lames. Si nécessaire, les lames reconstituées sont encore tronçonnées à la longueur de l'élément de construction à réaliser.

Le collaborateur doit bien connaître l'installation d'aboutage et avoir les compétences requises pour ce travail. Il est directement responsable de l'autosurveillance et de la qualité des aboutages. Les écarts par rapport au processus prescrit sont constatés par ce collaborateur et communiqués au responsable de la production. Celui-ci décide des mesures nécessaires.

Exigences posées à l'humidité du bois

Lors de l'assemblage, l'humidité du bois des planches doit se trouver dans la fourchette précisée dans les instructions du fabricant de la colle. L'humidité de deux planches à assembler ne doit pas dépasser 5 points de pourcentage. Habituellement, l'humidité et la température du bois sont déjà mesurées avant la station de tronçonnage, afin de pouvoir rejeter avant la suite du processus les planches avec une humidité excessive ou insuffisante, voir chapitre 6.1.3.

Tronçonnage des nœuds et des parties avec fil divergent

Dans les aboutages par entures multiples elles-mêmes, il ne doit pas y avoir de nœud ni de fil divergent (SIA 2013b). Les normes imposent par conséquent des exigences pour le tronçonnage, qui sont également décrites dans le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année.

Géométrie des entures multiples

Le profil des entures multiples, avec les géométries usuelles ou recommandées, est fixé dans les normes de produits. On notera que la géométrie idéale n'est pas la même pour les résineux et les feuillus. Pour les produits en bois collé de feuillus et destinés à des fonctions porteuses, il n'existe pas encore de normes de produits.

Installation d'aboutage

En Suisse, le groupe spécialisé Bois collé a publié des lignes directrices pour les fabricants. La terminologie relative à l'aboutage par entures multiples est donnée dans le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année.

Les aboutages par entures multiples sont réalisés dans l'installation d'aboutage. Dans ce cadre, les entures sont fraisées dans les extrémités des planches tronçonnées, puis la colle est appliquée et les planches sont assemblées et pressées.

Il existe différentes installations d'aboutages de différents constructeurs. Quelle est la structure de l'installation d'aboutage de votre entreprise formatrice? Si vous ne produisez pas de bois collé: recherchez sur Internet auprès des constructeurs de machines (p. ex. Howial, Ledinek, etc.). Qu'est-ce qui différencie les procédés de production des différentes installations d'aboutage?



Figure 84: Installation d'aboutage (source: R. Näf)

Les fraises d'aboutage s'usent avec le temps, et cela plus fortement sur les feuillus que sur les résineux. A mesure que les fraises s'émoussent, la solidité des aboutages tend à diminuer. Afin de garantir les exigences posées aux aboutages, ces fraises doivent être régulièrement réaffûtées. La durée d'usage désigne la durée d'utilisation d'une fraise avant de devoir être changée et réaffûtée.



Figure 85: Fraise d'aboutage (source: Leitz)

Application de la colle

Dans les installations modernes, les planches sont directement collées après le fraisage des entures. Le procédé d'application de la colle doit assurer que toutes les surfaces des entures sont enduites de colle. Cela peut se faire des façons suivantes:

- à la main
- avec un système d'application au peigne ou au rouleau (résine et durcisseur mélangés ou séparément)
- sans contact

Les normes de produit prévoient des exigences spécifiques pour ce processus, qui doivent être remplies et contrôlées. Si la colle est appliquée sans contact uniquement sur un côté de l'aboutage, on contrôlera et documentera en continu que toutes les surfaces des entures de l'aboutage sont enduites de colle.

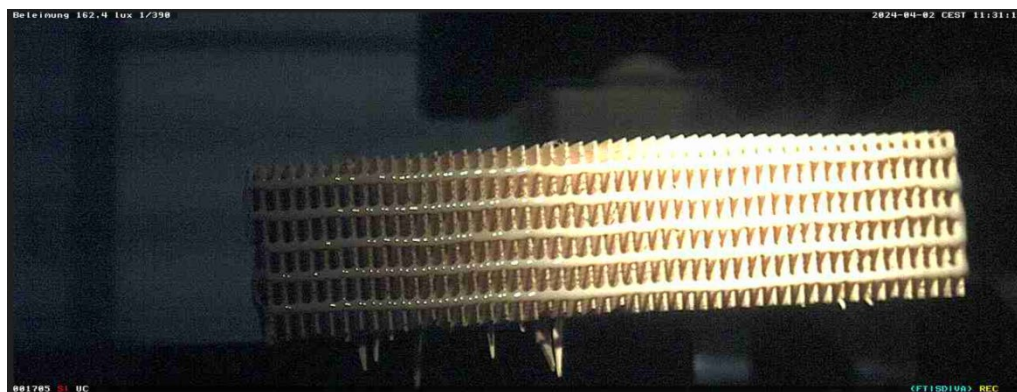


Figure 86: application de colle (source: Roth Burgdorf AG)

Pressage

Lors du pressage d'aboutages de planches de résineux au moyen de presses à cadence, le temps de pressage à pression nominale doit être d'au moins 1 seconde pour la réalisation de lames pour bois lamellé-collé et d'au moins 2 secondes pour la réalisation de lames pour bois massif reconstitué, ainsi que pour du bois massif reconstitué.

La valeur de la pression nominale est définie en fonction de la longueur d'enture et de sa géométrie. Les normes de produit comprennent des diagrammes pour les valeurs recommandées. La Figure 87 montre un diagramme tiré de la norme EN 14080 pour les lames pour bois lamellé-collé et les madriers pour bois massif reconstitué en résineux.

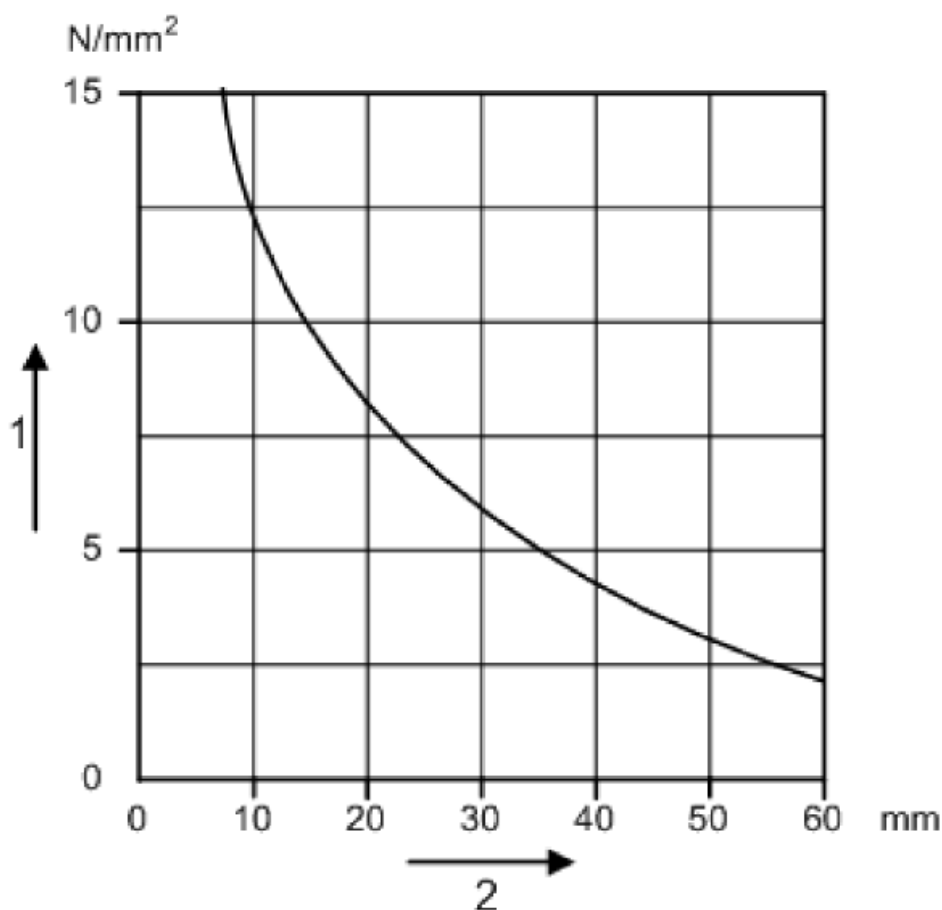


Figure 87: Valeurs de pression recommandées pour le pressage d'aboutages. (Figure I.2 tirée de SIA, 2013b)

Légende de la Figure 87:

- 1 Pression
- 2 Longueur d'enture

Exemple de lecture de la valeur de pression nominale recommandée: Avec une longueur d'enture de 20 mm, la pression nominale recommandée est de 8,2 N/mm². La force de pressage nécessaire est obtenue en multipliant la pression par la section de la planche, c'est-à-dire $F = \text{«pression nominale»} * \text{«épaisseur de la planche»} * \text{«largeur de la planche»}$.

Quelle force doit-on appliquer pour l'aboutage (entures de 20 mm) d'une planche de 46/175 mm de section?

(Solution: $F = 8,2 \text{ N/mm}^2 * 46 \text{ mm} * 175 \text{ mm} = 66'010 \text{ N} = 66 \text{ kN}$)

Jeu relatif en fond d'enture

Le jeu relatif en fond d'enture e désigne le rapport entre le jeu absolu l_t et la longueur d'enture l_j , voir Figure 88.

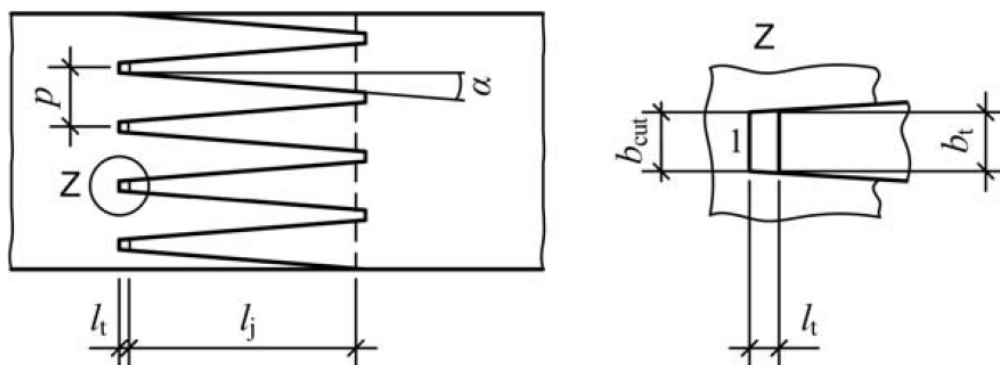


Figure 88: Profil typique d'un aboutage par entures multiples et jeu en fond d'enture. (Figure 3 tirée de SIA, 2013b)

Légende de la Figure 88:

- 1 Base des dents
- l_j Longueur d'enture
- l_t Jeu en fond d'enture

Après le pressage, le jeu relatif en fond d'enture $e = l_t/l_j$ devrait se situer entre 0,01 et 0,08. Les valeurs correspondantes pour les longueurs d'enture usuelles sont données dans le Tableau 13:

LONGUEUR D'ENTURE	JEU EN FOND D'ENTURE	
	MINIMUM	MAXIMUM
15 mm	0.15 mm	1.2 mm
20 mm	0.20 mm	1.6 mm
30 mm	0.30 mm	2.4 mm

Tableau 13: Jeu admissible en fond d'enture en fonction de la longueur d'enture.

Durcissement

Le durcissement a lieu dans la zone tampon entre l'installation d'aboutage et la presse. Les lames et les carrelots aboutés ne peuvent être repris qu'après la fin du temps de prise de la colle. Le temps de prise de la colle et le temps nécessaire pour que la liaison collée atteigne sa résistance finale sont donnés par le fabricant de la colle.

Echantillonnage pour essai de flexion

Dans le cadre de l'assurance qualité, des éprouvettes doivent régulièrement être prélevées, marquées et testées en cours de production. Habituellement, les éprouvettes sont soumises à des essais de résistance à la flexion. La procédure est prescrite dans les normes de produits et mise en œuvre selon les instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ). Dans ce cadre, les exigences posées aux lames pour lamellé-collé et bois massif reconstitué ne sont pas les mêmes que celles posées aux carrelots pour bois massif reconstitué.

Le prélèvement des éprouvettes pendant une période doit si possible se faire à intervalles réguliers. Les éprouvettes doivent être représentatives des dimensions de lames et de carrelots réalisés pendant cette période. Les différentes éprouvettes doivent être stockées sans sollicitations pendant au moins 24 heures avant les essais, afin d'assurer leur durcissement complet.

De quelle manière le prélèvement d'éprouvettes est-il décrit dans les instructions de travail de votre entreprise formatrice (dimensions et nombre par jour ou par période, essence, classe de résistance, colle et ligne de production)?

Essai de flexion

L'essai de flexion doit être réalisé et documenté selon les instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ). Lors de l'essai, l'aboutage doit se trouver au milieu du dispositif.

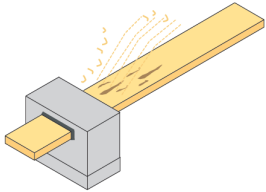


Figure 89: Essai de flexion d'un aboutage par entures multiples (source: Roth Burgdorf AG)

Les données de l'éprouvette et de l'essai de résistance à la flexion, avec les résultats, doivent être saisies selon les prescriptions. Le résultat de l'essai de flexion doit être évalué. Les éprouvettes qui ont atteint la valeur minimale prescrite (résistance caractéristique à la flexion) peuvent être éliminées. Pour les éprouvettes qui n'ont pas atteint la valeur minimale prescrite (résistance caractéristique à la flexion), on évaluera le type de rupture – cisaillement, rupture simple ou rupture hors de la zone d'aboutage – ainsi que la part de rupture de fibres, avec une précision de 10%. On inscrira ensuite sur l'éprouvette la charge de rupture et la part

de rupture de fibres, ainsi qu'un identifiant de l'éprouvette. Ces éprouvettes doivent être conservées et communiquées immédiatement au responsable de la production.

6.6. Rabotage des lames



Après durcissement de la colle de l'aboutage, les lames sont rabotées sur leur grand côté. Les bases de la technique de rabotage sont récapitulées dans le chapitre «Dédoubler et raboter». Les couteaux des raboteuses s'usent avec le temps et doivent par conséquent être régulièrement changés et réaffûtés. Les raboteuses modernes sont dotées de paires de broches verticales flottantes, qui suivent la courbure des lames. Cela réduit au minimum l'enlèvement de copaux et permet d'économiser du matériau.



Figure 90: Raboteuse de lames (source: Roth Burgdorf AG)

Tolérance dimensionnelle

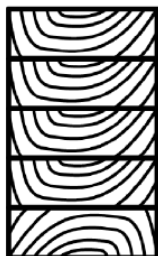
La tolérance dimensionnelle des lames est importante pour la qualité du collage de surface. La tolérance dimensionnelle des lames pour le collage de surface est par conséquent fixée dans les normes de produits et les instructions de travail (CPU/manuel MQ), en fonction du type de colle. Le machiniste responsable contrôle les dimensions des différentes lames selon les prescriptions des instructions de travail et documente la mesure dans le formulaire correspondant. Habituellement, cette mesure est effectuée après le rabotage une fois par période, après chaque nouveau réglage de la raboteuse ainsi qu'après chaque changement des couteaux de la raboteuse.

6.6.1. Collage de surface des lames

Après le rabotage des lames, celles-ci sont collées sur leur grand côté pour la production de bois lamellé-collé. Les règles pour les bois lamellés-collés de structure homogène ou combinée ainsi que les classes de résistance correspondantes sont présentées dans le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année.

Orientation des lames

Pour le collage de surface, les lames doivent être disposées de manière à ce que les cernes aient tous la même orientation et que le côté cœur soit à l'extérieur sur les deux lames extérieures, voir Figure 91 a). Il y a toutefois une exception: pour le bois lamellé-collé des classes de service 1 et 2, les cernes de toutes les lames peuvent avoir la même orientation, voir Figure 91 b).



a)



b)

Figure 91: Orientation des cernes dans la section (Figure I.3 tirée de SIA, 2013b)

Application de la colle

L'application de la colle est réalisée selon les instructions du fabricant de la colle. La quantité de colle doit assurer un mouillage régulier des pièces à coller. Habituellement, la colle est appliquée de manière automatisée et en continu sur une seule face, au moyen d'un dispositif d'application spécifique.

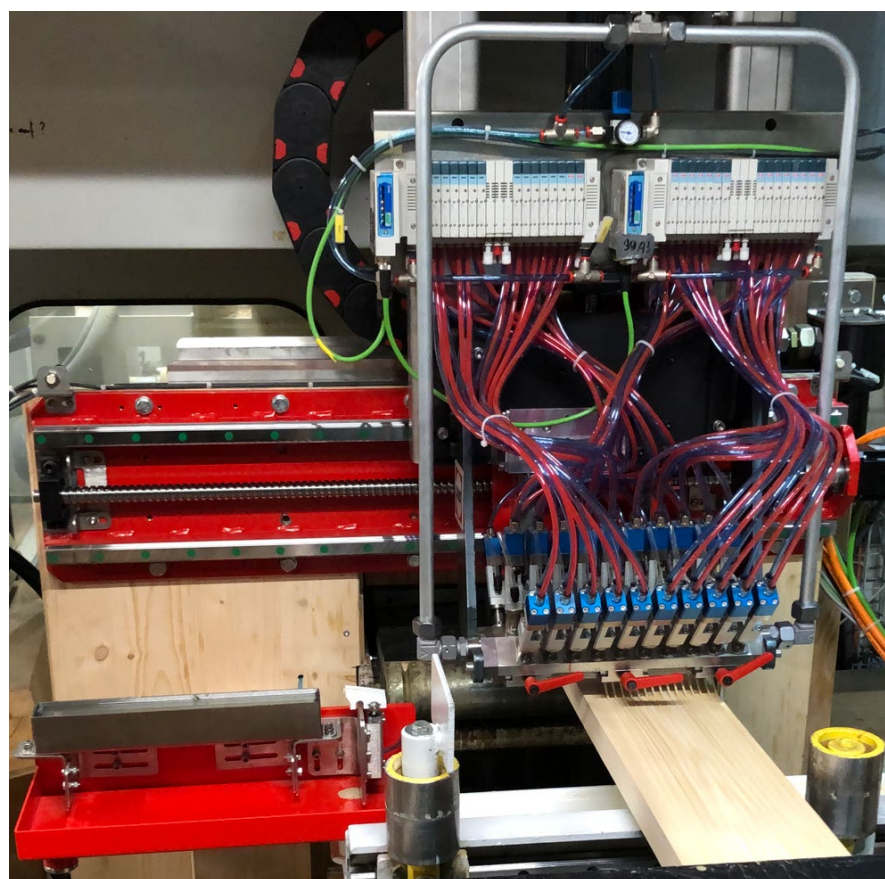
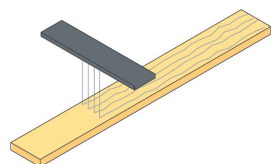


Figure 92: Application de la colle (source: Roth Burgdorf AG)

Les quantités de colle appliquées par les dispositifs d'application doivent correspondre aux instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ) et être documentées (habituellement au moins une fois par mois).

Avec les colles PUR monocomposant, l'humidité du bois à la surface des lames ne doit généralement pas être inférieure à 8%. Afin d'assurer une humidité minimale

pour le durcissement de la colle PUR monocomposant, il est possible de sprayer de l'eau sur la surface avant l'application de la colle, selon les instructions du fabricant de la colle.

L'heure du début de l'application de la colle, le type de colle, éventuellement les proportions du mélange et la quantité de colle appliquée doivent être documentés.

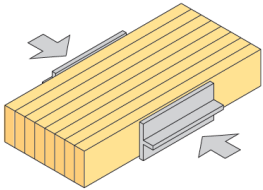
«Temps ouvert» et
pressage

Les lames assemblées sont ensuite pressées. Les lames doivent être assemblées au plus tard avant l'écoulement du « temps ouvert », à compter du début de l'application de la colle, et être mises sous presse. Le « temps ouvert » est influencé par le climat ambiant. Une température et une humidité de l'air plus élevées réduisent le « temps ouvert ». Si le « temps ouvert » prescrit par le fabricant de la colle, en fonction du climat ambiant, est dépassé, cela doit être signalé immédiatement au responsable de la production.

L'heure du début et de la fin du processus de pressage (= temps de pressage) ainsi que la pression de pressage doivent être documentés.

Pression de
pressage

La pression de pressage doit être réglée selon les instructions du fabricant de la colle, en fonction de la section des lames et de l'essence. Habituellement, les valeurs de pression à utiliser sont indiquées sur une fiche près de la presse. Pendant le processus de pressage, la pression doit être maintenue constante. En fonction des besoins et dans tous les cas immédiatement après le premier pressage, la pression doit être réajustée. Lors du pressage, de la colle doit s'écouler des joints sur toute la longueur de ceux-ci.



Le temps minimum de pressage dépend de la colle utilisée, du climat ambiant et de l'humidité du bois. Les instructions correspondantes du fabricant de la colle doivent être respectées.

L'heure à la fin du processus de pressage doit être documentée.

Il existe différentes presses de différents constructeurs. Quelle est la structure de la presse de votre entreprise formatrice? Si vous ne produisez pas de bois collé: recherchez sur Internet auprès des constructeurs de machines (p. ex. Ledinek, Minda, etc.). Comment la pression est-elle obtenue? Comment le chargement et le déchargement sont-ils réalisés?



Figure 93: Élément de construction cintré pour un toit à deux pans, dans la presse. (source: Roth Burgdorf AG)

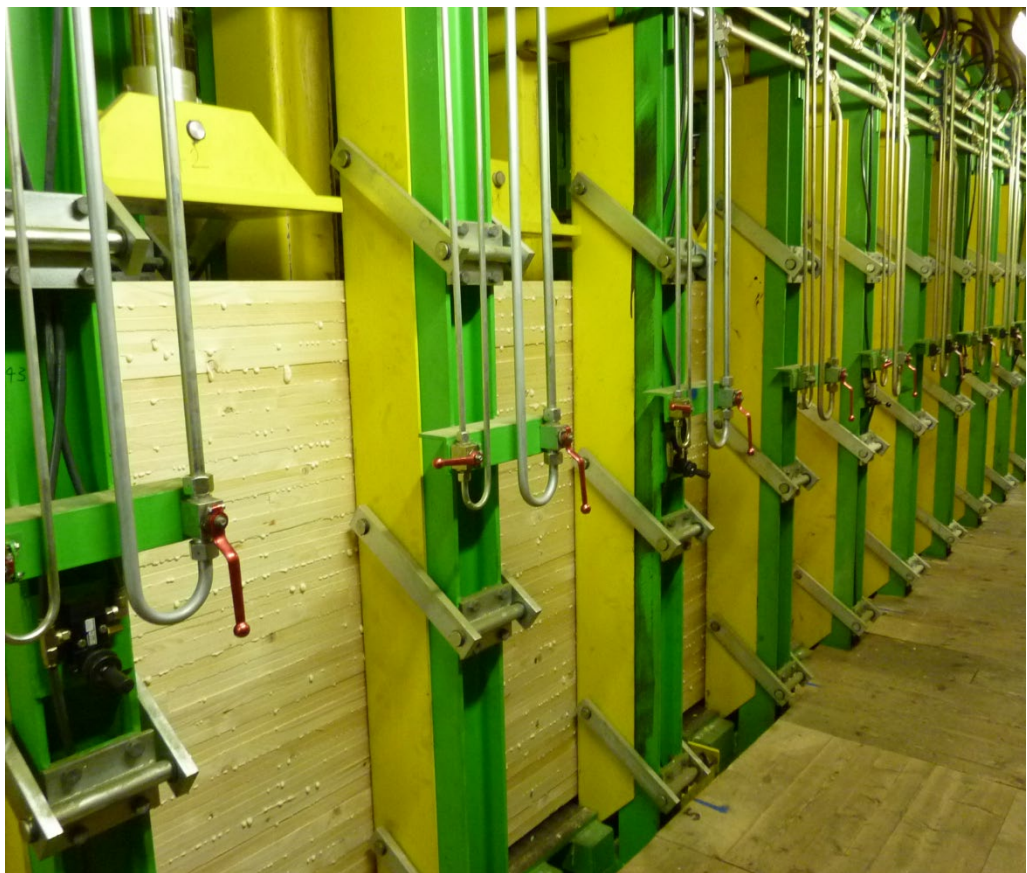


Figure 94: Presse hydraulique (source: Roth Burgdorf AG)

Post-durcissement

Le post-durcissement des éléments collés se fait soit dans l'entrepôt intermédiaire, soit dans l'entrepôt des produits finis. Là aussi, les instructions du fabricant de la colle doivent être respectées.

Épaisseur du joint de colle

L'épaisseur du joint de colle doit respecter les exigences des normes de produits. Des valeurs maximales admissibles des joints de colle sont prescrites pour les différents types de colles. Habituellement, l'épaisseur du joint de colle est contrôlée dans le cadre de l'essai de flexion et de l'essai de délamination. La procédure exacte est par conséquent décrite dans le paragraphe correspondant des instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ). L'épaisseur du joint de colle doit être mesurée avec une loupe grossissante, permettant de déterminer l'épaisseur avec une précision de 10%. Des dépassements isolés locaux, p. ex. en raison d'irrégularités du rabotage, peuvent être ignorés lors de l'évaluation.

Echantillonnage pour essai cisaillement et de délamination

Dans le cadre de l'assurance qualité, des éprouvettes des collages de surface doivent régulièrement être prélevées, marquées et testées en cours de production. Les prescriptions sont fixées dans les instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ).

Habituellement, on effectue pour cela des essais de cisaillement (bois lamellé-collé et bois massif reconstitué). Dans ce but, on prélève 1 éprouvette par 20 m³ ou moins par ligne de production et par jour ou par période. Ces éprouvettes sont prélevées sur la section complète dans la zone du bois lamellé-collé ou du bois massif reconstitué où une pression suffisante a été appliquée. Les éprouvettes doivent être identifiées de manière à pouvoir y associer les informations suivantes:

- Date et heure du collage (jj.mm.aaa / hh.mm)
- Type de colle
- Ligne de production (désignation)
- Machiniste (initiales)
- Numéro de lot ou de commande / numéro de commission y compris position
- Désignation du produit (BLC, etc.)

Les différentes éprouvettes doivent être stockées sans sollicitations pendant au moins 24 heures avant les essais, afin d'assurer leur durcissement complet.



Figure 95: Éprouvettes après essai de cisaillement (source: Roth Burgdorf AG)



Figure 96: Dispositif pour essai de cisaillement (source: Roth Burgdorf AG)

Des éprouvettes pour essais de délamination peuvent être prélevées comme alternative à l'essai de cisaillement. L'essai de délamination est en revanche obligatoire pour le bois lamellé-collé et le bois massif reconstitué de classe de service 3. Le prélèvement des éprouvettes est fondamentalement le même (emplacement, envergure et marquage) que pour les éprouvettes destinées à l'essai de cisaillement. Mais les éprouvettes doivent être prélevées dans le sens des fibres, avoir une longueur minimale de 7,5 cm et être prélevées à au moins 20 cm de l'extrémité de la pièce.



Figure 97: Eprouvettes prélevées pour l'essai de délamination (source: Roth Burgdorf AG)



Figure 98: Dispositif pour l'essai de délamination. (source: M. Lehmann, BFH-AHB)

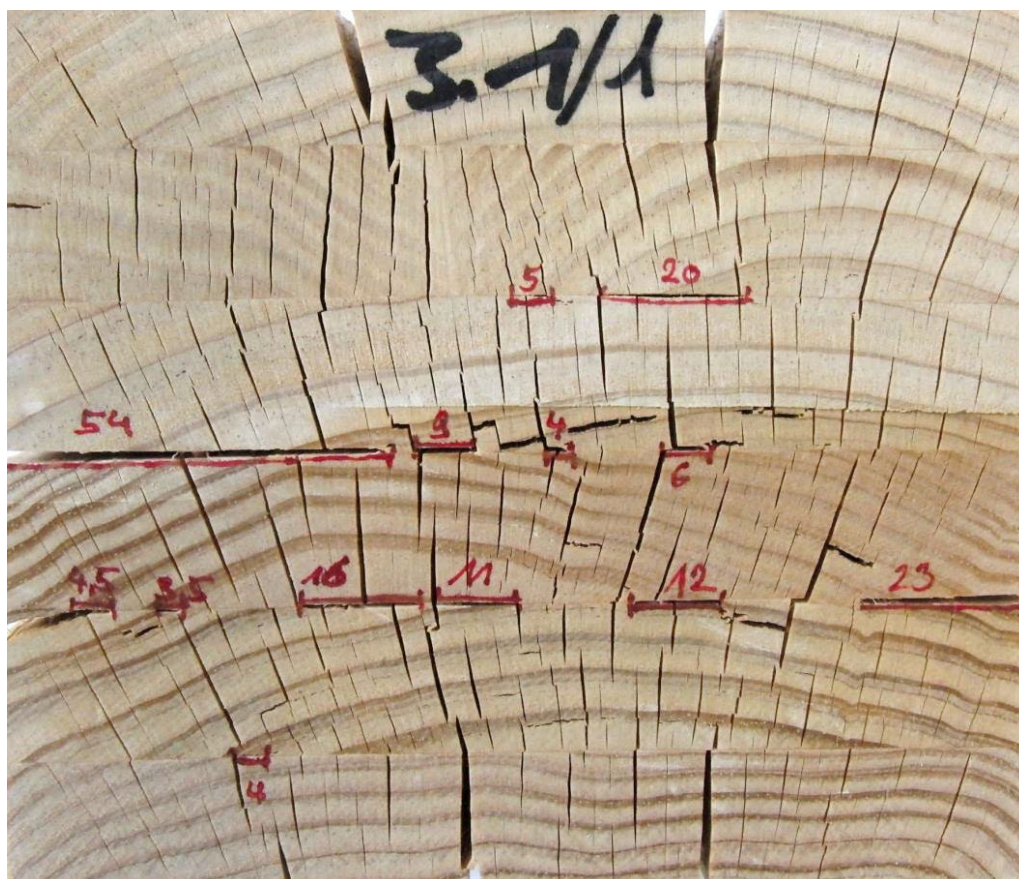
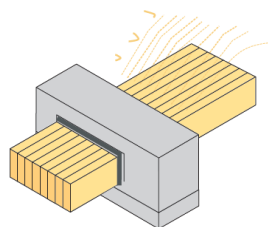


Figure 99: Epreuve après un essai de délamination au résultat négatif. (source: M. Lehmann, BFH-AHB)

6.7. Rabotage, réparation/taillage, préparation d'éléments de construction

Rabotage des éléments de construction



Les éléments de construction collés bruts sont rabotés sur leurs grands côtés, éventuellement sur tous les côtés, pour obtenir la section définitive. Selon l'élément et l'installation, on utilise différentes raboteuses pour cela.



Figure 100: Rabotage d'un élément de construction cintré dans une tireuse d'épaisseur placée sur un socle rotatif. (source: Roth Burgdorf AG)



Figure 101: Rabotage d'un élément de construction dans une raboteuse quatre faces (source: Roth Burgdorf AG)

Tolérance dimensionnelle, classement selon l'aspect, réparations

La tolérance dimensionnelle des éléments de construction finis (section) sont données par les normes de produits ou les usages du commerce des bois. Ces exigences sont récapitulées dans les instructions de travail (CPU/manuel MQ). Le machiniste responsable contrôle les dimensions de l'élément de construction fini après le rabotage, après chaque nouveau réglage de la raboteuse ainsi qu'après chaque changement des couteaux de la raboteuse.

En fonction de la classe d'aspect demandée, les faces sont réparées, voir le chapitre «Produits à base de bois», traité en 2^e année. Le collaborateur effectuant ces réparations est responsable du classement selon l'aspect.

Si les dimensions du produit dépassent les tolérances admises ou si les critères de la classe d'aspect demandée ne peuvent pas être remplis malgré les réparations admissibles, le produit doit être marqué selon les instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ), bloqué pour la livraison et être communiqué immédiatement au responsable de la production. Celui-ci décide des mesures nécessaires.

Taillage

Dans le cadre du taillage, les éléments de construction sont taillés selon plan.



Figure 102: Taillage d'une poutre cintrée en lamellé-collé pour un toit à deux pans. (source: Roth Burgdorf AG)

Marquage, emballage

Afin d'assurer la traçabilité, un marquage est apposé soit directement sur le produit (p. ex. sous forme d'étiquette), soit sur son emballage.

6.8. Préparation du travail et assurance qualité (CPU)

Préparation du travail

«Le fabricant doit planifier et exécuter la production dans des conditions contrôlées.» (SIA, 2013b). Les exigences correspondantes sont définies dans les normes de produits. Dans les usines de collage, la préparation du travail est réalisée à l'aide de plusieurs instruments. Finalement, ce sont les possibilités de chargement de la presse pour le collage de surface ou l'optimisation de ce chargement qui dictent la planification dans le détail.

Contrôle de la production en usine (CPU)

«Le fabricant est tenu d'établir, de documenter et de maintenir un système pour le contrôle de la production en usine, afin de garantir que les produits mis sur le marché correspondent aux caractéristiques de performance indiquées» (SIA, 2013b). Tous les éléments nécessaires à cela sont définis dans le CPU/manuel MQ de l'entreprise.

	• = exécuter		Cariste (coll. entrepôt)	Trieur (coll. station de marquage)	Coll. aboutage par entures mult.	Coll. rabotage lames	Coll. collage de surface	Coll. rabotage poutre	Coll. préparation des commandes	Responsable de la production	Coll. expédition	Instructions de travail, aides
		Description étape de travail										
Contrôle à la réception bois et colle		Contrôle à la réception du bois séché fourni par des tiers ou en interne	•									06_03_A+ 06_04_A
Classement + marquage		Classement des sciages selon la résistance, selon DIN 4074-1	•									06_06_A
		Marquage des endroits ne correspondant pas aux critères du classement selon la résistance ou selon l'aspect	•									
Mesure systématique de l'humidité du bois		L'humidité est mesurée à un endroit précis sur chaque lame	•									06_05_A
Tronçonnage		Tronçonnage des endroits marqués	•									
Aboutage Fraisage Application colle Pressage		Fraisage des entures aux extrémités des lames, application de la colle des deux côtés, pressage des aboutages par entures multiples		•								06_07_A 07_05_A
Rabotage des lames		Rabotage des deux grands côtés et calibrage de la largeur des lames				•						07_01_A
Collage de surface Application colle Pressage		Application de la colle sur un grand côté des lames Pressage des lames assemblées jusqu'au durcissement de la colle					•					06_08_A 07_04_A
Rabotage poutre		Rabotage de la poutre aux dimensions voulues						•				07_02_A
Contrôle qualité		Recherche de défauts							•			06_09_A
Réparation / élimination défauts		Réparation selon classement selon l'aspect, évent. réparation des défauts							•			
Marquage		Marquage selon EN 14080 chiffre 7 et ZA.3							•			08_02_M
		Contrôle du produit et marquage selon EN 14080 par l'équipe								•		04_04_L
Prép. commandes									•			
Livraison		Joindre doc. d'accompagnement									•	

Figure 103: Extrait d'un manuel MQ (source: Necker Holz AG)

Documentation des données relatives aux commandes «Livres de collage»

Les normes de produits exigent une documentation des données et prescrivent ce qu'il faut documenter. Dans la pratique, on utilise pour cela un «livre de collage». De nos jours, le livre de collage est généralement tenu sous forme électronique.

Essais dans le cadre du CPU

Dans les paragraphes précédents, nous avons traité le prélèvement d'éprouvettes en cours de production pour les essais dans le cadre du contrôle de la production en usine. Les normes de produits prévoient par exemple les essais suivants pour la production de bois lamellé-collé et de bois massif reconstitué:

- Essai de flexion pour les aboutages par entures multiples
- Essai de cisaillement et/ou de délamination pour les collages de surface

La réalisation, l'analyse et l'évaluation de ces essais sont fixées dans les instructions de travail de l'entreprise (CPU/manuel MQ).

Qui effectue les essais dans votre entreprise formatrice?

6.9. Bases du droit des produits de construction et des normes EN

Droit des produits de construction

Un bref aperçu du droit des produits de construction en Suisse est proposé dans le document «Bois et panneaux à base de bois: critères de qualité dans la construction et l'aménagement intérieur, édition 2021», Lignum (2021).

Normes EN

Les conditions d'un libre marché pour les marchandises (p. ex. produits de construction) et les services sont basés sur des normes de contrôle, de produits et d'exécution harmonisées, ainsi que sur les normes européennes relatives aux structures porteuses en vigueur dans l'UE (resp. de l'EEE). Un bref aperçu est également proposé dans le document «Bois et panneaux à base de bois: critères de qualité dans la construction et l'aménagement intérieur, édition 2021», Lignum (2021).

6.10. Dédoublage de poutres en bois lamellé-collé

Pour la réalisation d'éléments de faible épaisseur en bois lamellé-collé, il est généralement plus économique de réaliser d'abord des éléments plus épais, puis de les dédoubler à l'aide d'une scie à ruban. Il faut toutefois relever que cela peut réduire les caractéristiques de résistance, suivant la procédure employée pour le tri des lames, et que cela doit être déclaré. La raison à cela est que les critères pour le triage selon la résistance sont basés sur la section de la lame au moment du triage. Si, par exemple, une lame contenant des nœuds est dédoublée à l'intérieur d'un bois lamellé-collé, celle-ci pourrait ne plus répondre aux critères pour le classement selon la résistance, si les nœuds occupent une trop grande proportion de sa nouvelle section.



Figure 104: Dédoublage d'une poutre en BLC au moyen d'une scie à ruban. (source: Roth Burgdorf AG)

6.11. Bois lamellé-collé en bloc

Pour la réalisation d'éléments de construction en bois lamellé-collé dont la largeur est supérieure à la largeur possible d'un élément réalisable directement, on colle plusieurs parties en bloc. Ce «bois lamellé-collé en bloc» est défini comme suit dans la norme correspondante (SIA, 2013b) en tant que produit spécifique: «élément de structure ayant une section transversale rectangulaire massive, fabriqué à partir d'au moins deux composants en bois lamellé-collé assemblés par collage à l'aide d'un adhésif pour joint épais.» Des exigences particulières doivent être respectées lors de la fabrication de bois lamellé-collé en bloc. Seules des colles phénoplastes ou aminoplastes pour joints épais sont admises pour le collage de différentes parties du bois lamellé-collé en bloc.



Figure 105: Pressage d'un élément en bois lamellé-collé en bloc. (source: Roth Burgdorf AG)

6.12. Bois lamellé-collé avec aboutage à entures multiples de grandes dimensions

Les aboutages à entures multiples de grandes dimensions (p. ex. pour des crosses) d'éléments de construction en bois lamellé-collé sont définis comme suit dans la norme correspondante (SIA, 2013b) en tant que produit spécifique: «aboutage à entures multiples sur toute l'aire de la section transversale aux extrémités des composants en bois lamellé-collé, assemblées par collage sous n'importe quel angle β compris entre 45° et 90° (inclus).» Des exigences particulières doivent être respectées lors de la fabrication de bois lamellé-collé avec des entures multiples de grandes dimensions.

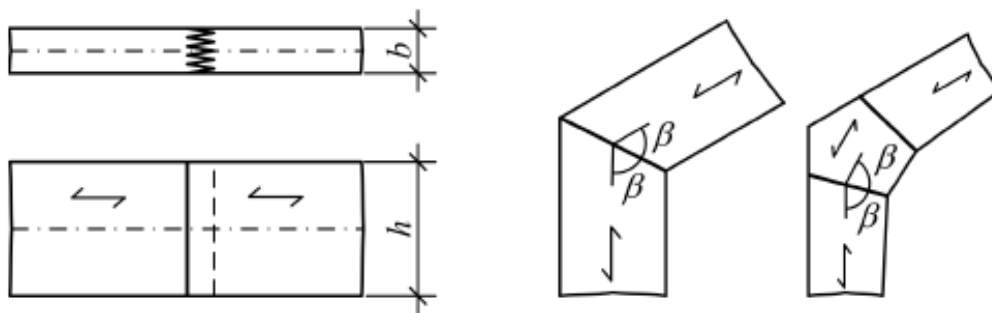


Figure 106: Aboutages à entures multiples de grandes dimensions d'une poutre et d'un assemblage de crose.
(Figure 6 tirée de SIA, 2013b)

6.13. Bois lamellé-collé de feuillus

La lente transformation des forêts suisses vers davantage de feuillus, notamment de hêtre, a conduit, dès le début des années 2000, à d'intenses efforts de recherche pour la fabrication de bois lamellé-collé de hêtre. L'utilisation de ce feuillu extrêmement résistant dans la construction en bois était jusqu'ici limitée, à de rares exceptions près, en raison de sa faible durabilité et de sa forte tendance au gonflement et au retrait. Le développement de colles, de méthodes appropriées, ainsi que de critères adéquats pour le classement selon la résistance, a permis de développer du bois lamellé-collé de hêtre pour des éléments porteurs minces ou des poutres et des poteaux devant supporter des charges élevées. Une vue d'ensemble est proposée dans le Lignatec n° 33 «Bois de feuillus collé à usage structural» (Lignum, 2021).

Comme ces produits ne sont pas encore normés, le groupe spécialisé Bois collé d'Industrie du bois Suisse (IBS) a édité une «Ligne directrice pour la réalisation de produits collés en feuillus» (groupe spécialisé Bois collé, 2021) comme base harmonisée pour la production. Le groupe spécialisé Bois collé tient un registre des fabricants remplissant les exigences de cette ligne directrice.

6.14. Colles utilisées pour la fabrication de bois lamellé-collé

Colles naturelles

Au début, on a utilisé des colles naturelles à base des liaisons protéiques gluten et caséine pour la fabrication de bois lamellé-collé. Le gluten était obtenu à partir de peaux, d'os, de tendons et de cartilages d'animaux, ce qui lui a valu le nom de «colle à l'os». La caséine était obtenue à partir de produits au lait maigre. Ces colles naturelles présentent une faible résistance à l'humidité.

Introduction des colles à base de résines synthétiques

Les premières résines synthétiques ont été développées à partir des années 1930 et ont remplacé, au cours des décennies qui ont suivi, les colles à la caséine, alors usuelles dans la fabrication de bois collé. L'un des principaux avantages des résines synthétiques est leur résistance à l'eau et aux moisissures. Après les résines d'urée-formaldéhyde (UF), il y a eu les résines à base de phénol, de résorcine et de mélamine (PF, RF et MF), dans les années 1950. Après l'homologation des premières colles en polyuréthane monocomposant (PUR monocomposant), au milieu des années 1990, ces colles ont rapidement été adoptées dans la fabrication de bois lamellé-collé.

Les colles sont des matières plastiques

Dans la construction en bois lamellé-collé, on utilise principalement des colles phénoplastes et aminoplastes, ainsi que des colles monocomposant à base de polyuréthane réticulant à l'humidité. Il existe également des émulsions à base de polymère-isocyanate (EPI).

Pour le collage de tiges filetées et la réparation de fentes, on utilise principalement des résines époxy, parfois également des résines à deux composants à base de polyuréthane.

Toutes ces colles sont des matières plastiques.

Polymères

A l'état durci, ces matières plastiques sont des polymères. Le terme de polymère vient du grec et signifie «composé de nombreuses parties». Les polymères sont constitués de molécules géantes, aussi appelées macromolécules. Les éléments de base des polymères sont des monomères. Ce sont des molécules relativement courtes. Dans le cadre de réactions chimiques, elles s'assemblent pour former de très longues molécules. Dans le cas le plus simple, le polymère est formé à partir d'une seule espèce de monomère, voir Figure 107. Mais il existe également des polymères formés à partir de plusieurs espèces de monomères.

Lorsque seul un petit nombre de monomères s'assemblent dans le cadre d'une réaction chimique, on parle de prépolymères. C'est le stade précurseur du polymère, qui présente toutefois encore un potentiel de réaction chimique.

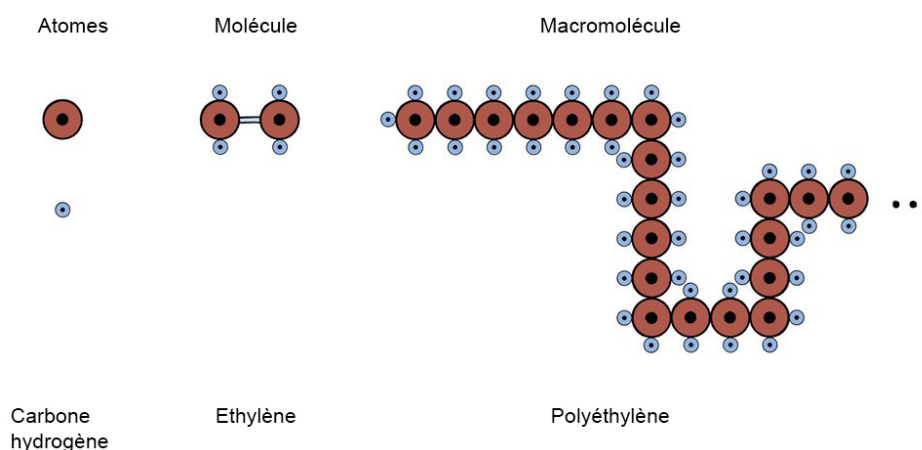


Figure 107: Polyéthylène (PE) comme exemple de polymère: des atomes (carbone et hydrogène) à la macromolécule (polyéthylène) en passant par la molécule (éthylène). (source: IBS selon Pröbster)

La comparaison avec un train permet d'illustrer la formation des polymères. En accouplant plusieurs wagons (monomères), on peut former un train (polymère) de grande longueur (Habenicht, 2016).

Les polymères peuvent être filiformes, ramifiés ou réticulés, voir Figure 108. Selon le type de polymérisation, ces polymères présentent différentes caractéristiques, que l'on peut décrire selon les trois classes suivantes:

- Thermoplastes: selon le type de monomère, ces polymères sont filiformes ou ramifiés. Les thermoplastes fondent ou se ramollissent sous l'effet de la chaleur. D'autre part, ils tendent à fluer sous l'effet de contraintes mécaniques permanentes, c.-à-d- qu'ils se déforment lentement et durablement sous charge.

- Elastomères: ces polymères sont réticulés à grandes mailles lâches. Les élastomères sont élastiques et flexibles.
- Duromères: ces polymères sont réticulés à mailles serrées. Les duromères (latin «durus» = dur) sont durs et cassants. Sous l'effet de la chaleur, ils ne fondent pas, mais se décomposent au-dessus d'une certaine température.

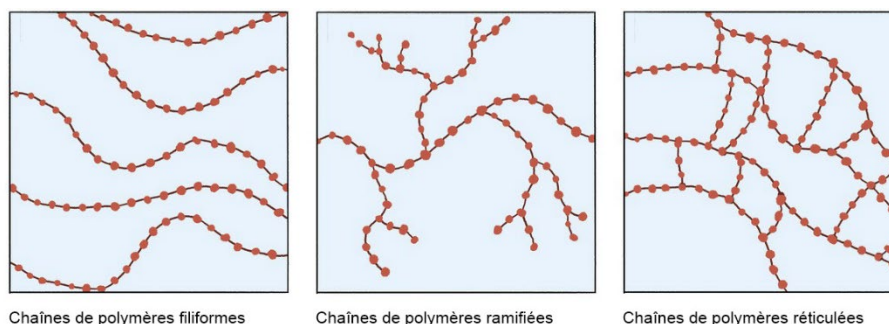


Figure 108: Chaînes de polymères filiformes (a), ramifiées (b) et réticulées (c) (schématique).
(source: IBS selon Felixberger)

Terminologie importante relative aux matières plastiques:

MOLÉCULE	Substance chimique constitué d'une ou de plusieurs espèces d'atomes.
MONOMÈRE	Produit de départ d'une colle, à partir duquel des structures moléculaires polymères sont obtenues par une réaction chimique. Ce terme vient du grec (monos = seul, unique) et désigne des «pièces isolées» ou éléments qui vont se lier par une réaction chimique pour former un polymère.
POLYMÈRE	Ce terme vient également du grec (polys = nombreux) et désigne un système constitué de «nombreuses parties». Liaisons chimiques obtenues à partir de monomères ou de prépolymères par polyaddition, polycondensation ou polymérisation, qui forment généralement des solides. Les colles durcies sont fondamentalement constituées de polymères.
POLYADDITION	Réaction chimique de durcissement, lors de laquelle deux monomères différents A et B se lient pour former un polymère AB.
POLYCONDENSATION	A la différence de la polyaddition et de la polymérisation, la polycondensation produit un sous-produit, p. ex. de l'eau, lors de la polymérisation. De ce fait, il faut non seulement appliquer de la chaleur, mais aussi une pression élevée sur les pièces à coller, durant le processus de durcissement.
POLYMÉRISATION	Formation d'un polymère à partir de monomères ou de prépolymères avec des doubles liaisons C=C, p. ex. les acrylates.

Tableau 14: Terminologie relative aux matières plastiques (SIA, 2016)

Les colles phénoplastes et aminoplastes sont des condensats de formaldéhydes. Ces colles résultent de la liaison des résines synthétiques phénol, résorcine, urée ou mélamine avec du formaldéhyde. Elles durcissent selon le principe de la polycondensation, une réaction chimique qui transforme les monomères en polymères et libère de l'eau comme sous-produit. La colle durcie est un duromère, c'est-à-dire un polymère dur et cassant.

Dans la pratique, on utilise généralement les colles phénoplastes et aminoplastes suivantes:

- Résine urée-formaldéhyde (UF)
- Résine mélamine-formaldéhyde (MF)
- Résine mélamine-urée-formaldéhyde (MUF)
- Résine résorcine-formaldéhyde (RF)

La résine résorcine-formaldéhyde donne des joints de couleur brune. Toutes les autres résines donnent des joints clairs ou transparents.

Ces colles sont généralement livrées à l'état précondensé (état résol). Pour cela, le fabricant de la colle interrompt la polycondensation lorsque le mélange est encore suffisamment soluble à l'eau. Pour le durcissement de ces colles, le processus de polycondensation est réactivé par l'adjonction d'un activateur (durcisseur et/ou chaleur), et la colle durcit alors complètement. Dans le processus de condensation, on distingue trois phases:

- Etat résol
Dans cet état, le durcissement est interrompu par le fabricant.
Le mélange de résine formaldéhyde est soluble à l'eau sous forme de précondensat.
- Etat résitol
Dans cet état, le processus de durcissement se poursuit.
La colle devient visqueuse et pâteuse.
- Etat résit
Dans cet état, la colle durcit pour former un condensat.

De nos jours, la résine et le durcisseur sont généralement livrés sous forme liquide dans des conteneurs spéciaux et doivent être mélangés selon les instructions du fabricant. Cela se fait le plus souvent dans des appareils de dosage et de mélange automatiques de l'installation de collage. Certains produits conviennent également pour l'application séparée de la résine et du durcisseur.

La norme EN 301 subdivise les colles phénoplastes ou aminoplastes en plusieurs classes de colles. Ce classement est basé sur leurs propriétés pour l'utilisation dans différentes conditions climatiques et sur l'usage prévu. Ces classes de colles font l'objet de désignations codées, ce qui permet leur attribution correcte en fonction des normes.

Pour l'utilisation dans la fabrication de bois collé, les colles phénoplastes et aminoplastes doivent répondre aux exigences de la norme EN 301 et aux exigences spécifiques des normes de produits. L'institut d'essais des matériaux (MPA) de l'Université de Stuttgart tient une liste de colles répondant aux exigences.

Colles PUR mono-composant

Pour la fabrication de bois lamellé-collé et de bois massif reconstitué, l'épaisseur du joint des colles phénoplastes et aminoplastes mélangées avant leur utilisation ne doit pas dépasser la valeur maximale indiquée par le fabricant de la colle ou 0,6 mm (c'est la valeur plus basse qui s'applique). Seuls des écarts isolés locaux, p. ex. en raison d'irrégularités du rabotage, sont admis.

Pour des joints de colle entre des composants en bois lamellé-collé pour lamellé-collé en bloc selon EN 14080 (c'est-à-dire pour le collage en bloc), seuls les colles phénoplastes et aminoplastes pour joints épais sont autorisées. L'épaisseur du joint des colles phénoplastes et aminoplastes ne doit pas dépasser la valeur maximale indiquée par le fabricant de la colle ou 1,5 mm (c'est la valeur plus basse qui s'applique).

Les colles à base de polyuréthane réticulant à l'humidité (PUR monocomposant) sont constituées de prépolymères réalisés à partir d'isocyanates et de polyols. Ceux-ci présentent encore des groupes isocyanate réactifs. Lors du processus de durcissement à température ambiante, plusieurs réactions chimiques ont lieu. La première réaction chimique requiert de l'eau. L'eau nécessaire provient de l'environnement (humidité de l'air) et de l'humidité des pièces à coller (humidité du bois). Si le bois est trop sec, il faut appliquer de l'eau supplémentaire sous forme de spray. Dans le cadre d'une deuxième réaction chimique, il y a un dégagement de dioxyde de carbone (CO_2), ce qui fait mousser la colle. Enfin, le polymère se forme par polyaddition. La colle durcie est un polymère duromère. En comparaison avec les colles phénoplastes et aminoplastes, cette colle est moins dure et moins cassante, mais possède une résistance moindre.

Les colles PUR monocomposant sont livrées par les fabricants dans des récipients spéciaux, sous forme liquide ou pâteuse, prêtes à l'emploi.

La norme EN 15425 subdivise les colles PUR monocomposant en plusieurs classes. Ce classement est basé sur leurs propriétés pour l'utilisation dans différentes conditions climatiques et sur l'usage prévu. Ces classes de colles font l'objet de désignations codées, ce qui permet leur attribution correcte en fonction des normes.

Pour l'utilisation dans la fabrication de bois collé, les colles PUR monocomposant doivent répondre aux exigences de la norme EN 15425 et aux exigences spécifiques des normes de produits. L'institut d'essais des matériaux (MPA) de l'Université de Stuttgart tient une liste de colles répondant aux exigences.

Pour la fabrication de bois lamellé-collé et de bois massif reconstitué, l'épaisseur du joint des colles PUR monocomposant actuellement homologuées peut aller jusqu'à 0,3 mm, selon le produit.

Le fait qu'elles moussent peut donner à croire que les colles PUR monocomposant sont capables de remplir des joints épais. En réalité, cet effet moussant fait que la colle est expulsée du joint et que la couche de colle ne présente pas les propriétés requises. Les colles PUR monocomposant ne sont par conséquent pas autorisées pour les joints de colle entre des composants en bois lamellé-collé pour lamellé-collé en bloc selon EN 14080. Dans le même sens, elles ne sont pas non plus autorisées pour les aboutages à entures multiples de grandes dimensions selon la norme EN 14080.

Les émulsions à base de polymère-isocyanate (EPI) sont des polymères en émulsion à base d'eau ou un mélange de polymères en émulsion à base d'eau, auxquelles on ajoute de l'isocyanate comme durcisseur.

La résine et le durcisseur livrés sous forme liquide dans des conteneurs spéciaux et doivent être mélangés selon les instructions du fabricant. Cela se fait le plus souvent dans des appareils de dosage et de mélange automatiques de l'installation de collage.

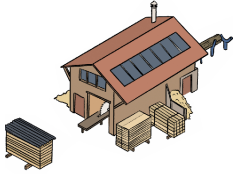
La norme EN 16254 subdivise les colles EPI en plusieurs classes de colles. Ce classement est basé sur leurs propriétés pour l'utilisation dans différentes conditions climatiques et sur l'usage prévu. Ces classes de colles font l'objet de désignations codées, ce qui permet leur attribution correcte en fonction des normes.

Pour l'utilisation dans la fabrication de bois collé, les colles EPI doivent répondre aux exigences de la norme EN 15425 et aux exigences spécifiques des normes de produits. L'institut d'essais des matériaux (MPA) de l'Université de Stuttgart tient une liste de colles répondant aux exigences.

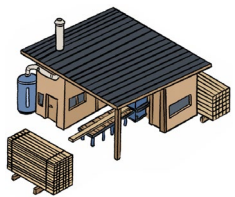
Pour la fabrication de bois lamellé-collé et de bois massif reconstitué, l'épaisseur du joint des colles EPI actuellement homologuées peut aller jusqu'à 0,3 mm, selon le produit.

Les colles EPI ne sont pas autorisées pour les joints de colle entre des composants en bois lamellé-collé pour lamellé-collé en bloc selon EN 14080. Dans le même sens, elles ne sont pas non plus autorisées pour les aboutages à entures multiples de grandes dimensions selon la norme EN 14080.

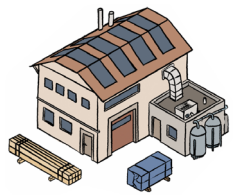
7. Valorisation et élimination des sous-produits du bois



Scierie



Raboterie



Usine de collage

CO c4: Traitement des sous-produits du bois issus de la production de bois scié

CO d4: Valorisation et élimination des produits issus de la fabrication de produits à base de bois

Tout au long de sa chaîne de production, l'industrie du bois crée des produits connexes tels que plaquettes, copeaux et sciure. Cependant ces sous-produits ne doivent pas forcément être immédiatement éliminés. L'industrie du bois a toujours fait preuve d'innovation pour revaloriser et donner de la valeur à ses produits connexes avec succès.



Figure 109: Les copeaux de bois peuvent donner naissance à un nouveau produit. (source: Schilliger Holz AG)

Tâches pratiques en entreprise

Étapes de production 1 & 2:

- Traiter les produits connexes conformément aux directives
- Utiliser les produits connexes pour la production d'énergie

Étape de production 2:

- Traiter les produits connexes conformément aux directives
- Utilisation de machines annexes telles que Broyeur, Compresseur

Situations professionnelles

- Lors du rabotage, les copeaux doivent être aspirés
- Le broyeur doit être alimenté avec des résidus de bois
- Les produits connexes doivent être chargés pour une utilisation ultérieure ou déplacés pour une utilisation interne.

Objectifs d'apprentissage

Formation et utilisation des produits connexes du bois:

- L'apprenti sait comment les produits connexes sont produits
- L'apprenti connaît les exigences des assortiments, les possibilités d'utilisation et les canaux de distribution
- L'apprenti décrit en particulier les possibilités concrètes de valorisation énergétique des produits connexes du bois
- L'apprenti explique l'importance économique de la revalorisation des produits connexes du bois
- L'apprenti décrit l'élimination des produits connexes classés comme déchets spéciaux

Préparation des produits connexes:

- L'apprenti décrit les installations de transformation pour réduire les produits connexes du bois.
- L'apprenti explique la construction, la fonction et le domaine d'utilisation pour les machines auxiliaires adaptées aux produits connexes du bois
- L'apprenti effectue des calculs pertinents sur les produits connexes du bois (teneur en eau, facteurs de conversion, valeur)
- L'apprenti décrit les potentiels d'efficacité énergétique lors de la production et de l'utilisation des produits connexes du bois.

Stockage des produits connexes du bois:

- L'apprenti décrit les exigences concernant le stockage des produits connexes, les conditions pour garder leur valeur, les dangers possibles et les mesures de sécurité à prendre.

7.1. Formation et utilisation des résidus du bois

Le bois étant une ressource naturelle et renouvelable, il est important d'en utiliser toutes les possibilités. En partant de l'arbre en forêt jusqu'au produit fini, le bois subira des transformations avec, à chaque étape, la formation de produits connexes. Ces produits connexes sont plus ou moins facile à revaloriser. Qu'il s'agisse d'écorce, de branches, de sciure ou de copeaux, chaque produit à son utilité et il reste certainement encore beaucoup à découvrir dans ce domaine.

Le bois est un produit neutre en CO₂ car il ne fait que rendre à la nature le carbone absorbé durant sa croissance grâce à la photosynthèse. Par conséquent il est une source très intéressante en terme environnementale, que ce soit pour la fabrication d'éléments en bois massif, la production de papier, de chaleur ou d'énergie. De plus, son utilisation dans la construction permet de stocker le CO₂ de manière durable.

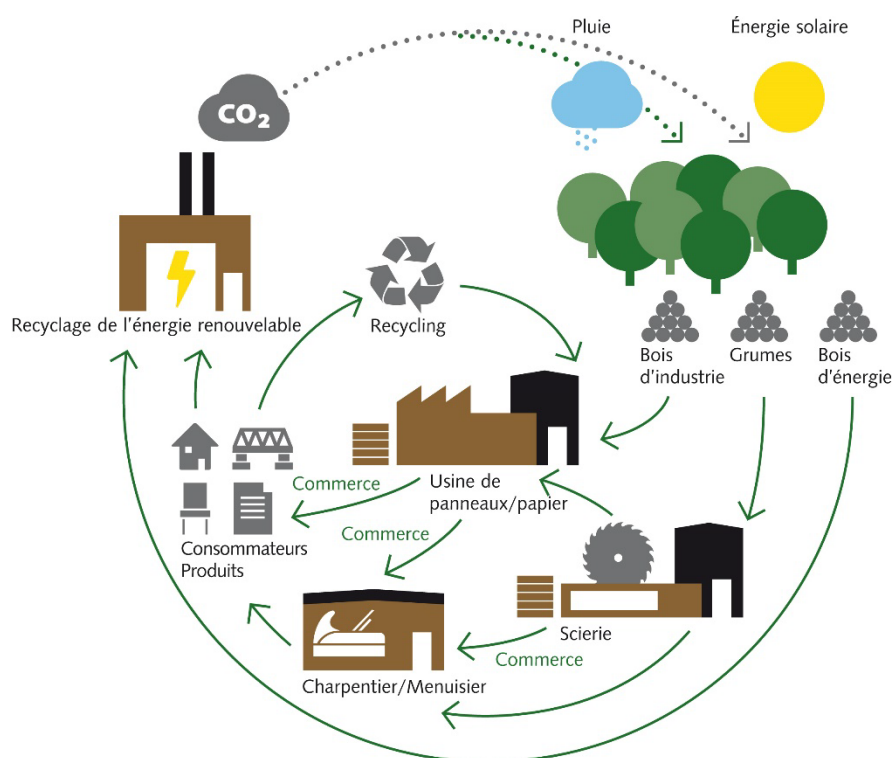


Figure 110: Cycle de vie du bois (source: Lignum)

7.1.1. Importance valorisation du bois

L'économie circulaire vise une conservation de la valeur des ressources, des matières et des produits, limités, sur une durée aussi longue que possible. Pour rendre possible une valorisation optimale du bois, l'utilisation en cascade est d'une grande importance. Les avantages écologiques de l'utilisation en cascade se déploient pleinement lorsque le bois se substitue à des matériaux de construction à forte intensité énergétique au début de la cascade et lorsqu'il est valorisé énergétiquement de manière optimale à la fin de la cascade. L'approche la plus pertinente est par exemple l'utilisation du bois d'abord sous forme de matériau comme un plancher massif, puis, dans le cadre du recyclage comme panneau de particule et, enfin, comme source d'énergie lors de son incinération.

7.1.2. Formation des produits connexes du bois

Partons de la forêt, où un arbre est abattu. Il sera dans un premier temps classé en fonction de sa qualité, son volume et les possibilités d'exploitation qu'il présente. S'il a été abattu pour des raisons de maladie ou qu'il ne permet pas son exploitation, il sera soit acheminé vers une usine de revalorisation soit déchiqueté sur place en **plaquettes** pour son transport.

Une fois le billon acheminé en scierie, ce dernier sera tout d'abord écorcé. Cette opération, comme son nom l'indique, produira de **l'écorce**, un des produits connexes les plus difficile à revaloriser à ce jour.

Le billon ainsi écorcé est ensuite scié en carrelots et en planches, ce qui va produire de la **sciure** et des tombants tels que **couenneaux**, qui seront revalorisés séparément.

Les **tombants**, planches de bord, chutes de coupes ainsi que les pièces qui ne sont pas utilisables pour des raisons de qualité ou de rendement seront dans la plupart du temps déchiquetés en plaquettes et broyés afin de faciliter leur transport et leur revalorisation.

Les planches et carrelots seront ensuite séchés puis rabotés. Le rabotage va produire des **copeaux** et la finition de surface se terminant souvent par une opération de ponçage, va produire de la **poussière**.



Figure 111: Il y a des copeaux qui ne doivent pas être des déchets: Travail du bois dans une raboterie. (source: deligno AG)

7.1.3. Exigences pour les assortiments

L'**écorce** provenant de la scierie sera triée en fonction de son essence. Une écorce de résineux n'aura pas la même valeur ni la même utilisation qu'une écorce de bois dur. Le calibrage permet également d'augmenter les possibilités de débouchés si ces produits ne sont pas destinés à être incinérés.

Les **plaquettes** se différencie selon plusieurs types qui sont produites à différentes étapes de la production.

Tout d'abord, il y a la **plaquette forestière**. Les exigences pour la plaquette forestière sont assez sommaires du fait qu'elles proviennent de la première étape de transformation du bois. On peut y retrouver un mélange d'essences, de bois dur, de résineux, de déchets verts tels que feuilles et autres résidus de l'abattage.

Les plaquettes de scierie sont exemptes de déchets verts et calibrées. Selon les installations, elles peuvent cependant contenir une proportion d'écorce et de poussière qui nuit à sa revalorisation. Il est important de distinguer les plaquettes avec ou sans écorce car cela aura un impact direct sur leur revalorisation. Suivant le produit initial déchiqueté, la plaquette peut être verte (+de 30%), sèche à l'air (18 à 20%) ou sèche (- de 15%) , ce qui influence également sa revalorisation. Leur qualité sera également déterminée en fonction de leur dimension qui sera mesurée au moyen de cribles. Suivant les acheteurs, la qualité des plaquettes est évaluée sur la base d'autres critères comme la coloration, les pourritures, les attaques d'insectes etc. Ces plaquettes ne doivent pas contenir de rameaux, d'aiguilles, de feuilles ni de corps étrangers.



Figure 112: Plaquettes de bois frais provenant de la scierie. (source: OLWO AG)

La sciure, qu'elle soit sèche ou humide, est un produit de premier choix. Il faut cependant veiller à distinguer la sciure de bois dur et la sciure de résineux qui n'auront pas la même utilité.

Les copeaux et la poussière issus du rabotage et du ponçage sont tous deux des produits qui ont une valeur énergétique intéressante car, la plupart du temps, les bois travaillés sont secs. On distinguera une fois de plus les copeaux de bois résineux des bois durs afin d'assurer leur valeur et leur destination finale. On veillera également à ce que ces produits soient exempts de colle, de peinture ou tout autre agent externe qui peut mettre en péril sa revalorisation.

7.1.4. Possibilités d'utilisation et canaux de distribution

Les sous-produits peuvent être revalorisés de différentes manières, il faut cependant distinguer les produits naturels, issus directement du travail du bois brut des produits issus du broyage, qui peuvent contenir des résidus de colle et de peinture.

L'écorce, comme indiqué précédemment, est un sous-produit particulièrement difficile à revaloriser. En effet, lors de sa combustion, le chlore présent dans les écorces peut se combiner avec l'hydrogène et former de l'acide chlorhydrique qui va corroder les parties métalliques. L'écorce produit aussi beaucoup de cendres et des morceaux solides qui peuvent endommager la chaudière. C'est une matière difficile à sécher qui va utiliser une grande partie de l'énergie thermique pour sécher avant sa combustion. Ce sont les raisons pour lesquelles elles ne seront utilisées comme combustible que dans de grandes installations supérieures à 1 MW et souvent en combinaison avec d'autres sous-produits.



Figure 113: L'écorce est un sous-produit exigeant. (source: OLWO AG)

Un autre débouché pour les écorces sont les produits de jardinage. Les écorces de résineux comme le pin ou le mélèze sont particulièrement appréciés par les jardinerie et utilisées sous forme de paillis ou dans la fabrication de terreau. C'est un produit qui se décompose très lentement et qui a une capacité d'absorption de l'eau très importante. Il permet d'éviter l'érosion et le compactage des sols et maintient le sol frais et humide longtemps tout en favorisant l'activité biologique du sol.



Figure 114: Un débouché intéressant: les écores pour le jardin. (source: MW)

La plaquette forestière, comme elle peut contenir certains éléments liés à l'abattage, sera principalement utilisée comme source de combustion pour du chauffage à distance ou dans de grandes installations. Des centrales de gazéification du bois peuvent également utiliser cette matière première.

La plaquette de scierie est beaucoup plus facile à revaloriser. Elle a des débouchés variés en fonction de l'essence, la qualité, le calibrage ainsi que l'hygrométrie. La plaquette peut être utilisée comme combustible pour du chauffage, pour la fabrication de panneaux de particules, d'isolation, de papier et de pellets.

La sciure est également un sous-produit apprécié. Elle peut s'utiliser comme combustible pour le chauffage, comme matière première pour la fabrication de pellets, comme litière pour les animaux. Elle est également utilisée dans certains centres de compostage pour la fabrication d'engrais et de terreau.

Les copeaux et la poussière sont la plupart du temps utilisés pour le chauffage car c'est un produit qui est souvent sec, avec une bonne valeur énergétique et facile à brûler. Cependant il existe d'autres canaux de revalorisation comme la fabrication de panneaux, de briquettes et de pellets.

Les sous-produits issus du **broyage** doivent être séparés en 2 catégories. La première qui est issue du broyage de bois propre, exempt de colle et/ou peinture, qui peut être revalorisée sous la forme de combustible de chauffage ou comme matière première pour la fabrication de panneaux, de briquettes et de pellets. Les produits connexes issus de bois traités, peints ou contenant de la colle doivent quant à eux être incinérés dans des centrales spécifiques.

La revalorisation en cascade est le fait de donner plusieurs vies aux matériaux. Le bois est particulièrement intéressant car il peut être utilisé et mis en œuvre plusieurs fois, sous différentes formes. Par exemple, une poutre massive utilisée lors de la construction d'un bâtiment pourra être transformée en panneau de particules lors de sa démolition puis, une fois le panneau démonté, comme combustible de chauffage dans une chaudière spécifique.



Code QR: vidéo YouTube: La gestion des déchets – séparation des grands et des petits déchets de bois.

7.2. Valorisation énergétique

Le bois est notre deuxième source d'énergie indigène après la force hydraulique. En 2020, le bois comme combustible représente en Suisse 12% de la consommation finale globale. Le potentiel du bois-énergie est estimé à au moins 7.4 millions de m³ et nous en utilisons en 2020 environ 5.9 millions de m³. Le potentiel supplémentaire exploitable n'est donc pas négligeable. La Suisse compte plus de 580'000 cheminées et petites chaudières. En utilisant le bois de la région, nous assurons une valeur ajoutée 100% locale, favorable pour l'environnement et les emplois.

Les sous-produits peuvent être utilisés souvent sur leur lieu de production, dans une chaudière adaptée, pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité.

La transformation en pellets est un procédé qui consiste à compresser le bois pour lui donner une forme facilement stockable et transportable, normée, avec une haute teneur énergétique. Son utilisation est très facile et conviviale, dans de petites comme de grandes installations. C'est un substitut au mazout très intéressant.

Cependant, l'utilisation du bois comme combustible ne peut pas se faire n'importe comment. Il y a des lois et des ordonnances à respecter, notamment l'Ordonnance sur la protection de l'air (Opair). La combustion du bois doit se faire de manière optimale afin d'éviter la formation de fumée trop importante et le dégagement excessif de particules fines. Chaque sous-produit a sa chaudière spécifique. Seules de grandes installations peuvent brûler différents types de sous-produits.

La gazéification du bois est également un procédé de plus en plus intéressant en terme environnemental et son potentiel n'est pour l'instant que peu exploité. A partir de plaquettes forestières, la centrale produit du gaz qui servira de combustible par exemple pour produire de l'électricité tandis que la chaleur issue du procédé sera revalorisée pour du chauffage à distance.

7.2.1. Élimination comme déchet spécifique

Comme expliqué plus haut, le bois ne peut pas toujours être éliminé de manière simple dans une cheminée ou un chauffage à bois. Seuls les bois bruts, exempts de tout produit chimique, peuvent être utilisés dans une cheminée ou un petit chauffage

privé. Le bois usagé issu de la démolition, de la transformation ou de la rénovation de bâtiments, les résidus de chantier, les vieux meubles, le bois usagé provenant d'emballages, y compris les palettes et les mélanges de bois usagé et de bois de chauffage ne sont pas considérés comme bois de chauffage.

Le bois usagé ou les déchets de bois qui ont été traités avec des produits de préservation du bois tels que bois autoclavés, bardages traités, etc. ne sont pas non plus considérés comme bois de chauffage.

Ces résidus sont à considérer comme déchets spéciaux et ne peuvent être éliminés que dans des incinérateurs équipés de filtres à particules spécifiques qui retiennent également les émissions de métaux lourds toxiques.

La combustion de certains bois traités comme le bois autoclavé peut dégager des gaz toxiques comme la dioxine. Il est indispensable de respecter les précautions d'usage et en cas de doute, d'éviter toute utilisation de tels résidus comme bois de feu.



Utilisation correcte des chaudières à bois

Combustible et évacuation des cendres

L'utilisation optimale des différents assortiments de bois de chauffage, ainsi que l'élimination appropriée et conforme à la réglementation des déchets de bois et des cendres sont des aspects importants pour l'homme, l'environnement et les chaudières. Ce document décrit les chauffages adaptés, les moyens d'élimination possibles, ainsi que les conséquences d'une combustion illégale. Les types de décharges et les emplacements où les différentes substances peuvent être déposées sont définis par l'Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets OLED.

Bois et non-bois de chauffage selon l'OPair

Brûler ou éliminer du bois conformément aux prescriptions revient à apporter une contribution précieuse à la préservation de la qualité de l'air et à la protection du sol, tout en ménageant son installation de chauffage et en évitant de coûteuses procédures pénales.

Le bois brûlé sans discernement a un effet néfaste non seulement pour l'environnement, mais aussi pour les humains. L'air est inutilement pollué par les substances nocives contenues dans les gaz de combustion.

Dans l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair), le législateur et les pouvoirs publics ont classé les différents types de bois dans les catégories suivantes:

Sont réputés bois de chauffage

Le bois à l'état naturel: morceaux de bois à l'état naturel, en provenance de la forêt et des scieries.

Les résidus de bois: chutes de bois issues de l'industrie du bois et des entreprises de transformation du bois.



Conséquences de la combustion illégale

Qui brûle ou élimine dans une installation non appropriée et de manière non conforme aux prescriptions des résidus de bois, du bois usagé ou des déchets de bois à problèmes, se rend passible de sanctions et doit s'attendre, en plus d'une amende, à devoir payer rétroactivement les taxes ainsi économisées. L'analyse en laboratoire des résidus de combustion permet de prouver toute élimination illégale de résidus ou de bois usagé.



Figure 115: Des fiches d'information indiquent quel bois peut être brûlé. (source: Energie-bois Suisse).

Une élimination non conforme de ces déchets pollue l'air, endommage la nature, les sols et les eaux. En outre, elle est punissable par la loi. Chaque canton a ses règlements et recommandations qu'il faut respecter.

7.3. Préparation des résidus du bois

Les résidus du bois peuvent être préparés de différentes manières suivant l'utilisation finale souhaitée ou selon le lieu sur lequel elles seront transformées. On ne va pas broyer du bois de la même manière en forêt qu'en scierie et il conviendra de savoir comment un produit se comporte lorsqu'il est transformé, le volume qu'il prend, l'hygrométrie et ses son potentiel énergétique.

7.3.1. Machines et installations

Afin de préparer les résidus de bois et les revaloriser, il y a plusieurs moyens et installations nécessaires. Les principales sont les suivantes:

Les déchiqueteurs à tambours qui sont équipés d'un rotor muni de couteaux qui vont réduire les morceaux longs et minces (p. ex. délignures) en plaquettes régulières. Il s'agit d'une machine bruyante qui consomme beaucoup d'énergie.



Figure 116: Le broyeur en action (source: Mivelaz Bois SA)

Le broyeur est une installation qui va réduire la dimension des résidus de bois afin de faciliter leur stockage, leur transport et leur conditionnement. Il faut distinguer 2 types principaux de broyeur:

- 1) Le **broyeur lent**, qui est le plus répandu dans l'industrie du bois, est muni d'un ou plusieurs rotors qui tournent lentement (entre 40 à 50 tours/min). Ces rotors sont équipés de couteaux qui vont concasser le bois jusqu'à atteindre une certaine granulométrie. Ils ont l'avantage de faire moins de bruit que les broyeurs rapides et consomment également moins d'énergie. Ils sont principalement utilisés pour déchiqueter des résidus issus de la scierie, raboterie, charpente et menuiserie.

- 2) **Le broyeur rapide**, travaille en énergie cinétique avec des vitesses de rotation importante de 1000 tours/min et plus. Il offre l'avantage d'un grand débit avec une granulométrie plus ou moins fine. Il est surtout utilisé pour broyer des résidus provenant de l'exploitation forestière et pour la fabrication industrielle de terreau.

Le moulin à marteaux qui est composé d'un rotor sur lequel sont fixé des couteaux. En tournant à grande vitesse, les couteaux vont réduire les résidus en sciure fine, destiné principalement à la production de pellets. Ce type de broyeur ne peut cependant accueillir que des sous-produits déjà pré-broyés tels que plaquettes ou copeaux.

Les résidus une fois réduits en plaquettes, copeaux ou sciure doivent être acheminés vers leur lieu de stockage. Si les plaquettes peuvent être transportées à l'aide de simples **bandes transporteuses**, les copeaux sont en principe transportés avec des ventilateurs à l'aide **d'installations d'aspirations**. Ces installations acheminent les copeaux vers des silos spécifiques.

Lors du transport pneumatique de produits secs tels que copeaux ou sciures, certains cantons exigent que les conduites de transport soient équipées d'un détecteur d'étincelle et munie d'une installation d'extinction afin de limiter le risque d'explosion. Ces installations injectent un brouillard d'eau dans la conduite de transport lorsqu'une étincelle est détectée.

7.3.2. Calculs des résidus du bois

L'hygrométrie du bois est le rapport entre l'eau contenue dans le bois et sa masse sèche tandis que la masse d'eau contenue dans le bois est le rapport entre l'eau contenue dans le bois et la masse totale du bois. Dans les deux cas, la formule de calcul se distingue comme suit:

$$\text{Hygrométrie en \%} = \frac{\text{masse d'eau contenue dans le bois}}{\text{masse à l'état anhydre}}$$

$$\text{Masse d'eau en \%} = \frac{\text{masse d'eau contenue dans le bois}}{\text{masse totale du bois (humide)}}$$

La plupart du temps c'est l'hygrométrie qui est utilisé car elle peut facilement être déterminée à l'aide d'instruments de mesure disponibles sur le marché. A l'aide de deux pointes qui sont plantés dans le bois, l'appareil mesure la résistance électrique entre les deux pointes. Plus le bois est sec, moins le courant électrique passe et par conséquent, plus la résistance est grande. Ces appareils sont utiles pour mesurer des bois ayant une hygrométrie entre 5 et 30% d'hygrométrie. Au-delà de 30%, la mesure n'est plus fiable car les fibres sont saturées.



Figure 117: Hygromètre (source: Mivelaz Bois SA)

Les produits connexes sont généralement mesurés au volume réel, au volume d'encombrement, en vrac, au poids à la livraison (lutro) ou au poids anhydre (atro).

Le volume des résidus du bois est également très important lors de la planification mais également pour le transport, la vente et sa revalorisation. En raison du foisonnement, le volume des résidus de bois est plus grand le bois plein d'origine, c'est pourquoi il est important de connaître les facteurs de conversion suivants:

Unité de mesure: é = écorcé, n.é. = non écorcé

Du volume plein au volume en vrac:

(fraichement versé, le transport peut faire diminuer le volume en vrac)

Produit	Volume plein	Volume en vrac
Plaquettes forestières	1 m ³ n.é.	= 2.8 m ³ n.é.
Plaquettes forestières	1 m ³ é	= 2.8 m ³ é.
Plaquettes de scierie	1 m ³ n.é.	= 2.7 m ³ n. é.
Copeaux de scierie / sciure	1 m ³ é	= 3 m ³ é.
Copeaux de raboterie	1 m ³ é	= 5 m ³ é.

Du poids anhydre au volume en vrac:

(fraichement versé, le transport peut faire diminuer le volume en vrac)

Produit	Volume anhydre	Volume en vrac
Plaquettes de scierie	1 t atro é.	= 7 m ³ é.
Copeaux de scierie/sciure (ép. ,sa.)	1 t atro é.	= 7.7 m ³ é.
Copeaux de raboterie	1 t atro é.	= 12.3 m ³ é.

Le bois d'industrie est principalement acheté au poids anhydre ou ATRO (absolut trocken -> absolument sec). Au besoin, le poids anhydre peut être converti en m³ ou en stère. Pour le bois d'industrie non écorcé, 1 stère (1 mètre de long) = 0.75 m³ ou 1m³= 1.33 stère.

Pour mesurer effectivement la valeur anhydre d'un chargement de bois, la procédure s'effectue comme suit:

1. Le camion de bois brut est pesé sur un pont-bascule
2. Après déchargement, le camion est pesé à vide pour définir sa tare
3. La différence entre les deux pesées donne le poids net du chargement.
4. Des échantillons sont prélevés à différents endroits du chargement, à l'aide d'une tronçonneuse s'il s'agit de bois brut
5. Les échantillons sont mélangés puis pesés sur une balance de précision pour obtenir le poids net G_u
6. Les échantillons sont ensuite séchés jusqu'à l'évaporation complète de l'eau puis pesés pour obtenir la teneur en matière sèche T
7. En multipliant le poids net G_u du chargement en kilos de bois vert par la teneur en matière sèche T , on obtient le poids anhydre G_0 du chargement:
$$G_0 = G_u \times T/100 \text{ (kg)}$$

Voici quelques facteurs de conversion de base pour les essences les plus courantes:

Essence	m ³ /t atro	Stère/t atro
Hêtre	1.58	2.10
Feuillus durs (hêtre, charme, frêne, etc.)	1.60	2.15
Feuillus tendre (aulne, saule, tilleul, etc)	2.05	2.75
Résineux (sapin, épicéa, pin, mélèze, douglas)	2.25	3.00

7.3.3. Potentiel d'efficacité énergétique

En principe, plus le résidu est travaillé, plus sa combustion sera facile et efficace. Cependant, chaque procédé de transformation ou d'extraction de la matière consomme également de l'énergie que l'on appelle énergie grise.

Lorsqu'on utilise de la plaquette forestière comme combustible, il faut une certaine demande en chaleur régulière car dans le procédé de combustion, il y aura une première phase qui consistera à sécher la matière première avant qu'elle ne brûle et dégage l'énergie nécessaire à la production de chaleur. Si la demande en chaleur est trop faible, la combustion ne sera pas optimale. Par conséquent, les plaquettes forestières ainsi que les plaquettes humides seront principalement utilisées dans de grandes installations de chauffage à distance.

Les produits connexes issus de la production tels que copeaux, sciure sèche et poussières sont parfois utilisés sur leur lieu de production comme chauffage et parfois également en cogénération pour la production d'électricité.

Les pellets ont été développés afin de faciliter leur utilisation dans de petites installations. S'agissant d'un produit sec, normé et facile à manutentionner, il est une belle alternative aux énergies fossiles. La part d'énergie grise pour la fabrication des pellets reste cependant en-dessous de 20% par rapport à la chaleur fournie, ce qui place ce produit en première ligne devant les autres installations de chauffage conventionnels.



Figure 118: Pellets finis (source: Mivelaz SA)

Par comparaison, une pompe à chaleur géothermique a une part d'énergie grise de plus de 60%, tandis que le gaz naturel dépasse les 110% et le mazout les 120%. Ceci s'explique notamment car ni l'agent énergétique ni l'énergie de son extraction ne sont renouvelables.

Voici quelques données de base sur la valeur énergétique des résidus du bois

Type de produit connexe	Pouvoir calorifique kWh
Bois massif (1 m ³)	2250 – 2950
Plaquettes, écorce (1 m ³)	800 – 1100
Plaquettes sèche (1 m ³)	900 – 1150
Sciure humide (1 m ³)	600 – 800
Sciure et copeaux secs (1 m ³)	650 – 850
Briquettes (1 m ³)	4400 – 7700
Pellets (1 m ³)	4600 – 5000

7.4. Stockage des résidus du bois

Les prescriptions de l'opair peuvent rendre le tri de certains résidus intéressants voir obligatoire. Les petites installations de chauffage au bois sont particulièrement touchées car la loi ne les autorise pas à brûler tous les types de résidus de bois.

Si la séparation des morceaux et des sciures ne pose pas de problèmes majeurs, le tri des sciures et poussières, provenant de bois massif ou de panneaux divers est en revanche beaucoup plus délicat. Il convient de séparer les résidus le plus tôt possible dans la chaîne de production afin d'éviter le mélange de certains résidus qui pourraient péjorer la qualité du sous-produit.

Selon le type de résidus, le stockage ne permet pas seulement de répondre à une demande du marché qui fluctue. Il permet par exemple pour les plaquettes d'augmenter leur valeur ajoutée par le séchage naturel pour autant qu'il soit mis en œuvre dans les règles de l'art. Par contre, certains produits comme les copeaux requièrent des exigences particulières en raison du risque d'explosion qu'ils génèrent.

7.4.1. Exigences de base

La plaquette fraîche peut être stockée soit en plein air, soit sous toiture ou sous une couverture en tissu non tissé. En plein air, l'eau de pluie peut pénétrer jusqu'à 50 cm et les précipitations régulières peuvent favoriser le développement de moisissures, ce qui engendre une perte de substance. Il est par conséquent recommandé de les recouvrir. Les plaquettes fraîches perdent de 2 à 4% de substance par mois de stockage à l'extérieur car elles sont colonisées par des champignons et des bactéries lignivores. Dès que le taux d'humidité descend en-dessous de 30%, on limite fortement cette dégradation.

La sciure fraîche ne devrait pas être stockée à l'air libre. En effet, sa dégradation sera très rapide et la couche extérieure va sécher et devenir très volatile, ce qui peut poser des problèmes suivant le lieu d'entreposage.

La sciure sèche, les copeaux et la poussière doivent être stockés dans un local ou silo séparé dès que leur quantité dépasse 0.8 m³. Les silos doivent être construits selon les règles de l'art en tenant compte notamment des mesures de protection contre l'incendie et les explosions. Les portes doivent notamment être protégées avec un système de planches posées horizontalement afin d'éviter que tout le matériel ne sorte lorsqu'on ouvre la porte.

7.4.2. Condition pour maintenir leur valeur

Le stockage une fois défini, il est important d'en garantir la pérennité. Si le stockage du bois frais peut être problématique à long terme car le bois va se dégrader, le stockage de bois sec doit impérativement éviter la reprise d'humidité.

Pour certains produits bruts comme les plaquettes, les copeaux ou la sciure, la reprise d'humidité portera surtout préjudice sur sa combustion voire son prix si la matière est destinée à la vente. Par contre, lorsqu'il s'agit de produits travaillés tel que les briquettes ou les pellets, la reprise d'humidité va désagréger le produit et provoquer de la poussière qui n'est pas souhaitable pour ce type de produit. Ces produits compressés sont particulièrement sensibles à l'humidité et doivent impérativement être stockés au sec.

7.4.3. Dangers et mesures de sécurité

Le stockage de bois dans un local fermé peut présenter divers dangers qu'il est important de connaître

Lors du stockage de bois, du **monoxyde de carbone (CO)** se dégage. Dans un local fermé sans une bonne aération, ce gaz représente un danger mortel. Comme ce gaz est inodore, le danger d'accident est d'autant plus grand. Par conséquent, l'entrée dans un silo sans aération préalable est vivement déconseillée. En cas de doute, l'accès se fera uniquement avec un appareil de détection approprié.

La poussière de bois est également particulièrement dangereuse car présente un **danger d'explosion** accru. Une source d'ignition telle qu'une étincelle, qu'elle soit d'origine électrique, statique ou mécanique peut entraîner une explosion. La norme ATEX (atmosphère explosive) définit comment limiter et prévenir les risques d'explosion.

Lors de la planification et la construction de silos, il est important de respecter les prescriptions de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI qui définit quelles sont les distances à respecter, le type de matériaux de construction à utiliser ainsi que les dispositifs d'extinction obligatoires. Avant tout accès dans un silo, il faut veiller à ce que l'installation soit hors service, que ce soit la ventilation qui souffle le matériel dans le silo ou le système d'extraction des copeaux.

Concernant **l'extinction**, il existe principalement 3 types de dispositifs:

1. Installation de déluge automatique (Sprinkler), qui se déclenche et inonde le silo en cas de départ de feu. Elle est composée d'une capsule en verre qui fond ou explose à partir d'une certaine température et libère ainsi l'eau de la conduite qui se déverse sur le feu.
2. Installation de déluge à colonne sèche, qui permet aux sapeurs-pompiers d'alimenter une installation à l'aide d'une tuyauterie sèche depuis un endroit sûr. Elle est composée d'une conduite vide qui part depuis un endroit sûr jusqu'à l'endroit à protéger. Ainsi il n'y a plus qu'à l'alimenter en eau en cas de feu.
3. Dispositif d'extinction d'étincelle qui vise à réduire le risque d'étincelle dans les conduites d'aspiration en les détectant en amont, ce qui déclenchera automatiquement un spray dans la conduite pour éteindre l'étincelle.

Il existe également des appareils de **détection** incendie qui vont déclencher une alarme afin de prévenir tout départ de feu, Il existe notamment les détecteurs suivants:

1. Détecteurs de fumée
2. Détecteurs de chaleur
3. Détecteurs combinés, fumée et chaleur
4. Caméras thermiques
5. Faisceau laser

Les détecteurs les plus souvent utilisés dans l'industrie du bois sont les détecteurs combinés. La seule présence de chaleur n'est en effet pas toujours un signe départ de feu, c'est pourquoi le détecteur combiné est plus adapté.

Suivant les législations cantonales, les détecteurs doivent être reliés à une centrale d'alarme qui sera elle-même reliée aux sapeurs-pompiers et à la police afin de leur permettre de dépêcher du monde rapidement sur place en cas d'alarme.

Index

Le cycle du bois	2
1. Traitement des clients et des réclamations	4
1.1. L'entretien de conseil	6
1.2. Types d'entretiens et de clients	6
1.3. Réclamations	10
2. Processus de commande et optimisation	16
2.1. Transformation du bois.....	18
2.2. Réception de la commande	19
2.3. Documentation de la commande	20
2.4. Variantes d'exécution.....	22
2.5. Calcul des coûts	24
2.6. Le rendement sous l'angle des coûts	34
2.7. Autres possibilités d'optimisation	37
3. Logistique	54
3.1. Flux des marchandises et logistique.....	57
3.2. Etiquetage des marchandises.....	60
3.3. Conditionnement des produits	64
3.4. Stockage des produits	66
3.5. Techniques et principes de stockage.....	74
3.6. Prise en charge et livraison.....	81
3.7. Transfert des profits et des risques	82
3.8. Mesures pour l'optimisation	82
4. Traitement de surface	83
4.1. Eléments de bases du traitement de surface du bois	85
4.2. Produits pour le traitement de surface	88
4.3. Choix du traitement de surface adéquat	97
4.4. Risques lors de l'utilisation de produits de revêtement	104
4.5. Mise en œuvre des produits de revêtement	105
5. Dédoubler et raboter	114
5.1. Principaux processus dans la raboterie.....	117
5.2. Dédoublage.....	117
5.3. Rabotage.....	124

6. Collage	138
6.1. Produits en bois collé	141
6.2. Développement historique.....	142
6.3. Notions de bases de la fabrication de bois lamellé-collé.....	144
6.4. Matériaux bruts.....	153
6.5. Aboutage de lames par entures multiples.....	156
6.6. Rabotage des lames	162
6.7. Rabotage, réparation/taillage, préparation d'éléments de construction....	169
6.8. Préparation du travail et assurance qualité (CPU)	170
6.9. Bases du droit des produits de construction et des normes EN.....	172
6.10. Dédoublage de poutres en bois lamellé-collé	172
6.11. Bois lamellé-collé en bloc	173
6.12. Bois lamellé-collé avec aboutage à entures multipl. de gd dimensions....	173
6.13. Bois lamellé-collé de feuillus	174
6.14. Colles utilisées pour la fabrication de bois lamellé-collé	174
7. Valorisation et élimination des sous- produits du bois	180
7.1. Formation et utilisation des résidus du bois	182
7.2. Valorisation énergétique.....	187
7.3. Préparation des résidus du bois.....	189
7.4. Stockage des résidus du bois	193
Index	196